Sluttrapport

Prosjekt Havfarm 1

Sluttrapport

Prosjekt Havfarm 1

Rapportnummer
2021-03

Prosjektleder
Bjarne Johansen

Forfattere
Camilla Robertsen
Bjarne Johansen
Lars Fredrik Martinussen

Selskap
Nordlaks Oppdrett AS

Dato
10.06.2021

Oppsummering
Denne rapporten oppsummerer erfaringer fra havfarmen Jostein Alberts første produksjonssyklus. I tillegg er erfaringer fra prosjekterings- og byggefasen, samt post-smoltfasen og brønnbåttransporten inkludert.

Utgiver
Nordlaks Oppdrett AS
Postboks 224
8455 Stokmarknes
Telefon: 76 11 81 00
E-post: firmapost@nordlaks.no
nordlaks.no

Det kan fritt kopieres fra denne rapporten hvis kilden oppgis. Brukeren oppfordres til å oppgi rapportens navn, nummer, samt at den er utgitt av Nordlaks Oppdrett AS .

© 2021 Nordlaks Oppdrett AS

Innholdsfortegnelse

Forord **3**

Sammendrag **4**

1. Innledning **6**

1.1. Nordlaksmetoden 6

1.2. Havfarmen Jostein Albert 7

1.3. Lokaliteten 39777 Ytre Hadseløya 9

1.4. Dokumentasjon av Havfarm 1-prosjektet 10

1.5. Samarbeidspartnere og leverandører 10

2. Prosjekterings- og byggefase, transport og installasjon **13**

2.1. Prosjektering og design 13

2.2. Byggefase 14

2.3. Transport og installasjon 15

3. Arbeidspakker **16**

3.1. Havfarmens biologiske prestasjon 16

3.2. Havfarmens driftsmessige prestasjon 31

3.3. Havfarmens tekniske prestasjon 49

3.4. Havfarmens påvirkning på det ytre miljø 53

4. Evaluering av Havfarm 1-prosjektet **60**

5. Ringvirkninger og fremtidsplaner **62**

6. Referanser **66**

7. Vedleggsliste **67**

Forord

Helt siden jeg startet Nordlaks i 1989, har innovasjon og nyskapning vært blant de viktigste bærebjelkene for meg og selskapet. Når vi har møtt på utfordringer eller sett behov for nye løsninger har vi prøvd å løse dette gjennom praktiske løsninger og utvikling av teknologi. Selv om vi ikke alltid har truffet blink, har vi heldigvis lyktes oftere enn ikke. Ønsket om å lykkes har vært større enn frykten for å mislykkes. Dette har gjort det mulig å utvikle Nordlaks til det selskapet vi er i dag.

Da regjeringen innførte ordningen med utviklingstillatelser i 2015, tok vi med oss denne innstillingen inn i utviklingen av et konsept som jeg hadde hatt i tankene i lengre tid: havfarmen. Målsetningen var å skape et konsept som vi hadde tro på at ville fungere som en oppdrettsplattform inn i framtiden. Selv om jeg til tider har opplevd at veien har vært både smal og kronglete, er jeg takknemlig for at myndighetene delte vår tro på de mulighetene prosjektet innebar, og gav oss muligheten til å realisere havfarmen Jostein Albert.

Havfarm 1-prosjektet har fra dag 1 vært spennende, lærerikt og inspirerende å jobbe med. Internt har prosjektet skapt stort engasjement, og bidratt til at vi har vunnet erfaringer, kontakter og kompetanse på helt nye områder. Vi har også opplevd stort engasjement, kreativitet og positivitet fra leverandørene våre – alt fra design, konstruksjon og utstyr til oppstart og gjennomføring av produksjon av fisk, og dokumentasjon av prosjektet i praksis. Jeg er svært takknemlig for den formidable innsatsen som har vært lagt ned, og som har gjort det mulig å gjennomføre prosjektet på en svært god måte.

Denne rapporten markerer slutten av utviklingsprosjektet Havfarm 1. Samtidig ser jeg med spenning og entusiasme fram mot nye utviklingsprosjekter og -muligheter både for Nordlaks, og havbruksnæringen generelt. Havfarm 1-prosjektet viser at det er mulig selv for relativt små og lokalt eide selskaper å gjennomføre omfattende prosjekter som vekker global interesse, og kan ha betydning for en hel næring. Jeg er overbevist om at den innovasjonsviljen som er utløst gjennom ordningen med utviklingstillatelser vil sette sitt sterke preg på hvordan havbruksnæringen vil se ut om 10, 20 og 50 år. Jeg er ydmyk og stolt over at Nordlaks har vært med å forme denne utviklingen, og gleder meg til å fortsette å være med på å skape fremtiden!

Sandnes, 09.06.2021

Sammendrag

I november 2015 innførte Regjeringen ordningen med utviklingstillatelser. Målet med denne var å stimulere til realisering av store havbruksprosjekter som hadde potensiale til å bidra til å løse en eller flere av de store utfordringene havbruksnæringen stod overfor. Tilgang til nye arealer, samt utfordringen med lakselus hadde særlig høy prioritet. Innføringen av denne ordningen åpnet for muligheten til å realisere et prosjekt som Nordlaks hadde hatt under planlegging over lengre tid – prosjekt Havfarm. Havfarm 1-prosjektet har som mål å utvikle teknologi som gjør det mulig å ta i bruk eksponerte arealer, som ikke er tilgjengelig for oppdrett med tradisjonell teknologi.

I desember 2016 ble Nordlaks gitt tilsagn om 10 utviklingstillatelser for å realisere Havfarm 1-prosjektet. I september 2017 ble tilsagnet økt av Nærings- og Fiskeridepartementet til 13 tillatelser. 13. februar 2018 signerte Nordlaks kontrakt med det kinesiske verftet Yantai CIMC Raffles Offshore Ltd. om design, konstruksjon og levering av havfarmen Jostein Albert. Anleggssertifikatet ble endelig utstedt av DNV GL TAS den 23. juli 2020.

I henhold til tilsagnet om utviklingstillatelsenes målkriterium 5, vil Nordlaks med denne sluttrapporten presentere en grundig og helhetlig dokumentasjon av havfarmens biologiske, driftsmessige og tekniske prestasjon, samt havfarmens påvirkning på det ytre miljø. Sluttrapporten oppsummerer erfaringer fra første produksjonssyklus i havfarmen. I tillegg er erfaringer fra prosjekterings- og byggefasen, samt postsmoltfasen og brønnbåttransporten inkludert.

Natt til 25. juli, 2020 gjennomførte Nordlaks den første leveransen av laks til lokaliteten 39777 Ytre Hadseløya i Hadsel kommune i Vesterålen. I løpet av 25. juli – 6. september ble det satt ut totalt 2,33 millioner laks fra oppvekstlokalitetene 29096 Grøttøy og 11162 Bullatholmen. Fisken hadde en snittvekt på 1 485 gram og ble fordelt i seks merder. All fisk ble vellykket transportert av brønnbåten M/S Inter Nord. Fisken hadde god tilvekst, lav fôrfaktor og lav til normal dødelighet i løpet av postsmoltfasen på oppvekstlokalitetene. Det ble rapportert om hovedsakelig gode miljøforhold, normal adferd og få avvikere. Lusestatus før overflytting var god og dødeligheten lav.

I løpet av havfarmens første driftssyklus har det blitt utført et betydelig antall undersøkelser for å dokumentere fiskehelse og fiskevelferd, samt fiskens biologiske prestasjon. Resultatene fra miljømessige fiskevelferdsindikatorer har vist at fisken hovedsakelig har hatt gode miljøforhold i havfarmen. Det har i løpet av driftsfasen vært forøket avgang og følgelig nedsatt fiskevelferd på en av to fiskegrupper, relatert til sårutvikling og hjertelidelser. Dette er gjenspeilet i resultater fra undersøkelser av andre velferdsindikatorer som adferdsregistreringer, appetitt, velferdsscoringer med mer. Avgangen og den reduserte velferden er i sum over det Nordlaks har som mål og forventinger i vårt dyrehold. Det er imidlertid ingen funn som indikerer at særegne forhold ved havfarmen har bidratt negativt for fiskehelse og –velferd.

Havfarmens driftsmessige prestasjon gjennom første produksjonssyklus har vært god. Havfarmen har driftsmessig prestert i henhold til våre forventninger. Erfaringene knyttet til havfarmens særegne utstyr er gode. Det har vært identifisert en del forbedringspunkter, og de fleste er gjennomført eller under implementering. Disse vurderes som å være på et nivå man må forvente i et større utviklingsprosjekt. Mannskapet har rapportert om at særegne operasjoner som ballast-, kran- og løfteoperasjoner, lusetelling, samt skip-til-skip operasjoner har fungert godt. Det har ikke oppstått større skader på personer eller utstyr i forbindelse med dette. Fôrmottak og levering av ensilasje har som hovedregel foregått som planlagt og bare unntaksvis blitt avbrutt grunnet vær.

I henhold til analyser utført av NSK vurderes havfarmens tekniske prestasjon å ha vært i tråd med, eller bedre enn, de forutsetningene som lå til grunn for designet. Prosjekteringen av havfarmen har dermed vært basert på tilstrekkelige sikkerhetsmarginer, noe som har gitt et godt grunnlag for å oppnå en total levetid for konstruksjonen som kan tilsvare eller overgå designlevetiden. For å dokumentere dette er det installert og validert en ny metode for strukturovervåking. Denne viser seg å være pålitelig, og vil blant annet bli brukt i forbindelse med levetidsvurderinger og vår risikobaserte tilnærming til strukturinspeksjoner. Havfarmens respons i dårlig vær er viktig både av hensyn til mannskapets opplevelser om bord, i tillegg til sikkerhet for både utstyr, rømmingssikring og fiskevelferd. Mannskapets erfaringer er at havfarmen fremstår som en trygg og god konstruksjon, selv i svært dårlig vær. Havfarmens tekniske prestasjon bidrar med det i positiv retning til mannskapets opplevelse av egen arbeidsplass.

Resultatene fra miljøundersøkelsene har vist at lokaliteten har gode miljøforhold, og er godt egnet for oppdrettsvirksomhet. Det er gjennomført en rekke forundersøkelser og to oppfølgende miljøundersøkelser under drift i forbindelse med den første driftssyklusen. Miljøovervåkningsprogrammet har dokumentert tilstand «1: meget god» før utsett, tilstand «2: god» i november 2020, og tilstand «1: meget god» i februar 2021. Dette representerer en bedring av miljøtilstanden fra tidspunktet når anlegget gav «halv belastning», til når det gav «full belastning» på bunnmiljøet. Dette bekrefter at havfarmens svaifortøyning har fungert etter hensikt.

Lusenivået har til enhver tid vært innenfor regelverket, og godt under maksimalt tillatte grenseverdier i løpet av perioden. Erfaringene relatert til lus i havfarmen er positive, til tross for at vi ved ett tilfelle valgte å iverksette tiltak mot lakselus. Data fra havfarmen og fra andre lokaliteter i området dokumenterer at havfarmens plassering bidrar til lav ekstern lusesmitte. For fremtidig drift forventes det at tilpassede brønnbåter vil bidra ytterligere til å opprettholde god lusestatus gjennom produksjonen. Dette i form av overføring av tilnærmet lusefri fisk til havfarmen, samt egnet ikke-medikamentell behandlingsteknologi dersom korrigerende tiltak skulle bli nødvendig.

Havfarm 1-prosjektet, som et stort innovasjonsprosjekt, har medført en bratt læringskurve både for Nordlaks som selskap, men også for underleverandørene i prosjektet og havbruks – og leverandørnæringene som helhet. Vi har ervervet mye god kompetanse fra våre samarbeidspartnere, og samtidig gjort oss mange erfaringer, stort sett med positivt fortegn, som vil bidra til å styrke vår organisasjon i årene som kommer. Samtidig mener vi også å ha bidratt positivt til at øvrige aktører i prosjektet også har tilegnet seg ny kunnskap og nye erfaringer, som vil bidra til å bedre også deres forutsetninger i tiden fremover. Innstillingen og viljen hos de involverte parter til å finne gode og konstruktive løsninger underveis har vært avgjørende for at prosjektet ble realisert på en effektiv, trygg og god måte.

1. Innledning

I november 2015 innførte Regjeringen ordningen med utviklingstillatelser. Denne skulle stimulere til å utvikle ny teknologi innen havbruksnæringen, som kunne bidra til å løse en eller flere av de store utfordringene havbruksnæringene stod ovenfor. Tilgang til nye arealer, samt utfordringen med lakselus hadde særlig høy prioritet. Dette medførte en unik mulighet for Nordlaks Oppdrett AS til å realisere et prosjekt som gründer og eier, Inge Berg, i lengre tid hadde hatt tanker om. I samarbeid med NSK Ship Design ble Havfarm 1-prosjektet etablert sommeren 2015, med målsetning om å realiseres gjennom nevnte ordning.

Søknad om utviklingstillatelser ble sendt inn 24.11.2015, og et drøyt år senere, 22.12.2016, mottok Nordlaks tilsagn om 10 utviklingstillatelser for realisering av havfarm 1, heretter kalt havfarmen. Vedtaket ble 08.09.2017 justert av Nærings- og fiskeridepartementet for antall tillatelser, men tilsagnets øvrige innhold forble uendret.

Oversikt over Havfarm 1-prosjektets milepæler

Tilsagn	22.12.16
Kontrakt	13.02.18
Innlegg rogn	November 2018
Stålkutteseremoni	6. november 2018
Utlegging fortøyninger	Juni 2019
Utlysning mannskap	23.07.19
Start transport	09.04.20
Ankomst	13.06.20
Utsett	25.07.20
Utslakt	Juni 2021

1.1. Nordlaksmetoden

Havfarmene er en del av Nordlaks sin løsning for en bærekraftig utvikling av havbruksnæringen, og er det siste leddet i selskapets produksjonsstrategi Nordlaksmetoden. Produksjonsstrategien baserer seg på utsett av større og mer robust settefisk til en egnet oppvekstlokalitet. På oppvekstlokalitetene produseres fisken til en størrelse på om lag 1 – 1.5 kg før den flyttes videre til havfarmene. Dette for å sikre at laksen er stor og robust nok til å trives på eksponerte lokaliteter. Lokalitetene som planlegges i havfarmprosjektet er mer eksponert og mer utsatt for vær, strøm og vind enn tradisjonelle anlegg. Dette medfører at den siste og mest intensive delen av laksens vekstfase flyttes ut av fjordene og lenger bort fra andre akvakulturlokaliteter enn det som normalt praktiseres i dag. Produksjonstiden i havfarmene vil være inntil 10 måneder.

Med en slik produksjonsstrategi vil Nordlaks oppnå kortere produksjonstid i sjø. Den mest intensive delen av produksjonsfasen skjer på mer eksponerte lokaliteter, og både havfarmens- og oppvekstlokaliteten kan brakklegges hyppigere enn hva som er mulig i tradisjonelle driftsmønstre.

Nordlaksmetoden er å sette grunnleggende forebyggende tiltak i system for å oppnå størst mulig effekt. Produksjonsmetoden muliggjøres av havfarmene, og legger til rette for bedre fiskehelse, lavere miljøpåvirkning og bedre fiskevelferd.

1.2. Havfarmen Jostein Albert

Havfarmen Jostein Albert er et oppdrettsanlegg, bygget som en offshorekonstruksjon, med stort innslag av skipsteknisk design og systemer. Konstruksjonen har omriss som et skip, men er en åpen rammekonstruksjon med hydrodynamiske egenskaper som en halvt nedsenkbar plattform.

Havfarmen Jostein Albert er 385 meter lang, 59,5 meter bred og maksimal dypgang på 30,7 meter. Havfarmens totale høyde fra bunn til hoveddekk er 37,75 meter. Dette gir et fribord ved operasjonell dypgang på 7,05 meter. Konstruksjonen er fordelt på til sammen 10 dekk, med en total høyde på 52 meter. Havfarmen har kapasitet til å holde 10 000 tonn laks og levetiden uten tørrdokking er beregnet til 25 år. Havfarmen har en forankringsløsning i baugpartiet og ligger fast forankret på svai rundt lokalitetens senterpunkt (turret). Gjennom turreten går også landstrømkabelen, som er hovedenergikilden. I tillegg er havfarmen utstyrt med back-up dieselgeneratorer som har kapasitet til å dekke hele behovet om bord. Havfarmen er fortøyd med 11 ankere som hver veier 22 tonn. Hvert anker har en holdekraft mellom 300 og 450 tonn. Ankrene er utplassert i tre grupper, med fire anker per gruppe mot nord-vest og sør-vest og en gruppe med tre ankre mot øst. Det er omtrent 650 meter fra ankrene til lokalitetens senterpunkt. Selve havfarmen vil bevege seg innenfor en sirkel med radius på 450 meter fra dette.

Figur 1. Oversikt over havfarmen Jostein Albert.

Samtlige merder er oppbygd på tilnærmet lik måte med merde 1 plassert fremst i baugen og merde 6 nærmest akter. Skipets lengderetning har stålkonstruksjoner (langskips-, tverrskips og diagonalgater) som gir struktur til de seks merdene hvor nøtene er plassert. Ved hver merde er det et nedsenket nothåndteringsdekk (ett dekk under hoveddekk) hvor nothåndteringssystemet er plassert. Et beskyttelsesskjørt i stål er integrert i konstruksjonen (ned til 10 meters dyp) for å beskytte fisken mot de største vannakselerasjonene, samt beskytte nøtene mot flytende objekter.

Figur 2. Oversikt over overbygget som blant annet inneholder boenhet og bro.

Ved anleggets aktre del ligger innredningen. Denne består av tre dekk, samt hoveddekk under disse. Her finnes blant annet boenhet for mannskapet, bro og tekniske rom. Se tabell 1 for fullstendig oversikt over innholdet. Havfarmen har en kapasitet til en besetning på 10 og 12 passasjerer.

Tabell 1. Oversikt over innhold i innredningen.

Dekk 1	Dekk 2	Dekk 3
Tankrom	Lugarer med bad	Bro
Teknisk rom	Messe	Konferanserom
Garderobe	Bysse	
Laboratorium	Provisjonsrom	
Hovedtavlerom	Dagrom	
Teknisk rom	Garderobe med badstu	
Garasje og verksted	Treningsrom	
	Vaskeri	
	Instrumentrom	
	Lager	
	Teknisk rom	
	Nødgeneratorrom	
	Bunkerstasjon	
	Kontor	

1.3. Lokaliteten 39777 Ytre Hadseløya

Figur 3. Oversiktskart for området ved lokaliteten Ytre Hadseløya. Kart fra www.kart.fiskeridir.no.

Havfarmen Jostein Albert er installert og i drift på lokalitet 39777 Ytre Hadseløya, ca. 5 km sørvest for Hadseløya i Hadsel kommune i Vesterålen. Anleggsområdet ligger over en dybde på 120-140 meter. I nordvest og sørøst er lokaliteten noe beskyttet av holmer og skjær, mens det mot sørvest er åpent, med grunneste dyp 90-110 meter.

Figur 4. Oversiktsbilde av havfarmen Jostein Albert på lokaliteten Ytre Hadseløya, sett mot sørvest.

Lokaliteten har en dimensjonerende signifikant bølgehøyde (Hs) på 5,9 meter, og dimensjonerende strømfart på 0,55 m/s, i henhold til NS 9415. De største miljøkreftene opptrer fra vest, mens påvirkning fra andre retninger (i særdeleshet nordøst til sørøst) ikke vil gi opphav til dønninger, og dermed lavere miljølaster på lokaliteten. Gjennomsnittlig strømfart på tre meters dyp er målt til 10 cm/s, med hovedretning nordvest og sørøst. Det er beregnet at Hs vil være lavere enn to meter i overkant av 90 % av tiden, og for det meste være under fire meter.

1.4. Dokumentasjon av Havfarm 1-prosjektet

I henhold til tilsagnet om utviklingstillatelsenes målkriterium 5.a er det utviklet et dokumentasjonsprogram (Nordlaks rapport 02 – 2020, vedlegg A) som har til hensikt å dokumentere erfaringer og resultater i prosjektet. Programmet beskriver hvilke målinger og parametere som inngår. På oppvekstlokalitetene 11162 Bullatholmen og 29096 Grøttøy ble det gjennomført et eget program for dokumentasjon av fiskehelse og - velferd. Det ble også gjennomført lignende dokumentasjon på ytterligere en lokalitet (32697 Steilo). Dette med hensikt å sikre god mulighet for å kunne flytte godt dokumentert og frisk fisk inn i havfarmen dersom det skulle oppstå problemer hos deler av fisken før overføring.

Med denne sluttrapporten søker Nordlaks å presentere en helhetlig dokumentasjon av hvordan havfarmteknologien har prestert innenfor de aktuelle fagfeltene. For å dokumentere effekter på det ytre miljø, samt biologisk, driftsmessig og teknisk prestasjon, har Nordlaks samarbeidet med ekstern kompetanse som Veterinærinstituttet, Åkerblå, Akvaplan-niva, NSK med flere. For Veterinærinstituttets prosjektoppsummering, se vedlegg A.

Det er utformet en prosedyre for dokumentasjonsprogrammet som har til hensikt å være styrende dokument. Etter hver arbeidsoperasjon som inngår i det særegne risikobildet for havfarmen (eksempelvis ballastoperasjoner, lusetelling, fôrmottak) har mannskapet fylt ut et rapportskjema hvor man registrerer om den aktuelle operasjonen har medført hendelser som følge av havfarmens særegenheter, for biologisk, driftsmessig eller teknisk prestasjon, samt det ytre miljø.

1.5. Samarbeidspartnere og leverandører

Havfarmprosjektet skaper store ringvirkninger, særlig i Nord-Norge og innebærer et potensielt stort produksjonsmessig løft for Nordlaks. Dette innebærer også behov for utvidet kapasitet innen både settefisk, brønnbåt, slakteri og videreforedling samt støttefunksjoner og utstyr til selve havfarmen. Nordlaks investerer flere milliarder kroner i havfarmene og i andre fornyelser langs hele vår verdikjede. Dette er det største løftet i selskapets historie, og vil bidra til etableringen av nye arbeidsplasser og øke allerede betydelige ringvirkninger fra Nordlaks sin aktivitet. Se kapittel 5 for videre omtale av dette.

Havfarmprosjektet er et nordnorsk prosjekt, med utgangspunkt i lokalt eide Nordlaks og NSK Ship Design. Av leverandørene i prosjektet er det en overvekt av norske selskaper, til tross for at enheten ble satt sammen i Kina. Norsk leverandørindustri er verdensledende både innenfor maritime og oppdrettstekniske løsninger, og havfarmprosjektet bidrar til å bringe disse miljøene sammen for å utvikle nye løsninger i grensesnittet mellom maritim næring og havbruksnæringen.

Tabell 2. Oversikt over samarbeidspartnere og leverandører til Havfarm 1.prosjektet.

Partner/Leverandør	Oppgave
Maritimt/Offshore	
Yantai CIMC Raffles Offshore Ltd	Verft
Boskalis	Transport av havfarm fra Kina
Siem Offshore	Utlegg av fortøyning, float-off og hook-up)
DOF2	Float-off og Hook-up
Boa	Float-off og Hook-up
Seaworks	Utlegg av landstrømskabel
Seasystems (tidl- Scana)	Turret, fortøyning og landstrømskabel, inkl. Koordinering av utlegg/float-off/hook-up
Nexans	Kabel
Vryhof	Anker
Ramnäs	Kjetting
SAP	Skrogovervåking
Kongsberg	Sensorikk til skrogovervåking
Siemens	Kraft- og automasjonspakke
Scanmatic	Sensorer til kjettingovervåking - gjennom Scana
Techano	RMSU og dekkskran
7Waves	Strukturdesign
First Ocean Associates	Koordinering/ledelse av utlegging av fortøyning
Semar	Koordinering/ledelse av float-off og hook-up operasjon
Core Marine	Koordinering/ledelse av kabelutlegging
DNV GL	Verifikasjon/klasse
Servi	Notvinsjer
Jotun	Maling
Rolls Royce	Tunnelthrustere. Nå kongsberg
Skuld	Forsikring
Fearnleys/MIL Shipping	Megler
Premas	Vedlikeholdssystem
Havbruk	
Akva Group	Fôringsanlegg
Selstad	Nøter og nothåndtering
Optimar	Dødfiskanlegg
Lift-up	Dødfiskopptak
Berg Elektro	Bistand til ferdigstilling
Lofoten Elektro	Bistand til ferdigstilling
Skarvik	Bistand til ferdigstilling
Momek	Bistand til ferdigstilling
Skretting	Fôr, og solbriller
Åkerblå	Fiskehelsetjenester
Akvaplan-niva	Miljøtjenester
Skarsvaag	Skyssbåt
Sintef Ocean	Modellforsøk
Hordafôr	Ensilasje/beredskap
Ocein	Notvasker
Blueye	Inspeksjons-ROV
Pump Supply	Pumpepakke til notvasker

Multiconsult	Designbidrag innenfor flere felt
Fugro Oceanor	Leverandør av bølgebøye
NSK Ship Design	Design
Aanderaa/Xylem	Oksygenmålere
SAIV	CTD-sonde
SJ Dykk	Dykkertjenester ifm utlegging av kabel
Dykkerkompaniet	Dykkertjenester ifm. ferdigstillelse
Veterinærinstituttet	Faglig ansvar for dokumentasjonsprogram – biologisk prestasjon
Øvrige leverandører	
Allweiler	Ballast- og lensepumper, brannsystem
Norwatwer	RO anlegg
Brødrene Dahl	Ventiler
Jets	Sanitærsystem inkl. Kloakkbehandlingssystem
Viking Norsafe	Redningsutstyr og Fast Daughter Craft
IMS	Vanntette skyvedører

2. Prosjekterings- og byggefase, transport og installasjon

Sommeren 2015 startet Nordlaks, i samarbeid med NSK, arbeidet med å utvikle havfarmkonseptet. Kort tid etter at det ble åpnet for søknader var Nordlaks den første søkeren om utviklingstillatelser til Fiskeridirektoratet. Fokuset i søknaden var på innovasjonspotensial, driftsfilosofi og hvordan prosjektet bidro til å løse de utfordringer som var skissert som kriterier for tildeling av tillatelser.

Nedenfor gis en oppsummering av Nordlaks sin interne rapport (Nordlaks rapport 03 – 2020) om prosjekterings- og byggefasen av havfarmen Jostein Albert. I tillegg er det gitt en summarisk fremstilling av transportetappen fra verftet i Kina, til og med utlasting og oppkobling på lokaliteten Ytre Hadseløya.

2.1. Prosjektering og design

I den innledende prosjektfasen var fokus på avklaring av rammebetingelser og dimensjoneringskriterier, samt prinsipielle avklaringer av teknisk art knyttet til vesentlig utstyr som nøter og fortøyning. Offentlige myndigheter samt et bredt spekter av fagmiljøer ble også tidlig involvert for å definere rammer, samt gi innspill og tilbakemelding som dannet grunnlaget for det videre designarbeidet.

Prosjekteringsfasen inneholdt videre tekniske utredninger, beregningsmetodikk, kartlegging av biologiske behov, vannutskifting, notdesign med mer. Utviklingen av arrangement og funksjoner medførte i enkelte tilfeller at prosjektet krevde utstyr som ikke eksisterte på markedet. Dette måtte designes og utvikles spesielt for havfarmen. Nothåndteringssystemet og kranvognene som transporterer utstyr internt på havfarmen er eksempler på spesialdesign gjort av våre underleverandører basert på prosjektkrav. Andre deler av utstyret har opphav fra blant annet offshorebransjen, men er videredesignet spesielt for havfarmen.

For å oppnå et sikkerhetsnivå tilsvarende eller bedre enn kravene til teknisk standard for flytende oppdrettsanlegg (Nytekforskriften og NS 9415) ble det tidlig bestemt at det var fornuftig å bruke en klassegodkjenningsmetode som basis. Det ble også bestemt at å basere seg på kjente og etablerte krav fra olje og gass (offshore), samt maritim næring ville gi et solid utgangspunkt for en sikker design- og verifikasjonsprosess. Det viste seg tidlig at det var nødvendig å involvere en uavhengig tredjepart med relevant kompetanse og erfaring som skulle ha innsyn i alle vesentlige deler av design- og byggeprosessen. Siden vurderingen var at det var mest fornuftig å følge en klassemetodikk, samtidig som akvakulturregelverk knyttet til sertifisering osv., falt valget om uavhengig tredjepart på DNV GL (nå DNV).

2.2. Byggefase

13. februar 2018 signerte Nordlaks kontrakt med det kinesiske verftet Yantai CIMC Raffles Offshore Ltd., heretter kalt YCRO, om design, konstruksjon og levering av havfarmen Jostein Albert. Videre påtok YCRO seg ansvaret for DNV GL sin verifisering, samt nødvendig og relevant produktsertifisering i henhold til Nytekforskriften. Selskapet hadde tidligere bygget noen mindre akvakulturkonstruksjoner for bruk i kinesisk farvann, samt vært involvert i tidlig fase av andre prosjekter med norske aktører. Ansvaret for koordinering av leverandører av utstyr og hovedkomponenter var også lagt på verftet. Stålkutteseremonien fant sted 6. november 2018.

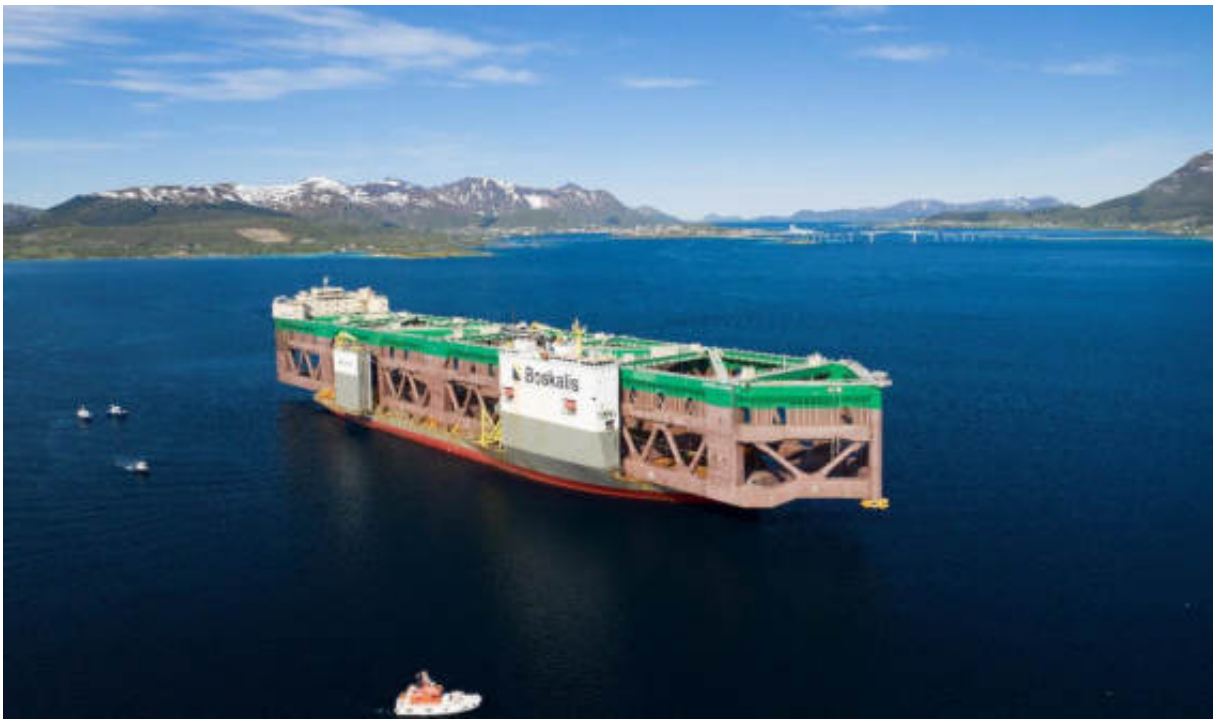
Figur 5. Oversiktsbilde over verftet i Yantai.

Gjennom byggefasen har det vært samlet kompetanse fra maritime næringer (offshore og skip) og havbruksnæringen. Nordlaks etablerte tidlig en organisasjon med erfaring og kompetanse innen oppfølgning av byggeprosjekter, for å sikre gjennomføring i henhold til Nordlaks sine interesser og intensjoner. Det ble ansatt to personer for å lede oppfølgingen, tiltenkt tekniske driftsstillinger etter levering. I organisasjonen som etter hvert ble etablert i Kina ble det også benyttet innleide kinesiske inspektører, med erfaring fra YCRO eller tilsvarende verft andre steder i Kina. Som kvalitetsansvarlig leide vi til slutt inn en kroatisk inspektør med omfattende erfaring fra YCRO og bygging av komplekse offshore- og maritime konstruksjoner. Oppfølgning av verftet i Kina har vært avgjørende for sluttproduktets kvalitet.

Hovedfokus under oppfølgning har vært på stål og maling/overflatebehandling. Oppfølgingen av installasjon av systemkomponenter var til dels krevende grunnet omfanget av utstyr, kabling med mer, men særlig fordi ingen vestlige leverandører hadde anledning til å møte opp i Kina under installasjon og igangkjøring på grunn av Covid-19 pandemien. Etter kontrakten skulle havfarmen være klar til operasjon ved levering til Norge. Imidlertid bidro Covid-19, samt mangel på tilstedeværelse av vestlige leverandører – på toppen av øvrige forsinkelser – til at det meste av igangkjøringen som skulle vært gjort i Kina måtte utsettes til etter levering i Norge. Restriksjonene knyttet til Covid-19 gjorde også at verftet ikke hadde mulighet til å stille opp i Norge for å ferdigstille enheten. Dette førte til at verftet ba Nordlaks om å overta dette ansvaret, noe Nordlaks gjorde.

2.3. Transport og installasjon

Havfarmen ble transportert av transportskipet Boka Vanguard (tidligere Dockwise Vanguard) og forlot Yantai 9. april 2020. Transporten foregikk som planlagt og uten komplikasjoner, og det var ingen værforhold i nærheten av de begrensningene som var satt. Dette medførte at transporten foregikk innenfor estimert tidsvindu og havfarmen ankom Hadsel den 13. juni.



Figur 6. Havfarmen Jostein Albert ombord på lasteskipet Boka Vanguard. Bildet er tatt like etter ankomst til Hadselfjorden, hvor utlastingen skulle skje, med utsikt til Nordlaks' hovedkontor på Børøya i bakgrunnen.

Fortøyningene ble installert omtrent et år før havfarmen ankom. Gjennomføringen av utlegging og oppkobling ble planlagt og ledet av leverandøren av fortøyningene, Seasystems (tidligere Scana Offshore) og deres underleverandører. Oppkoblingen til de forhåndsutlagte fortøyningene og strømkabelen gikk etter planen, sammen med DNV GL om bord i installasjonsfartøyet. Man hadde valgt en konservativ tilnærming til dimensjonering av slep/båter involvert i denne operasjonen, noe som gjorde at operasjonen ble gjennomført trygt og effektivt og uten uønskede hendelser.

3. Arbeidspakker

I dette kapitlet vil vi oppsummere resultatene og vurderingene innenfor områdene biologisk-, driftsmessig- og teknisk prestasjon, samt havfarmens påvirkning på det ytre miljø. Rapporten baserer seg på data og resultater fra perioden mellom utsett av fisk i havfarmen Jostein Albert, og fram til slakt. Som vedlegg er det blant annet inkludert en rapport som beskriver postsmoltfasen, samt forundersøkelser av miljøtilstanden på lokaliteten.

3.1. Havfarmens biologiske prestasjon

Hensikt: Dokumentere faktorer relatert til fiskehelse og fiskevelferd, samt fiskens biologiske prestasjon i havfarmen med hensyn til særegne løsninger og utfordringer knyttet til havfarmteknologien. I tillegg er det ønskelig å prøve og identifisere hvilke velferdsparametere som er avgjørende for god kontroll ved denne typen teknologi.

3.1.1 Innledning

Havfarmen Jostein Albert er en ny type konstruksjon og metode for oppdrett av laks. Anlegget er plassert på lokaliteten Ytre Hadseløya, en lokalitet som er mer væreksponert enn tradisjonelle lokaliteter. Fisken i anlegget vil kunne utsettes for større krefter når det gjelder strøm og bølger, enn det som er vanlig fra tradisjonell drift, noe som kan gi både positive og negative konsekvenser for fiskens helse, fiskevelferd og prestasjon. Da anlegget ligger på svai, vil orienteringen mot innkommende krefter som strøm, bølger og vind bestemmes av naturkreftene. Forventningen var at dette ville medføre at anlegget store deler av tiden ble liggende på langs med hovedstrømsretningen, noe som igjen kunne forventes å påvirke merdemiljøet negativt, særlig i de merdene som ligger lengst nedstrøms. Dette forholdet er analysert gjennom dokumentasjonsprogrammet, og beskrevet i kapittel 3.3. For å sikre tilstrekkelig vannutskiftning og adekvat vannkvalitet ble det derfor installert totalt seks thrustere som kan brukes etter behov (se kapittel 3.2.2.2).

Velferdsindikatorer er direkte eller indirekte målinger og vurderinger som blir benyttet som verktøy for å kunne måle fiskevelferd. Velferdsindikatorer sier noe om hvorvidt fisken får oppfylt sine velferdsbehov eller ikke (Noble et al. 2018). Slike velferdsindikatorer kan være fiskebaserte (individbaserte og gruppebaserte) eller miljøbaserte. Gjennom havfarmens første driftssyklus har vi benyttet flere velferdsindikatorer for å kunne gi en så helhetlig oversikt over fiskevelferden i havfarmen som mulig. De ulike fiskebaserte- og miljøbaserte velferdsindikatorene er presentert i dokumentasjonsprogrammet, se vedlegg A. Målinger av fiskebaserte velferdsindikatorer er gjennomført i perioden fra utsett i havfarmen fram til oppstart av utslakting i uke 11, 2021. Perioden ble satt i samråd med Veterinærinstituttet for å sikre et likt sammenligningsgrunnlag mellom merdene, uten de feilkilder som ulikt tidspunkt for prøvetaking ville medført. Veterinærinstituttet og Nordlaks vurderte videre at resultatene som forelå på dette tidspunktet var tilstrekkelig til å gjennomføre en helhetlig evaluering av prosjektet. Miljømessige velferdsindikatorer samt gruppebaserte velferdsindikatorer (produksjonsresultater) er, så langt det har vært hensiktsmessig og praktisk mulig, vært samlet inn helt fram til utslakt.

Resultater og erfaringer som blir presentert i dette kapitlet baserer seg på innrapportert data fra anleggets mannskap, data fra intern og ekstern sensorikk, samt undersøkelser og rapporter fra autorisert fiskehelsepersonell i fiskehelsetjenesten Åkerblå og i Veterinærinsituttet, samt internt i Nordlaks. Resultatene er systematisert og vurdert i samarbeid med Veterinærinsituttet.

3.1.2 Post-smoltfasen på oppvekstlokalitetene

Det ble gjennomført et eget program for dokumentasjon av fiskehelse og – velferd på post-smoltlokalitetene 29096 Grøttøy og 11162 Bullatholmen. Veterinærinsituttet har utformet en rapport som beskriver fiskens biologiske prestasjon (vedlegg B). Oppsummert hadde fisken på Bullatholmen og Grøttøy hovedsakelig god tilvekst, lav fôrfaktor og lav til normal dødelighet i løpet av produksjonen. Smittekartleggingen avdekket bærerstatus av flere agens, som er vanlig forekommende blant oppdrettslaks i sjø. Eksempler på dette er piscint reovirus (PRV) og piscint myokarditttvirus (PMCV), relatert til sykdommene hjerte- og skjelettmuskelbetennelse, (HSMB) og kardiomyopatisyndrom, (CMS). Registrerte miljødata viste enkelte perioder med suboptimale oksygenverdier, men hovedsakelig gode forhold på lokalitetene. Det ble hovedsakelig rapportert om normal adferd og få avvikere. Den siste tiden før flytting var dødeligheten normalt lav i alle merdene, og lusestatus var god. Fiskens generelle helsestatus ble vurdert som god ved tidspunkt for overflytting til havfarmen.

3.1.3 Utsett av fisk til havfarmen

Seks uker etter at havfarmen ble levert i Vesterålen ble den første fisken satt ut i merd 1 og 2. Det ble i perioden 25. juli – 6. september satt ut totalt 2 332 111 laks med en snittvekt på 1 537 gram. Fisken ble fordelt i totalt 6 merder. I tilknytning til prosjektet ble det bestilt to nye brønnbåter med bl.a. spesialtilpasset laste-/lossesystem, system for dynamisk posisjonering (DP) og egnet teknologi for ikke-medikamentell behandling (IMM). På grunn av forsinkelser relatert til Covid-19 pandemien ble imidlertid prosjektets første brønnbåt, M/S Bjørg Pauline, forsinket fra verftet og kunne ikke bistå i flytting av fisken. Samtlige transporter ble gjennomført med brønnbåten M/S Inter Nord.

Figur 7. Brønnbåten M/S Inter Nord som ankommer Ytre Hadseløya med fisk.

Det ble rapportert om godt vær og fine forhold under transportene. Hovedsakelig gikk lasting og lossing som planlagt. Det oppstod noen mindre utfordringer med fiskekoblingen, men utenom dette ingen situasjoner som kunne medført konsekvenser for fiskevelferd, mannskap eller utstyr.

3.1.4 Fiskebaserte velferdsindikatorer

Det har blitt benyttet visuelle registreringer og fysiske prøver for å dokumentere fiskebaserte velferdsindikatorer i løpet av den første driftsfasen i havfarmen. Resultatene fra adferds- og velferdsregistreringer, gjellevurderinger, helsestatus, beregnet tilvekst, samt resultater fra blodprøvene er presentert i egne avsnitt under.

3.1.4.1 Adferdsregistreringer

Det generelle inntrykket av adferden til fisken, samt antall avvikere, har med et fåtalls unntak, blitt vurdert og registrert daglig i perioden fra og med 13. august. Merdene 3 og 4 ble satt ut i perioden 29. august – 6. september og adferdsregistreringen for disse merdene startet opp umiddelbart etter utsett. Adferden beskriver det generelle inntrykket av fiskens oppførsel og angir hovedinntrykket når man observerer fisk i merden. Prosedyren for adferdsregistreringen er den samme som ble benyttet på post-smoltlokalitetene hvor mannskapet i løpet av 30 sekunder har observert fiskens adferd, samt antall avvikere fra et bestemt punkt ved merden. Adferden har blitt registrert som enten «normal» eller «avvikende» i eget skjema. I tilfeller hvor registrering ikke har blitt gjennomført grunnet uvær eller tilvarende, er dette også registrert. Resultatet fra registreringene er presentert i vedlegg B.

Generelt ble det registrert normal adferd og få avvikere i løpet av tidlig høst/begynnelsen av perioden. Fra og med oktober ble det imidlertid registrert en negativ utvikling, med økende antall avvikere og økt andel registreringer av unormal adferd. For merde 3-5 er registreringene av avvikende adferd vesentlig høyere enn for øvrige merder.

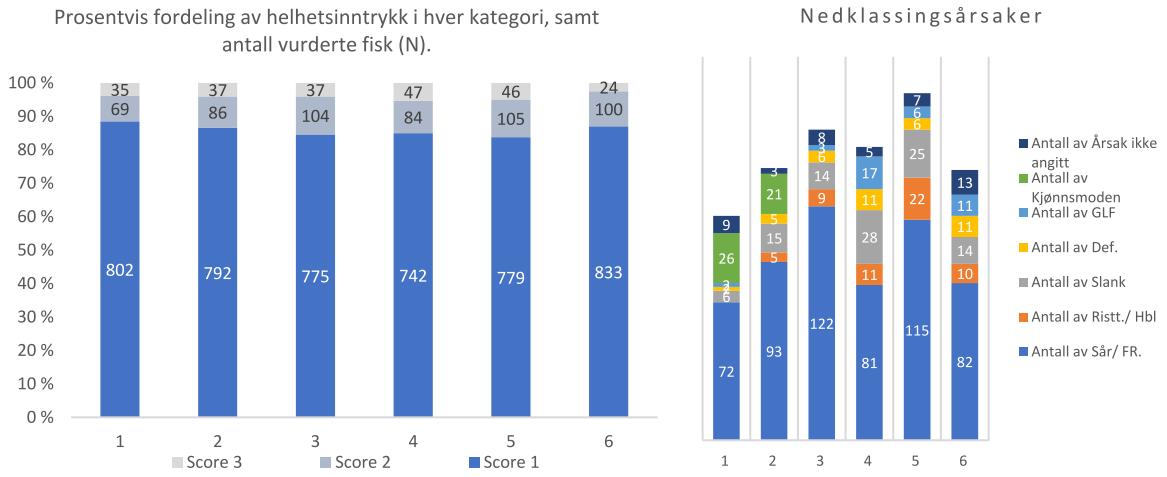
Resultatene tilsier at det har vært en negativ utvikling med hensyn til adferd og avvikere i løpet av perioden. Dette sammenfaller med utvikling av sår, samt gjelle- og hjertesykdom og samsvarer også med funn fra øvrige undersøkelser, eksempelvis velferdsregistringer og dødelighetsutvikling, se egne avsnitt.

3.1.4.2 Velferdsregistreringer

Forenklet velferdsscoring, basert på forekomsten av ytre avvik hos fisken, er vurdert ukentlig i forbindelse med lusetelling, samt ved månedlige undersøkelser og prøveuttak i forbindelse med dokumentasjonsprogrammet. Velferden er vurdert etter en skala fra 1 – 3, hvor økende score indikerer dårligere fiskevelferd. Skalaen er basert på Fishwellplakaten (Noble et al. 2018). I en forenklet velferdsscoring brukes et helhetsinntrykk/førsteinntrykk av fisken, og disse deles grovt i tre kategorier:

- Score 1: Normal kroppsfasong og lite skader/forandringer – en «vanlig» oppdrettslaks. Avhelte sår og finneskader, andre små lyter og skader som er vanlig hos oppdrettslaks. Dessuten oppstår mindre skader også ofte i forbindelse med håving etc. relatert til undersøkelse av fisk. Tilsvarer score 0 – 1 på Fishwellplakaten.
- Score 2: Tydelig endret kroppsfasong og/eller tydelige skader/forandringer. En fisk med helhetsinntrykk 2 har trolig bare midlertidig eller lett nedsatt velferd og vil ha rimelig mulighet for å bli frisk. Tilsvarer score 2 på Fishwellplakaten

- Score 3: Markant endret kroppsfasong og/eller store forandringer/skader. En fisk med helhetsinntrykk 3 har trolig sterkt nedsatt velferd og bør avlives for å hindre ytterligere lidelse. Tilsvarer score 3 på Fishwellplakaten.



Figur 8. Til venstre: Prosentvis fordeling av helhetsinntrykk i hver score, samt antall vurderte fisk (n). Til høyre, Årsakene til nedklassing (score 2 og 3) av velferd, samt antall fisk i hver kategori (n). (GLF = gjellelokkforkortelse, Def = skjelettdeformitet, Ristt./Hbl. = risttap og/eller hudblødning, Sår/FR = sår og/eller finneråte). Årsak til forskjellen i antall mellom figurene er at enkelte fisker er nedklasser av flere årsaker.

I perioden august – mars ble gjennomført forenklet velferdsscoring på totalt 5004 fisker. Antallet fisk som ble vurdert har hovedsakelig vært 30 per merde. I uke 11 2021 ble det undersøkt 100 fisk per merd. Som vist av figur 8 har det generelt vært gode helhetsinntrykk av fisken. 86.6 % av fisken ble vurdert til score 1, 9.3 % ble vurdert til score 2, mens 4.1 % av undersøkt fisk ble vurdert til score 3. Fisk med score 3 ble tatt ut av produksjonen og avlivet på en velferdsmessig forsvarlig måte. Den relative andelen fisk med score 2 og score 3 økte imidlertid noe utover senhøsten og vinteren (se vedlegg B for detaljert fremstilling på merdnivå).

Av figur 8 fremkommer det at sår og finneråte er hovedårsak til nedklassing under velferdsvurderingene. De øvrige kategoriene; kjønnsmodning, gjellelokkforkortelse, risttap og hudblødning, slank, deformitet, er påvist i varierende antall mellom merdene. For eksempel har andelen kjønnsmoden fisk vært størst i merdene 1 og 2 og andelen slanke fisker har vært størst i merdene 4 og 5. En mindre andel fisk ble nedklasset uten at det ble registrert årsak.

Negativ utvikling av velferdsscore sammenfaller med sykdomsutviklingen (se kapittel 3.1.1.4) som oppstod utover høsten. Prosentvis fordeling av score 2 og 3 antas å være unaturlig høy, da undersøkt fisk er innfanget med avkastnot eller storhåv fra de øverste meterne av merden. Svekket fisk oppholder seg ofte i de øverste meterne av vannsøylen og de utviser ikke normal fluktrespons ved fanging.

3.1.4.3 Gjellevurderinger

Det har blitt utført månedlige gjellescoringer på minimum 10 fisk fra hver av 1, 3 og 6. Gjellene ble vurdert makroskopisk av mannskapet og fiskehelsepersonell, og bedømt etter en standard total gjellescore skala fra 0 – 5, hvor økende verdier indikerer økende grad av gjelleskade. Score 0 er normale gjeller, mens score 5 er svært uttalte forandringer. I tillegg ble 10 vevsprøver fra andre gjellebue, fra de samme fiskene som ble visuelt vurdert, sendt til Veterinærinstituttet i Harstad for histologisk vurdering. Resultatet fra den histologiske undersøkelsen ble gitt i en femdelt skala som graderer omfanget av patologiske forandringer fra «normal» via «svært sparsom» til «sparsom», «uttalt» og «svært uttalt». I tillegg ble det i prøvesvarene angitt antall gjellebuer med påvist Epiteliocystis.

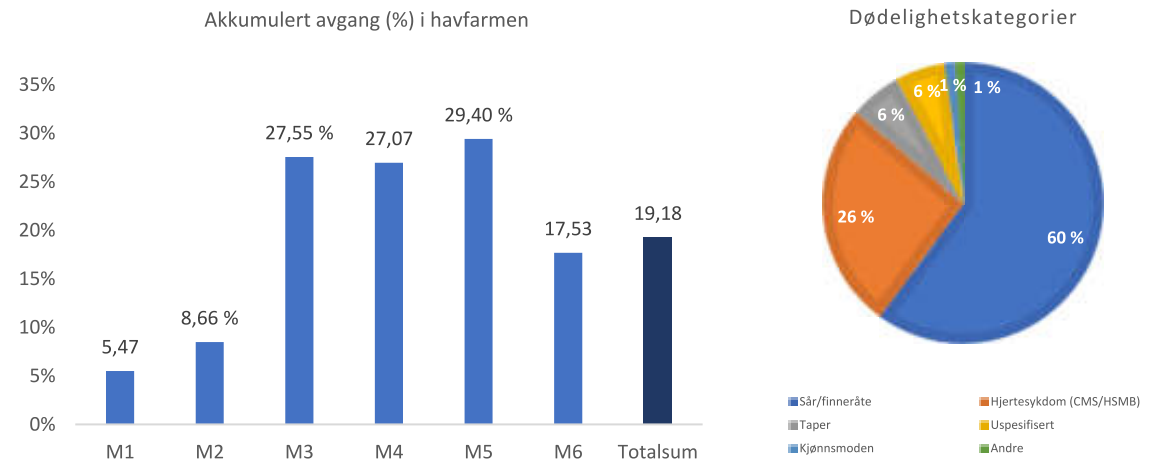
En grafisk fremstilling av resultatene er inkludert i vedlegg B. Det ble observert både mikroskopiske og makroskopiske forandringer på gjellene i løpet av perioden. Ved de visuelle (makroskopiske) gjellescoringene ble det observert en negativ utvikling i gjellescoringer i løpet av høsten. Fordelingen av lette og moderate skader var noenlunde stabil utover vinteren. Det var ingen observasjoner av gjelleskader score 4 eller 5. Av de histologiske resultatene fremgår det at majoriteten av gjellene er vurdert til å ha fra «svært sparsomme» til «moderate» forandringer. Kun noen få gjeller har blitt vurdert til å ha hatt «uttalte» forandringer, mens ingen har blitt vurdert til å ha hatt «svært uttalte» forandringer. Forandringen omtales i prøvesvarene stort sett som proliferativ gjellebetennelse (PGI) med mindre variasjoner. Resultatene viser en tendens til at fisken fra merde 3 generelt har hatt litt mer omfattende forandringer enn fisken fra merdene 1 og 6. I løpet av høsten ble det påvist epiteliocyster i en del av prøvene, men senhøst og vinter ble det observert en gradvis nedgang i antallet påvisninger. I januar ble det påvist epiteliocyster i 2 av 30 prøver og prøvene fra februar og mars var uten påvisninger.

Resultatene av gjellevurderingene indikerer at fiskens gjellehelse har vært noe nedsatt i løpet av perioden, se kapittel 3.1.1.4 for videre omtale rundt dette. Nedsatt gjellekvalitet støttes også av prøvesvarene fra innsendt materiale i forbindelse med de månedlige helsekontrollene. Videre kan enkelte agens som ble påvist før flytting inn i havfarmen, relateres til nedsatt gjellehelse, blant annet *Branchiomonas cysticola* og poxvirus. Det ble også påvist PGI og Epiteliocystis på fisken før utsett i havfarmen.

3.1.4.4 Helsekontroller, prøveuttak og dødelighet

Helsekontrollene har blitt utført av fiskehelsetjenesten Åkerblå AS i henhold til gjeldende regelverk og havfarmens dokumentasjonsprogram (vedlegg A). Åkerblå har gjennomført totalt 14 besøk til havfarmen, hvorav 10 ordinære helsebesøk, ett akuttbesøk mens øvrige besøk er relatert til oppfølgning av fisk i henhold til dokumentasjonsprogrammet. Et standard helsetilsyn omfatter bl.a. gjennomgang av drift, samt vurdering av dødelighet, miljø og hygiene. I tillegg observeres fisken fra nothåndteringsdekk og/eller diagonaler, og det gjennomføres rutinemessig obduksjon av fisk, og prøveuttak ved behov. Det gis også en vurdering av fiskens velferd i anlegget. Fiskehelsetjenesten har også bidratt i forbindelse med de månedlige prøveuttakene, samt ved sluttuttaket. Død fisk og svimere har blitt tatt ut av produksjonen i tråd med regelverkets krav. For utfyllende beskrivelse av dødfisksystemet og svimeruttak, se kapitlene 3.2.2.3 og 3.2.2.4. Død fisk og svimere har blitt kategorisert og talt manuelt i dødfiskrommet av biologisk kompetent mannskap med opplæring i kategorisering. Korrekt kategorisering av dødfisk ved foreliggende diagnoser har ved behov, og i tidlig fase blitt gjennomført i samråd med fiskehelsepersonell.

Velferdsvurderinger fra helsekontrollene, oversikt over prøveuttak og screeninger er inkludert i vedlegg B. Fiskens velferd har i løpet av de første helsebesøkene blitt vurdert som god. Fra og med slutten av oktober, samt november, ble velferden vurdert som akseptabel, mens den for resterende periode har blitt vurdert som redusert/dårlig for fisk med sår og hjertelidelser. I slutten av september ble viruset som forårsaker hjerte- og skjelettmuskelbetennelse (HSMB), piscint reovirus (PRV) påvist. I tillegg ble det påvist proliferativ gjellebetennelse (PGI) og Epiteliocystis. Dette fra fem fisker fra merde 2. Prøvene ble tatt ut i forbindelse med en forbigående forøket avgang i merden. I forbindelse med helsebesøket i oktober ble det tatt ut prøver til histologi og qPCR fra fem fisk fra hver av merdene 4 og 5. Her ble det påvist både HSMB med koinfeksjon av kardiomyopatisyndrom (CMS), samt Epiteliocystis. HSMB og mistanke om CMS ble også påvist i merde 6 i november, og det ble påvist PGI og Epiteliocystis, samt HSMB/mistanke om HSMB i merde 3. I merde 5 ble det påvist sårbakterier etter utstryk på agar (*M. viscosa, Tenacibaculum sp. og V. wodanis).* I tillegg til dette er det også gjennomført undersøkelser for å avdekke blant annet *infeksiøst lakseanemivirus* (ILAV) i fisk fra merde 2, samt *Desmozoon lepeoptherii*, *Paramoeba perurans* fra merde 4, 5 og 6, samtlige med negativt resultat. Det ble avdekket forekomst av *salmon gill pox virus* (SGPV) i totalt 2/5 prøver fra merde 3 i november. Flere diagnoser og agens påvist i løpet av produksjonsfasen, har tidligere blitt påvist på fisken mens den sto på post-smoltlokalitetene. Fra siste prøveuttak (fem fisker, samtlige merder) var hovedfunn hjertesykdom, samt redusert gjellekvalitet, noe som samsvarer med tidligere funn og påvisninger. For fullstendig liste over påvisninger, se vedlegg B.



Figur 9. Figuren viser akkumulert avgang (%) i havfarmen til venstre, samt dødelighetskategoriene til høyre.

I perioden har det vært en gjennomsnittlig avgang på 19.18 % i havfarmen. Det er til dels stor variasjon mellom merdene, hvorav merde 1 og 2, med henholdsvis 5.47 % og 8.66 %, har klart lavest avgang. Øvrige merder har over 17 % avgang, hvorav merdene 3, 4 og 5 skiller seg negativt ut, med henholdsvis 27.55 %, 27,07 % og 29,40 % akkumulert avgang i havfarmen. Avgangen er hovedsakelig relatert til sårinfeksjon (60 %) og hjertesykdom (26 %). Øvrige kategorier er undermåls (6 %), uspesifisert (6 %), kjønnsmoden (1 %) og andre (1%). Det er imidlertid noen ulikheter i dødelighetskategorier på merdnivå, se vedlegg B.

Resultatene fra helsebesøkene, prøveuttakene, samt dødelighetsutviklingen viser at det har vært en negativ utvikling med hensyn til fiskehelse, og følgelig fiskevelferd, i løpet av perioden. Resultatene samsvarer og støtter hverandre. Det er imidlertid klare forskjeller mellom merdene, både med hensyn til total avgang i havfarmen, samt med hensyn til dødelighetsårsaker. Det er flere faktorer som peker seg ut som mulige årsaker til ulik utvikling mellom merdene i løpet av første driftsfase: De ulike merdene har ulikt opphav (to settefiskanlegg), og fisken i merd 1 og 2 er fra en annen smoltgruppe enn

fisken i de øvrige. Forhold ved oppvekstlokalitetene kan også bidra til å forklare forskjellene i sykdoms- og dødelighetsutvikling mellom merdene. Dette basert på resultatene fra smittekartleggingen ved slutten av oppvekstfasen. Resultatene fra havfarmen, sammenholdt med erfaringer fra tilsvarende fiskegrupper på andre Nordlakslokaliteter, indikerer at ulikt opphav også kan bidra til å forklare forskjellene i sykdomsutvikling mellom merdene.

Utviklingen av dødelighet ser ikke ut til å sammenfalle med perioder med dårlig vær. Med bakgrunn i dødfiskkategorisering, påviste diagnoser og agens fra innsendt prøvemateriale, samt lignende sykdomshistorikk fra samme smoltgruppe fra andre lokaliteter, foreligger det ingen mistanke om at særegne forhold ved havfarmens konstruksjon og/eller lokasjon har bidratt negativt til fiskens helseutvikling. Årsaken er vurdert å være relatert til bærerstatus av normalt forekommende, smittsomme agens i kombinasjon med ulikt smittepress og/eller immunstatus på fiskegrupper med ulikt opphav.

3.1.4.5 Blodkjemi

Klinisk kjemi brukt som velferdsindikator på laks er lite utprøvd, og det finnes lite offentlig tilgjengelig informasjon om emnet. I forbindelse med Havfarm 1-prosjektet har metoden imidlertid blitt vurdert som potensielt interessant, og dermed inkludert i dokumentasjonsprogrammet.

Det ble opprinnelig planlagt å ta ut blodprøver fra minimum 10 fisker fra to merder, men som for gjelleprøvene ble det tidlig bestemt å følge merdene 1, 3 og 6. Prøvene ble sendt inn som helblod eller plasma til ATLA Aquaculture AS, og analysert for fem ulike måleparametere. En nærmere beskrivelse av disse er gitt i tabell 3. Det ble ikke tatt ut blod- og fecesprøver fra merde 1 og 3 i august, men tidlig og sent i september fra merde 1, samt tidlig og sent i oktober for merde 3.

Tabell 3. Tabellen forklarer egenskapene til de ulike blodparameterne.

Parameter	Forklaring
FRAP	*FRAP = ferric reducing ability of plasma* er et mål på antioksidativ kapasitet i blodet. Høye verdier kan indikere at fisken er utsatt for oksidativt stress. Lave verdier er positivt og angir at fisken har en god antioksidativ status.
CRP	*CRP = C-reaktivt protein* er et akuttfaseprotein som øker ved betennelsestilstander.
CK	*CK = kreatinkinase* er et enzym som hovedsakelig finnes i muskelceller. Normalt finnes det lav konsentrasjon i blodet, mens høye nivåer indikerer muskelskade.
ALAT	*ALAT = alanin transaminase* er et enzym som normalt finnes inne i cellene, hovedsakelig i leverceller. Normalt finnes det lav i konsentrasjon i blodet, mens høye nivåer kan indikere leverskade.
ASAT	*ASAT = aspartat transaminase* er et enzym som normalt finnes inne i cellene, hovedsakelig i lever- og muskelceller. Normalt finnes det lave konsentrasjoner i blodet, mens høye verdier kan indikere organskade.

For ordens skyld påpekes det at Nordlaks ikke kjenner til absoluttverdiene for blodprøveresultatene, men har fått tilsendt prøvesvar etter hvert uttak med gjennomsnittsverdier per merd fra 1 -10, hvor score 1 – 3 ansees som gode verdier, score 4 – 6 ansees som noe forhøyet, mens score 7 – 10 ansees som forhøyet og kan indikere skade og/eller sykdom.

Resultatene fra utførte blodprøveanalyser (grafisk presentert i vedlegg B) viser at det generelt har vært relativt stabile og lave nivåer av de ulike blodprøveparametere, noe som indikerer at fisken har hatt god antioksidativ stauts, lave betennelsesnivåer og god leverstatus. I oktober og november ble det

målt en noe negativ utvikling for enzymene CK og ASAT fra fisk i merde 1 og 3. Forhøyede nivåer av CK og ASAT indikerer muskelskade og organskade. I løpet av høsten har det vært forøket avgang av fisk i flere merder relatert til hjertelidelser noe som vurderes som mulig årsak til stigning av disse enzymene. Det er imidlertid ingen åpenbar sammenheng mellom disse resultatene og øvrige biologiske prestasjoner.

3.1.4.6 Produksjonsresultater

Antall fisk satt ut og slaktet, fiskens snittvekt ved start og slakt, fôrforbruket, dødeligheten og sjøtemperaturen er brukt som utgangspunktet for beregning av fôr- og tilvekstfaktorer for perioden fra utsett på postsmoltlokalitetene til slakt fra havfarmen. Nøkkeltall for produksjonen av havfarmfisken er oppsummert i tabell 4

Biologisk fôrfaktor (FF_{bio}) angir hvor mye fôr (kg) som ble utfôrt i gjennomsnitt per kg vektøkning hos fisken. Biologisk fôrfaktor inkluderer også vekten på fisken som døde underveis i produksjonen. Den økonomiske fôrfaktor ($FF_{øko}$) inkluderer ikke mengden død fisk underveis i produksjonen, slik at denne faktoren bare tar hensyn til mengden fisk ved produksjonens slutt, i forhold til mengden fôr tildelt. Temperaturkorrigert vekstfaktor, Vekstfaktor 3 (VF3), er en verdi som beskriver tilveksten over en periode og som også inkluderer gjennomsnittstemperatur i beregningen. Dette slik at sammenligning av tilvekst mellom ulike grupper fisk er enklere. De ulike faktorene og vekstraten er beregnet som vist under.

$$FF_{Bio}=\frac{Utfôret\ mengde}{BMslutt+BMdøde-BMstart}$$

$$FF_{Øko}=\frac{Utfôret\ mengde}{BMslutt-BMstart}$$

$$VF3=\frac{((Snittvekt\ slutt)^{\frac{1}{3}}-(Snittvekt\ start)^{\frac{1}{3}})\times 1000}{Snitttemperatur\times dg}$$

Tabell 4. Nøkkeltall havfarmfisk. Dato start er dato for første fisk satt ut i aktuell merd på postsmoltlokalitetene. Dato slutt er siste fôringsdag på Havfarmen. Antall dager dekker perioden mellom start- og sluttdato. Vekt start er vekten (gjennomsnitt) fisken ble registrert med ved utsett. Vekt slutt er gjennomsnittsvekten (rund) som ble beregnet ut fra sløydvekt med sløyesvinn på 17 %. Antall start er beregnet som summen av Antall slutt (slaktet antall) og antall døde. Akk. døde er den akkumulerte dødeligheten i prosent av Antall start. Vekt døde er den totale vekten av død fisk. Biomasse start er Antall start multiplisert med Vekt start. Biomasse slutt er den summerte mengden slaktet fisk korrigert for sløyesvinn (17 %). Fôr er antallet kg gitt fisken i de ulike merd-gruppene, fra utsett til slakt. Temp snitt er gjennomsnittstemperaturen i sjøen i perioden fiskegruppene ble fôret. VF3 er temperaturkorrigert vekstfaktor, FF_{bio} er den biologiske fôrfaktoren mens $FF_{øko}$ er den økonomiske fôrfaktoren. Superior er den prosentvise andelen (antall) av fisken som var av superior kvalitet ved slakt.

	M1	M2	M3	M4	M5	M6
Dato start	14.08.2019	15.08.2019	23.10.2019	01.11.2019	29.10.2019	12.10.2019
Dato slutt	20.05.2021	06.05.2021	17.04.2021	16.03.2021	29.03.2021	05.05.2021
Antall dager	645	630	542	501	517	571
Vekt start, g	90	86	142	113	133	101
Vekt slutt, g	6687	5453	4398	3721	3954	4687
Antall start	387943	408657	370117	416045	426148	393772
Antall slutt	360965	370893	254717	278539	285330	310769
Akk døde, %	7,0	9,2	31,2	33,1	33,0	21,1
Døde, kg	127809	187372	380031	324397	363839	280934
Biomasse start, kg	34915	35145	52557	47013	56678	39771
Biomasse slakt, kg	2247619	2131584	1161347	1064540	1169434	1510000
Fôr, kg	2914439	2902625	1662856	1523100	1678344	2092538
Temp snitt, °C	7,4	7,4	7,1	7,2	7,1	7,0
VF3	3,02	2,82	2,92	2,96	2,91	3,02
FF_{Bio}	1,25	1,27	1,12	1,14	1,14	1,19
$FF_{Øko}$	1,32	1,38	1,50	1,50	1,51	1,42
Superior %	75,6	70,8	42,2	78,6	73,0	57,1

Basert på Nordlaks sine erfaringsdata har fett og fargeinnhold, kondisjonsfaktor og filetutbytte vært innenfor normalen sammenlignet med tilsvarende fiskegrupper, for detaljerte resultater se vedlegg B.

Fôr- og tilvekstfaktorene, samt superiorandelen målt gjennom dette prosjektet har i sum vært noe under Nordlaks sine interne målsetninger for tilsvarende fiskegrupper, men ansees likevel å være innenfor normale verdier for næringen sett under ett. Helseproblemene blant fisken i anlegget ansees å være en vesentlig faktor for at resultatet ikke ble som forventet, og superiorandelen reflekterer de omfattende sårproblemene i produksjonen.

3.1.5 Miljøbaserte velferdsindikatorer

En av de viktigste forutsetningene ved valg av design for havfarmen var en konstruksjon som kunne beskytte fisken mot de største miljølastene (vind, strøm og bølger), som ansees som en utfordring i mer eksponerte havområder. Samtidig har det vært vektlagt at konstruksjonen måtte ha tilstrekkelig vannutskifting også i perioder med mindre strøm. Nedenfor presenteres resultatene fra registreringene av oksygen, temperatur og strøm i løpet av første driftsfase.

3.1.5.1 Oksygen

Oksygen har blitt målt kontinuerlig gjennom hele driftsfasen av optiske sensorer levert av Xylem. Det er fastmontert tre sensorer per merde, sentralt plassert i merden og på henholdsvis 5, 15 og 35 meters dyp. Sensorene er rengjort minimum en gang per uke. Loggingen har skjedd hvert 10. sekund, og data er lagret i EMB, samt i Ignition. Det har også blitt gjennomført jevnlige målinger av oksygenmetning, temperatur og saltholdighet med CTD-sonde, se avsnitt 3.1.2.4.

Tabell med gjennomsnittsverdier (alle merder, tre dyp), standardavvik og median (per merde, per dyp), andelsplot og figurer med daglig oksygenmetning (per merde, per dyp), samt eksklusjonskriterier er presentert i vedlegg B. For beregning av disse resultatene er det benyttet et datapunkt fra hvert 30. minutt fra perioden 24.07.20 – 30.05.21. Dette utgjør totalt 240 413 registreringer, 11598– 14277 målinger per dyp, per merde. Gjennomsnittlig oksygenmetning for alle dyp var lavest i merd 2, 87.82%, og høyest i merd 4, 91.40%. Laveste gjennomsnittsmåling for ett enkelt dyp var 86.88 % (merde 2, 15 m), mens høyeste tilsvarende gjennomsnittsmåling var 91.54% (merde 1, 35 meter).

Oksygenmetningen har hovedsakelig vært innenfor laksens velferdskrav på mellom 80 - 100 % metning (Rosten et al. 2011), men det har blitt registrert noen lavere målinger. De laveste målingene er hovedsakelig registrert rundt første del av oktober, og knyttes hovedsakelig til manglede automatisk styring av thrustere, sammenfallende med en periode med relativt gode temperaturer og lav strømhastighet. Høyere temperaturer medfører både lavere løselighet av oksygen i vann, samt høyere metabolisme og oksygenbehov hos laksen. Oksygenverdiene har hovedsakelig vært gode i etterkant av at systemet for automatisk styring av thrusterne opp mot oksygenmetning ble installert, se kapittel 3.2.2 for videre beskrivelser rundt systemet.

Det er noen forskjeller i oksygenmetning mellom merdene, men ingen resultater viser at det er en fallende oksygengradient fra merde 1 til 6 i anlegget. Dette kan forklares både av at automatisk styring av thrusterne har sørget for tilførsel av friskt vann ved fallende oksygenmetninger, i tillegg til at havfarmens orientering ikke i like stor grad som først antatt er påvirket av strømretning. Funn fra undersøkelser gjennom perioden viser at havfarmens retning i virkeligheten i stor grad bestemmes av vind, og ikke orienteres i særlig grad etter strømmen før den relative retningen overstiger 20-30 grader. Det betyr vannstrømmen føres inn diagonalt på havfarmen i stedet for på langs. Dette medfører vesentlig økt vannutskiftning sammenlignet med om strømretningen var fra baug til akter. Undersøkelsene av strømdata viser i tillegg at strømretning ikke er homogen nedover i vannsøylen.

3.1.5.2 Temperatur

Temperatur er målt på samme måte og med samme utstyr som oksygenmetningen. Figurer med temperaturplot (per merde, per dyp), samt eksklusjonskriterier for resultatene er presentert i vedlegg B.

Ved gjennomgang av temperaturdata fra de faste sensorene sees det svært liten variasjon mellom merdene og mellom de ulike dypene. Dette forholdet bekreftes også av de gjennomførte CTD-målingene (kapittel 3.1.2.4) som stort sett viser stabil vanntemperatur gjennom de øverste 40 meterne av vannsøylen. På denne bakgrunnen ble det beregnet en daglig gjennomsnittstemperatur for lokaliteten med utgangspunkt i data fra sensoren i merd 1, 5 meters dyp. Temperaturgrafen med daglig gjennomsnittstemperatur er presentert i figur 10.

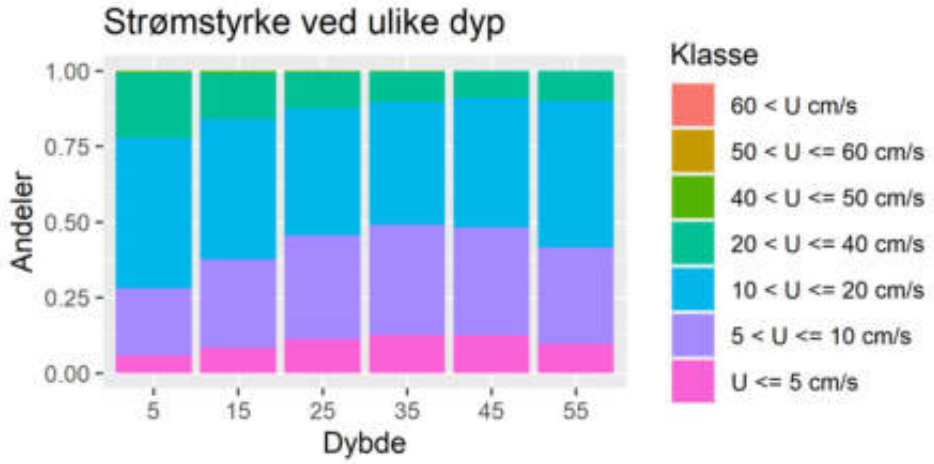
Som vist av figur 10 er temperaturkurven jevnt nedadgående fra og med utsett til og med begynnelsen av mars. Høyeste og laveste gjennomsnittstemperaturer i perioden var henholdsvis 13.7 og 3.3 ^{o}C.

Figur 10. Temperaturkurve basert på datasett fra Ignition (merd 1, 5 m). (For fremstilling av denne ble det benyttet data fra Ignition fra perioden 03.08.20 – 30.05.21. Data fra 24.07 -03.08 manglet og er blitt konstruert ved å bruke et gjennomsnitt av de sju påfølgende dagene (04.08.-10.08). Temperaturen er i tillegg korrigert for tre perioder á to dager (09-10. november, 17.-18.november samt 11.-12.januar), samt for 28. mars. Dette grunnet unaturlige svingninger. Gjennomsnittet av temperaturen dagen før og dagen etter periodene med unaturlige svingninger ble benyttet).

3.1.5.3 Strømmålinger

Det er fastmontert egne sensorer for strømmåling om bord i havfarmen, men grunnet tekniske problemer med disse ble det i tillegg plassert en strømmåler i umiddelbar nærhet til anlegget. Strømmåleren utenfor anlegget er en Seawatch Midi 185, utstyrt med en Wavesence bølgesensor (levert av Fugro Oceanor) og har logget strøm hvert 10. minutt fram til den ble tatt opp 31. januar 2021. Strømbøyen er eid av Akvaplan Niva.

Strømstyrkedata fra seks utvalgte dyp (5, 15, 25, 35, 45 og 55 meter) for perioden fra og med 10. juni til og med 31. januar 2021, er presentert i vedlegg B. Det har totalt blitt gjort 937 770 målinger i perioden.



Figur 11. Andelsplot av strømstyrke per dyp i perioden.

Det sees naturlige svingninger i strømstyrke over tid, se vedlegg B, men også noen ulikheter mellom dypene. Dette fremkommer også av figur 11, hvor man ser at strømhastigheten har vært høyest i de øverste meterne av vannsøylen. Majoriteten av målt strømfart er under eller lik 20 cm per sekund (n = 893 945). Det finnes en del målinger på strøm mellom 20 – 40 cm/sek (n=43 114), men høyere enn dette er det gravis færre målinger. Ved gjennomgang av strømretningsdata (ikke vist) ser man at retningen ikke er homogen nedover i vannsøylen, noe som også støttes av Metoceanrapporten (Vedlegg A).

En av utfordringene ved å ta i bruk mer eksponerte områder til havbruk kan være økte strømhastigheter i vannmassene rundt fisken i forhold til dens svømmeevne. Oppdrett av laks på eksponerte, strømsterke lokaliteter kan medføre redusert vekst og – fiskevelferd (Hvas et al. 2019). Hvas et al. (2021) har oppsummert tålegrenser for laks av ulike størrelser, for ulike strømeksponeringsperioder. Her fremgår det at større fisk tåler sterkere strøm, og at utmattelsesgrensen for den svakeste fisken (50 cm lang) var opp mot 70 cm/sek. Sterkere fisk hadde vesentlig høyere tålegrense (over 100 cm/sek). Målingene utenfor havfarmen viser at det kun har vært åtte målinger på strøm over 60 cm/sek. Fisken har i tillegg trolig hatt noe svakere strømhastighet inne i merdene, da nøtene, sammen med havfarmens faste konstruksjon de øverste 10 meterne virker dempende.

Oppsummert ser vi at registrerte data indikerer gode strømforhold på lokaliteten og at laksen ikke har opplevd hastigheter over sin tålegrense.

3.1.5.4 CTD-målinger

Det har blitt foretatt jevnlige målinger av temperatur, oksygen og salinitet ved bruk av en SD208 CTD-sonde, levert av SAIV AS. CTD-målingene startet opp i september 2020 og har i hovedsak blitt utført av havfarmens mannskap. I slutten av oktober 2020 gikk havfarmens interne CTD-sonde tapt i forbindelse med bruk, og i perioden frem mot slutten av januar ble derfor CTD-målingene foretatt med en lignende CTD-sonde (SD208 og SD2060), utlånt fra Åkerblås miljøavdeling i Lofoten. Målingene ble i denne perioden utført enten av Åkerblås personell eller av havfarmens mannskap. Hensikten med dette har vært å validere data fra intern sensorikk, samt å undersøke om det er noen sprangsjikt i vannsøylen, derigjennom å undersøke at interne sensorer er plassert på hensiktsmessig dyp.

CTD-målingene har stort sett blitt utført ved å senke sonden (ca. 1 m/sek.) til ca. 40 meters dyp i merden og deretter ta den opp igjen med omtrent samme fart. Fra hver serie ble måledata for temperatur (°C), oksygen (% metning) og salinitet (‰) plottet inn (Excel) i et linjediagram som viste utviklingen fra dypeste punkt til overflaten. Oksygenmålingene i luft i forkant av nedsenking av sonden ble brukt som referanse for oksygenverdiene i vann (oksygenverdiene i luft skal være 100 % (+/- 5 %) dersom en skal unngå korreksjon av data i etterkant). Fra hver måleserie ble det plukket ut tre datapunkt (hver med temperatur, oksygenmetning og saltholdighet), punktene som var nærmest i dyp de fastmonterte sensorene (5, 15 og 35 meters dyp).

I perioden 25. september 2020 til 21. mars 2021 ble det gjennomført 240 måleserier i merdene i havfarmen, ca. 40 målinger per merd (vedlegg B). Det ble gjennomført flest målinger i september og oktober, i november ble det ikke målt grunnet tap av sonde og fra desember til mars er det tilstrebet å gjennomføre ukentlige målinger. Etter gjennomgang av rådata er 31 av disse seriene forkastet grunnet usannsynlige måleverdier eller ukjent målepunkt. I gjennomsnitt dekket måleseriene de øverste 42 meterne av vannsøylen (min 32, maks 49 m). Linjediagrammene viser stort sett jevne kurver med liten variasjon med dypet i både temperatur, oksygeninnhold og salinitet. Det er dermed ingen indikasjon på at det har vært sjikting i denne delen av vannsøylen i løpet av produksjonen.

Det ble plukket ut 684 datapunkt for sammenlikning med resultatene fra de fastmonterte sensorene. Av disse ble 84 målepunkt vraket som følge av usannsynlige verdier, ukjent målepunkt eller dersom oksygenmålingene i luft i forkant av målingen viste for store avvik (det ble ikke gjennomført korreksjon av målingene). Resultatet av de resterende 600 målepunkt er oppsummert i vedlegg B. Tabellen viser jevne resultater fra merd til merd og mellom de ulike dypene for både temperatur, oksygenmetning og saltholdighet. Gjennomsnittsverdien for temperatur i de 600 målepunkt var 8,88 °C, laveste måling 3,80 og høyeste 11,26 °C. Dataene viste i gjennomsnitt 85,5 % oksygenmetning, laveste måling 68,7 og høyeste 98,2 %. Saltholdigheten var i gjennomsnitt 33,19 ‰, laveste måling 32,46 og høyeste 33,62 ‰. Den gjennomsnittlige temperaturen fra CTD-målingene avviker litt fra målingene gjort med de fastmonterte sensorene, og spredningen er litt mindre. Dette antas å ha sammenheng med at CTD-målingene er gjort med lavere frekvens og litt ulikt intervall gjennom produksjonen. Hovedtrenden når det gjelder oksygenverdiene fra CTD-målingen er ganske lik resultatene fra de fastmonterte sensorene, men spredningen i resultatene er mindre i CTD-dataene.

3.1.5.5 Siktedyp

Siktmålingene har blitt utført daglig i periodene 24.09 - 07.12, 31.12 – 26.01. I tillegg er det hovedsakelig daglig utført siktmålinger i perioden 08.03 – 04.06. I denne perioden er det totalt 11 dager hvor måling ikke har blitt utført grunnet dårlig vær. Siktmålingene er målt ved havfarmens ankomstplattform, og er utført ved å senke ned en sikteskive til det dypet hvor skiven ikke lenger er synlig for deretter å notere antall meter sikt.

Det er utført siktmålinger ved totalt 167 dager. Av disse er 2 målinger på 7 meter, ellers er samtlige målinger over 10 meter, se vedlegg B. Minste registrerte siktmåling har vært 7 meter (10. og 11. april), mens største har vært 22 meter (19.-21.01, 23.-24.01 og 26.01). Gjennomsnittlig sikt i perioden har vært 14.5 meter.

Resultatene viser at det har vært relativt god sikt i vannet i perioden.

3.1.5.6 Alger

I henhold til havfarmens dokumentasjonsprogram skal det tas ut vannprøver for å avdekke forekomst av fisketoksiske alger på indikasjon. I forbindelse med en episode med forøket avgang i merde 2 i slutten av september (kapittel 3.1.1.4) ble det tatt ut to vannprøver. Disse ble tatt ut 6. oktober 2020, hvorav en prøve ble tatt ut fra midten av anlegget (merde 3, 4 meters dyp), mens den andre prøven ble tatt ut ved overflaten i baugen. Prøvene ble oversendt som levende materiale på is og ble levert til Havforskningsinstituttet 7. oktober. Prøvene ble tilsatt lugol før analyse hvor det ble foretatt en screening med lysmikroskop.

Tettheten av planteplankton var lave i begge prøvene. Begge prøvene var dominert av små flagellater, der *Cryptophyceer* var fremtredende. Det ble registret noen få celler av kiselalgen *Proboscia* og fureflagellaten *Tripos* spp. I tillegg ble det registret noen få celler av flagellaten *Dictyocha speculum*. Oppsummert var den generelle tilbakemeldingen at det ikke ble registret potensielt skadelige alger av signifikant nivå. Det er følgelig ingen grunn til å mistenke at det var en sammenheng mellom algeinnhold i vannet og forøket avgang av fisk.

3.1.6 Oppsummering biologisk prestasjon

I løpet av havfarmens første driftssyklus frem til slakt har det blitt utført en betydelig mengde undersøkelser og registreringer for å dokumentere faktorer relatert til fiskehelse og fiskevelferd, samt fiskens biologiske prestasjon.

Det har blitt benyttet både visuelle registreringer og fysiske prøver for å dokumentere fiskebaserte velferdsindikatorer i løpet av perioden. Resultatene fra adferds- og velferdsregistreringene viser at fisken hovedsakelig har hatt god fiskevelferd og normal adferd i første del av driftsfasen. Fra og med senhøsten var det imidlertid en negativ utvikling, med høyere andel nedklassinger (velferdsscoring) og mer avvikende adferd. Vurderinger av gjeller (visuelt og histologisk) har vist at fisken har hatt nedsatt gjellekvalitet. Agens relatert til dette har fisken trolig hatt med seg fra postsmolt-lokalitetene, jf. smittekartleggingen der. Resultater fra obduksjon og prøveuttak har avdekket utbrudd av sår og hjertesykdom (CMS/HSMB). Dette har siden senhøsten medført vedvarende, forøket avgang i anlegget. Resultatene fra blodprøvene samsvarte for enkelte uttak til dels med utbrudd av HSMB. Øvrige resultater indikerte at fisken har hatt god antioksidativ status, lave betennelsesnivåer og god leverstatus i perioden.

Tilvekst og superiorandel målt gjennom dette prosjektet har i sum vært noe under Nordlaks sine interne målsetninger for tilsvarende fiskegrupper, men anses likevel å være innenfor normale verdier for næringen sett under ett. Helseproblemene blant fisken i anlegget ansees å være en vesentlig faktor for at resultatet ikke ble som forventet, og superiorandelen reflekterer de omfattende sårproblemene i produksjonen.

Akkumulert avgang i havfarmen var 19.18 %. Det er imidlertid klare forskjeller mellom merdene, både med hensyn til total avgang i havfarmen, men også med hensyn til dødelighetsårsaker. Det er flere faktorer som peker seg ut som mulige årsaker til dette: De ulike merdene har ulikt opphav (smoltgrupper og settefiskanlegg), og forhold ved oppvekstlokalitetene kan også bidra til å forklare forskjellene i sykdoms- og dødelighetsutvikling mellom merdene. Dette basert på resultatene fra smittekartleggingen ved slutten av oppvekstfasen. Resultatene fra havfarmen, sammenholdt med erfaringer fra tilsvarende fiskegrupper på andre Nordlakslokaliteter, indikerer at ulikt opphav også kan bidra til å forklare forskjellene i sykdomsutvikling mellom merdene.

Resultatene fra miljømessige fiskevelferdsindikatorer har vist at fisken hovedsakelig har hatt gode miljøforhold i havfarmen. Oksygenmetningen har i korte perioder vært suboptimal. Dette har vært knyttet til manglede automatisk styring av thrusterne, sammenfalt med faktorer som relativt høye temperaturer, lav strømstyrke og relativt høy biomasse. Det er ikke avdekket sprangsjikt i vannsøylen og fisken har ikke opplevd strømstyrke over kjente tålegrenser for laks.

Avgangen og den reduserte velferden i havfarmen er i sum over det Nordlaks har som mål og forventinger i vårt dyrehold. Det er likevel ingen funn fra fiskebaserte eller miljøbaserte velferdsindikatorer som indikerer at det er særegne forhold ved havfarmens konstruksjon, drift eller lokasjon som har forårsaket dette.

3.2. Havfarmens driftsmessige prestasjon

Hensikt: Dokumentere faktorer knyttet til arbeidsmiljø og HMS, og hvordan dette skiller seg fra tradisjonelle oppdrettsanlegg. Gjennomføring av arbeidsoperasjoner særegne for havfarmen skal dokumenteres og vurderes, og eventuelle forbedringspunkter for fremtidig drift skal beskrives.

Havfarmen er en ny løsning for oppdrett av laks, noe som vil medføre flere nye arbeidsoppgaver for anleggets mannskap, i tillegg til arbeidsoppgaver som er kjent fra tradisjonell drift. Havfarmens særegenheter (f.eks. dimensjoner, fribord, nothåndteringssystem, fiskelogistikk mer mer) gjør at oppgaver som også gjennomføres på tradisjonelle anlegg vil skille seg fra ordinære anlegg i hvordan de kan gjennomføres, og hvilket utstyr man vil behøve. Dette innebærer at arbeidshverdagen om bord til dels vil skille seg fra arbeidshverdagen i tradisjonelle oppdrettsanlegg og båter. I tillegg bidrar anleggets eksponerte beliggenhet og organisering ytterligere til å skille driften fra det man normalt ser innenfor havbruksnæringen.

Havfarmen, i likhet med resten av Nordlaks sine avdelinger, benytter Extend Quality system (EQS) til internkontroll- kvalitet- og sikkerhetsstyringssystem. Dette er en hensiktsmessig løsning som gjør det enkelt å samarbeide på tvers av avdelinger, da hele selskapet til enhver tid kan jobbe på samme plattform og ha tilgang til samme versjoner av ulike dokumenter, skjema, o.l. Dette er spesielt nyttig med hensyn til dokumenter som gjelder for hele selskapet, eksempelvis organisasjonskart, basisopplysninger, systemprosedyrer (eksempelvis dokumentstyringsprosedyre), og andre fellesdokumenter.

For å sørge for at driftsmessig erfaring blir dokumentert, og innrapporterte data blir behandlet og eventuelle nødvendige tiltak iverksatt, er det tatt ulike organisatoriske grep. Herunder kan eksempelvis nevnes:

- Rapportering av driftsoperasjoner i eget skjema i EQS
- Risikogjennomgang med mannskap
- Arbeidsmøter mellom Havfarm 1-mannskap, prosjektledelse, kvalitetsavdelingen, og områdeledelse i Nordland
- Arbeidsmøter i tilknytning oppfølgning av dokumentasjonsprogram
- Arbeidsmøter mellom prosjektledelse, Havfarm 1-mannskap og underleverandører
- Mannskapsmøter i forkant av arbeidsoperasjoner (toolbox talks)
- Avviksmøter

I dette kapitlet vil erfaringene relatert til HMS og arbeidsmiljø, samt utstyr og operasjoner særegne for havfarmen presenteres. Disse baserer seg på samtaler og rapporter utarbeidet av mannskapet, avviksmeldinger innrapportert i EQS, samt resultater fra to medarbeiderundersøkelser levert av Questback og Nordlaks sin HR-avdeling. Avslutningsvis vil relevante forbedringspunkter diskuteres, samt at havfarmens driftsmessige prestasjon vil oppsummeres.

3.2.1 HMS og arbeidsmiljø for mannskap

Operatørenes arbeidsmiljø, helse og sikkerhet har vært et sentralt premiss i prosjektet. Design, arbeidsoperasjoner og utstyr har vært planlagt med dette utgangspunktet.

3.2.1.1 HMS og HMS-avvik

For å dokumentere havfarmens driftsmessige prestasjon, blant annet med hensyn til HMS, er det utformet et eget rapportskjema i kvalitetsstyringssystemet til havfarmen. Her har operasjoner som ballastoperasjoner, fôrmottak, lusetelling, levering av ensilasje, nothåndtering, samt kran- og løfteoperasjoner blitt dokumentert og vurdert. I løpet av første driftsfase har det blitt registrert totalt 154 slike rapportskjema.

Av disse rapportene fremgår det at mannskapet i forkant av oppstart hadde gjennomført nødvendig opplæring. Havfarmen var i alle tilfeller tilstrekkelig bemannet for å kunne utføre arbeidsoperasjonen på en sikker måte, men i ett tilfelle hadde gjennomføringen (av et fôrmottak) medført at andre operasjoner måtte utsettes. Kriteriene for å utføre «Sikker jobbanalyse» (SJA) var oppfylt i 102 tilfeller. Det er da enten laget en ny SJA eller benyttet en allerede utfylt SJA (i tilfeller hvor arbeidsoperasjonene har samsvart med tidligere utført arbeid). Nødvendig verne- og sikkerhetsutstyr var tilgjengelig for operasjonene i alle tilfeller. Det er totalt rapportert om to tilfeller av uønskede hendelser. Den ene var i forbindelse med et fôrmottak. Dette relatert til fôrbåtens slangetut som etter kontakt med en luke falt av, og landet nede i fôrsiloen. Dette medførte forsinkelse av fôrmottaket. Det andre tilfellet var i forbindelse med levering ev ensilasje hvor slangen under tilbakelevering til havfarmen ikke var tilstrekkelig festet. Dette medførte at slangen falt på ensilasjebåtens dekk. Ingen ble skadet under hendelsen.
Det er rapportert om to tilfeller hvor utstyr har blitt skadd eller tapt i forbindelse med operasjonene. Det ene tilfellet sammenfalt med fôrmottaket nevnt ovenfor, hvor det ble oppdaget noe skade på malingen på en av lukene. Det andre tilfellet oppsto under mottak av fisk med brønnbåten M/S Inter Nord hvor noen tau måtte byttes ut i etterkant av mottaket, på grunn av skade på disse. Det oppstod ingen sikkerhetsobservasjoner, nestenulykker eller personskader i forbindelse med disse to tilfellene. Det har i sju av tilfellene blitt fremmet forbedringsforslag til driftsmessig prestasjon. Disse er blant annet presentert i tabell 5.

Den helhetlige driftsmessige prestasjonen til havfarmen under de ulike arbeidsoperasjonene er vurdert som god – meget god.

I prosjektperioden har det vært rapportert om totalt 28 HMS-avvik. Flere avvik var relatert til mangler som fulgte med fra verftet i Kina. 9/28 HMS-avvik medførte mindre skader på mannskapet. Av avvikene som ble rapportert i perioden var fire relatert til havfarmens særegenhet. Ingen avvik har medført sykefravær. I forbindelse med bearbeiding av avvikene har det blitt iverksatt tiltak som gjennomgang av prosedyrer, merking av farer og utbedring av feil. Dette har i sum medført ingen til lav risiko for gjentakelse og hevet sikkerhetsnivået om bord på havfarmen.

3.2.1.2 Arbeidsmiljø

Ved ansettelse av mannskap til havfarmen ble det lagt fokus på å rekruttere maritimt personale med erfaring fra ulike sektorer som offshore, skip, servicefartøy og havbruk. Dette for å sørge for variert kompetanse blant mannskapet (med hensyn til erfaring, innsyn og kreativitet) for å kunne bidra best mulig i utviklingsprosjektet.

Det ble ansatt 10 faste personer i havfarmens besetning ved prosjektets start, organisert som på et skip med en kaptein, en maskinist og tre matroser per skift. Siden idriftsettelse har det imidlertid vært en ekstra matros, samt en til to lærlinger om bord til enhver tid for å lette på arbeidsmengden i startfasen. Mannskapet jobber 4:4 turnus, noe som medfører at de arbeider og bor på havfarmen i fire uker sammenhengende. Bytte av mannskap i prosjektperioden har skjedd ukentlig. En til to av mannskapet har byttet hver uke, noe som har bidratt til å sikre god informasjonsflyt blant mannskapet og kontinuitet i driften.

Det har vært gjennomført to medarbeiderundersøkelser i løpet av første driftssyklus. En i desember 2020 og en i mars 2021. Undersøkelsen ble sendt ut til den faste besetningen og ble besvart av samtlige. Undersøkelsen ble sendt ut av Questback, og Nordlaks sin interne HR-avdeling har i etterkant analysert besvarelsene. Undersøkelsen ble besvart anonymt. Hensikten var å undersøke hvordan driftsoperatørene opplever og vurderer utviklingsprosjektet med hensyn til blant annet organisering, arbeidstidsordning, opplæring, evne til å bidra i prosjektet, samt hvordan det det nye, særegne utstyret presterer i daglig drift.

I undersøkelsene kommer det frem at de ansatte i hovedsak er fornøyde med opplæringen de har fått til å utføre jobben, men at havfarmens særegenhet og nye arbeidsoppgaver har medført at man selv har måttet lært seg prosedyrer og – arbeidsoppgaver. De fleste er fornøyd med sin mulighet til å sette personlig preg på arbeidet sitt, og har svart at de føler de får utnyttet kompetansen sin på en god måte. De ansatte føler også at de blir hørt når de kommer med forslag til driften av havfarmen. Når det kommer til arbeidsbelastning er det noe sprik mellom besvarelsene, hvor enkelte peker på at det kan være lange dager, men at det spesielt i oppstartsfasen har gått ekstra tid til å sette seg inn i systemene og prosedyrene. Totalt sett er de ansatte fornøyde med arbeidet sitt og rapporterer om at det er et spennende og givende prosjekt.

Det kommer frem at samarbeidet mellom de øvrige avdelingene i Nordlaks (transport, oppdrett, administrasjon med mer) har fungert godt, og at havfarmens personell føler seg inkludert i Nordlaks som konsern. Om intern organisering og turnus, mener de fleste at ordningen passer fint, og at ordningen med delvis overlapp bidrar til god informasjonsflyt og kontinuitet i arbeidet. Signalene i medarbeiderundersøkelsen tilsier at seks personer i det faste mannskapet er et riktig nivå for å ivareta daglig drift. Transporten til og fra arbeidsplassen fungerer svært godt med persontransportbåten «Nora».

3.2.2 Utstyr og operasjoner særegne for havfarmen

Havfarmens utforming og lokasjon har gjort det svært viktig å ha egnet utstyr på anlegget slik at man ikke har vært avhengig av eksterne servicefartøy og – personell til å utføre ordinære oppgaver.

3.2.2.1 Skinnegående servicevogner

Som i tradisjonelle oppdrettsanlegg, håndteres utstyr og fisk daglig også i havfarmen. Til gjennomføring av de fleste operasjoner ute på dekk er mannskapet avhengig av flyttbare kraner med god løftekapasitet. Grunnet havfarmens dimensjon, med fribord på normalt sju meter, ville det i praksis vært svært krevende, kostbart, samt værsensitivt å benytte eksterne fartøy som for eksempel servicefartøy. Derfor ble det etablert en skinnegang med servicevogner utstyrt med arbeidskraner på styrbord og babord side av skipet. På engelsk kalt «Rail Mounted Service Units» - RMSU.

Techano AS har hatt ansvaret for design, konstruksjon, leveranse og igangkjøring. Hver RMSU består av en vogn, to kraner med løftekapasitet på 1000 kg ved 25 m løftearm (maks), samt 5000 kg ved 10 m løftearm. Begge kraner er også utstyrt med to capstanvinsjer (SWL 5000 kg). I tillegg er RMSUene utstyrt med en mannskapskurver som benyttes til arbeid nedenfor operasjonelt arbeidsdekk, eksempelvis servicearbeid på Lift-up slanger. Hver RMSU har også hydraulikksystem til styring av kraner og vinsjer, samt en kabin. RMSUene har elektrisk drift, og kabeltromler sørger for at strømkabelen tas med RMSUene langs skinnegangene. Når RMSUene ikke er i bruk er de parkert i en garasje på hver side av skipet.

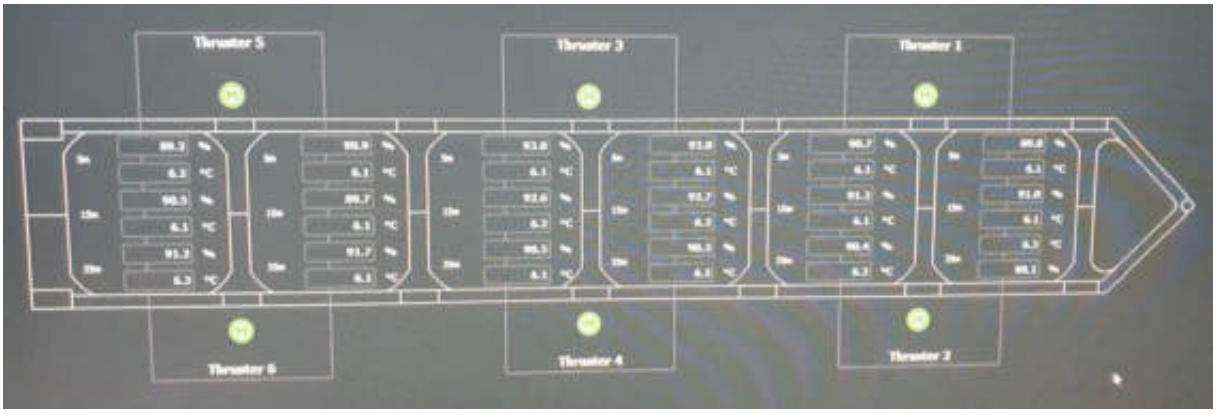
I henhold til dokumentasjonsprogramrapportene i EQS har driftsmessig prestasjon blitt vurdert som «god» eller «meget god» i forbindelse med kran- og løfteoperasjonene, og det har ikke blitt registrert noen avvik i forbindelse med dette.

Figur 12. Til venstre: De to skinnegående servicevognene (RMSU) i drift på havfarmen. Til høyre: Arbeid med Lift-up slanger i mannskapskurven.

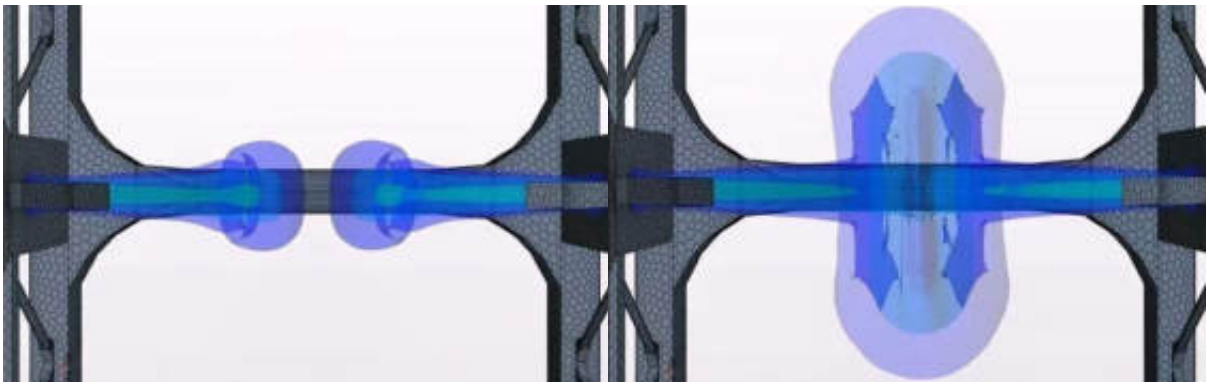
Havfarmens mannskap har opplevd RMSUene som uvurderlig utstyr for anleggets daglige drift. Erfaringene er hovedsakelig gode. Som forventet i lys av at dette er et utviklingsprosjekt har vært noen enkelte behov for utbedringer av mindre feil underveis.

3.2.2.2 Thrustere

For å sikre god vannkvalitet i merdene er det fastmontert totalt seks thrustere i havfarmen. Disse er levert av Rolls Royce, nå Kongsberg Maritime. Det er plassert tre thrustere på hver side av skipets lengderetning, 18 meter over baseline, tilsvarende på ca. 12 meters dyp. Thrusterne er vinklet 10 – 12 grader oppover og pumper vann mot havfarmens senter. Plasseringen på samme søyle på styrbord og babord side sørger for at vannet møtes i midten av anlegget, noe som medfører økt vannutskiftning og tilførsel av oksygenrikt vann. Hver thruster har en kapasitet på 350 kw, og gjennom første driftssyklus har ulike driftsregimer vært testet. I starten ble thrusterne kun kjørt manuelt, før det etter hvert ble kjørt kontinuerlig på 30% effekt med oppjustering basert på oksygenverdier. Endelig løsning er nå at thrusterne normalt sett ikke er i drift, men starter på en lav frekvens når oksygenverdiene kommer under 80% metning, og deretter justeres opp eller ned i henhold til de gjeldende oksygenverdiene i merdene. Bruk av thrusterne logges i Siemens sitt datalagrings system Ecomain Blue (EMB), samt I Nordlaks sitt scada system Ignition.



Figur 13. Plassering av thrusterne i havfarmen



Figur 14. Illustrasjon av hvordan vannet spres via thrusterne inn i merdene (Illustrasjon: NSK Ship design).

Havfarmens mannskap har hovedsakelig opplevd thrusterne på en positiv måte, spesielt etter at automatisk styring mot oksygennivå ble tatt i bruk. Det har ikke vært driftsstans grunnet teknisk feil, og i de fleste tilfeller har thrusterne lyktes i å opprettholde gode oksygenverdier i merdene.

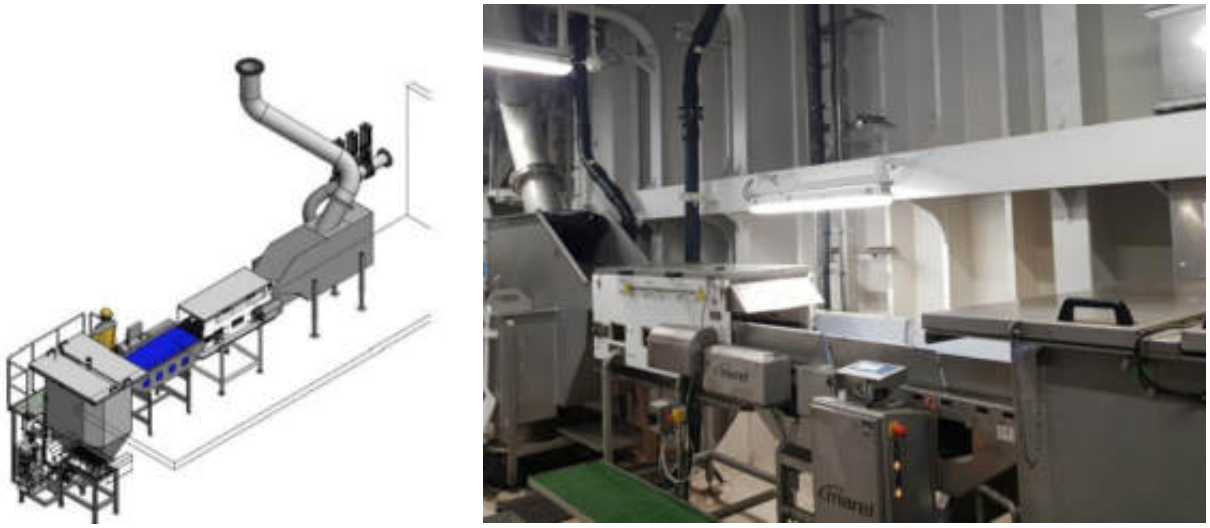
3.2.2.3 Dødfiskhåndtering

System for dødfiskhåndtering er lokalisert under hoveddekk på styrbord side og er levert av Optimar AS. Dødfiskhåndteringen ivaretas av to systemer, et Lift-up system med kompressor og transportlinje inn til dødfiskrommet, samt et ensilasjesystem med kvern, ensileringsutstyr og tanker.

Hensikten med dette systemet er å frakte død fisk fra laveste punkt i merden inn til videre behandling, i et lukket system. Dette øker havfarmens biosikkerhet samtidig som det ivaretar HMS, gjennom å redusere den fysiske arbeidsbelastningen på mannskapet.

Hver av de seks merdene har hvert sitt Lift-up system som styres fra dødfiskrommet. Hvert system består av to luftkompressorer som produserer luft til systemet, elektrisk fjernstyrte ventiler som styrer lufttrykket, og slanger som leverer luft til bunnen av systemet som holdes nede ved hjelp av et kjegleformet lodd, som også fungerer som oppsamler for død fisk. Herfra pumpes død fisk opp til et lukket samlerør, hvorfra dødfisk transporteres til dødfiskrommet.

I dødfiskrommet blir vannet silt av over en avsilingskasse før fisken føres gjennom en elektrosjokkbedøver hvor eventuelle svimere avlives ved bruk av strøm. Deretter går fisken over et veiebånd og videre til dødfiskkvernen. Her blir fisken kvernet og tilsatt syre før den transporteres videre til en av to ensilasjetanker, som hver har en kapasitet på 65 m^3. Det er også mulig å levere dødfisk direkte til egnet fartøy ved hjelp av dette systemet, uten å gå via dødfiskrommet.



Figur 15. Til venstre: Oversiktsillustrasjon over dødfiskhåndteringslinjen under dekk (kilde: havfarmens brukerhåndbok). Til høyre: Bilde av inntaksrør, avsilingskasse, elektrosjokkbedøver, transportbånd med fiskevekt og luke for nedkast i dødfiskkvern.

Mannskapet er fornøyd med systemet som hovedsakelig har fungert svært godt, med lite nedetid til tross for noe innkjøringsarbeid i startfasen. Det har vært gjort forbedringer og rettinger av småfeil, men generelt har utstyret prestert til forventningene. Majoriteten av utfordringene har vært relatert til å lære seg et nytt system. Det har vært enkelte tekniske utfordringer med at Lift-upkoblinger har hoppet av i forbindelse med dødfiskopptak under dårlig vær, mens havfarmen samtidig har vært hevet. Operasjonelle grep har blitt gjennomført for å unngå slike utfordringer i framtiden. Det har også vært utfordringer av teknisk art, blant annet knyttet til kvernen. Dette har blitt løst gjennom utbedring og utskifting av utstyr.

3.2.2.4 Opptak av svimere

I henhold til Akvakulturdriftsforskriftens § 34 skal fisk snarest mulig tas ut av produksjonsenheten dersom det kan føre til unødig eller betydelig påkjenning å leve videre. Fjerning av svimere er som regel en daglig operasjon i oppdrettsnæringen, og er svært viktig for å ivareta god fiskevelferd og -biosikkerhet.

Om bord i havfarmen er det like i overkant av fire meter fra nothåndteringsdekket til vannoverflaten, følgelig vesentlig lengre sammenlignet med tradisjonelt oppdrett. Dette medfører en utfordring i den daglige røktingen av anlegget med hensyn til svimeropptak. Mannskapet har forsøkt flere ulike metoder for å forenkle og effektivisere opptak av svimere. Det har blitt brukt både en modifisert håndhåv (med tau, fremfor stang), storhåv, lik det en bruker til opptak av fisk til for eksempel lusetelling, samt en liten avkastnot. I tillegg har man, under perioder med godt vær og få svimere, håvet svimere med ordinær handhåv fra mannskapskurven på RMSUen. Valg av metode har variert etter hvor mange svimere som har vært i overflaten. Effektivisering av svimeruttak er et pågående arbeid, og det er nå, i samarbeid med leverandør, utviklet en prototype av en ROV-basert «svimerhåv» som er klar til uttesting. Denne forventes å effektivisere arbeidet vesentlig, både med hensyn til mengde fisk som man klarer å ta ut, men også hastigheten på dette.

Figur 16. Bilde av prototypen for svimerplukker-ROV fra Meox. Bilde inkludert med tillatelse fra Meox.

Havfarmen har, på grunn av sin utforming, bemanning og utstyr, bedre forutsetninger for effektiv svimeruttak sammenlignet med tradisjonelle anlegg. Opptak av svimere har i all hovedsak har blitt utført ved hjelp av servicevognene, noe som har blitt opplevd som noe ressurskrevende av mannskapet. Likevel har forbedringer gjort underveis, spesielt har en tilpasset ROV gjort arbeidet med svimeruttak vesentlig lettere sammenlignet med oppstartsfasen.

3.2.2.5 Lusetelling- og velferdsscoring

I henhold til luseforskriften § 6 skal det telles lus på fisk i akvakulturanlegg minst hver 7. dag ved temperaturer lik eller over 4 °C, og minst hver 14. dag ved temperaturer under 4 °C. Lusetelling er med andre ord som regel en ukentlig operasjon. I henhold til havfarmens dokumentasjonsprogram har det blitt talt lus på minimum 30 fisk per merde hver uke.

Lusetellingen om bord i havfarmen skiller seg fra tradisjonell telling i hovedsak med hensyn til avstand fra vannoverflate til arbeidsdekk. Lusetellingen foregår på nothåndteringsdekket, fire meter over operasjonell vannflate. Innfanging av representativ fisk er tilnærmet likt tradisjonelt oppdrett, og det har blitt benyttet storhåv eller avkastnot til dette formålet. Transport av fisk fra fangehåv til bedøvelse, samt tilbakeføring til merd er to håndteringer som skiller seg vesentlig fra tradisjonelt oppdrett. For å minimere skader, smerte og stress på fisken under håving, blir denne håvet med våthåv opp til arbeidsdekket. Etter ordinær lusetelling overføres fisken til en oppvåkningsenhet før den føres tilbake til merden via en 15 meter lang fleksislange med rennende vann.

Figur 17. Oppsettet under ukentlig lusetelling og – velferdsscoring

---

Havfarmens mannskap har erfart at lusetellingene har vært noe mer ressurskrevende sammenlignet med tradisjonelt oppdrett, hvorav en sentral faktor har vært å lære seg å benytte våthåv og kraner av dette omfang. Det har blitt gjort små endringer og forbedringer fortløpende på både våthåv og tilbakeføringsenhet, samt mindre utbedringer av prosedyren. Lusetellingene utføres trolig ikke like hurtig per merde som tradisjonelle anlegg, men bruk av våthåv bidrar til mindre skader på fisken sammenlignet med bruk av tørrhåv.

3.2.2.6 Notsystem

Havfarmen har seks rektangulære nøter av typen Sapphire Excel Plus V2, med en størrelse på 47 x 47 meter i topp, samt 42.5 x 42.5 meter ved bunnen av hovedtauene. Dybden på nøtene er 32.8 m ned til innskråningen, deretter 21 m ned til notspissen. Nøtene er levert av Selstad AS, som har hatt et totalansvar for design og levering av not, samt levering og integrering av håndteringsvinsjer, og nødvendige ruller og innfestningspunkt for notsystemet.

Hver not håndteres ved hjelp av totalt åtte vinsjer som har til hensikt å løfte nøtene under for eksempel levering av fisk. Ved normal drift av havfarmen har vinsjene til hensikt å sørge for spenn i notkonstruksjonen slik at nøtene holdes stramt utspent, og gir maksimalt volum, samtidig som risikoen for kontakt med strukturen for øvrig minimeres. Hver vinsj er installert med to tromler, der hver av tromlene har en posisjonssensor og en lastcelle. Nothåndteringssystemet er designet slik at man kan løfte posene til settverdi (høyde) via leverandørens fjernkontrollsystem. Hver vinsj har også gitte alarmgrenser, ved for eksempel høy last, eller vinsjer ute av posisjon, som gir en alarm både i leverandørens styringssystem, samt i havfarmens integrerte overvåkningssystem (IAS).

Figur 18. Bilde av en nothåndteringsvinsj, samt fjernkontrollsystemet.

Nøtene til havfarmen er av en slik dimensjon og vekt at det ble leid inn et eksternt fartøy, M/S Høydal, til å bistå med notutsettet. Båten løftet nøtene inn i havfarmen, deretter overtok vi arbeidet selv ved bruk av RMSUene. Operasjonen gikk hovedsakelig godt, men nøtene måtte greies på land for å sikre rett montering i anlegget. Det ble avdekket mindre feil ved en av nøtene ved utsett, noe som ble justert av leverandør.

Som en del av det faste mannskapet er det ansatt egne matroser med særskilt ansvar for ROV-operasjoner, som for eksempel inspeksjon og vasking nøter. Inspeksjon av nøtene utføres minimum en gang per måned, samt etter behov som for eksempel dårlig vær. Inspeksjon av nøtene utføres enten ved hjelp av en undervannsdrone levert av Blueye, eller ved hjelp av en StealthCleaner notvasker levert av Ocein innovations, da i forbindelse med notvask. StealtCleaneren har totalt fire kamera og svært god manøvreringskapasitet, noe som gjør den godt egnet til inspeksjoner.

Figur 19. Til venstre: bilde av StealthCleaner notvasker ved diagonalgaten, som går diagonalt over merden. Til høyre: skjematisk oppbygging av nøtene i havfarmen (illustrasjon Selstad).

Lokaliteten Ytre Hadseløya er mer eksponert enn tradisjonelle matfisklokaliteter. I tillegg foreligger det en dispensasjon fra Akvakulturdriftsforskriftens 47a om maksimalt antall fisk per enhet, hvor det på Ytre Hadseløya, under gitte kriterier, er gitt tillatelse til å holde inntil 500 000 fisk per enhet. Dette medfører at det stilles strengere krav til blant annet rømmingssikring. Risikoen for rømming av laks er nøye vurdert i Nordlaks sin interne risikovurdering. Gjennom design, konstruksjon og planlegging av operasjoner, er det iverksatt en rekke tiltak for å redusere sannsynligheten for slike hendelser. Dette er utover DNV GLs verifikasjon i henhold til RF, og omfatter:

- Spesialdesignede nøter med vesentlig høyere bruddstyrke enn hva som er påkrevd etter regelverket for teknisk standard på flytende oppdrettsanlegg.
- Korrugerte, delvis tette, stålskott ned til 10 m (ved operasjonell dypgang) som skjermer not mot ytre påkjenninger
- Overvåking av struktur og global respons i Havfarmen, samt overvåking av innkommende miljøkrefter
- Overvåking av ankerliner
- Fast matros med ROV-kompetanse/-ansvar (og ROV-utstyr) om bord gir rask mobilisering for undersøkelse under vann ved ev hendelser eller mistanke om hendelser.
- Regelmessig rengjøring av not, og herunder dokumentasjon av notas integritet.
- Fôring med kamera i alle merder gir god, daglig, oversikt over status i hver enkelt merd.
- Effektiv fjerning av dødfisk som reduserer risiko for skader fra predatorer (sel).

Foreløpige erfaringer med notsystemet er hovedsakelig gode. Notinspeksjonene har ikke avdekket alvorlige skader på nøtene eller utstyr. Det har pågått utbedring av vinsjesystemet fra leverandør og det pågår et arbeid med å få utbedret system for vedlikeholdskjøring, alarmgiving og styring fra IASen. Erfaringene knyttet til bruk av ROV for vask og inspeksjon av nøter er hovedsakelig positive. Utstyret har fungert godt uten vesentlige feil og mangler. Infrastrukturen om bord på havfarmen bidrar også positivt til å effektivisere disse operasjonene.

3.2.2.7 Ballastoperasjoner

I forkant av idriftsettelse er det gjort beregninger for stabilitet for fire ulike dypganger av havfarmen, hvorav en for operasjonell dypgang, en for perioder med dårlig vær, og to for vedlikeholdsarbeid. Under normal drift/operasjonell modus, noe som vil innebære det meste av tiden, vil havfarmen ha en dypgang på 30,7 meter. Under perioder med dårlig vær hvor det er risiko for at sjøen vil slå opp under bjelkene (slamming)/skylle inn over nothåndteringsdekket, skal havfarmen heves tilstrekkelig til at dette unngås. Under visse kriterier, som er beskrevet i brukerhåndboka for havfarmen, vil det bli nødvendig å ballastere til «survival draft» (25,7 m). Behovet for dette skal vurderes nøye ut fra hensynet til fiskevelferd, strukturell integritet, HMS og sikkerhet for dekksutstyr. Dette for å redusere miljøkreftenes påvirkning på utstyr, fisk og personell. Ved vedlikeholdsarbeid vil havfarmen kunne heves til høyeste nivå (beregnet for 21.7 og 18.7 m) slik at mest mulig av konstruksjonen blir tilgjengelig over vann.

Det er 54 ballasttanker og sju pumperom om bord i havfarmen. I seks av pumperommene er det plassert to ballastpumper, samt en lensepumpe (i det syvende pumperommet er det bare plassert lensepumpe, ikke ballastpumpe). Dette vil si at det totalt er 12 ballastpumper. Ballasttankene har en total kapasitet på 42 697 m^3 og total pumpekapasitet er 1700 m^3/time, hvorav hver pumpe har en kapasitet på 283 m^3/time for ballastoperasjoner. Ballastsystemet er kontrollert lokalt eller via IAS-systemet om bord.

Ballastoperasjonene har blitt loggført fortløpende under første driftssyklus. I henhold til rapporteringsskjemaene i EQS har det ikke blitt registrert hendelser som har påvirket HMS eller fiskevelferden negativt. Det har ikke vært rapportert om skade på fisk eller forøket avgang i forbindelse med operasjonen. Driftsmessig prestasjon har blitt vurdert som god, og operasjonene har vart mellom to – fire timer. Det er ikke registrert skader på utstyr eller personell, og det har ikke blitt rapportert om tekniske avvik eller skadelig påvirkning på det ytre miljø i forbindelse med operasjonene.

Havfarmens mannskap har erfart at ballastoperasjonene har fungert etter planen og er fornøyd med systemet. Det har imidlertid blitt gjennomført noen forbedringstiltak knyttet til ventilstyring. Operasjonene har vart mellom to – fire timer og det har ikke blitt rapportert om avvik på driftsmessig eller teknisk prestasjon, heller ingen påvirkning på det ytre miljø.

3.2.2.8 Fiskelogistikk

Figur 20. Bilde av brønnbåten MS Inter Nord ved havfarmen med fiskekoblingen for overføring av levende fisk.

Til overføring av levendefisk inn og ut av havfarmen er det bygd en spesialtilpasset fiskekobling unik for havfarmen og Nordlaks sine nye brønnbåter. Det spesialtilpassede laste-/lossesystemet på havfarmen er i sin helhet levert og eller designet av Techano AS.

Designet for overføring av levendefisk er delt inn i to, hvorav en ytterside der fiskekoblingen skal tilkobles havfarmens babord side, samt en innerside med fiskestuss (rør), som føres under vannlinjen inn til merdene. Hele konseptet rundt levendefiskkoblingen er at man skal kunne bruke RMSUene for tilrigging av utstyr før lasting og lossing. Ved levering av fisk til havfarmen brukes det overtrykk fra brønnbåtene, mens det ved lossing brukes undertrykk. Koblingen skal være helt tett og vakuum sørger for at fisk blir sugd inn fra brønnbåt til havfarmen eller motsatt. På grunn av forsinkelsen av brønnbåten M/S Bjørg Pauline fra verftet i Tyrkia ble fiskekoblingen tilpasset brønnbåtene M/S Inter Nord og M/S Grotanger.

Det har vært noen utfordringer tilknyttet fiskekoblingen. Hovedsakelig skyldes dette at koblingen ikke var helt tett, noe som har skapt utfordringer for blant annet effektivitet og tellekapasitet.

3.2.2.9 Oppbevaring av fôr og utfôringssystem

Fôringssystemet på havfarmen er levert av Akva Group AS. På havfarmen er det totalt 12 fôrsiloer, hver med en kapasitet på 92 tonn, noe som tilsvarer en total kapasitet på 1104 tonn fôr. Hver silo har kun én fôringslinje som leverer fôr til én dedikert merd. Det innebærer at hver merd har to siloer som er dedikert til den enkelte merden. Alt fôr i perioden er levert av Skretting av fôrbåtene M/S Rubin, M/S Aqua Fjell og M/S Aqua Lady.

Figur 21. Bilde av fôrmottak via fôrbåten M/S Rubin. Fôrbåten ligger på DP og benytter egen «tut» spesialtilpasset havfarmen.

Fôrbåtene har system for dynamisk posisjonering (DP), noe som medfører at de ikke behøver å fortøyes i havfarmen. Dette medfører at mindre sårbarhet overfor mye vind og bølger, minimerer risiko for skade på utstyr, samt hever biosikkerheten. Den høye kapasiteten på fôrsiloene har medført mindre sårbarhet overfor stans i produksjonen, noe som er viktig grunnet havfarmens eksponerte lokasjon. Fôrleveringene har hovedsakelig foregått som planlagt, med bare unntaksvise utsettelser på grunn av værforholdene. Disse utsettelsene har imidlertid, nettopp grunnet stor silokapasitet, ikke medført produksjonsstans.

Mannskapet er hovedsakelig *fornøyde med systemet. Tidlig i første driftsfase ble det rapportert om tilfeller av tilstopping av fôr. Det ble oppdaget at inspeksjonslukene ikke var tette, noe som medførte fukt til fôret. Dette ble tidlig oppdaget og utbedret. Øvrige utfordringer har vært relatert til fôrkvalitet, ikke til havfarmens utstyr. Generelt har systemet fungert godt, og de store siloene har medført større buffer for fôrleveranse i tilfelle dårlig vær.*

3.2.2.10 Skip-skip operasjoner

Det gjennomføres jevnlig skip-skip operasjoner mellom havfarmen og eksterne fartøy. Større skip-til-skip operasjoner er levering av ensilasje, utsett av nøter, mottak av fôr, samt mottak og levering av levende fisk. Mindre skip-til-skip operasjoner foregår hovedsakelig mellom havfarmen og persontransportbåten «Nora», samt Nordlaks sine interne servicefartøy i forbindelse med frakt av utstyr og proviant.

Det generelle inntrykket er at skip-til-skip operasjonene fungerer godt. Større skip-til-skip operasjoner som fôrmottak og levering av ensilasje har hovedsakelig fungert meget godt. Ved ett tilfelle ble forsøk på levering av ensilasje avbrutt grunnet værforhold som ga for stor bevegelse i båten. Det oppstod også en mindre forsinkelse under en av leveringene, men dette var relatert til noe tykk ensilasje, og ikke selve operasjonen. Erfaringene fra notutsettet er gode, mens erfaringene fra fiskemottaket har vist et tydelig behov for egnede fartøy med DP-teknologi, da anleggets plassering gjør mottak og levering av levende fisk sårbart for dårlig vær. Til tross for utfordringer knyttet til fiskekoblingen (se eget avsnitt) er erfaringene fra mottak av fisk gode. Erfaringene fra slakteuttakene er også gode. Her oppstod det noen værrelaterte forsinkelser i forbindelse med oppstart, samt forsinkelser i utførelsen relatert til fiskekoblingen, men generelt presterte utstyret til forventningene. Det oppstod ingen vesentlige uønskede hendelser mellom havfarmen og brønnbåtene M/S Inter Nord,M/S Grotanger og M/S Bjørg Pauline.

Figur 22. To skip-til-skip operasjoner; Fôrmottak med M/S Rubin og M/S Aqua Lady.

Havfarmens kapteiner rapporterer om at skip-til-skip operasjonene fungerer godt dersom været tillater det, men at det har vært et tydelig behov for fartøy med egnet teknologi som DP for å sikre stabile leveranser. Dårlig vær har vært avgjørende for om levering kunne gjennomføres eller ikke. Vind og tungsjø er risikofaktorer som kan medføre avbrutte operasjoner, men dette har bare skjedd unntaksvis. Vær har imidlertid periodevis medført at operasjoner har blitt utsatt.

3.2.2.11 Logistikk tilhørende proviant, syrecontainere og annet teknisk utstyr

Grunnet havfarmens organisering av turnus og arbeidstider, har det blitt ansatt to matroser ansvarlig for forpleiningen om bord. Da havfarmen ligger på en værutsatt lokalitet har det vært viktig å planlegge for tilstrekkelige mengder proviant slik at man er mindre sårbar ved eventuelle lengre uværsperioder. Ferskvannsleveransene ble i starten løst ved hjelp av IBC-tanker fylt med vann på land, og fraktet ut med servicebåt. Dette gav utfordringer både knyttet til vannkvalitet og leveringsstabilitet (særlig ved dårlig vær), noe som gjorde at det ble besluttet å installere system for vannproduksjon om bord, se avsnittet under for nærmere beskrivelse.

Øvrig logistikk knyttet til annet teknisk utstyr og syrekontainere fungerer godt og planlegges i samråd med driftsleder på Sandnes. Transporten har foregått med servicebåtene M/S Sandnes, M/S Monica og M/S Storskjær.

Nærheten til land, og Nordlaks sin øvrige logistikk har medført at det kun unntaksvis, under lengre perioder med dårlig vær har vært registrert utfordringer knyttet til levering av utstyr og proviant. Provianten har hovedsakelig blitt fraktet ut til havfarmen enten ved hjelp av persontransportbåtene, eller ved servicefartøy.

3.2.2.12 Øvrig skipsteknisk utstyr

Havfarmens tekniske konsept er bygd opp likt som en båt, med overvåkingssystem, energikilde med hoved- og nødgenerator, system for ballast- og lensevannhåndtering, samt sanitært system (supply og discharge). Videre er havfarmen utstyrt med særegent utstyr som blant annet lyskontrollstyring (Glamox), landstrømstilførsel, samt høyspent trafo 17,5kV, turret og ankerkjettingsovervåkning. Havfarmens grunnprinsipp er at samtlige systemer skal være implementert i IAS for styring og overvåking.

For å sikre at havfarmen skulle være mindre avhengig av ekstern leveranse av ferskvann, samt noen utfordringer knyttet til vannkvalitet, ble det installert et omvendt osmoseanlegg for å kunne produsere nok ferskvann til havfarmens behov. Osmoseanlegget er levert av Norwater AS og er av typen «Reverse Osmosis Fresh Water Maker NWE1-5». Systemet har en kapasitet til å produsere 5000 liter ferskvann per dag ved sjøtemperaturer på 25 ^{o}C og salinitet på 35 ‰.

Erfaringene med det tekniske utstyret om bord er hovedsakelig gode. Det var ved levering enkelte mangler ved noe av utstyret som i stor grad relateres til uferdig arbeid som følge av Covid-19 pandemien. Det har som forventet vært noe utbedringer av tekniske systemer i løpet av den første perioden, i tillegg til ferdigstilling og igangkjøring av en del systemer. Dette har ikke hatt vesentlige innvirkninger på driften. Operasjoner under dekk, som f.eks. i thrusterrom og pumperom har fungert godt. Prestasjonene til det tekniske utstyret har fungert uten de store utfordringene, da med unntak av lysstyring av utvendig lysarmaturer.

3.2.3 Forbedringspunkter

Gjennom første driftssyklus har forbedringsforslag fortløpende blitt rapportert inn i et eget skjema i kvalitetssystemet EQS. Nedenfor oppsummeres de viktigste forslagene relatert til driftsmessig prestasjon.

Tabell 5. Oversikt over vesentlige driftsmessige forbedringspunkter i havfarmen.

System	Mangel	Forbedringer
Tilbakeføring av fisk	Uhensiktsmessig høyt fritt fall ut av fleksislange ved tilbakeføring til merd	Montert lengre fleksislanger.
Ballastsystemet	Ikke ferdigstilt ved ankomst, behov for å installere noen tilleggsfunksjoner	Oppgradering av systemet Leverandøren har byttet olje til lavere viskositet
Våthåv	For grunn presenningsenhet medførte at fisken, med økende størrelse, hadde økt risiko for å skade seg på notlin montert over presenningsenheten	Montert ny presenningsenhet som medfører mer vann i enheten og mindre kontakt mellom fisk og notlin
Drenering garasjer	Ansamling av vann på dekk i garasjene	Boret hull på et utvalg lave punkter for å lede vekk overflødig vann
Internkommunikasjon	Begrensende med VHF fremfor UHF	Fått på plass direktekanal på UHF for å kommunisere med eksterne og interne fartøy under skip-skip operasjoner.
Dødfisksystem	Tilsynelatende for lav kvernkapasitet ved forøket avgang i anlegget. Også noen utfordringer til hastighet på transportbånd, samt til omrøring av ensilasje.	Utskifting av utstyr, omprogrammering av software
Stunner	Dårlig jording på utstyr medførte at en av mannskapet fikk strøm i seg ved kjøring av systemet	Utbedret
IAS	Kun en IAS-stasjon på bro medførte i starten en interessekonflikt mellom ulike avdelinger ved behov for å utføre flere oppgaver samtidig.	Det er installert en IAS-stasjon i tavlerommet
Notvasking	For langt tidsrom mellom vasking, da det har blitt observert begroing av blåskjell og kalkrørsorm.	Øke intervallet på vasking, samt endret noen dyser og kortet inn på slanger.
Svimerplukking	Uttak av svimere fra merdene har vært veldig ressurskrevende på grunn av avstanden til vannlinjen	Utviklet en prototype av en ROV til svimeruttak.

Ensilasjekontainere	For dårlig omrøring av ensilasje	Rørene i tankene skal bygges om for å bedre omrøringen. Planlagt til brakkleggingsperioden.
Tut Fôrbåter	For kort tut tilhørende fôrbåtene medførte kontakt mellom kran på fôrbåt og luke på havfarmen	Tut ble forlenget og tilpasset havfarmen.
Fôrluker	Dårlig tetting	Byttet pakninger.
Lysstyring	Utfordringer knyttet til bevegelsesstyrte sensorer på utebelysningen som ikke kunne overstyres manuelt.	Omprogrammering av sensorene ute av leverandørene til manuell styring. Også montert system for gradvis dimming.
Mannskapsbytteordning	Ukentlige bytter kan gi logistikkmessige utfordringer	Bytte halvparten av mannskapet annenhver uke
Ferskvannstilgang	Ustabile leveranser og problemer med vannkvalitet	Installert Osmoseanlegg
working air system	Kun en stk. kompressor installert i basic design. Ingen redundant i systemet	Ny kompressor installert
ROV/Notvaskerpumpe	Manglende tilstrekkelig kapasitet på kurs. Basic design var designet med lavere kapasitet enn høytrykkspumpe krevde	Ny kurs med tilstrekkelig kabel arrangert
Livbøye	Basic design hadde kun en livbøye per merde	Montert fire livbøyer til hver merde.
Tansverskran	Manglende fjernoperasjon og kun hardware fjernkontroll	Montert fjernkontroller til de tre kranene om bord.
Fôrsystem	Installerte fôrrør fra verftet var ikke ihht spesifikasjon	Inspeksjon og utbedring av samtlige fôrlinjer.

3.2.4 Oppsummering driftsmessig prestasjon

I løpet av havfarmens første produksjonssyklus har mannskapet og Nordlaks som selskap opparbeidet seg svært verdifulle erfaringer fra havfarmens driftsmessige prestasjon.
Erfaringene knyttet til arbeidsmiljø og HMS har vist at mannskapet i høy grad har vært fornøyd med opplæringen og mulighet til å sette sitt personlige preg på arbeidet. De har følt at de har fått utnyttet kompetansen sin på en god måte, og at de blir hørt når de kommer med forslag til drift. Arbeidsbelastningen har periodevis blitt opplevd som høy. Dette kan trolig sees i sammenheng med at det gjensto en del arbeid med ferdigstilling da anlegget kom fra Kina. På grunn av Covid-19 pandemien var det blant annet ikke anledning for vestlige leverandører å reise til Kina for å bistå i ferdigstilling og igangkjøring av utstyrspakker og systemer. Dette medførte at dette arbeidet måtte gjennomføres etter at havfarmen var ankommet Vesterålen, samtidig som man skulle forberede idriftsettelse og utsett av fisk. Det er normalt en omfattende innkjøringsfase på nybygg. For havfarmen ble denne ytterligere intensivert av den manglende muligheten til ferdigstillelse på verftet. Gjennom starten av havfarmens første driftsfase har det i tillegg pågått en del utbedringer og tilpasninger av systemer og drift, med til dels mye eksternt personell om bord. Totalt sett kan dette ha bidratt til en opplevelse av tidvis høy arbeidsbelastning. I løpet av oppstartsfasen har det blitt satt inn ekstra faste ressurser i form av en ekstra matros med biologisk kompetanse. I tillegg har det fra september vært to lærlinger (matros og maskin) om bord. Totalt sett er de ansatte fornøyde med arbeidet sitt og rapporterer om at Havfarm 1-prosjektet er spennende og givende å arbeide med. Det har blitt rapportert om totalt 28 HMS-avvik siden idriftsettelse, hvorav flere var relatert til mangler som fulgte med fra verftet i Kina. Ni av disse medførte mindre skader på mannskap. Av samtlige avvik var fire relatert til havfarmens særegenhet. I forbindelse med bearbeiding av disse har det blitt iverksatt tiltak som i sum har medført ingen - lav risiko for gjentakelse, samt hevet sikkerhetsnivået.

Erfaringene knyttet til havfarmens særegne utstyr og arbeidsoperasjoner er i all hovedsak positive. Utstyret har i stor grad prestert til forventningene og den generelle driften har vært god. Det har vært noen mangler ved utstyr som er under utbedring eller skal utbedres i brakkleggingsfasen. Mannskapet har opplevd RMSUene som svært viktig utstyr for daglig drift, og rapportert om at dødfisksystemet har fungert meget godt. Det har blitt gjort små forbedringer og vedlikehold av leverandør underveis, noe som har vært forventet i en oppstartsfase. Det har vært enkelte tekniske utfordringer med at Lift-upkoblinger har hoppet av i forbindelse med dødfiskopptak under dårlig vær, og mens havfarmen samtidig har vært hevet. Erfaringene viser at slike operasjoner blir en for stor belastning på utstyret, og operasjonelle grep har blitt implementert for å unngå slike utfordringer i framtiden. Det har også, i perioder med mye dødfisk, vært utfordringer knyttet til kvernens kapasitet til å ta unna inntransportert dødfisk fortløpende. Dette har imidlertid vært en utfordring av teknisk art på utstyret, noe som har blitt løst gjennom utbedring/utskifting av utstyr.
Mannskapet har rapportert om at særegne operasjoner som ballastoperasjoner, kran- og løfteoperasjoner, lusetelling, samt skip-til-skip operasjoner har fungert godt. Det har ikke oppstått større skader på utstyr eller personskader i forbindelse med dette. Fôrmottak og levering av ensilasje har som hovedregel foregått som planlagt og bare unntaksvis blitt avbrutt grunnet vær. Enkelte større operasjoner som slaktelevering og lignende har blitt utsatt grunnet værforhold, men har generelt foregått svært godt.

Oppsummert har havfarmens driftsmessige prestasjon vært god. Havfarmen har i det alt vesentlige prestert driftsmessig i henhold til forhåpninger og forventninger. Det har i løpet av første driftssyklus vært identifisert en del forbedringspunkter, hvorav de fleste er utbedret eller under implementering. Forbedringspunktene vurderes som på et nivå man vil måtte forvente i et større nybyggingsprosjekt som havfarmprosjektet er.

3.3. Havfarmens tekniske prestasjon

Hensikt: Dokumentere anleggets tekniske prestasjon, herunder påførte belastninger fra miljøet og anleggets respons og evne til å håndtere og påvirke disse.

3.3.1 Innledning

Havfarmen ble installert på lokaliteten Ytre Hadseløya i siste halvdel av juni 2020. Siden oppkobling til fortøyningene har miljødata som bølger, strøm og vind blitt kontinuerlig logget gjennom både frittstående utstyr montert i nærheten av lokaliteten, og etter hvert også fastmontert utstyr om bord i havfarmen. Ved levering var det også installert sensorikk for strukturovervåking. Denne overvåkingen baserer seg på å måle GPS-posisjoner, og plasseringen til ulike posisjoner av havfarmen relativt til hverandre. Dette vil igjen gi informasjon om hvordan strukturen beveger seg, noe som gir mulighet til å beregne seg fram til strukturelle responser i ulike områder av strukturen. På grunn av Covid-19 pandemien var det ikke mulig for leverandørene av disse systemene å være til stede under sluttføringen av arbeidet på verftet i Kina, og det gjenstod derfor noe arbeid med ferdigstilling og optimalisering av sensorikk før man kunne ta systemet i bruk. Fra høsten 2020 ble det vurdert at systemet hadde tilfredsstillende kvalitet til å tas i bruk.

For å dokumentere anleggets tekniske prestasjon har innsamlede miljø- og responsdata blitt benyttet til å validere numeriske beregninger mot faktisk målte responser når det gjelder struktur og hydrodynamikk. Dette arbeidet har gitt nyttig kunnskap om hvordan anlegget responderer på miljølaster og håndterer disse, samt verifikasjon av de numeriske modellene som er brukt i designfasen. Videre har strukturovervåkingssystemet som er installert gjennomgått optimalisering og validering gjennom produksjonssyklusen. Denne prosessen har gitt oss et system som vil brukes aktivt i vår risikobaserte tilnærming til strukturovervåking, -inspeksjon og –vedlikehold. Over tid vil systemet også gi informasjon om forbrukt levetid (påført utmatting), og dermed også konstruksjonens gjenstående levetid.

3.3.2 Fullskala validering av datamodeller og design

Nordlaks har gjennom første produksjonssyklus samlet inn data fra miljølaster (bølger, strøm og vind), samt informasjon om havfarmens bevegelser og strukturelle dynamiske (forbigående) deformasjoner/responser. Disse dataene er brukt til en fullskala validering av analysemodellene brukt i design av havfarmen gjennom sammenligning av teoretisk utregnede responser med de responsene som faktisk er målt i full skala.

Strukturresponsen er vurdert gjennom tre caser/uværsperioder, hvor responsspektra i torsjon, horisontalbøy og vertikalbøy er inkludert. Resultatene fra strukturresponsevalueringene viser god overensstemmelse mellom beregnede og observerte fullskala egenperioder. Avvikene som er observert viser videre at det er tilfredsstillende konservatisme/sikkerhetsmarginer i designet av havfarmen, både med hensyn til maksimal strukturell kapasitet og utmatting.

De hydrodynamiske analysene har inkludert RAOer (transferfunksjoner) for bevegelser i hiv, rull og stamp samt intern bølgeheving. Videre er målinger av havfarmens relative retning i forhold til miljølastene (bølger, vind og strøm) sammenlignet med beregninger. Resultatene viser god korrelasjon mellom måledata og de numeriske beregningene. Det er likevel visse forskjeller av betydning. Disse

viser at man i designet har gjort konservative antagelser bl.a. når det gjelder intern bølgedemping som synes å være bedre i virkeligheten enn i numeriske beregninger og modellforsøk. Når det gjelder havfarmens orientering iht. miljølastene er det i stor grad sammenheng mellom de faktisk målte responsene og de teoretiske beregningene. Imidlertid ble det her påvist påfallende lite korrelasjon mellom strøm og havfarmens retning for relative retninger opp mot 30 grader. Dette indikerer bl.a. at vannutskiftingen i havfarmen sannsynligvis er bedre enn det man kunne forvente dersom korrelasjonen mellom strømretning og havfarmens retning var sterk for alle relative retninger. Resultatene og mer detaljerte vurderinger fra dette arbeidet finnes i sin helhet i vedlegg C.

3.3.3 Strukturovervåking – resultater og validering

Strukturovervåkingssystemet som er levert av SAP (tidligere Fedem Technology) er en ny tilnærming til strukturovervåking av denne type konstruksjoner. Løsningen tar utgangspunkt i et antall sensorer om bord i havfarmen som sender data i sanntid til en skybasert analysemodell. Sensorene sender informasjon om sin posisjon (globalt og relativt til hverandre). Analysemodellen analyserer deretter fortløpende bl.a. anleggets globale respons (hiv, stamp, rull og retning), globale deformasjoner (horisontale og vertikale bøyninger samt torsjon) og utmatting over tid i definerte strukturelle fokusområder. Resultatene fra analysene vises i et web-brukergrensesnitt utviklet av SAP.

Havfarmen er en omfattende konstruksjon som i stor grad består av komplisert struktur og knutepunkter som kan være utsatt for utmatting over tid. Overvåking av slike punkter er viktig for å kunne avdekke ev. skader eller begynnende skader tidlig. Mange av de aktuelle punktene i havfarmen har komplisert tilkomst. Videre gjør omfanget av slike punkter at visuell inspeksjon vil være svært tid- og arbeidskrevende. Bruk av ordinære overvåkingsmetoder som strekklapper vil kunne gi nyttig informasjon, men disse har begrenset levetid, og vedlikehold/utbytting av disse vil innebære mange av de samme utfordringene som visuell inspeksjon. Videre må fysiske strekklapper plasseres nært de punktene som skal overvåkes. Bruk av fysiske strekklapper som et alternativ til de virtuelle strekklappene fra monitoreringsløsningen ville vært praktisk umulig. Overvåkingsmetoden som SAP legger til rette for ivaretar behovet for omfattende og fortløpende informasjon, sammen med en relativt enkel og bestandig installasjon av avansert sensorikk.

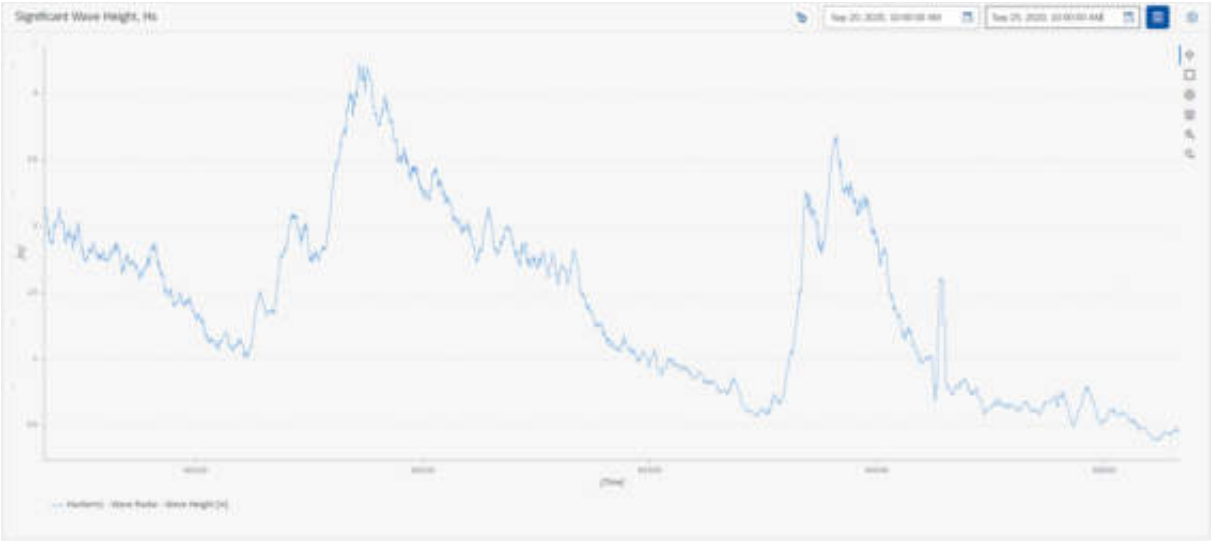
Målet er å kunne bruke dette systemet som et utgangspunkt for vår risikobaserte tilnærming til strukturinspeksjoner, samt å bekrefte gjenstående levetid for konstruksjonen. Ettersom systemet er en ny tilnærming til strukturovervåking av denne typen konstruksjoner har det vært behov for å verifisere at både de innsamlede data, og beregningene i systemet er gode nok til å gi sikker informasjon om strukturens tilstand. Hovedfokus har vært på å verifisere systemets evne til å beregne utmatting i de utsatt områdene. Verifikasjonen har vært gjort gjennom tre uavhengige studier. Gjennom to av disse studiene har resultater fra 7Waves/NSK (designgrunnlag) henholdsvis statisk og dynamisk respons blitt sammenlignet med resultatene fra strukturovervåkingssystemet. Til sist er det gjennomført en validering av systemet gjennom sammenligning med resultater fra strekklapper installert om bord på havfarmen.

Den gjennomførte valideringen viser at skrogovervåkingssystemet for havfarmen fanger de viktigste responsene for beregning av utmatting. For noen analyser ser vi at det er avvik mellom systemet og modellene brukt i design. Disse avvikene er derimot ikke ansett å være av vesentlig betydning, og konklusjonen fra valideringsstudiene er at skrogovervåkingssystemet gir pålitelig og anvendelig informasjon ang. utnyttelse og utmatting i strukturens utsatte områder. Resultatene og nærmere vurderinger fra dette arbeidet finnes i sin helhet i vedlegg C.

3.3.4 Praktiske observasjoner og erfaringer

3.3.4.1 Bølger og vind

Siden idriftsettelse har havfarmen gjennomgått flere perioder med uvær. Det første uværet fikk vi 15. august 2020 med en vindstyrke på 25 meter per sekund fra nordvest, og maksbølger på rundt 4.5 meter (Hs ca. 2.5m). I slutten av september fikk vi to stormer inn med relativt kort tid mellom, henholdsvis 21. og 23. september. Under begge disse dagene opplevde vi sterk vind, og vindkast over grensa for orkan styrke. Bølgehøyden ble på det meste registrert til rundt 6 meter, med Hs på 3.1 m. Figur 23 viser utviklingen i bølgehøyde gjennom disse dagene.

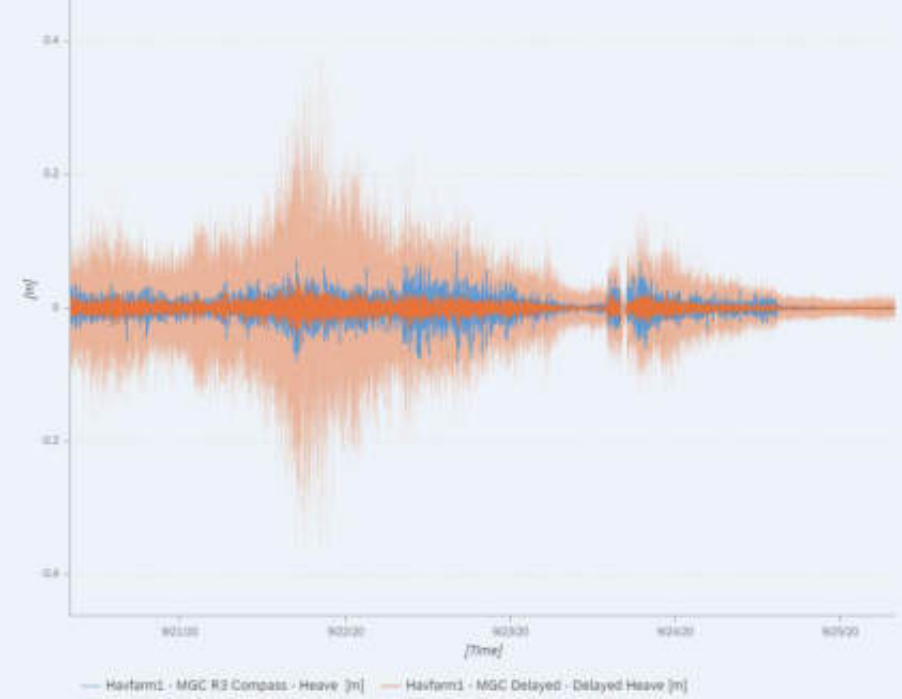


Figur 23. Signifikant bølgehøyde 20-25. september 2020, ved havfarmen Jostein Albert

Videre opplevde vi tilsvarende uvær 5-6. november 2020, hvor vi registrerte maksbølger på >5 meter og en maks Hs på 3,25 meter. I denne perioden ble det målt to dager på rad med Hs>3 meter. Også i denne perioden var det sterk vind, med vindkast opp mot orkan styrke. De tre siste uværene (21.09.20, 23.09.20 og 5-6.11.20) sammenfaller med casene som er utgangspunkt for beregningene i rapporten fra NSK.

3.3.4.2 Havfarmens respons

En av faktorene som har vært interessant å følge med på underveis i de stormene som havfarmen har vært gjennom til nå, er havfarmens respons/bevegelser, og ikke minst hvordan de som jobber om bord har opplevd dette. Under vises målinger av havfarmens stampbevegelse under stormen i september. Graf med svak farge viser målingens standardavvik, noe som igjen viser at havfarmen ikke har beveget seg mer enn > 0,5 meter opp og ned gjennom denne stormen.



Figur 24. Havfarmens stampbevegelser 20-25. september 2020

Det kan for ordens skyld presiseres at bevegelsene var noe høyere under stormen i november. I løpet av første produksjonssyklus har havfarmen vært gjennom flere stormer, med vindstyrke opp mot/over orkan styrke, og signifikant bølgehøyde på >3m. Her er kun resultater fra de tre første stormene, som også inngår i NSK sine analyse, gjengitt. Informasjonen fra besetningen om bord i havfarmen Jostein Albert har imidlertid bekreftet inntrykket som målingene gir, om at havfarmen har beveget seg svært lite, og opplevdes som en trygg plass å oppholde seg gjennom stormene.

3.3.5 Oppsummering teknisk prestasjon

Basert på analysene gjort av NSK kan det konkluderes med havfarmens tekniske prestasjon er i tråd med, eller bedre enn, de forutsetningene som ligger til grunn for designet. Prosjekteringen av havfarmen har dermed vært basert på tilstrekkelig konservatisme/sikkerhetsmarginer, noe som gir et godt grunnlag for å oppnå en total levetid for konstruksjonen som kan tilsvare eller overgå designlevetiden. For å dokumentere dette har vi installert og validert en ny metode for strukturovervåking. Denne viser seg å være pålitelig, og vil blant annet bli brukt ifm levetidsvurderinger og vår risikobaserte tilnærming til strukturinspeksjoner.

Havfarmens respons i dårlig vær er viktig både av hensyn til HMS/besetningens opplevelser om bord, i tillegg til sikkerhet for både utstyr, rømmingssikring og fiskevelferd. Erfaringene besetningen har gjort seg i praksis er at havfarmen fremstår som en trygg og god konstruksjon, selv i svært dårlig vær. Havfarmens tekniske prestasjon bidrar med det i positiv retning til besetningens opplevelse av egen arbeidsplass.

Basert på dette kan det konkluderes med at havfarmens tekniske prestasjon er i tråd med forventningene, og vil kunne tjene som en trygg og effektiv plattform for oppdrett i eksponert farvann i lang tid fremover.

3.4. Havfarmens påvirkning på det ytre miljø

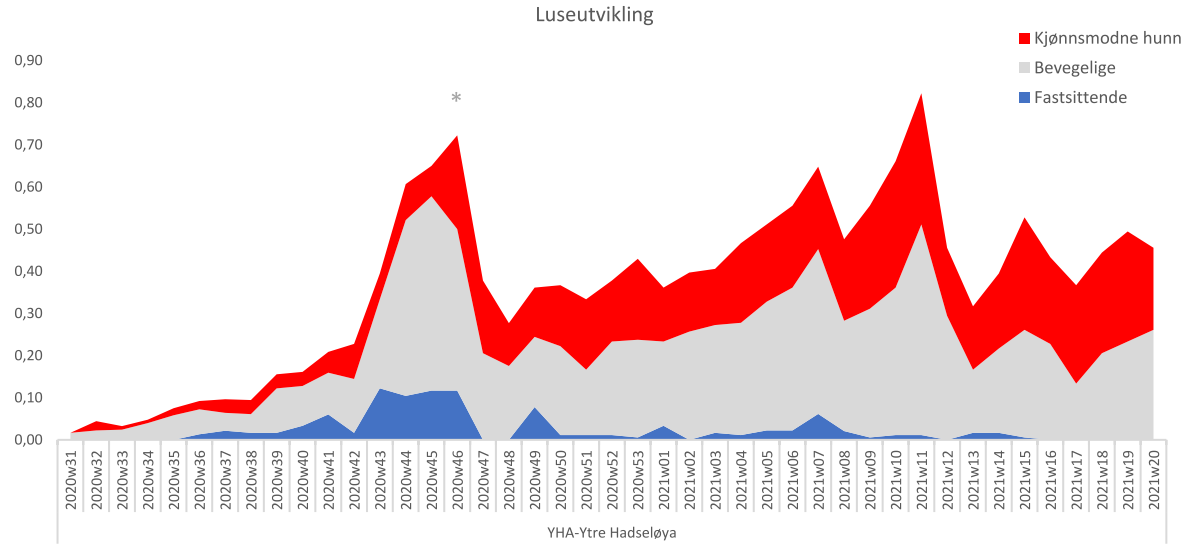
Hensikt: Dokumentere hvordan havfarmen påvirker det ytre miljø, samt avdekke forbedringstiltak som kan gjøres for fremtidig drift for havfarmen Jostein Albert, eller for design, konstruksjon og lokalisering av fremtidige havfarmer.

Havfarmen, som ny løsning for oppdrett av laks, har som målsetning å bidra til å løse enkelte av de utfordringene norsk oppdrettsnæring har møtt, og vil møte i fremtiden. Flere av disse utfordringene er knyttet til påvirkning på ytre miljø, herunder problematikk knyttet til lakselus, samt påvirkning av bunnmiljøet i resipienten.

3.4.1 Lakselus

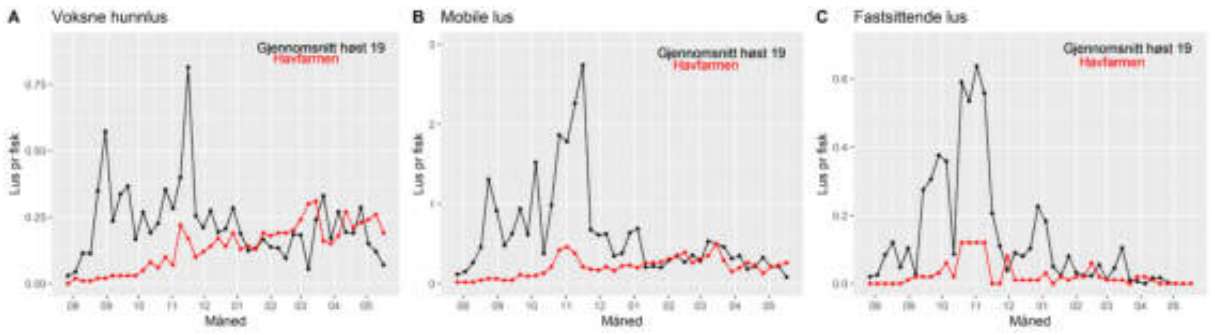
Overordnet lusestrategi for havfarmprosjektet er å sette forebyggende tiltak i system, som stor settefisk, kort produksjonstid i sjø og god avstand til andre lokaliteter. Det er en målsetting å overføre fisk med minst mulig lus inn i havfarmen. Til dette formålet spiller forebyggende tiltak, samt bruk av IMM behandlingsmetoder en nøkkelrolle. Det er besluttet å ikke benytte rensefisk på noen av Nordlaks sine lokaliteter, og dette vil følgelig heller ikke være aktuelt for havfarmene.

Havfarmens mannskap har talt og registrert lakselus innenfor rammene gitt i luseforskriften og dokumentasjonsprogrammet. Fiskehelsepersonell fra helsetjenesten Åkerblå og/eller Veterinærinstituttet, samt internt fiskehelsepersonell i Nordlaks, har også deltatt på lusetellinger, minimum en gang per måned. For prosedyre, samt forbedringstiltak knyttet til lusetellingene, se kapittel 3.2.2 og 3.2.3. Data til å fremstille figurer og grafer er hentet fra innrapporterte registreringer i Mercatus og i Altinn.



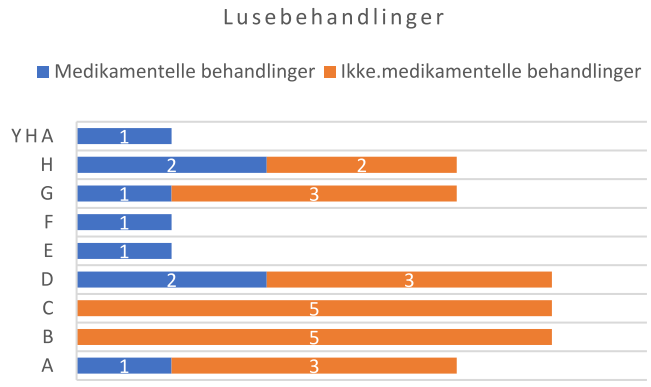
Figur 25. Utvikling av gjennomsnittlig antall lakselus i ulike stadiegrupper gjennom havfarmens første driftssyklus frem til slakt. Stjernen marker start av fôrbasert avlusing.

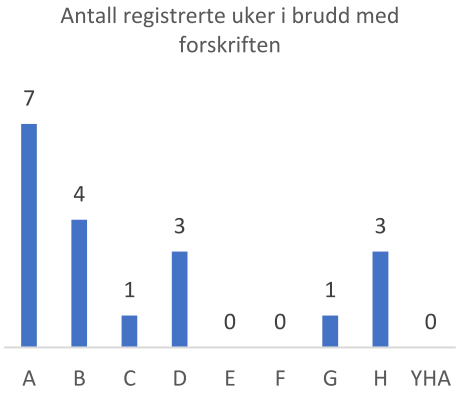
Som vist av figur 25 gikk luseutviklingen relativt langsomt fra utsett i havfarmen og gjennom høsten. I november ble det imidlertid besluttet å iverksette korrigerende tiltak grunnet økning av samtlige stadier lus. Dette for å begrense intern og ekstern smitte med hensyn til resterende produksjonstid i havfarmen. Grunnet covid 19-relaterte forsinkelser i ferdigstilling av egnede fartøy til å avluse fisken i med IMM, ble det besluttet å behandle fisken med Ektobann Vet. (*teflubenzuron*). Behandlingen ble gjennomført i løpet av uke 46 – uke 47. Som vist av figuren var det en betydelig nedgang i andel fastsittende og – bevegelige lakselus i etterkant av behandlingen, og effekten ble vurdert som tilfredsstillende. Videre fremgår det av figuren at lusenivåene har holdt seg relativt stabile gjennom vinteren, med svak økning av samtlige stadium frem mot uke 11. Fra og med denne uken var det en nedgang i lusetallene, noe som er relatert til fortløpende utslakting av lokaliteten.
I løpet av hele perioden var det høyeste registrerte nivået av voksne hunnlus 0.31 lus i snitt per fisk. Lusenivået i havfarmen har følgelig til enhver tid holdt seg under den maksimalt tillatte grensen på 0.5 voksne hunnlus i snitt per fisk. Dette til tross for relativt høye temperaturer i området sammenlignet med gjennomsnittet for de ni siste årene (Vedlegg B). Det har heller ikke gjennom perioden blitt registrert lusetall på enkeltindivider som antas være velferdsmessig belastende for fisken.



Figur 26. Sammenligning av havfarmens luseutvikling mot andre lokaliteter med fisk satt ut i 2019 (n=2-7) innenfor en radius på 40 km fra havfarmen. I perioden har det pågått omfattende utslakt av sammenlignbare lokaliteter, og etter uke 6, 2021 har det bare vært fire andre lokaliteter med H19G i området, se figur 28 for oversikt.

Figur 26 viser utvikling av voksne hunnlus (A), bevegelige lus (B) og fastsittende (C) stadier av lakselus i løpet av perioden, sammenlignet med andre lokaliteter med fisk satt ut høsten 2019. Dette innenfor en radius på 40 km fra havfarmen. Som vist av figuren ligger havfarmens nivåer av samtlige stadier under gjennomsnittet for øvrige anlegg inntil starten av desember 2020, hvor fastsittende stadium i havfarmen for en uke er registrert til å være over gjennomsnittet for øvrige lokaliteter. Fra og med januar er stadium for fastsittende- og bevegelige lus relativt like mellom havfarmen og øvrige lokaliteter, mens havfarmens nivåer av voksne hunnlus er både noe høyere og noe lavere i perioder fra februar til april. I mai var havfarmens nivå av voksne lakselus noe høyere enn øvrige lokaliteter, noe som kan relateres til utslakt (ett anlegg), pågående utslakt (ett anlegg), samt korrigerende tiltak (ett anlegg) inn mot våravlusingsperioden. Fisken i havfarmen ble slaktet ut i begynnelsen av juni. Korrigerende tiltak med hensyn til våravlusingen var derfor ikke nødvendig





	A	B	C	D	E	F	G	H	YHA
Siste registreringsuke (utslaktet etter dette)	1	1	48	6	18	20	20	11	20

Figur 27. Oversikt over lusebehandlinger, antall uker over tillatte lusegrenser, samt siste registreringsuke i barentswatch før utslakt innenfor en radius på 40 km fra havfarmen i løpet av perioden uke 32,2020 til og med uke 20, 2021. (n = 2 – 8). Kilde: Barentswatch.no (hvilke lokaliteter)

Som vist av figur 27 har det blitt gjennomført behandlinger mot lus på samtlige lokaliteter. Havfarmen, samt lokalitet E og F har gjennomført en medikamentell behandling, øvrige anlegge har gjennomført mellom 4 – 5 behandlinger (barentswatch.no). Havfarmen, samt lokalitetene E og F er de eneste lokalitetene som ikke har hatt registrerte lusetall over tillatte grenseverdier, mens øvrige lokaliteter har hatt mellom 1 – 7 uker i brudd med forskriften. Som vist av figuren har det også pågått utslakt fra flere lokaliteter i løpet av perioden. I uke 20 var det kun fisk på to andre anlegg, i tillegg til i havfarmen.

Egnede brønnbåter er svært viktige for effektiv gjennomføring av den overordnede lusestrategien, som havfarmene er en del av. Det er investert i ferskvannsteknologi, samt spyling og termisk avlusing på Nordlaks sine to nye brønnbåter, M/S Bjørg Pauline og M/S Harald Martin. I tillegg har begge fartøy DP-teknologi og større kapasitet i fremdriftssystemene, noe som vil gjøre dem mindre værsensitive enn tradisjonelle brønnbåter i forbindelse med skip-skip operasjoner ved havfarmen. På grunn av Covid-19 pandemien ble M/S Bjørg Pauline vesentlig forsinket fra verftet i Tyrkia. Dette medførte at det ikke var tilgjengelige, egnede fartøy med IMM- og DP-teknologi, som også hadde egnet tilkoblingsmulighet til havfarmen da fisken skulle settes ut i anlegget. Det ble derfor besluttet å behandle fisken med Slice vet. (*emamectin benzaot*) på begge oppvekstlokalitetene før overføring til Ytre Hadseløya. Dette førte til betydelige reduksjoner i lusetall, men fisken ble ikke helt lusefri. Da lusekorrigerende tiltak ble nødvendig i løpet av havfarmens driftsfase var brønnbåten fortsatt forsinket, noe som resulterte i beslutningen om fôrbasert avlusing. Bruk av teflubenzuron vil kunne påvirke miljøet, i hovedsak bunnlevende dyr under eller i nærheten av det behandlede anlegget. Organismer som lever i vannmassene, inkludert planktoniske krepsdyr, er lite utsatt (Vedlegg til preparatomtale, Ektobann vet.) I forkant av behandlingen ble det foretatt en risikovurdering av foreskrivende fiskehelsepersonell. Det hadde ikke blitt brukt teflubenzuron i området tidligere, og med hensyn til lokalitetens strømforhold og store spredningsområde ble risikoen vurdert som akseptabel.

Smitte av lus mellom lokaliteter avhenger av dynamiske krefter som blant annet strøm, i tillegg sjøtemperatur, antall fisk i anlegget og mengde lus på fisken. Aldrin et al. (2013) estimerte imidlertid at risiko for smitte mellom to lokaliteter er mer eller mindre konstant ved avstander på over 20 km mellom anleggene. Ved avstander på under 10 km øker risikoen for smitte mellom de to lokalitetene tilnærmet eksponentielt. Lokalitet Ytre Hadseløya har en avstand til nærmeste lokalitet på >10 km. Lave lusenivåer

i løpet av havfarmens første driftssyklus sees i sammenheng med lave lusenivåer ved overføringstidspunktet, samt lokalitetens gode egenskaper med hensyn til lav ekstern lusesmitte.

For fremtidig drift forventes det at tilpassede brønnbåter vil bidra ytterligere til å opprettholde god lusestatus gjennom produksjonen. Dette i form av overføring av tilnærmet lusefri fisk til havfarmen, samt egnet IMM behandlingsteknologi dersom korrigerende tiltak skulle bli nødvendig. Vi har erfart at luseutviklingen i havfarmen har vært langsom, og at vi til enhver tid har holdt oss godt under maksimalt tillate grenseverdier for lakselus.

3.4.2 Miljøundersøkelser

Havfarmen er fortøyd på svai gjennom en forankringsløsning bestående i en turret i baugpartiet. Anleggets retning, og dermed plassering innenfor lokaliteten Ytre Hadseløya, påvirkes av miljøkrefter som vind, bølger og strøm. For ytterligere detaljer rundt dette, se kapittel 3.3. Dette gir mulighet for spredning av organiske utslipp over et betydelig større område enn om havfarmen var fast forankret i et rigid oppsett. Økt spredeareal sammen med økt eksponering for strøm og bølger forventes å bidra til å opprettholde god miljøtilstand i resipienten.

I forkant av utsettet til havfarmen har det blitt gjennomført totalt fire miljøundersøkelser (en i 2016, to i 2017 og en i 2019), samt en utredning av havfarmens mulige påvirkning på sjøfugl i Ulvøyvær naturreservat. I løpet av driftsfasen har det blitt gjennomført to miljøundersøkelser, en ved halv belastning (uke 48, 2020) og en ved høyeste belastning (uke 8, 2021). Det er også gjennomført en overvåkning av havfarmens plassering på lokaliteten, sammenholdt med produksjonsdata (utfôring). Dette for å kunne dokumentere at konseptet med svaifortøyning fungerer ved å spre anleggets belastning over et større areal, samt for å kunne skreddersy miljøundersøkelsene gjennom en risikobasert tilnærming.

3.4.2.1 Miljøundersøkelser

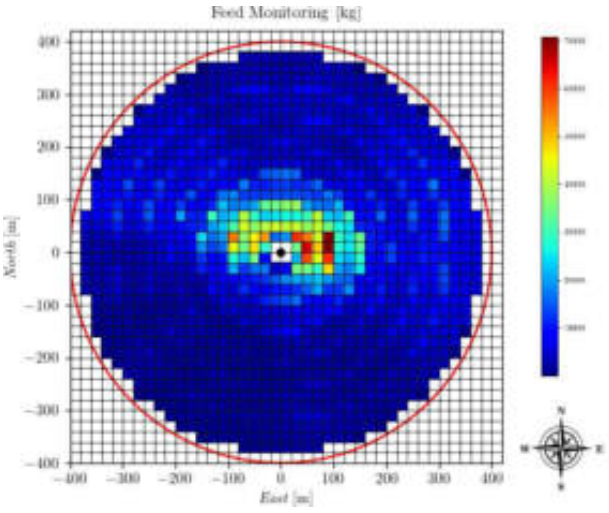
Miljøovervåkning av bunnpåvirkning fra marine akvakulturanlegg er et system for standardisering av miljøovervåking for oppdrettsanlegg i sjø. Alle lokaliteter skal ved produksjon av matfisk overvåkes regelmessig. Miljøundersøkelsene reguleres av Akvakulturdriftsforskriften § 35 og har blitt utført i henhold til metodikken beskrevet i NS9410:2016 og etter dialog med Fiskeridirektoratet og Fylkesmannens miljøvernavdeling, (nå Statsforvalteren). Undersøkelsene omfattet sediment-undersøkelser, faunavurderinger og bunntopografiske vurderinger. Det er også gjort ytterligere undersøkelser på områder som lokale interessenter (fiskere) har pekt ut som interessante å undersøke med hensyn til deres aktivitet.

Samtlige undersøkelser og nevnte miljøutredning har blitt gjennomført av Akvaplan-niva. Tabell 6 viser en oversikt over gjennomførte miljøundersøkelser, inkludert lokalitetstilstand, ved lokaliteten Ytre Hadseløya. Rapportene er vedlagt i sin helhet i vedlegg D.

Tabell 6. Oversikt over gjennomførte miljøundersøkelser ved lokaliteten Ytre Hadseløya.

Dato for prøveuttak	Rapportnummer	Type undersøkelse	Lokalitetstilstand MOM-B
25. – 26.02.2021	APN-62871.01 (Remen, 20201)	MOM-B, høyeste belastning	1
26.11.2020	APN-62637.01 (Remen, 2020)	MOM-B, halv belastning	2
11.03.2019	APN-61043.01 (Heggem, 2019)	Ekstra prøvepunkter i forbindelse med ny lokalitet (krav fra Fylkesmannen i Nordland og Fiskeridirektoratet)	1
27.11.2017 og 06.12.2017	APN-9238.01 (Remen, 2018)	MOM-B og MOM-C Ny lokalitet (forundersøkelse)	1
2016	APN-8038.01 (Guneriussen og Mannvik, 2016)	Ny lokalitet (forundersøkelse)	

Som vist av tabell 6 har forundersøkelsene før utsett til lokaliteten resultert i at lokaliteten Ytre Hadseløya fikk tilstandsklasse 1 «svært god». Ved undersøkelsen i forbindelse med halv belastning av resipienten, fikk lokaliteten tilstandsklasse 2 «god», mens resultatet av undersøkelsen ved høyeste belastning ga tilstandsklasse 1 «meget god».



Figur 28. Oversikt over fôrutslipp i perioden («heatmap») i perioden 25.07.20 – 14.02.21, i relasjon til havfarmens globale plassering. Oversikten er hentet ut i forbindelse med av B-undersøkelse ved maks belastning. Senter av figuren er turret, og hver rute er 20x20 m. Sektorer med hvit farge har ikke mottatt fôr. Det er ikke justert for jordkrumming (Kilde figur: SAP)

Det er totalt utført 8176 tonn fôr i perioden. Figur 28 viser oversikt over fôrutslippet i relasjon til havfarmens posisjonering.

Miljøundersøkelsen som ble gjennomført ved full belastning i vinter ga tilstandsklasse 1 «meget god», og fikk bedre resultater enn undersøkelsen som ble gjennomført ved halv belastning i høst

(tilstandsklasse 2 «god»). Den positive utviklingen av bunnforholdene kan forklares ved at havfarmen hatt ulik dominerende retning i vinter sammenlignet med i sommer/høst, på grunn av svaifortøyningen. Dette har gjort at de områdene av lokaliteten som var mest belastet ved undersøkelsen i november har fått restituert seg gjennom vinteren, som følge av lav belastning på grunn av havfarmens bevegelser. Dette støttes også av overvåkingen av fôrutslippene (heatmap), som viser at spredningen har skjedd over et relativt stort område.

3.4.2.2 Havfarmens mulige påvirkning på sjøfugl i Ulvøyvær naturreservat

I forbindelse med søknad om lokalitetsklarering ble det gjennomført en utredning av havfarmens mulige påvirkning på sjøfugl i Ulvøyvær naturreservat. Dette etter krav fra Hadsel kommune for å imøtekomme Norsk ornitologisk forenings klage på dispensasjonen fra kommuneplanens arealdel. Utredningen ble gjennomført av Akvaplan-niva og viste at det er registrert 22 fuglearter i Ulvøyvær naturreservat. I tillegg ble en liten koloni krykkje (*Rissa tridactyla*) som hekker på Haugkleppan tatt med i vurderingene. Utredningen viste at det er mangelfull forskning på effekter på sjøfugl fra akvakulturanlegg. Videre viste den at 4 av 23 vurderte arter kommer i påvirkningskategori "lav" (1-3), mens de resterende 19 artene viser "ingen" (0) påvirkning. Konklusjonen av miljøutredning var at Havfarmen ville ha ingen til lav påvirkning på sjøfuglbestanden i naturreservatet.

Erfaringer fra havfarmens første driftsfase er at det har blitt observert lite fugl ved eller i anlegget. For en kortere periode ble det registrert et par skarv i merde 5. Det har ikke vært nødvendig å avlive fugl, og det har ikke blitt funnet død fugl i anlegget i perioden. Det nevnes for ordens skyld at det heller ikke har blitt observert sjøpattedyr, oter eller andre arter som typisk blir observert i og rundt tradisjonelle oppdrettsanlegg.

3.4.3 Oppsummering av havfarmens påvirkning på det ytre miljø

Gjennom ukentlige lusetellinger, samt miljøundersøkelser og overvåking av faktisk spredningsareal, er havfarmens påvirkning på det ytre miljø dokumentert på en grundig og helhetlig måte.

Lusenivået har til enhver tid vært innenfor regelverket, og godt under maksimalt tillatte grenseverdier på 0.5 kjønnsmodne hunnlus i snitt per fisk. Sammenlignet med andre anlegg med høstfisk 19G i området har havfarmen gjennom store deler av produksjonen hatt lavere lusenivå. Det er heller ikke registrert lusetall på enkeltindivider som antas være velferdsmessig belastende for fisken.

Til tross for at vi har måttet iverksette tiltak mot lakselus i løpet av første driftsfase, er erfaringene relatert til lus i havfarmen positive. Vi har fått bekreftet vår forventning til lokalitetens egenskaper ved lav ekstern lusesmitte. For fremtidig drift forventes det at tilpassede brønnbåter vil bidra ytterligere til å opprettholde god lusestatus gjennom produksjonen. Dette i form av overføring av tilnærmet lusefri fisk til havfarmen, samt egnet IMM behandlingsteknologi dersom korrigerende tiltak skulle bli nødvendig.

Resultatene fra miljøundersøkelsene har vist at lokaliteten har gode miljøforhold, og er godt egnet for oppdrettsvirksomhet. Miljøundersøkelsen som ble gjennomført ved full belastning i vinter ga tilstandsklasse 1 «meget god», og fikk bedre resultater enn undersøkelsen som ble gjennomført ved halv belastning i høst (tilstandsklasse 2 «god»). Dette bekrefter at havfarmens fortøyningsløsning med anlegg på svai har fungert til sin hensikt, og at områdene som var mest belastet i sommer og høst har fått restituert seg i løpet av perioden.

Det har ikke blitt observert mye fugl i anlegget. Det har heller ikke blitt observert sjøpattedyr, oter eller andre arter som typisk blir observert i og rundt tradisjonelle oppdrettsanlegg.

4. Evaluering av Havfarm 1-prosjektet

Havfarmen er en unik konstruksjon. Planlegging, bygging og idriftsettelse av havfarmen er et prosjekt som ligger langt utenfor Nordlaks sitt normale virksomhetsområde. Læringsprosessen vi som selskap har vært gjennom siden prosjektet ble etablert sommeren 2015 har vært utviklende og gitt oss erfaringer og ny kompetanse som Nordlaks kommer til å nyte godt av både i lignende prosjekter og øvrig drift i uoverskuelig framtid. Prosjektet har også vært en bratt læringskurve for de involverte leverandørene, og har bidratt til å introdusere nye leverandører til havbruksnæringen. Dette har, og vil fortsette å komme norsk havbruksnæring til gode ved at Havfarm 1-prosjektet bidrar til å tilføre havbruksnæringen ny kompetanse, nye ideer og teknologioverføring både i forbindelse med gjennomføring av lignende store prosjekter men også mer ordinære utviklings- og innovasjonsprosesser. Det samme håper vi er tilfellet for denne rapporten, og øvrig dokumentasjon produsert i forbindelse med havfarmen.

Prosjektet har i stor grad blitt påvirket av Covid-19. Pandemien gjorde seg gjeldende i den mest intensive byggeperioden i løpet av de siste månedene før havfarmens avreise fra Kina. Utbruddet av Covid-19 medførte store utfordringer for ferdigstillingen av havfarmen ved at hverken norske eller øvrige utenlandske leverandører hadde mulighet til å reise til verftet for å bidra med ferdigstilling, testing og igangkjøring av utstyret. Videre mistet vi mulighetene til å la mannskapet være med på siste del av byggefasen, noe som var viktig for å få gjort seg kjent med konstruksjonen før de skulle sette den i drift. Dette medførte at havfarmen ikke ble ferdigstilt før avreise fra Kina. Da verftet heller ikke hadde mulighet til å sende sine folk til Norge for å avslutte arbeidet sitt her, ble det opp til Nordlaks å overta ferdigstillingen. På tross av utfordringene knyttet til Covid-19 evnet vi både å få havfarmen ferdigstilt og satt i drift kun få måneder etter opprinnelig plan. Utfordringene knyttet til Covid-19 var imidlertid ikke over etter at havfarmen var satt i drift. I særdeleshet gjelder dette ferdigstillingen av den første brønnbåten vi hadde under bygging i Tyrkia, M/S Bjørg Pauline, som er skreddersydd for operasjoner mot havfarmen. Leveranse av denne båten ble stadig utsatt, og medførte i første omgang at fisken fra Grøttøy og Bullatholmen måtte leveres med alternativ brønnbåt. Etter flere ytterligere forsinkelser måtte de første slakteuttakene fra havfarmen vinteren 2021 gjennomføres ved hjelp av alternative brønnbåter. Stor kreativitet, innsats og pågangsmot har gjort at vi på tross av de til dels store utfordringene som pandemien har påført oss, har klart å gjennomføre prosjektet innenfor rammene av tilsagnet, og tidsrammen som vi selv hadde satt oss som mål.

Gjennom første produksjonssyklus i havfarmen Jostein Albert har Nordlaks dokumentert konstruksjonens og prosjektets prestasjon hva gjelder biologiske, driftsmessige og tekniske forhold samt forhold knyttet til påvirkningen av det ytre miljø. På tross av visse biologiske utfordringer, som ikke kan relateres til havfarmen i seg selv, viser dokumentasjonen at havfarmen har prestert godt på alle områder. Enkelte forbedringsbehov har blitt identifisert, og de fleste av disse har blitt utbedret fortløpende eller er under implementering. Disse har imidlertid vært på et nivå som man i alle tilfeller vil måtte forvente i et utviklingsprosjekt i denne skala.

Havfarmen er en konstruksjon og en driftsform som også gjennom sin lokalisering medfører noen særegne utfordringer og muligheter knyttet til drift. De største praktiske utfordringene har vært knyttet til skip-skip operasjoner og generell logistikk, som i perioder vil kunne påvirkes negativt av værforholdene. Som beskrevet i rapporten her, har dette for de fleste tilfeller heldigvis vært tatt høyde for i design og organisering av driften. De mulige utfordringene man kunne opplevd har dermed i svært liten grad gjort seg gjeldende. På den andre siden ser vi at havfarmen som oppdrettsplattform med fastboende mannskap, har bidratt til solid overvåkning, dokumentasjon og beredskap selv i perioder hvor værforholdene har gjort det vanskelig med adkomst til tradisjonelle anlegg, og hvor det ville vært

uforsvarlig å overføre personell til og fra havfarmen. Rolige bevegelser i sjø, samt fast integrerte systemer for alt fra fôring og dødfiskhåndtering til utstyrshåndtering og miljøovervåking har bidratt til en positiv opplevelse av havfarmen både som arbeidsplass og oppdrettsplattform. Daglig oppfølging og overvåking av både fisk, nøter og konstruksjonen, har vært mulig å gjennomføre på en effektiv, trygg og god måte.

Havfarmen var helt fra prosjektets unnfangelse planlagt fortøyd på svai. Nordlaks og samarbeidspartner NSK Ship Design anså dette som et viktig prinsipp for å ivareta sikkerheten for mannskap, fisk og konstruksjon under skiftende værforhold. Svaifortøyning ville også legge til rette for en lav belastning på bunnmiljøet, til tross for at biomassen i anlegget var planlagt å være større enn tradisjonelle oppdrettsanlegg. Den første miljøundersøkelsen etter oppstart av produksjon ble gjennomført i november 2020 med resultat «2: god». Dette var en indikasjon på at bunnmiljøet var noe påvirket, og at tilstanden var redusert fra «1: meget god» før utsett. Den neste undersøkelsen ble gjennomført i februar 2021 – en fase i produksjonssyklusen hvor fisken snart var slakteklar og anlegget betegnet som å utøve «full belastning». Resultatet fra denne miljøundersøkelsen var «1: meget god» - altså en forbedring fra den forrige undersøkelsen. Resultatene viser at svaifortøyningen har fungert etter hensikten. Havfarmen har spredt belastningen på en slik måte at tidligere påvirkede soner har rukket å restituere seg, samtidig som produksjonen har gått for fullt i anlegget.

Realiseringen av havfarmen har siden 2015 krevd stor innsats fra alle involverte: fra designer og en lang rekke leverandører, via DNV og verft til Nordlaks sine egne ressurser. Selv om prosjektet av ulike årsaker ble en del dyrere enn opprinnelig anslått, viser erfaringene fra første produksjonssyklus at innsatsen har gitt positivt resultat ved at havfarmen har prestert like godt eller bedre enn vi hadde håpet. Dette gir oss trygghet for at havfarmen er en solid konstruksjon som vil kunne brukes til trygg og bærekraftig produksjon av sunn og god mat inn i framtiden.

5. Ringvirkninger og fremtidsplaner

Ordningen med utviklingstillatelsene har skapt nye industrielle samarbeid på tvers av offshore-, havbruks- og den maritime industrien. Kort sagt har ordningen bidratt til å løfte norsk havbruksnæring opp en divisjon i industriell sammenheng, og satt fart på utviklingen av ny kunnskap, nye ideer og ny teknologi til gode for utviklingen av havbruksnæringen både på kort og lang sikt. Vi tror havbruksnæringen står foran en ny industriell epoke. De valgene vi i Norge nå skal gjøre vil være helt avgjørende for om norsk havbruksnæring blir det neste Opera og Think, som forsvant fra verdensscenen, eller om vi skal beholde ledertrøya og posisjonen som verdens fremste sjømatnasjon. For å klare det må norsk havbruksnæring gis muligheter for utvikling, med bærekraftige og konkurransedyktige premisser. Til grunn for dette ligger en stor norsk politisk debatt - hvor mulighetene og fordelene for landet også må få sin plass.

Byggingen av den første havfarmen var utvilsomt et stort, krevende og risikabelt prosjekt - og overskygger ofte hvordan resten av verdikjeden må utvikles for å bli i stand til å ta i bruk og realisere potensialet i havfarmene. Utviklingstillatelsene og vår helhetlige tilnærming til bruk av havfarmer i vår produksjonsstrategi innebærer store investeringer også i andre prosjekter enn selve havfarmene. Utviklingstillatelser, for ikke å si utvikling og vekst, gir ringvirkninger langt ut over bygging og drift av selve konstruksjonen.

Aktiviteten i hele verdikjeden for oppdrettslaks, være seg ombord i båt, på slakteriet eller i smoltanlegget blir i dag bestemt av aktiviteten innenfor oppdrett av matfisk. Det er den delen av vår verdikjede som er tillatelsesbasert, og som sammen med vår økonomiske kapasitet dermed utgjør den største begrensningen. Noen av våre investeringsprosjekter er allerede realisert, og noen prosjekter avhenger av at vi også lykkes med å realisere havfarm 2 og produksjonstanken (overtatt fra Hydra-selskapene).

Figur 29 Brønnbåten MS Bjørg Pauline på prøvetur før overlevering fra verftet. Utviklingstillatelsene har betydelige ringvirkninger i form av investeringer i økt aktivitet og teknologiske fremskritt også i andre deler av verdikjeden. Begge de to nye brønnbåtene er utstyrt med ny teknologi for lavere klima- og miljøavtrykk og representerer en betydelig økt aktivitet i den maritime delen av verdikjeden for havbruk.

En viktig del av havfarmprosjektet har vært byggingen av to nye LNG/batteri-hybride brønnbåter, også det i samarbeid med designpartner NSK Ship Design i Harstad. Prosjektet er støttet av både Enova og NOx-fondet som et viktig steg i retning av mer utslippsfrie og klimavennlige transportløsninger. Fartøyene utgjør investeringer på nærmere 900 millioner kroner, pluss infrastruktur på land. Fartøyene representerer i seg selv en stor økning i Nordlaks sin maritime aktivitet og sysselsetting - og ble kontrahert kort tid etter og som en direkte konsekvens av tilsagnet om utviklingstillatelser.

Tilstrekkelig kapasitet i produksjonen av smolt er en annen sentral forutsetning for å ta i bruk produksjonskapasiteten i havfarmene og for lavere fotavtrykk i vår matfiskproduksjon. Nordlaks ferdigstilte våren 2020 det nye settefiskanlegget på Innhavet i Hamarøy kommune. Hamarøy en viktig havbrukskommune, og vår landbaserte satsing gir betydningsfull verdiskaping, ringvirkninger og sysselsetting i en liten og sårbar kommune. Investeringen på Innhavet var totalt 850 millioner kroner. Nordlaks jobber nå med ytterligere tre betydelige landbaserte prosjekter - både utvidelser av eksisterende anlegg og bygging av nye - med potensielle investeringsrammer på til sammen flere milliarder kroner.

Figur 30. Nordlaks sitt smoltanlegg på Innhavet i Hamarøy stod ferdig våren 2020. Anlegget er blant Norges største RAS anlegg for produksjon av stor smolt, og en viktig bidragsyter til verdiskaping, ringvirkninger og sysselsetting både på Innhavet og i Hamarøy kommune.

Slakteri- og videreforedlingsvirksomheten er vårt største virksomhetsområde i form av sysselsetting. Strukturen og konkurransen innenfor slakteritjenester i Nord-Norge er i sterk endring, og dermed får selskapets eget fremtidige råstoffgrunnlag enda større betydning for planlagte investeringer og fremtidig kapasitet i slakteri- og videreforedling. Umiddelbart etter tilsagn om utviklingstillatelser gikk Nordlaks i gang med flere betydelige utbyggingsprosjekter ved vår fabrikk på Børøya; bygging av 90 meter ny kaifront med landstrømtilkobling for brønnbåter, samt planlegging og etter hvert realisering av nytt vannbehandlingsanlegg for fabrikken. Disse nå fullførte prosjektene innebar investeringer for 200 millioner kroner. Videre inngikk Nordlaks og Hadsel kommune en samarbeidsavtale som muliggjorde vår overtakelse av nye industritomter fra kommunen, samtidig som kommunen fikk klargjort og etter hvert solgt ytterligere industritomter til andre aktører. Nordlaks arbeider nå med

realisering av det første byggetrinnet i et større prosjekt for å modernisere og utvide fabrikken på Børøya. Ny terminal og kassefabrikk vil bidra til mer effektiv logistikk, både hos Nordlaks og på det offentlige veinettet ved at det fjernes flere tusen vogntog per år. Tempoet og omfanget av utvidelsene av fabrikken på Børøya avhenger sterkt av fremtidig råvaretilgang og hvorvidt vi klarer å realisere utestående utviklingsprosjekter i havfarm 2 og produksjonstanken. Potensielt innebærer våre prosjekter på Børøya investeringer på over en milliard kroner. Hadsel kommune arbeider også med planer om Hadsel miljøhavn, en industriklynge som kan bli et nytt industrielt kraftsenter i vår region. Vi våger oss på å påstå at lite av dette hadde skjedd, i alle fall i det tempoet vi nå ser, om ikke staten hadde gitt Nordlaks mulighet til storskala industriell utvikling i form av utviklingstillatelser.

I 2017 hadde Nordlaks om lag 500 sysselsatte i konsernet. Frem til i dag har vi hatt en betydelig vekst i egen sysselsetting. I dag er det om lag 650 sysselsatte i Nordlaks. Utviklingsprosjektene har ikke bare gitt et økt omfang i sysselsettingen, men også ført til langt flere kompetansekrevende arbeidsplasser i Nordlaks. Nordlaks har hatt til sammen over 1000 søkere på nye stillinger ombord i havfarmen og i brønnbåtene. Utviklingsprosjektene har bidrar til å sette havbruksnæringen på kartet også i jobbmarkedet. Den industrielle og teknologiske utviklingen som ordningen har muliggjort bidrar klart til at vi og andre kan tilby flere attraktive stillinger og dermed bidra sterkere til å redusere den svært uheldige - særlig blant unge mennesker - befolkningsutviklingen i Nord-Norge.

De største ringvirkningene også innenfor sysselsetting skjer likevel hos våre leverandører. I gjennomsnitt skaper Nordlaks 2,3 arbeidsplasser hos leverandørene for hver egen sysselsatt (Menon Economics 2019). Det innebærer at vår aktivitet i dag sannsynligvis skaper 1200-1500 arbeidsplasser hos våre leverandører. En betydelig andel av dette skjer i vår egen region, i Nord-Norge, hvor Nordlaks i de tre siste årene har gjort innkjøp for til sammen tre milliarder kroner.

Nordlaks har de siste ti årene hatt et samlet overskudd etter skatt på 5,2 milliarder kroner. Totale investeringer har i den samme perioden vært på 4,8 milliarder kroner. Våre overskudd har nærmest utelukkende fått anvendelse i investeringer, forbedring og utvikling. Utviklingstillatelsene har gjort det mulig å fortsette og bygge industri i Nord-Norge, til å la vår kapital finne anvendelse i norsk havbruksnæring og bidra til økt sysselsetting og verdiskaping på lang sikt.

Det er i dag ingen selvfølge at vi som næring eller selskap har slike muligheter. Realiseringen og fullføringen av havfarmprosjektet, inkludert de her beskrevne investeringene langs hele vår verdikjede, avhenger sterkt av vår økonomiske kapasitet og lønnsomhet i tiden fremover. Men like avgjørende er det at vi klarer å navigere det stadig vanskeligere farvannet frem mot realisering også av havfarm 2 og produksjonstanken. Med stadig mer tilgjengelig kunnskap, samt behov for flere interesseavveininger og lengre prosesser for klarering av areal - anser vi ikke det som selvsagt.

Vår overordnede ambisjon er at havfarmprosjektet skal bidra til å stake ut kursen for hvordan norsk havbruksnæring kan tillates fortsatt vekst, på en bærekraftig og konkurransedyktig måte. Havfarm 1-prosjektet har vist vei så langt, og vist hva som er mulig å få til av økonomisk, teknologisk og samfunnsmessig utvikling i en av Norges ytterkanter - når storsamfunnet bestemmer seg og legger til rette for det.

Og nettopp samfunnsutvikling er viktig for oss, som et lokalt eid nordnorsk selskap med hjerte for landsdelen og for videreutviklingen av norsk havbruksnæring i Norge. Med utviklingstillatelsene har regjeringen lagt til rette, ikke bare for at innovasjonsviljen i havbruksnæringen har fått blomstre, men også for at havbruksnæringen har fått vise hvordan den kan bidra til å skape fremtiden i vår landsdel – og for landet.

Figur 31. Nordlaks mottok over 350 søknader da havfarmen Jostein Albert skulle bemannes. Utviklingstillatelsene har satt havbruksnæringen på kartet, også i jobbmarkedet, og har bidratt sterkt til å sette fart på utviklingen mot stadig økende kompetansebehov og næringens evne til å tilby interessante arbeidsplasser i distriktene. Det er av stadig større betydning i en landsdel hvor normalen har vært eksport av kompetanse og eksport av ungdom sørover og mot mer sentrale strøk. Dette er mannskapet som gitt om bord da havfarmen Jostein Albert kom hjem til Hadsel den 13. juni 2020.

6. Referanser

Aldrin. M, Storvik B, Kristoffersen AB, Jansen PA (2013) Space-Time Modelling of the Spread of Salmon Lice between and within Norwegian Marine Salmon Farms- PLoS ONE 8(5): e64039. doi: 10.1371/journal.pone.0064039.

Fiskeridirektotatets karttjeneste, Yggdrasil. Kart over lokaliteten 39777 Ytre Hadseløya. Hentet fra https://kart.fiskeridir.no/

Forskrift om bekjempelse av lakselus i akvakulturanlegg (luseforskriften) (2012). (FOR-2012-12-05-1140). Hentet fra https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2012-12-05-1140?q=lakselus.

Forskrift om drift av akvakulturanlegg (Akvakulturdriftsforskriften). (2008) (FOR-2020-12-18-3041) Hentet fra https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2008-06-17-822?q=akvakulturdrift.

Hvas, M., Folkedal, O., & Oppedal, F. (2021). *Fish welfare in offshore salmon aquaculture.* (13), 836 - 852 *Reviews in Aquaculture.*

Hvas, M., Folkedal, O., & Oppedal, F. (2019). *Havbasert oppdrett – hvor mye vannstrøm tåler laks og rensefisk? Fiskevelferd og grenseverdier.* Rapport fra Havforskningern 2019-37.

Noble, C., Nilsson, J., Stien, L. H., Iversen, M. H., Kolarevic, J. & Gismervik, K. (2018). *Velferdsindikatorer for oppdrettslaks: Hvordan vurdere og dokumentere fiskevelferd*. 312pp. (ISBN 978-82-8296-552-1)

Nordlaks Oppdrett AS (2020) *Prosjekterings- og byggefase, havfarm 1,* Nordlaks rapport 03 – 2020

Preparatomtale Ektobann vet. Vedlegg 1 https://www.legemiddelsok.no/_layouts/15/Preparatomtaler/Spc/1997-03650.pdf

Rosten, T. W., Ulgenes, Y., Henriksen, K., Terjesen, B. F., Biering, E. & Winther, U. (2011). Oppdrett av laks og ørret i lukkede anlegg – forprosjekt. Rapport SINTEF Fiskeri og havbruk, nr. A21169. 74 s.

7. Vedleggsliste

Vedlegg A	Prosjektoppsummering Havfarm 1	Veterinærinsituttet
	Rapport 02-2020 Dokumentasjonsprogram Havfarm 1	Nordlaks
	Havfarm 1 Metocean report Ytre Hadseløya	Multiconsult
Vedlegg B	Havfarm 1 –Biologisk prestasjon. Delrapport, Produksjonen på postsmolt-lokalitetene Bullatholmen og Grøttøy 2019-20	Veterinærinsituttet
	Oppsummering helsestatus	Åkerblå
	Figurer, tabeller og eksklusjonskriterium fiskebaserte velferdsindikatorer	Veterinærinsituttet
	Figurer, tabeller og eksklusjonskriterium miljøbaserte velferdsindikatorer	Veterinærinstituttet/Nordlaks
	Resultater Photofish	Photofish/Nordlaks
Vedlegg C	3417-100-005 Havfarm 1 Teknisk Prestasjon Arbeidspakke 3	NSK Ship Design
	722 – Havfarm 1 – Structural Monitoring – Validation report	SAP
Vedlegg D	Status PO9 temperatur og luselarver	Havforskningsinstituttet via lusekoordinator i Åkerblå
	B-undersøkelse, 39777 Ytre Hadseløya, 2021 Høyeste belastning	Akvaplan-niva
	B-undersøkelse, 39777 Ytre Hadseløya, 2020 Halv belastning	Akvaplan-niva
	Miljøkonsekvenser av Havfarm for sjøfugl i Ulvøyværet naturreservat, Hadsel kommune, Nordland	Akvaplan-niva
	B-undersøkelse, 39777 Ytre Hadseløya, 2017 Ny lokalitet	Akvaplan-niva
	Miljøundersøkelse Ytre Hadseløya, 2016	Akvaplan-niva

Vedlegg A

Prosjektoppsummering

Veterinærinstituttet
Norwegian Veterinary Institute

Veterinærinstituttets rolle i dokumentasjonen av første produksjon av laks i Havfarm1

Bakgrunn

Nordlaks oppdrett AS og Veterinærinstituttet innledet i 2015 et samarbeid med mål å dokumentere fiskehelse og –velferd i Havfarm1. Høsten 2019 ble det skrevet en samarbeidsavtale.

I tidlig fase av samarbeidet deltok Veterinærinstituttet blant annet som sparringspartner i forbindelse med valg av sensorikk på Havfarm1. Senere var Veterinærinstituttet aktivt involvert i utarbeidelsen av dokumentasjonsprogrammet. Det ble satt ut laks i Havfarm1 i perioden fra slutten av juli til begynnelsen av september 2020.

Arbeidsoppgaver og ansvar

Dokumentasjonen av fiskens prestasjon i Havfarmen er en del (arbeidspakke 1, Biologisk prestasjon) av det totale dokumentasjonsprogrammet for Havfarm1. Veterinærinstituttet har hatt et koordinerende og faglig ansvar for arbeidspakke 1. Utover arbeidet på Havfarm1 inkluderer denne arbeidspakken en utvidet dokumentasjon av postsmoltfasen til fisken som ble flyttet inn i Havfarm 1. Veterinærinstituttet har utarbeidet en rapport om postsmoltfasen som er vedlagt sluttrapporten til Havfarm1.

Koordinering

Det er gjennomført fysiske møter i Stokmarknes i forbindelse med oppstart av prosjektet (august 2019) og et statusmøte for postsmoltlokalitetene (februar 2020). Fra høsten 2020 har det blitt avholdt en rekke digitale møter, deriblant ukentlige statusmøter med personell på Havfarm1, Operasjonssentralen og prosjektledelsen i Nordlaks.

Feltarbeid

Personell fra Veterinærinstituttet gjennomførte en inspeksjon på postsmoltlokalitetene i februar 2020. I juli 2020 var det et større feltarbeid på postsmoltlokalitetene i forbindelse med undersøkelse av status på fisken som skulle flyttes inn i Havfarm1. Veterinærinstituttet har deltatt på to av de månedlige prøveuttakene på Havfarmen, i august og oktober 2020.

Bearbeiding og tolking av resultater

Veterinærinstituttet har bidratt aktivt i bearbeiding, kvalitetssikring og tolking av data relatert til fiskehelse og –velferd fra undersøkelser og sensorer på Havfarm 1.

Oppsummering

Veterinærinstituttet mener at dokumentasjonen av fiskens prestasjon i Havfarm 1 er utført i overensstemmelse med god faglig standard. Resultatene som presenteres i sluttrapporten, kapittel 3.1 Biologisk prestasjon, gir et fyldig og dekkende bilde av den første produksjonen fram til det ble satt sluttstrek 21. mars 2021. Vurderingene i rapporten vedrørende fiskens helse og velferd er i overensstemmelse med Veterinærinstituttet sin oppfatning i denne saken.

Takk

Veterinærinstituttet takker for oppdraget. Det har vært et interessant og lærerikt prosjekt å delta i. Veterinærinstituttet ønsker Nordlaks Oppdrett AS lykke til med den videre bruken av Havfarm1.

Brønnøysund, juni 2021

Kristoffer Vale Nielsen
Prosjektleder VI

NORDLAKS OPPDRETT AS 30.04.2020

Dokumentasjonsprogram

Havfarm 1

Dokumentasjonsprogram

Havfarm 1

Rapportnummer
02-2020

Prosjektleder
Bjarne Johansen

Forfattere
Nordlaks Oppdrett AS

Selskap
Nordlaks Oppdrett AS

Dato
30.04.2020

Oppsummering
Dokumentasjonsprogram søker å tilfredsstille de forventninger som Fiskeridirektoratet har kommunisert til dokumentasjon av prosjektet, samtidig som det søker å imøtekomme de intensjoner som ble presentert av Fiskeriministeren ved endelig vedtak om tilsagn om utviklingstillatelser.

Utgiver
Nordlaks Oppdrett AS
Postboks 224
8455 Stokmarknes
Telefon: 76 11 81 00
E-post: firmapost@nordlaks.no
nordlaks.no

© 2020 Nordlaks Oppdrett AS

Innholdsfortegnelse

1. Innledning 5

1.1. Om prosjektet 5

1.2. Produksjonsstrategi 6

2. Arbeidspakke 1: Biologisk prestasjon 7

2.1. Bakgrunn 7

2.2. Hensikt 7

2.3. Metode 7

2.4. Miljøbaserte velferdsindikatorer 8

2.5. Fiskebaserte velferdsindikatorer 9

2.6. Involverte 10

3. Arbeidspakke 2: Driftsmessig prestasjon 11

3.1. Bakgrunn 11

3.2. Hensikt 11

3.3. Metode 11

3.4. Involverte 12

4. Arbeidspakke 3: Teknisk prestasjon 13

4.1. Bakgrunn 13

4.2. Hensikt 13

4.3. Metode 13

4.4. Involverte 15

5. Arbeidspakke 4: Ytre miljø 16

5.1. Bakgrunn 16

5.2. Hensikt 16

5.3. Metode 16

5.4. Involverte 17

6. Datahåndtering og rapportering 18

Liste over figurer

Figur 1: Plassering av sensorikk for strukturovervåking 14

Figur 2: Visualisering av de bevegelsesformene somdet relative posisjoneringssystemet kan logge. GNSS-sensorer er her representert som en røde sirkler i figur. 14

Figur 3: Funksjon av system for kobling av posisjonsdata til fôringsdata. Faktisk rapportering vil avvike fra dette, som kun er vist som en illustrasjon av filosofien. 17

Liste over tabeller

Tabell 1: Miljøbaserte velferdsindikatorer 8
Tabell 2: Fiskebaserte velferdsindikatorer 9

1. Innledning

Nordlaks Oppdrett AS mottok 22.12.16 tilsagn om utviklingstillatelser for Havfarm 1. Vedtaket ble 08.09.17 justert for antall tillatelser inkludert i tilsagnet, men tilsagnets øvrige innhold forble uendret. Tilsagnet om utviklingstillatelser inkluderer en rekke målkriterier som må oppfylles før utviklingstillatelsene kan søkes konvertert til kommersielle tillatelser. Ved justering av tilsagnet i september 2017 var det et uttalt mål fra Fiskeriministeren at prosjektet skulle gjennomføres og kommersialiseres (herunder konvertering av tillatelser) så raskt som mulig. Nordlaks har som målsetning å gjennomføre prosjektet i tråd med disse intensjonene, og vil søke å oppfylle alle målkriterier i løpet av første produksjonssyklus.

Målkriterium 5.a sier følgende

«Prosjektet skal senest 3 måneder før det første utsettet av fisk fremlegge et program for å kunne dokumentere resultater i driftsfasen. Programmet skal beskrive hvilke målinger og parametere som vil inngå, og hvordan disse data vil lagres og kunne bearbeides videre. Fiskeridirektoratet skal godkjenne programmet, og kan påvirke hvilke målinger og parametere som skal inngå».

Nordlaks sendte inn forslag til dokumentasjonsprogram til Fiskeridirektoratet 18.06.19. Dette programmet var basert på dialog med Fiskeridirektoratet fram til dette tidspunktet, herunder flere møter hvor bl.a. dette tema hadde blitt berørt. Programmet var dermed i all hovedsak relatert til måling og dokumentasjon av biologisk/produksjonsmessig prestasjon. Nordlaks mottok den formelle tilbakemeldingen fra Fiskeridirektoratet 13.04.20. I denne etterlyste Fiskeridirektoratet målepunkter innen flere områder, og et generelt hevet ambisjonsnivå for dokumentasjonsprogrammet. Det ble også etterlyst en forankring i vurderinger knyttet til prosjektets særegne risikobilde.

Herværende forslag til dokumentasjonsprogram søker å tilfredsstille de forventninger som Fiskeridirektoratet har kommunisert til dokumentasjon av prosjektet, samtidig som det søker å imøtekomme de intensjoner som ble presentert av Fiskeriministeren ved endelig vedtak om tilsagn om utviklingstillatelser.

1.1. Om prosjektet

Da ordningen med utviklingstillatelser ble opprettet i november 2015, åpnet dette muligheten for å realisere et prosjekt som Nordlaks Oppdrett hadde jobbet med planleggingen av over en periode. Havfarmprosjektet er et større prosjekt bestående av flere utviklingstrinn hvor den stasjonære Havfarmen (Havfarm 1) er det første trinnet. Med tilsagn om totalt 13 utviklingstillatelser, mottatt i september 2017, til utvikling av Havfarm 1 fikk Nordlaks Oppdrett mulighet til å realisere deler av dette prosjektet, og kontrakt med byggeverftet, Yantai CIMC Raffles Offshore Ltd., ble signert allerede i februar 2018. Sommeren 2020 vil Havfarm 1 ankomme sin godkjente lokalitet 39777 Ytre Hadseløya, hvor forberedelser til, og oppstart av, produksjon av laks er planlagt gjennomført i løpet av sommeren/tidlig høst 2020.

Målet med Havfarmen er å gjøre nye områder i mer eksponerte farvann tilgjengelig for oppdrett av laks, samtidig som biologiske utfordringer knyttet til bl.a. lakselus og påvirkning av lokal resipient reduseres. Bruk av mer eksponerte lokaliteter, med Havfarmkonseptets særegne innretninger, åpner for bedre miljømessige og fiskevelferdsmessige produksjonsbetingelser. Med Havfarmene skal Nordlaks flytte den siste og mest intensive delen av laksens vekstfase ut av fjordene og lenger bort fra andre akvakulturlokaliteter enn det som er vanlig i dag. Havfarmene skal plasseres i områder som ikke kan utnyttes til oppdrett med dagens tilgjengelige utstyr. Dette er mer eksponerte havområder med komplekse vind-, strøm- og bølgeforhold, og typisk større dyp. Disse lokalitetene forventes å gi gode miljømessige, fiskevelferdsmessige og produksjonsmessige betingelser. Det forventes at man med

denne type produksjon, kan produsere betydelige mengder med laks uten bruk av legemidler og med betydelig mindre miljømessig fotavtrykk. Dette spesielt i forhold til lakseluseproblematikk, som per i dag er en betydelig utfordring for næringen.

Havfarmen er et integrert anlegg med tilhørende oppdrettstekniske systemer med elementer fra både maritim-, offshore- og oppdrettsteknologi. Konstruksjonen har omriss som et skip, men er en åpen rammekonstruksjon med hydrodynamiske egenskaper som en halvt nedsenkbar plattform. Et beskyttelsesskjørt i stål er integrert i konstruksjonen for å beskytte fisken mot de største vannakselerasjonene. Konstruksjonen vil gi plass til seks notsystemer. Integrerte løsninger, slik som blant annet thrustere, vil sikre en optimalisering av fiskens levemiljø, også i perioder med mindre strøm. Den stasjonære Havfarmen vil ha en forankringsløsning i baugpartiet slik at den ligger på svai. Anleggets retning og dermed plassering innenfor lokaliteten bestemmes derfor hovedsakelig av vind-, bølge- og strømretning. Det at Havfarmen vil ligge på svai betyr at man får et betydelig større areal for deponering av organiske utslipp fra produksjonen, noe som vil være gunstig for miljøet.

Operatørenes arbeidsmiljø, helse og sikkerhet har vært et sentralt premiss i prosjektet. Det betyr at design, arbeidsoperasjoner og utstyr er planlagt med dette utgangspunktet. Nødvendig oppdrettsteknisk utstyr vil være plassert på Havfarmen, blant annet på skinnegående servicevogner. Dette bidrar til å redusere behovet for interaksjon med andre anlegg, noe som hever biosikkerheten i anlegget sammenlignet med tradisjonelle anlegg.

1.2. Produksjonsstrategi

Havfarmene er det siste leddet i Nordlaks-metoden, Nordlaks sin nye produksjonsstrategi. Nordlaks-metoden er en helhetlig strategi for å nå målet om å produsere oppdrettslaks med bedre fiskevelferd og med mindre påvirkning på miljøet enn tradisjonelt oppdrett. Realiseringen av det første steget i Nordlaks-metoden startet høsten 2016 med byggingen av det nye smoltanlegget på Innhavet i Hamarøy kommune. Nordlaks mer enn dobler den landbaserte produksjonskapasiteten og vil produsere større settefisk enn i dag. Dette vil korte ned den totale produksjonstiden i sjø. Den store smolten skal settes ut i tradisjonelle anlegg for påvekst frem til 1-1,5 kilo, hvoretter fisken flyttes videre til Havfarmene.

Nordlaks har erfart at koordinert brakklegging, sammen med andre forebyggende tiltak slik som beskyttelsesskjørt mot lakselus, har et stort potensial når det gjelder å begrense medisinbruk og ikke-medikamentell behandling mot lakselus. Kortere total produksjonstid i sjø, sammen med en kort tilvekstfase på 4-10 måneder i tradisjonelle anlegg før overføring til Havfarm vil også muliggjøre smartere og hyppigere brakklegging av større soner enn i dag. Nordlaks mener den nye produksjonsstrategien vil gjøre det mulig å produsere en lusefri laks på 1,5 kilo. Når denne fisken kommer i Havfarmene vil anleggenes plassering gjøre det mulig å produsere videre fram til slakteklar fisk uten bruk av noen form for behandling mot lakselus – som i dag er en utfordring når det gjelder fiskevelferd. En produksjon med lite lakselus vil også være en miljømessig fordel, i forhold å beskytte villfisk mot påslag av lakselus ved utvandring til havet om våren, og for sjøørreten som er stasjonær i fjordene.

Første generasjon, Havfarm 1 – produksjonsskisse

Høsten 2019 ble det satt ut smolt på 2 såkalte «postsmoltlokaliteter», 11162 Bullatholmen og 29096 Grøttøya. Dette er de nærmeste tradisjonelle lokalitetene til 39777 Ytre Hadseløya, hvor Havfarm 1 vil installeres. Når fisken har gjennomgått en påvekstfase her, fram til Havfarm 1 er klar til overføring av fisk sommer/tidlig høst 2020, og da nådd en vekt på > 1 kg, vil den overføres til Havfarmen for siste del av produksjonen, frem til slakt. Det planlegges en fullskala utprøving av Havfarmen med en produksjon på inntil 10 000 tonn. Første produksjonssyklus i Havfarm 1, og dermed herværende dokumentasjonsprogram, planlegges avsluttet i løpet av senvinteren 2021.

2. Arbeidspakke 1: Biologisk prestasjon

2.1. Bakgrunn

Havfarmen er en ny type konstruksjon og metode for oppdrett av laks. Den vil plasseres i et eksponert område med potensiale for betydelig høyere vannakselerasjoner – særlig i form av bølger – enn tradisjonelle anlegg. Fisken i anlegget vil dermed kunne utsettes for andre påkjenninger enn det som er kjent fra tradisjonell drift, noe som kan medføre konsekvenser (både positive og negative) for fiskens prestasjon, fiskevelferd og –helse. Anlegget vil ligge på svai, noe som medfører at anleggets orientering mot innkommende krefter som strøm, vind og bølger bestemmes av naturkreftene. Dette kan medføre at anlegget store deler av tiden blir liggende på langs med hovedstrømretningen, noe som mulig kan skape utfordringer for merdemiljø, særlig i de merdene som ligger lengst nedstrøms.

Havfarmen vil lokaliseres i stor avstand til andre oppdrettsanlegg og lakseførende vassdrag. Samtidig vil Havfarmen, som nevnt over, være en del av en helhetlig produksjonsmetode som gir grunnlag for mer effektiv drift, også med tanke på forebygging av lakselus og smittsomme sykdommer.

Som nevnt over, har Havfarmen integrerte løsninger som er designet spesifikt for å ivareta/forebygge de mulige utfordringene knyttet til biologisk prestasjon, fiskevelferd og –helse. Dokumentasjon av konseptets mulige påvirkning på disse faktorene, samt de integrerte løsningenes effekt for å optimalisere forholdene for fisken er avgjørende for å kunne vurdere konseptets potensiale for senere kommersialisering. Forslag til metodikk for slik dokumentasjon er beskrevet under, og vil kunne justeres dersom dette viser seg nødvendig gjennom prosjektet.

På postsmolt-lokalitetene gjennomføres et eget program for dokumentasjon av fiskehelse og -velferd. Det gjennomføres også lignende dokumentasjon på ytterligere en lokalitet (32697 Steilo), slik at man har data fra flere lokaliteter dersom det oppstår problemer hos deler av fisken. Slik vil det være god mulighet for å kunne flytte godt dokumentert og frisk fisk inn i Havfarmen.

2.2. Hensikt

Hensikten med denne arbeidspakken er å dokumentere de fiskehelse- og velferdsmessige faktorer samt fiskens biologiske prestasjon i Havfarm 1, i relasjon til de særegne løsninger og mulige utfordringer og muligheter som ligger Havfarmteknologien. I forbindelse med dette er det også en målsetning å identifisere hvilke velferdsparametere som er avgjørende å ha kontroll på ved bruk av denne typen teknologi.

2.3. Metode

Det daglige tilsyn i anlegget som utføres av driftspersonell og helsekontrollen, som utføres av autorisert dyrehelsepersonell, vil utgjøre grunnstammen i overvåkingen av helse og velferd til laksen i prosjektet. En forutsetning for å kunne nyttiggjøre seg av denne informasjonen er aktiv loggføring av parametere som: bølgehøyde, vær, vindstyrke og retning, hendelser, observasjoner, utførte operasjoner og vedlikehold. Slik loggføring vil gjennomføres i tråd med beskrivelser i de øvrige arbeidspakker, og data fra disse vil også kunne inkluderes i herværende arbeidspakke for helhetlig vurdering av Havfarmens egnethet.

I forbindelse med større driftsoperasjoner vil det, i tråd med beskrivelsene i arbeidspakke 2, utarbeides egne rapporter av ansvarlig for operasjonen. Disse rapportene vil oppsummere operasjonen og bl.a. gi vurdering av fiskevelferden.

Det vil bli utarbeidet egne registreringsskjema/oppsett for registrering av enkelte velferdsparametere i prosjektet.

Velferdsbehov er behov som påvirker velferden negativt og gir negative følelser når de ikke blir oppfylt eller forverres, og gir dyret belønnede positive følelser når de behovene blir oppfylt eller forbedret.

Velferdsindikatorer som brukes i den daglige driften kalles operative velferdsindikatorer og må gi en gyldig refleksjon over dyrevelferd, være enkle i bruk, pålitelige, repeterbare, sammenlignbare og være aktuelle og passe til formålet indikatoren er bestemt for. For å kunne sammenligne ulike merder, tanker osv. er det viktig at indikatorene blir målt på en standardisert og formalistisk måte.

Registreringene som gjennomføres innenfor denne arbeidspakken deles inn i miljømessige velferdsindikatorer, og fiskebaserte velferdsindikatorer som igjen deles inn i individuelle og gruppebaserte indikatorer.

I tillegg til de konkrete velferdsindikatorene, vil driftsmessige forhold kunne defineres som velferdsindikatorer, eller påvirke disse. Bl.a. vil bruk av thrustere generere økt vannstrøm/vannutskifting internt i merdene, men også potensiell støy og vibrasjon. Slike operasjoner og bruk av thrustere vil registreres og sammenholdes med utvikling av de konkrete velferdsindikatorene.

2.4. Miljøbaserte velferdsindikatorer

Miljøbaserte velferdsindikatorer er objektive registreringer som typisk gjennomføres ved bruk av permanent installert sensorikk, eller manuelle sensorer. I Havfarmens tilfelle vil man i stor grad belage seg på fast installert sensorikk, som vil suppleres/verifiseres av manuelle sensorer ved behov/indikasjon.

Følgende miljøbaserte velferdsindikatorer er foreslått å overvåke/registrere ifm denne arbeidspakken:

Tabell 1: Miljøbaserte velferdsindikatorer

Hva:	Hvor ofte:	Av hvem:	Kommentar:
Oksygen	Kontinuerlig logging	System/Driftspersonell	I alle merder, 3 dyp
Temperatur	Kontinuerlig logging	System/Driftspersonell	I alle merder, 3 dyp
Diverse vannkvalitet	Ukentlig	Driftspersonell	Dybdeprofil i alle merder, multisensor
Strøm, cm/s	Kontinuerlig logging	System/Driftspersonell	På utsiden av anlegg, doppler (HADCP)
Bølgehøyde	Kontinuerlig logging	System/Driftspersonell	Innkommende, vha radar
Bølgeheving	Kontinuerlig logging	System/Driftspersonell	Internt i ett notområde
Siktedyp	Daglig (1.mars – 1. nov.)	Driftspersonell	Sikteskive I og utenfor merd
Alger (vannprøve)	På indikasjon	Driftspersonell	
Driftsmessige forhold	Kontinuerlig registrering	System/Driftspersonell	f.eks. operasjoner og bruk av thrustere.

2.5. Fiskebaserte velferdsindikatorer

Fiskebaserte velferdsindikatorer er både subjektive og objektive parametere som enten måles direkte på fisken/gruppen (objektivt), eller registreres ved undersøkelser av fisken (subjektiv). Dokumentasjonen i Havfarm 1 vil basere seg både på visuelle observasjoner av fisken (adferd, velferdsscore/ytre tegn) og fysiske prøver (blodprøver, histologi, fiskemålinger etc). Målingene vil være målrettet for å både dokumentere fiskens generelle velferd og helsetilstand, samt prestasjon, i tillegg til å spisses mot å avdekke effekter av de særegne forholdene Havfarmen vil opereres under (da særlig med tanke på effekter av uværsperioder eller andre spesielle fenomen/hendelser/operasjoner). Videre vil registreringer knyttet til produksjonen (dødelighet, tilvekst etc.) inngå i dokumentasjonen. Følgende fiskebaserte velferdsindikatorer er foreslått å inngå i denne arbeidspakken. Vurderinger knyttet til vitenskapelige prinsipper/datakvalitet og praktisk gjennomførbarhet kan medføre justeringer ang. disse indikatorene:

Tabell 2: Fiskebaserte velferdsindikatorer

Hva:	Hvor ofte:	Ansvarlig utførende:	Kommentar:
Adferd og appetitt	2 ganger daglig	Driftspersonell	Via kamera (fôring) og inspeksjon fra overflaten
Dødelighet	Daglig	Driftspersonell	Død fisk kategoriseres og registreres
Lusestatus	Ukentlig	Driftspersonell	30 fisk per enhet
Gjellestatus visuell	Månedlig	Internt fiskehelsepersonell i Nordlaks/Åkerblå	Min. 2 x 10 fisk
Velferdsskår (ytre)	Månedlig	Internt fiskehelsepersonell i Nordlaks/Åkerblå	Min. 2 x 10 fisk
Velferdsskår (ytre og indre), utvidet	På slakteriet	Internt fiskehelsepersonell i Nordlaks/Åkerblå	Min. 50 fisk per enhet
Organstatus histologi	Ved behov På slakteriet	Internt fiskehelsepersonell i Nordlaks/Åkerblå /VI	5 fisk per enhet, mer ved behov
Blodparametre	Månedlig/ved indikasjon (før/etter uvær)	Internt fiskehelsepersonell i Nordlaks/Åkerblå /VI	Laktat Osmolalitet Kortisol (blod/feces) Ferric reducing ability of plasma (FRAP) C-reaktivt protein (CRP) Kreatinkinase (CK) Alanin transaminase (ALAT) Aspartat transaminase (ASAT)
Vekt/lengde	Minimum: I forkant av flytting og ved slakt	Driftspersonell/ Internt fiskehelsepersonell i Nordlaks/Åkerblå	Minimum 100 fisk per enhet.

Fiskekvalitet	Ved slakt	Driftspersonell	Filetutbytte Fett/farge Kondisjonsfaktor Superiorandel
Smittekartlegging	Månedlig	Internt fiskehelsepersonell i Nordlaks/Åkerblå /medhjelper	I henhold til regelverk
Smittekartlegging utvidet	I forkant av flytting til Havfarmen, ellers ved behov	Internt fiskehelsepersonell i Nordlaks/Åkerblå /medhjelper	Aktuelle virus: min. 60 fisk Gjelleagens: min. 10 fisk

2.6. Involverte

Nordlaks Oppdrett AS

- Prosjekteier
- Drift, koordinering og tilrettelegging for feltarbeid/datainnsamling
- Prøveuttak og utvidet feltarbeid (v/ internt fiskehelsepersonell)
- Datainnsamling, registrering, lagring og videreformidling

Veterinærinstituttet

- Koordinering og faglig ansvar for oppsett og gjennomføring
- Deltakelse og kvalitetssikring i feltarbeid
- Databehandling og rapportering
- Publisering/videreformidling

Åkerblå

- Helsetilsyn/feltarbeid postsmoltlokaliteter og Havfarm 1
- Prøveuttak og datainnsamling

Skretting/Atla Aquaculture AS

- Analyse av enkelte blodparametere

3. Arbeidspakke 2: Driftsmessig prestasjon

3.1. Bakgrunn

Havfarm 1 er en ny løsning for oppdrett av laks, noe som medfører andre problemstillinger og risikobilde knyttet til driftsmessige forhold som arbeidsoperasjoner, arbeidsforhold/-miljø osv. Risikobildet tilhørende driftsmessige forhold, HMS og Havfarm 1 er sammensatt, og kan grovt sett deles i to. På den ene siden har vi de tema og operasjoner som er kjent fra tradisjonell drift, som også vil være aktuelle for Havfarm 1, men som må forstås og vurderes ut ifra hva Havfarm 1, og lokaliteten den vil benytte, endrer som premissgivere for risikovurderingen. Risikotema vil i mange tilfeller være de samme, men innholdet i vurderingene vil gjerne være signifikant annerledes. Eks. er ikke behovet for risikovurdering av kran- og løfteoperasjoner noe som er et resultat av innovasjonen (dette er det høy aktivitet av fra før av ved tradisjonelle anlegg), men derimot vil behovet for kran- og løfteoperasjoner endres med endring av arbeidsoperasjoner som må utføres på Havfarm 1, sammenlignet med det som er tilfellet i et tradisjonelt havbruksanlegg. Viktig for disse risikotema som er felles for Havfarm 1 og et tradisjonelt anlegg, er altså å få frem det som er lokalitetsspesifikt for Ytre Hadseløya og hvilke forutsetninger selve Havfarm 1-løsningen representerer i dette risikoarbeidet. På den andre siden oppstår også operasjoner og aspekter som er særegne for Havfarm 1, sammenlignet med tradisjonelle anlegg. Dette er forhold som skriver seg fra konstruksjonens design, og som vil ha konsekvenser for hvordan en vanlig arbeidshverdag vil fortone seg. Et eksempel på en slik faktor som skiller seg vesentlig fra tradisjonelle anlegg, og som vil påvirke arbeidshverdagen i stor grad, er den relativt sett store avstanden fra arbeidsdekk ned til vannflaten. Denne vil påvirke både dagligdagse operasjoner som uttak av fiskeprøver/lusetelling og større operasjoner som overføring av fisk til/fra brønnbåt. De vurderinger som er gjort tilknyttet dette finnes i Nordlaks Oppdrett AS sitt kvalitetssystem, og vil følges opp gjennom dette.

3.2. Hensikt

Arbeidspakken har til hensikt å dokumentere faktorer knyttet til arbeidsmiljø/HMS i Havfarmen, og hvordan disse skiller seg fra tradisjonelle oppdrettsanlegg både i type faktorer og effekt av Havfarmen som en ny løsning for lakseoppdrett. Videre har arbeidspakken til hensikt å dokumentere gjennomføringen av de arbeidsoperasjoner som i Havfarmen skiller seg vesentlig fra tradisjonelle anlegg, og til slutt gi en vurdering av disse inkludert ev forslag til forbedringspunkter.

3.3. Metode

Arbeidspakken vil i all hovedsak gjennomføres og dokumenteres av de ansatte på Havfarm 1, i samarbeid med prosjektledelse og kvalitetsavdeling i Nordlaks. For de operasjoner som skiller seg vesentlig fra tradisjonelle anlegg vil det utarbeides egne rapporter i etterkant av gjennomført operasjon, hvor gjennomføringen vil rapporteres iht. gjeldende prosedyre og de risikotema som er beskrevet i risikovurderingen for den enkelte arbeidsoperasjon. Disse rapportene vil også være gjenstand for kontinuerlig evaluering i oppstartsfasen, og etter endt produksjonssyklus vil det gjennomføres en sluttevaluering av dette arbeidet. Dette arbeidet vil utføres i samarbeid mellom ansatte om bord på Havfarm1 og prosjektledelse, med støtte fra kvalitetsavdelingen. Risikobilde, prosedyrer, og annet relevant innhold i Havfarm1 sitt IK- og kvalitetssystem, vil med utgangspunkt i disse rapportene være under kontinuerlig evaluering, med ev. tilpasninger underveis i produksjonssyklusen.

I tillegg til denne særskilte rapporteringen, vil Havfarm 1 være innlemmet i Nordlaks Oppdrett sitt kvalitetssystem og derigjennom være underlagt de samme rutiner, krav og regler som gjelder for oppfølgning av drifts- og kvalitetssystemer ellers i selskapet. Dette for å sikre kontinuitet i arbeidet,

også etter prosjektfasen er fullført. Registreringer gjort i kvalitetssystemet, hva angår HMS og driftsmessige forhold (avvik mv), vil inngå som en del av dokumentasjonsprogrammet for driftsmessig prestasjon. Vi vil også benytte oss av intervju/medarbeidersamtaler/undersøkelser med den enkelte ansatte for å avdekke punkter med særlige utfordringer eller forbedringspotensialer, herunder også arbeidstidsordninger og organisering.

3.4. Involverte

Nordlaks Oppdrett AS

- Driftspersonell gjennomfører registreringer og rapportering som beskrevet over
- Kvalitetsavdelingen bidrar i sammenstilling og systematisering av de registreringer som omfattes av kvalitetssystemet, samt sluttevaluering og videreutvikling av systemet.
- HR-avdeling og Bedriftshelsetjeneste: Det vil vurderes å involvere HR-avdelingen og bedriftshelsetjenesten når det gjelder direkte dokumentasjon av den enkelte ansattes opplevelse av prosjektets driftsmessige særegenheter

4. Arbeidspakke 3: Teknisk prestasjon

4.1. Bakgrunn

Havfarm 1 er en ny type konstruksjon. Konstruksjonens oppbygging er i grove trekk oppsummert over. Enheten er lang og slank, med mange elementer koblet sammen. Dette skaper mange knutepunkter hvor elementer med ulik karakter og retning er koblet sammen. Videre kommer de korrugerte skottene («beskyttelsesskjørtene»), som bidrar til å ytterligere øke konstruksjonens kompleksitet. På grunn av strukturens komplekse design og oppbygging er det gjennom design-, konstruksjons- og verifikasjonsfasen identifisert en rekke områder som mulig er utsatt for miljøbelastninger, og da særlig med tanke på utmatting. Dette er naturligvis tatt høyde for i design og konstruksjon, gjennom at slike områder er definert som «spesialområder» med tilhørende skjerpede krav både til materialer og utførelse av arbeider. Overvåking og dokumentasjon av påkjenninger i strukturen sammenholdt med innkommende miljølaster vil gi betydelig kunnskap som kan bidra til verifikasjon og optimalisering av fremtidige Havfarmer. Dette er kunnskap som vil ha verdi for hele havbruksnæringen. Videre vil slik dokumentasjon bidra til å gi informasjon om strukturens reelle «forbruk av levetid» (gjennom overvåking av utmatting), noe som kan bidra til å optimalisere enhetens levetid basert på reelle data, og ikke bare analyserte data. Samme forhold vil gjelde når det kommer til fortøyningssystemet.

Havfarm 1 er konstruert med delvis tette skott ned til 10 meter under operasjonell vannlinje. Dette med den intensjon å redusere vannhastighet og -akselerasjoner inne i Havfarm 1, til gunst for både fisk, mannskap, utstyr og konstruksjon. Likevel kan man ikke utelukke at en slik konstruksjon vil kunne få utilsiktede effekter under gitte miljøforhold gjennom f.eks. eksitasjon av bølger/stående bølger e.l. Modelltesten gir gode indikasjoner på hvordan enheten vil oppføre seg under ulike «ekstreme» forhold. Dokumentasjon av slike forhold og sammenhenger vil bidra til vurderingen av designets egnethet for kommersialisering. Samtidig er informasjon om enhetens respons og oppførsel under operasjonelle («normale») forhold også viktig for fremtidig planlegging både av drift av Havfarm 1, og ev fremtidige Havfarmer.

4.2. Hensikt

Hensikten med denne arbeidspakken er å dokumentere anleggets tekniske prestasjon, herunder påførte belastninger fra miljøet (bølger, strøm, vind) og anleggets respons på/evne til å håndtere/påvirke disse.

4.3. Metode

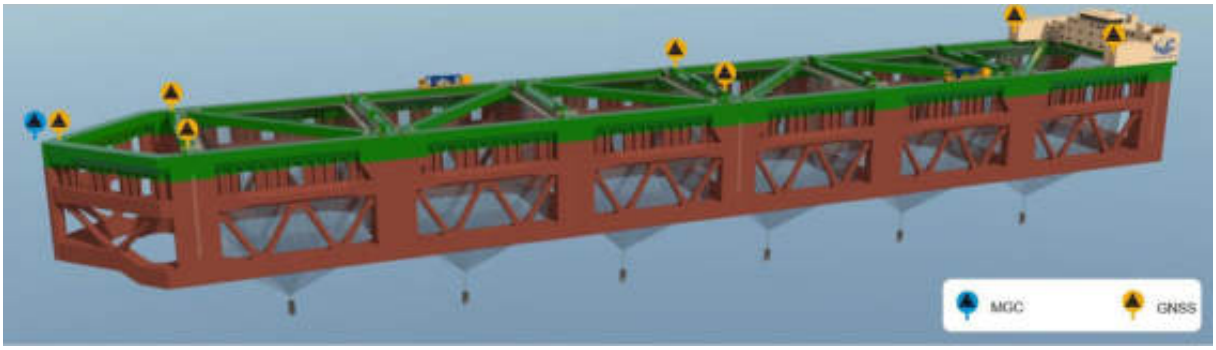
På bakgrunn av de analyser som er gjennomført har Nordlaks fått utviklet et risikobasert inspeksjonsprogram (RBI) som skal ligge til grunn for de inspeksjoner som skal gjennomføres av selve strukturen. Som støtte til disse fysiske inspeksjonene har vi i samarbeid med SAP ECOE i Trondheim (tidligere Fedem Technology AS) og NSK/7Waves utviklet et strukturovervåkingssystem. Dette baserer seg på kontinuerlig logging av anleggets relative (globale) bevegelser, som igjen mates inn i en beregningsmodell (populært referert til som en «digital tvilling» - se figur 2). Ut fra denne modellen er hensikten at informasjon om stress/påkjenninger grunnet globale bevegelser kan hentes ut fra områder i strukturen som ansees som kritiske, og at man med dette utgangspunktet fortløpende kan beregne enhetens «forbrukte», og dermed «gjenstående» levetid. Det vil i modellen være mulig å sette ut virtuelle sensorer for å hente ut informasjon om konkrete områder av strukturen.

Denne måten å overvåke strukturer som Havfarm 1 på er lite utprøvd, og er i seg selv å regne som et innovasjonsprosjekt. Dette innebærer at det hersker en viss usikkerhet knyttet til verifikasjon av de

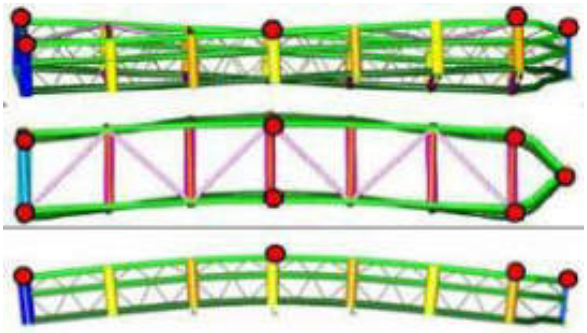
planlagte funksjonene i systemet, og den praktiske bruken av dette. Verifikasjon av systemets funksjoner, og optimalisering av den praktiske bruken av systemet vil være en sentral del av denne arbeidspakken. Nordlaks har, sammen med de ovennevnte aktørene, jobbet målrettet over flere år mot å få dette systemet operativt og skreddersydd for strukturer som Havfarm 1. Det er dermed stor optimisme ang. å få etablert et system som fungerer iht. den ovennevnte hensikten. Resultatet av en slik vellykket utvikling, vil være et svært robust og levedyktig system (over lang tid), hvor bl.a. sensorikk ikke vil trenge å byttes ut hyppig, slik tilfellet vil være for alternative måter for tilsvarende overvåking.

Sensorene som skal benyttes for å gi input til primær funksjonalitet (strukturovervåking) er vist i figur 1, og består av:

1. Relative posisjoner (GNSS-system) – GPS teknologi
2. Absolutt posisjon (MGC) – Gyro kompass og «Inertial Navigation System»



Figur 1: Plassering av sensorikk for strukturovervåking



Figur 2: Visualisering av de bevegelsesformene som det relative posisjoneringssystemet kan logge. GNSS-sensorer er her representert som en røde sirkler i figur.

I dette systemet planlegges også iverksatt tilstandsovervåking av fortøyningene. Hver ankerline er utstyrt med vinkelmålere. Disse vil som et minimum gi binær informasjon om ankerlinens tilstand (brudd/ikke brudd), samt avdekke om et anker ev. skulle bevege seg på havbunnen. Det jobbes på dette området også med løsninger som muliggjør en noe mer omfattende tilstandsovervåking, hvor man bl.a. vil kunne hente ut informasjon om last i fortøyningene.

For å kunne relatere disse registreringene til innkommende miljølaster vil det monteres en bølgeradar og en HADCP (doppler strømmåler), som i tillegg til data fra anemometer vil gi relevant informasjon om innkommende miljølaster. Sammenholdt vil dataene beskrevet i denne arbeidspakken gi betydelig informasjon om anleggets respons og påvirkning ved ulike vær/miljøforhold. Dette vil igjen gi designerne en unik mulighet til å verifisere og optimalisere sitt (struktur)design med tanke på fremtidige Havfarmer, samtidig som Nordlaks som operatør vil få mulighet til å skreddersy et inspeksjons- og vedlikeholdsregime (mtp. bl.a. struktur og fortøyninger) ut fra de reelle behovene vi observerer (herunder verifikasjon av ovennevnte RBI-plan).

Videre vil det, i samme system, være tilgjengelig data fra en bølgehevingsmåler plassert ved/i ett av notområdene. Denne vil, sammen med nevnte bølgeradar, gi informasjon om hvordan bølgene påvirkes av konstruksjon, nøter etc. Dette vil igjen kunne sammenholdes med driftsmessige parametere som HMS-parametere, gjennomføring av arbeidsoperasjoner, ev hendelser med fisk osv, og gi nyttig informasjon til optimalisering av drift av Havfarm 1, og planlegging og design av fremtidige Havfarmer.

Sensordata fra de ulike nevnte systemer vil samles på en server om bord på Havfarm 1, og presenteres/rapporteres i ovennevnte overvåkningsløsning, levert av SAP.

4.4. Involverte

Nordlaks Oppdrett AS

- Prosjekteier
- Drift, koordinering og tilrettelegging
- Datainnsamling, registrering, lagring og videreformidling.

SAP

- Utvikling og leveranse av løsning som samler, lagrer og visualiserer data og informasjon (SAP Predictive Engineering Insights (PEI))
- Utvikling og leveranse av applikasjoner for strukturovervåkning for Havfarm 1 som tilgjengeliggjøres gjennom SAP PEI

Kongsberg Seatex

- Leveranse av sensorer til strukturovervåking

NSK Ship Design/7Waves

- Samarbeid ang. måling av bølger/bølgeheving (herunder leveranse av utstyr for bølgemåling)
- Ev. analysearbeid og tilhørende rapportering ang. strukturelle forhold

5. Arbeidspakke 4: Ytre miljø

5.1. Bakgrunn

Havfarmen er en ny løsning for oppdrett av laks, som har som målsetning å bidra til å løse enkelte av de utfordringene norsk oppdrettsnæring har møtt, og vil møte i fremtiden. Flere av disse utfordringene er knyttet til påvirkning på ytre miljø, herunder problematikk knyttet til lakselus og tilhørende legemiddelbruk samt påvirkning av bunnmiljøet i resipienten.

Fisken som skal settes ut i Havfarm 1 vil ha en gjennomsnittsstørrelse på >1kg, og vil overføres til Havfarm 1 etter en periode i tradisjonelle oppdrettsanlegg («oppvekstanlegg»), hvor forebyggende tiltak mot lakselus som f.eks. luseskjørt og koordinert brakklegging brukes. Dette er tiltak som hos Nordlaks har vist seg effektive som luseforebyggende tiltak over mange år. Dette gjør at sannsynligheten for å kunne overføre tilnærmet lusefri fisk til Havfarmen anses som høy. Havfarm 1 vil ha kort produksjonstid og stor avstand til øvrige oppdrettsanlegg, og lakseførende vassdrag. Dette gjør at risikoen for introduksjon av ny lakselus utenfra vil være relativt liten. Sammenholdt gir disse faktorene et utgangspunkt som tilsier at det skal være mulig å gjennomføre produksjon av laks i Havfarm 1 uten at man kommer i konflikt med gjeldende regelverk knyttet til bekjempelse av lakselus.

Havfarm 1 er fortøyd på svai, og vil slik sett kunne benytte ulike deler av sin godkjente lokalitet til ulike tider, avhengig av hvordan miljøkreftene påvirker enheten. Dette gir mulighet for spredning av organiske utslipp over et betydelig større område enn om Havfarm 1 var fast forankret i et rigid oppsett. Sammenholdt med at anlegget også er plassert i et område med betydelig eksponering for strøm og bølger, anses risikoen for negativ påvirkning av resipienten å være lavere enn ved tradisjonelle anlegg med tilsvarende produksjonsopplegg.

5.2. Hensikt

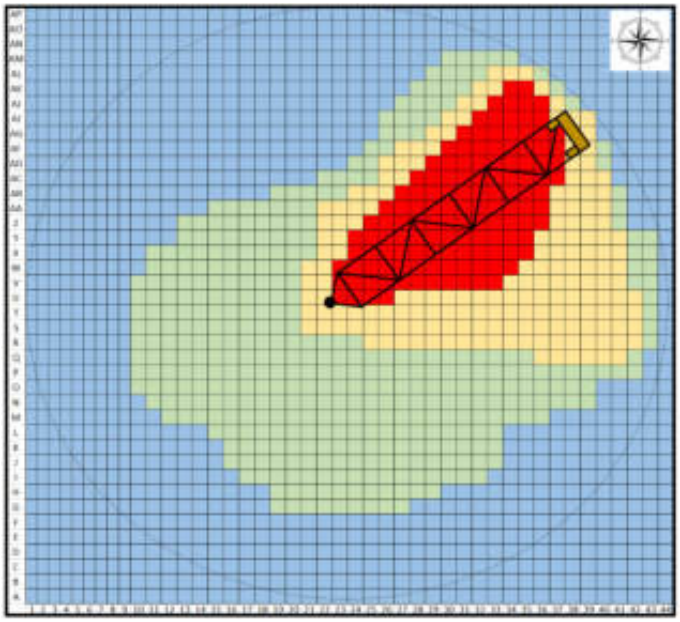
Målet med denne arbeidspakken er å dokumentere hvordan Havfarm 1 som ny løsning for oppdrett av laks, påvirker det ytre miljø, samt gjøre vurderinger av ev. forbedringstiltak som kan gjøres på fremtidig driftsopplegg for Havfarm 1, eller i design, konstruksjon og lokalisering av fremtidige Havfarmer.

5.3. Metode

Når det gjelder lakselus, vil denne arbeidspakken hente data fra arbeidspakke 1, hvor registreringer av lakselus vil gjennomføres og systematiseres regelmessig, også før fisken overføres til Havfarm 1. Utviklingen av lakselus vil registreres og systematiseres, og ev. behov for tiltak mot lakselus vil dokumenteres og rapporteres. Det vil avslutningsvis gjennomføres en evaluering av løsningens egnethet i bekjempelse av lakselus, og ev. forbedringstiltak i form av fremtidig driftsopplegg og eller mulige forbedringer i design av fremtidige Havfarmer vil beskrives.

Når det gjelder organiske utslipp, så vil dette overvåkes i tråd med metodikken som er beskrevet i NS 9410:2016. Undersøkelser vil gjennomføres gjennom produksjonssyklusen for å undersøke utviklingen med tiltagende produksjon. Det vil gjennomføres en overvåkning av Havfarmens plassering på lokaliteten, som vil sammenholdes med data fra produksjon/utfôring (se figur 3). Disse registreringene vil bidra til dokumentasjon av faktisk bruk av lokaliteten/faktisk spredningsareal for organiske utslipp. Videre vil disse registreringene brukes som utgangspunkt for å optimalisere gjennomføringen av miljøovervåkingen, som vil skreddersys til å måle på de områdene hvor man forventer at påvirkningen har vært høyest. Det vil også gjennomføres ytterligere undersøkelser på punkter som lokale interessenter (fiskere) har pekt ut som interessante områder å undersøke av

hensyn til deres aktivitet. Det vil utarbeides en sluttevaluering av Havfarm 1s påvirkning av det lokale bunnmiljøet, hvor ev forbedringstiltak knyttet til driftsopplegg og eller design vil beskrives.



Figur 3: Funksjon av system for kobling av posisjonsdata til fôringsdata. Faktisk rapportering vil avvike fra dette, som kun er vist som en illustrasjon av filosofien.

5.4. Involverte

Nordlaks Oppdrett AS

- Prosjekteier
- Drift, koordinering og tilrettelegging
- Datainnsamling, registrering, lagring og videreformidling.

Veterinærinstituttet

- Innsamling og kvalitetssikring av data knyttet til lakselus

Åkerblå

- Innsamling og kvalitetssikring av data knyttet til lakselus

Akvaplan-NIVA

- Undersøkelser og rapportering av miljøtilstand

6. Datahåndtering og rapportering

Nordlaks Oppdrett vil samle inn og lagre data i egne systemer, både produksjonsstyringssystem og andre systemer for registrering av data. Hvilket system som vil benyttes vil avhenge av hvilken type informasjon det er snakk om. Informasjonen vil gjøres tilgjengelig for relevante parter som skal ta del i databehandling og rapportering. Alle data som lagres hos Nordlaks vil lagres på våre servere, som det også tas regelmessig backup av, og data vil oppbevares iht. gjeldende regelverk eller som et minimum til prosjektet er avsluttet. Data som er sensitive mht personopplysninger etc. vil oppbevares og behandles etter gjeldende personvernregelverk.

Rapportering iht. tilsagnets målkriterier vil gjennomføres av Nordlaks Oppdrett AS. Tilknyttede aktører vil bidra i databehandling og –sammenstilling. Det forventes også at enkelte tilknyttede aktører (f.eks. Veterinærinstituttet) vil utarbeide sine egne spesielle/tilpassede rapporter/vitenskapelige publikasjoner, noe Nordlaks vil legge til rette for, og oppmuntre til.

REPORT

Havfarm 1 Metocean report

Ytre Hadseløya

CLIENT

NSK Ship Design AS / Nordlaks AS

PROJECT

Havfarm 1 Metocean report - Ytre Hadseløya

DATE / REVISION: 25th May 2018 / 02

DOCUMENT CODE: 3417-200-201 rev02

MC DOC. NR.: 10200260-05-RIMT-RAP-001 rev02

NORSK AKKREDITERING INSP 010

Multiconsult

This report has been prepared by Multiconsult on behalf of Multiconsult or its client. The client's rights to the report are provided for in the relevant assignment agreement. Third parties have no right to use the report (or any part thereof) without advance written approval from Multiconsult.

Any use of the report (or any part thereof) for other purposes, in other ways or by other persons or entities than those agreed or approved in writing by Multiconsult is prohibited, and Multiconsult accepts no liability for any such use. Parts of the report are protected by intellectual property rights and/or proprietary rights. Copying, distributing, amending, processing or other use of the report is not permitted without the prior written consent from Multiconsult or other holder of such rights.

Multiconsult

RAPPORT

PROJECT	Havfarm 1 Metocean report – Ytre Hadseløya	DOCUMENT CODE	3417-200-201 – rev02
		MC DOC. NR.	10200260-05-RIMT-RAP-001 Rev 02
SUBJECT	Metocean report	ACCESSIBILITY	Within project organisation
CLIENT	Ordered by NSK Ship Design AS on behalf of Nordlaks AS	PROJECT MANAGER	Juni Vaardal-Lunde
CONTACT	Håkon Ådnanes (NSK AS) Bjarne Johansen (Nordlaks AS)	PREPARED BY	Juni Vaardal-Lunde, Sanja Forsström, Finn-Idar Grøtta Giske, Martin Arntsen, Juliane Borge
COORDINATES	68°30.156'N 14°35.292'E	RESPONSIBLE UNIT	10235042 Cold climate and marine environment

DESCRIPTION

This study presents a metocean survey for the Ytre Hadseløya (Havfarm 1 site) located southwest of Hadseløya, Hadsel municipality in Vesterålen, Nordland. The metocean survey comprises a study of extreme and operational wind, wave and current conditions at site for further use as input to determining the design loads on the mooring system. The report also covers all topics for a site survey for floating fish farm structures according to standard NS 9415.

The analyses are based on local observations at the Havfarm 1 site, data from the meteorological station at Bø, hindcast data of waves offshore Hadsel, standard NS-EN 1991-1-4, and the wave model SWAN.

2	25.05.2018	Update after comments from DNVGL (see revision record)	JVL	JB	JB
1	19.03.2018	Update after comments from NSK and DNVGL (see revision record)	JVL	JB	JB
0	11.12.2017	Havfarm 1 Metocean report - Ytre Hadseløya	JVL, SAF, JB	SAF/JB	JB
REV.	DATE	DESCRIPTION	PREPARED BY	REVISION BY	APPROVED BY

TABLE OF CONTENTS

1 Revision record 6
2 Executive summary 8
3 Introduction 13
3.1 Background 13
3.2 Analysis according to NYTEK directives and standard NS 9415 14
3.3 Conventions and definitions 14
3.3.1 Units and directions 14
3.3.2 Use of directional extreme values 14
3.3.3 List of symbols 15
4 Data sources 17
5 Methods 19
5.1 Wind 19
5.1.1 Operational statistics of wind 19
5.1.2 Extreme value analysis of wind 19
5.1.3 Short term wind conditions and wind spectrum 20
5.2 Current 20
5.2.1 Current measurements 20
5.2.2 Extreme value analyses of current 21
5.2.3 Synthetic 15 year time series of current 22
5.3 Waves 23
5.3.1 Wave measurements 23
5.3.2 Fitting a spectral model to observed spectra 24
5.3.3 Numerical wave generation and propagation model 24
5.3.4 Construction of wave time series at site 27
5.3.5 Input for modelling extreme waves 28
5.3.6 Extreme crest heights 33
5.3.7 Extreme individual wave heights 33
5.4 Icing potential and extreme temperatures 34
5.4.1 Extreme air temperature 34
5.4.2 Icing potential and freezing 34
6 Results 35
6.1 Wind 35
6.1.1 Operational wind conditions 35
6.1.2 Extreme values of wind 43
6.1.3 Short term wind conditions and wind spectrum 43
6.2 Current 45
6.2.1 Operational conditions of current 45
6.2.2 Extreme values of current 54
6.2.3 Synthetic time series of current 56
6.3 Waves 59
6.3.1 Operational wave conditions 59
6.3.2 Extreme wave conditions 72
6.3.3 Wave spectra 80
6.3.4 Other wave conditions potentially affecting wave spectrum 83
6.4 Correlation between waves and current 83
6.5 Water Level 86
6.6 Air temperature, icing potential, sea ice 87
6.6.1 Air temperature 87
6.6.2 Icing potential 89
6.6.3 Sea ice formation and drift ice 91
7 Reference 92
Appendix A Wind data: Meteorological station in Bø vs. local observations from buoy 94
Appendix B Equations for extreme value distributions 96
Appendix C Current measurements 97
C.1 Current data quality control 97
C.2 Data removed from reported time series 98
C.3 Test and Specifications of Aquadopp Profiler - AQD 11470 98
C.4 Measured and extreme current data at 5 m and 15 m according to NS 9415 99

C.5 Measured and extreme current at 50 m depth 105
C.6 Return period diagrams for 5 m, 9 m, 15 m, 25 m, and 50 m depth 109
C.7 Parameters of fitted current distributions 113
Appendix D Extreme value analysis of WAM10 hindcast data 116
Appendix E Parameters of fitted extreme wave spectra 119
Appendix F Fatigue waves (H_s-T_z diagram) 121
Appendix G Wave model validation 126
Appendix H Bottom topography 131

1 Revision record

This report replace the “Havfarm 1 Metocean report” revision 01 (doc. code. 3417-200-201 rev01, MC Doc. Nr.: 10200260-05-RIMT-RAP-001 rev01).

Revision history – Revision 02:

In general: small text modifications.

Chapter 3.3.2: Updated text.

Chapter 5.3.7: Updated regarding the variation range of T_{Hmax}.

Appendix B: New Appendix regarding equations used in the extreme value analysis.

Appendix C.7: Sector probabilities are included in Table 7-12 to Table 7-14.

Appendix F: A fit of Ochi-Hubble type spectra is mentioned.

Revision history – Revision 01:

In general: small text modifications.

Chapter 3.3.2: Defined equivalent return period.

Chapter 3.3.3: More detailed descriptions.

Chapter 5.1.3: Included chapter regarding wind spectrum (method).

Chapter 5.2.2: Included the method of Weibull 3P distribution with the least square method of binned data (Mathisen and Bitner-Gregersen, 1990).

Chapter 5.3.1: Included Figure 5-2 and extended text regarding comparison of measured waves and operational sea state.

Chapter 5.3.2: Discussion why Torsethaugen spectrum is not used.

Chapter 5.3.3: More detailed explanation of sea state duration.

Chapter 5.3.5.3: Plotting positions of data are updated in Figure 5-8.

Chapter 5.3.7: Included chapter regarding individual wave height (method).

Chapter 5.4.1: Included chapter regarding extreme value of air temperature (method).

Chapter 6.1.3: Included chapter regarding wind spectrum (results).

Chapter 6.2.1: Current data down to 50 m depth are included in Figure 6-9.

Chapter 6.2.2: Extreme value analysis of ocean current, which in revision 00 was performed with Weibull 3P distribution with method of moments, is now performed with a Weibull 3P distribution with the least square method of binned data (Mathisen and Bitner-Gregersen, 1990).

Chapter 6.3.2.3: Individual wave height (results) and a more detailed description of Figure 6-22 and Figure 6-23. Conclusion that the usage of the same return period offshore and on site is a valid assumption.

Chapter 6.3.3: New chapter including all earlier given wave spectra, both numerical wave spectra and fitted wave spectra to observations and modelled data.

Chapter 6.6: More details and statistics of air temperatarue and results of extreme air temeprature.

Appendix C.4: Extreme currents are now based on Weibull 3P distribution with the least square method of binned data.

Appendix C.5: Operational and extreme current data from 50 m depth are included.

Appendix C.6: Extreme currents are now based on Weibull 3P distribution with the least square method of binned data. Plots of fitted distribution of extreme currents with the GEV and GP distributions.

Appendix C.7: Parameters of fitted distribution of extreme current.

Appendix D: Description of all parameters of the fitted distribution of extreme offshore waves, together with figure showing the fitted distribution and updated text.

Appendix E: Description of the Ochi-Hubble spectrum and parameters for the fitted distribution for the Hs-Tp contours. The directional distribution is also discussed and a method for fitting a directional distribution is outlined.

Appendix F: Includes text from memo 10200260-RIMT-RAP-001 (H_s-T_z scatter diagram).

Appendix G: Correlation coefficient of measured significant wave height and operational combined sea is given.

2 Executive summary

In connection with the design of the fish farm concept Ytre Hadseløya, Havfarm 1, operational and extreme conditions of wind, waves and current at site are investigated. Havfarm 1 is located southwest of Hadseløya, Hadsel municipality, Vesterålen in Nordland, shown in Figure 2-1.

Metocean analyses are based on buoy observations of wind, waves and current, data from the nearby meteorological station at Bø, hindcast data of offshore waves outside Hadsel and the wave model SWAN. The wave model results of operational and extreme values are validated with one year measurements at site.

Extreme conditions with 10 year, 50 year, 100 year and 10 000 year return period are found. Sea state, wind and current with 10 year and 100 year return periods are used as input for determining the design loads on the mooring system. 10 000 year return period may be used for calculating the design loads on the turret. 10 year and 50 year return periods of wind, waves and current are also found in order to fulfil requirements of the Norwegian standard NS 9415 (2009).

A summary of the results is given in Table 2-1 and Table 2-2. Figure 2-2 shows H_s - T_p contours of combined sea state at the Havfarm 1 site. A wave map with significant wave height of combined sea state with 10 000 year return period is given in Figure 2-3 (input of wind waves and offshore waves from west). Havfarm 1 is mainly exposed to large waves from westerly direction and strong winds from south to southwest. The strongest currents are observed from northeast to southeast and northwest.

This report is valid as a site survey ("Lokalitetsrapport") of the Havfarm 1, Ytre Hadseløya site, according to NS 9415 (2009), performed by an accredited inspection body (Multiconsult Norge AS).

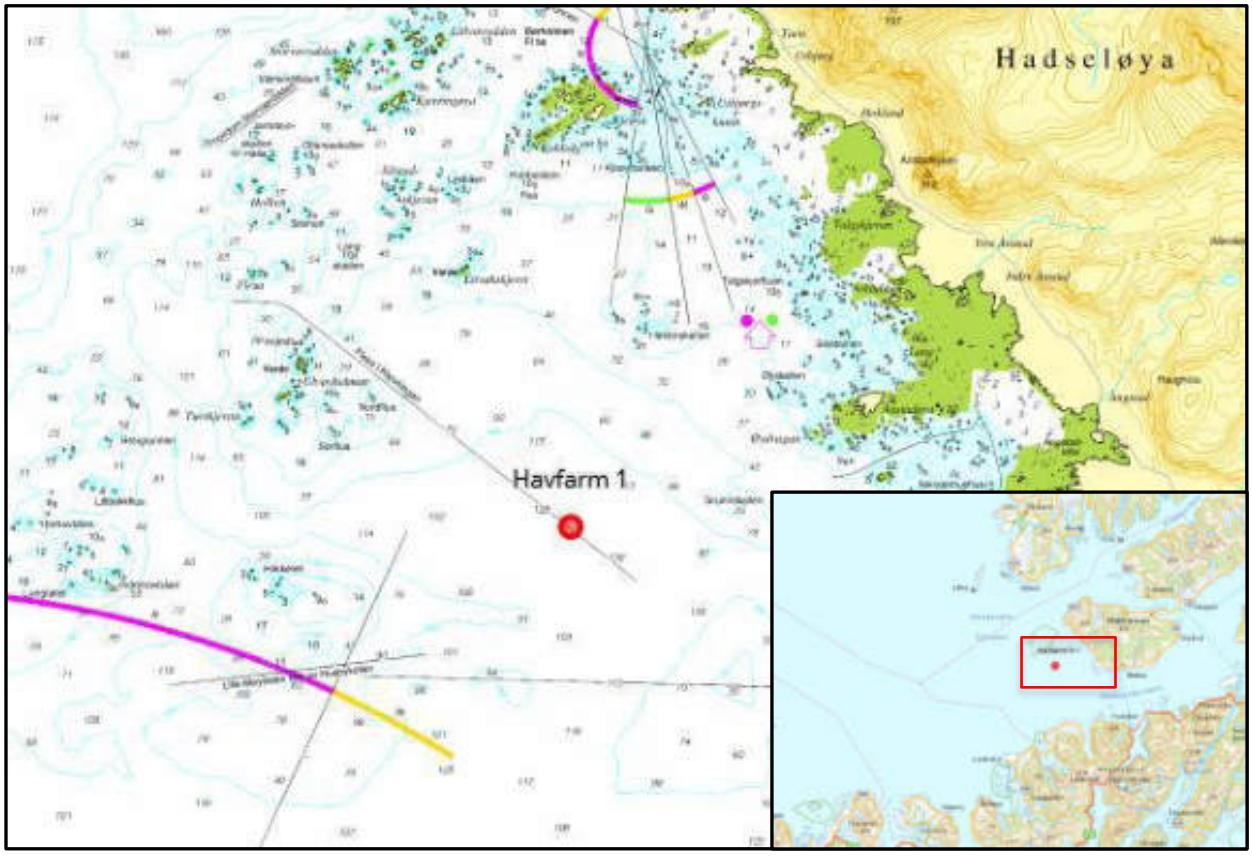


Figure 2-1 Hadseløya, Hadsel municipality, Nordland (map from kystinfo.no)

Table 2-1 Summary of results from the metocean study of the Havfarm 1 site (wind, current and wind waves)

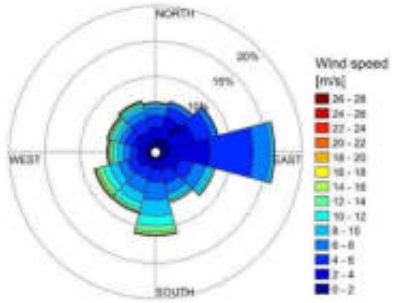
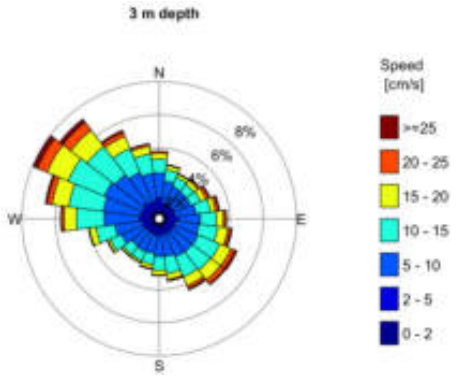
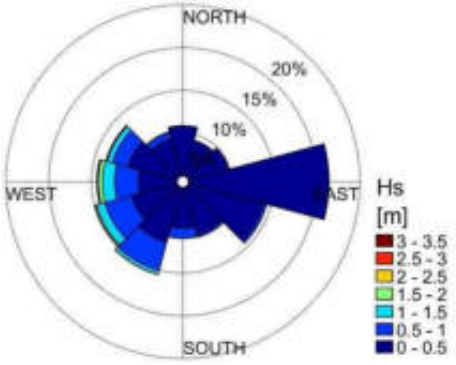
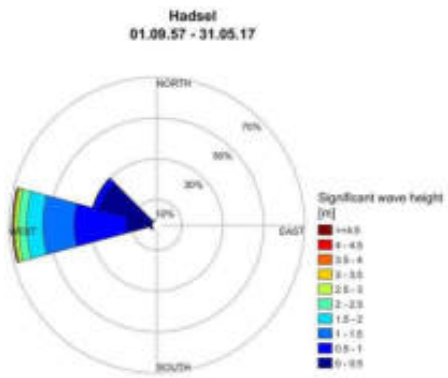
Wind (10 m above ground, 10 min average)			
Operational conditions	Average: 5.7 m/s Percentage of time <10 m/s: 88.46 % <20 m/s: 99.85 %	Main direction: from south, east Wind > 10 m/s: from south, southwest	
Extreme values (NS-EN 1991-1-4)	RP10 34 m/s RP50 38 m/s RP100 39 m/s RP10000 48 m/s	Strongest from 240°, 270°, 300°	
Current (10 min average)			
Operational conditions	At 3 m depth: Average 10 cm/s Percentage of time <10 cm/s: 54.98 % <30 cm/s: 99.67 % Current speed decreases with depth	Main direction At 3 m, 5 m and 9 m depth: northwest, southeast At 15 m and 25 m depth: west, southeast	
Extreme values	Strongest current RP10 50 cm/s RP50 55 cm/s RP100 57 cm/s RP10000 72 cm/s	Strongest currents towards northeast to southeast and towards northwest. Observed at 25 m depth	
Wind waves (3 hour sea state duration)			
Operational conditions (3-7 h sea state duration)	Percentage of time H_s < 1 m: 95.13 % H_s < 2 m: 99.76 % T_p < 4 s: 92.38 %	Main direction: from east, southwest to west H_s > 1 m: from west	
Extreme values (3 h sea state duration)	RP10 Hs = 4.2m Tp = 7.4 s RP50 Hs = 4.7 m Tp = 7.8 s RP100 Hs = 4.8 m Tp = 7.9 s RP10000 Hs = 5.4 m Tp = 8.6 s	Direction of highest waves: From west	

Table 2-2 Summary of results from the metocean study of the Havfarm 1 site (ocean swell and combined waves)

Ocean swell (3 h sea state duration)			
Operational conditions	Percentage of time H_s < 2 m: 93.39 % H_s < 4 m: 99.85 % T_p < 12 s: 85.11 %	Main direction: from west	
Extreme values	RP10 Hs = 4.3 m Tp = 8.1 s RP50 Hs = 4.4 m Tp = 8.6 s RP100 Hs = 4.4 m Tp = 8.8 s RP10000 Hs = 4.8 m Tp = 10.1 s	Direction: From west to northwest	
Combined waves (3 h sea state duration)			
Operational conditions	Percentage of time H_s < 2 m: 91.40 % H_s < 4 m: 99.69 %		
Extreme values	RP10 Hs = 5.6 m Tp = 15.3 s RP50 Hs = 5.9 m Tp = 8.4 s RP100 Hs = 6.0 m Tp = 8.6 s RP10000 Hs = 6.5 m Tp = 10.1 s	Direction: From west to northwest	
Temperature, icing potential and freezing			
Air temperature range (measured every hour)	Maximum temperature: 26.6 °C Minimum temperature: -11.1 °C Average temperature: 5.8 °C		
Extreme air temperature	Return period: minimum extreme air temperature / maximum extreme air temperature 10 year: -12°C / 28°C 50 year: -13°C / 28°C 100 year: -13°C / 30°C 10 000 year: -16°C / 33°C		
Icing potential	Icing class “Moderate”: 7 times during a 15 year period. Up to 10 hours duration.		
Sea ice formation and drift ice	Low probability of sea ice formation and ice drift.		
Bottom topography			
Resolution	satisfying		

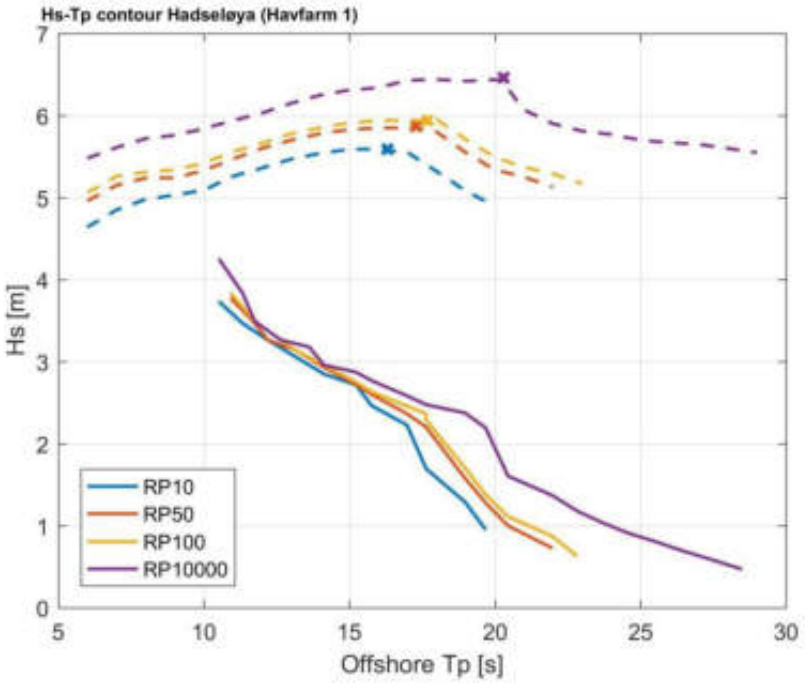


Figure 2-2 H_s - T_p contours of combined sea state at the Havfarm 1 site given wind and offshore waves from west with different return periods. Note that the x-axis shows the offshore peak period (above 11 s the offshore peak period is approximately equal to the peak period of the long periodic part of the spectrum). Dashed lines: Significant wave height of combined sea. Solid lines: Significant wave height of the long periodic part of the spectra. Crosses represent the values from extreme combined sea state given in Table 6-34

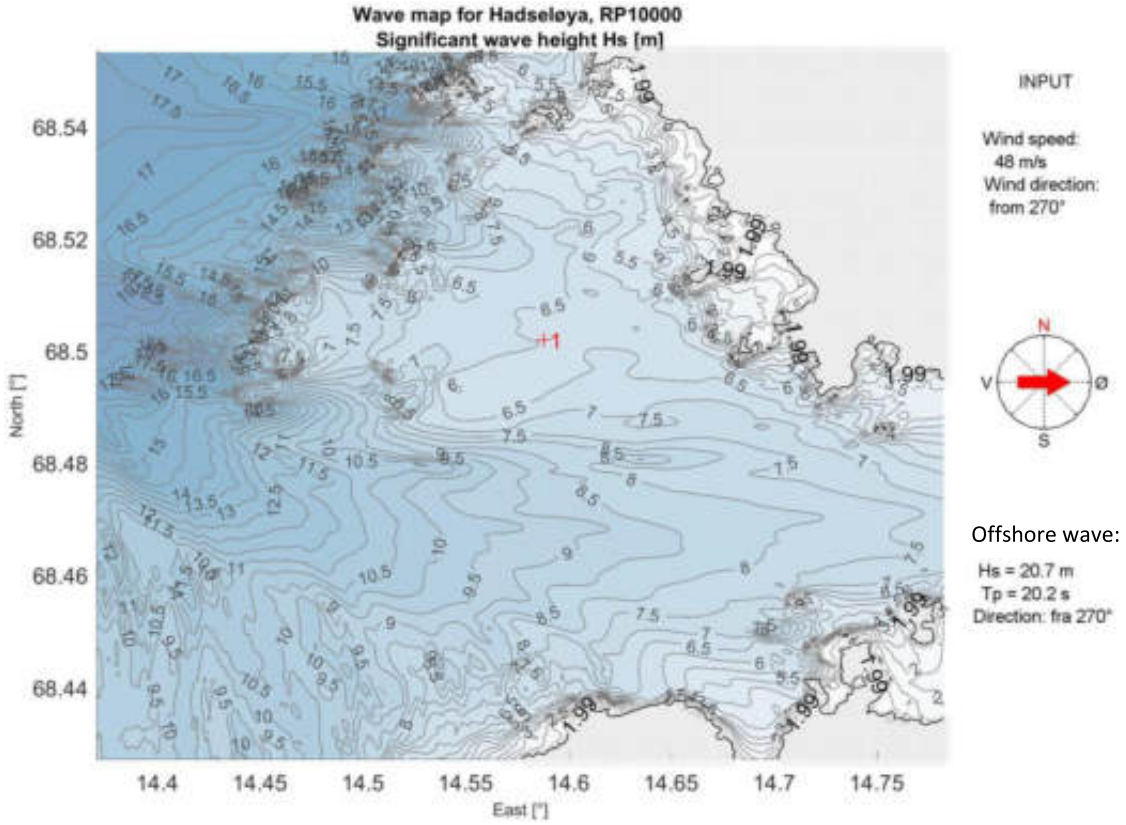


Figure 2-3 Wave map of significant wave height with 10 000 year return period of combined wave state. Input wind waves and offshore waves from west

3 Introduction

3.1 Background

Operational and extreme conditions of wind, waves, and current at Ytre Hadseløya were investigated to facilitate the design of Havfarm 1, a floating fish farm structure. The planned site of Havfarm 1 is located southwest of Hadseløya, Hadsel municipality, Vesterålen in Nordland, shown in Figure 3-1. The location of Ytre Hadseløya is further addressed as the Havfarm 1 site (in some figures as Hadseløya).

Metocean analyses are based on buoy observations of wind, waves, and current data from the nearby meteorological station of Bø i Vesterålen III, WRF model data, ocean waves hindcast data offshore Hadsel, and the wave model SWAN.

Results are reported for a point that lays approximately 200 m north of the centre point for the Havfarm 1 location and is considered as representative for the manoeuvring area of Havfarm 1 (68°30.156’ N 14°35.292’ E (WGS84)). The reported output point corresponds with the location of the buoy observations.

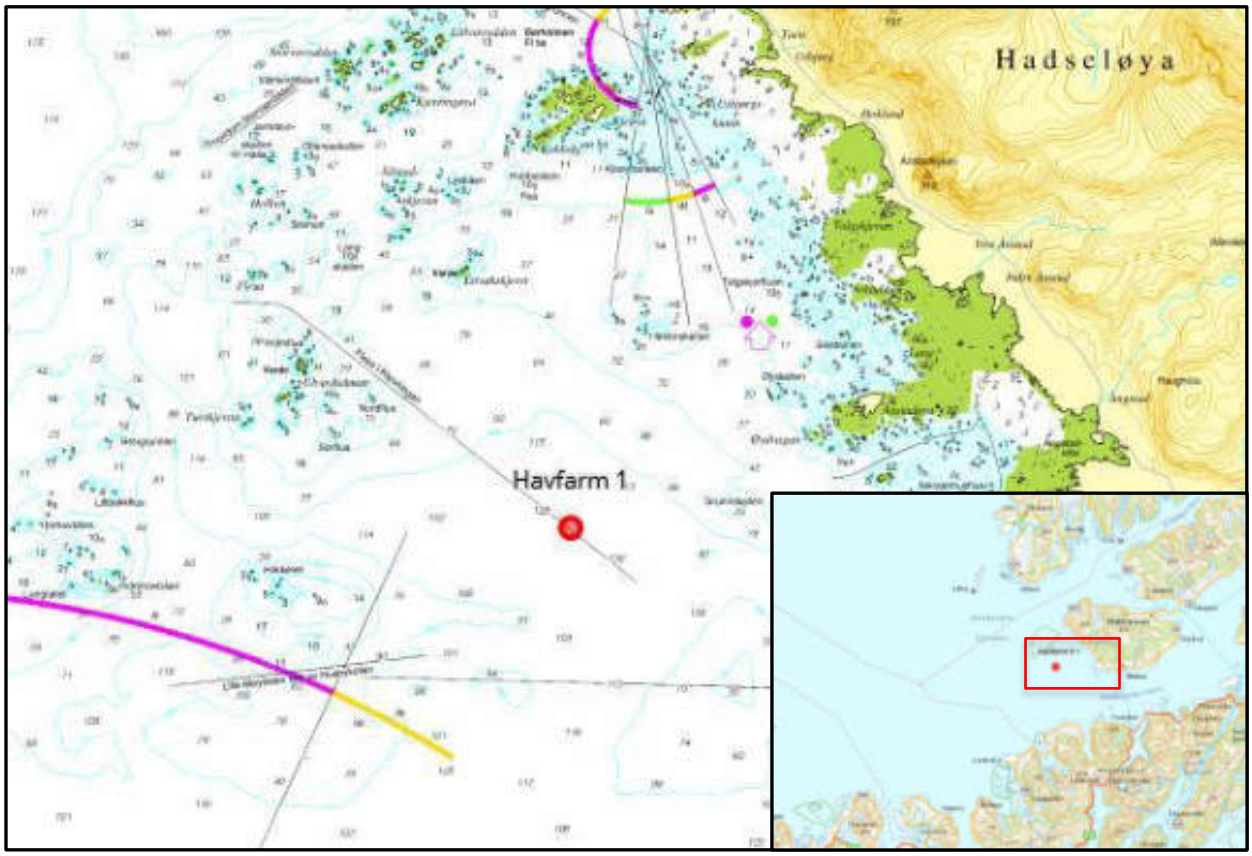


Figure 3-1 The location of the Ytre Hadseløya, Havfarm 1 site (map from kystinfo.no)

3.2 Analysis according to NYTEK directives and standard NS 9415

NYTEK directives and the Norwegian standard NS 9415 (2009) for floating fish farm structures require a site survey ("Lokalitetsundersøkelse") performed by an accredited inspection body. Multiconsult Norge AS has accreditation for site surveys according to ISO/IEC 17020, NYTEK directives, and standard NS 9415 (2009). The following results in the report are performed according to the accredited procedures for a site survey:

- Analysis of one year of current measurements at 5 m and 15 m depth. The contribution of wind induced current, tides, Norwegian Coastal Current, and snow melt run off are evaluated. A long-term harmonic analysis is performed on the data resulting in a 10 year and 50 year return period of current omni-directionally and for twelve direction sectors (Chapter 5.2.1 and Appendix C.4)
- Wind speed standard NS-EN 1991-1-4 is used for determining 10 year and 50 year return period for wind speed (Chapter 6.1.2)
- 10 year and 50 year return period of wind waves (H_s and T_p) at site, based on wind speed from standard NS-EN 1991-1-4 (Chapter 6.3.2.1)
- 10 year and 50 year return period of ocean swell conditions at site based on offshore hindcast data (Chapter 6.3.2.2)
- 10 year and 50 year return period of combined sea state of wind waves and ocean swell at site (Chapter 6.3.2.3)
- Evaluation of the effect of other wave conditions such as ship-generated waves, wave reflection, the effect of wave trains, and wave-current interaction (Chapter 6.3.4)
- Estimation and local knowledge on sea spray icing, drift ice and possibility for the structure to freeze in (Chapter 6.6)
- Description of bottom topography (Appendix H)

Any additional work beyond the list above is not included in the guidelines of the accreditation.

3.3 Conventions and definitions

3.3.1 Units and directions

All parameters are given in SI units (international System of Units). All directions are given in degrees (clockwise) relative to true north. Standard practice in presenting directions is as follows: The direction of wind and waves refers to the direction from where they are coming from, i.e. a northerly wind is blowing from north. Wave directions are given as peak directions. Note that there may be wave energy in multiple sectors. Current direction is defined as direction towards which the current is headed for, i.e. northerly current flows towards north.

3.3.2 Use of directional extreme values

If directional extremes are used in a reliability analysis of a marine structure, it is important to ensure that the overall reliability is acceptable and there is consistency between omni-directional and directional distribution. This can be done in different ways (DNV-RP-C205, 2017).

The annual exceedance probability of metocean conditions is estimated separately for each direction sector and omni-directionally. The directional distribution fits are found based on data from each direction sector and not adjusted according to the omnidirectional distribution.

Norsok N-003 (2017) gives a simplified method to calculate a characteristic directional metocean condition as the condition corresponding to an exceedance probability multiplied by 0.5 times the number of direction sectors (e.g. for 12 direction sectors, the characteristic directional metocean condition with 100 year return period for each direction sector is given by the 600 year return period). The equivalent return period of the metocean condition for each directional sector is taken as the minimum of the calculated characteristic directional condition and the omni-directional characteristic condition. For omni-directional extremes, no correction of the return period is needed.

3.3.3 List of symbols

C_{dir}	Direction factor
C_r	Roughness factor
Equivalent RP10	Minimum of directional 60 year return period and omni-directional 10 year return period
Equivalent RP50	Minimum of directional 300 year return period and omni-directional 50 year return period
Equivalent RP100	Minimum of directional 600 year return period and omni-directional 100 year return period
Equivalent RP10 000	Minimum of directional 60 000 year return period and omni-directional 10 000 year return period
GEV	Generalized extreme value distribution
GP	General Pareto distribution
H_{max}	Maximum individual wave height [m]
H_s	Significant wave height [m]
I	Turbulence intensity factor
K_{m01}	Wave number
η	Wave crest elevation
RP10	10 year return period
RP50	50 year return period
RP100	100 year return period
RP10000	10 000 year return period
S_1	Wave steepness
S(f)	Spectral density [m^2/s] at frequency f[Hz]
T_a	Measured air temperature 10 m above ground [°C]
T_f	Freezing point of seawater [°C]
T_{Hmax}	Wave period of maximum individual wave height [s]
T_{m01}	Mean period calculated from the first two moments of the wave spectrum[s]
T_p	Peak period [s]

T_z/T_{m02}	Zero-up-crossing period (mean absolute wave period) [s]
T_w	Water temperature [°C]
U_0	1-hour mean wind velocity at location, based on V_m [m/s]
V_a	Measured 10 minutes average wind velocity 10 m above ground, used in icing potential calculations [m/s]
V_b	Basic wind velocity defined as a function of wind direction and season, 10 m above ground and roughness category II [m/s]
$V_{b,0}$	Fundamental basic wind velocity, 10 minutes average wind velocity independent of wind direction and season, 10 m above flat landscape with roughness category II [m/s]
V_m	10 minute average wind velocity at location at 10 m above ground (in this case 10 m above sea level) [m/s]
Weibull 3P	3-parameter Weibull distribution
WRF	Weather research and forecasting model

Seasons are defined as follows:

Winter: December, January, and February

Spring: March, April, and May

Summer: June, July, and August

Autumn: September, October, and November

4 Data sources

The following data are used in the analyses (see Table 4-1 for details):

- Local measurements of wind, currents and waves at the Havfarm 1 site from 02.06.2016 to 26.06.2017 using an SW midi 185 buoy from Fugro Oceanor (Akvaplan Niva, 2017).
- Time series of wind observations from the meteorological station Bø i Vesterålen III (eKlima)
- Wind data from the meteorological station of Bø i Vesterålen III
- Time series of offshore waves from the hindcast model WAM10 (The Norwegian Meteorological Institute)

The positions of the model output points, together with the meteorological station Bø i Vesterålen III and the Havfarm 1 buoy are shown in Figure 4-1 and Figure 4-2.

Table 4-1 summarizes the data sources used in the analyses presented in this report.

Table 4-1 Data used in this report

Parameter	Name	Coordinates (WGS84)	Description	Period	Sampling frequency	Averaging Interval	Source
Wind / Temperature	Bø i Vesterålen III	68°36.402'N 14°25.998'E	Observations, 10 m height	03.12.2002 – 09.10.2017	1 h	10 min	eKlima
	Havfarm 1 site	68°30.156'N 14°35.292'E	Observations, 2.5 m height	02.06.2016 – 11.04.2017	1 h	10 min	Akvaplan Niva AS
Current	Havfarm 1 site	68°30.156'N 14°35.292'E	Observations	02.06.2016 – 23.06.2017	10 min	10 min	Akvaplan Niva AS
Waves	Havfarm 1 site	68°30.156'N 14°35.292'E	Observations	02.06.2016 – 23.06.2017	1 h	17 min	Akvaplan Niva AS
	WAM10	68°49.200'N, 11°19.800'E	Hindcast model WAM10	01.09.1957 - 31.05.2017	3 h	3 h	The Norwegian Meteorological institute

Figure 4-1 Map of the area around Hadseløya. The Havfarm 1 site (location of the buoy) and the meteorological station Bø i Vesterålen III are marked with red dots (map from kystinfo.no)

Figure 4-2 Map of the coastal area outside Hadseløya. Havfarm 1 site, the meteorological station Bø i Vesterålen III and the WAM10 wave point are marked with red dots (map from kystinfo.no)

5 Methods

5.1 Wind

5.1.1 Operational statistics of wind

Wind observations from the meteorological station Bø i Vesterålen III and measured wind at the Havfarm 1 site are compared in Appendix A. The meteorological station at Bø is placed on an elevation of 8 m and measures at a height of 10 m above ground. A comparison of WRF model data (Kjeller Vindteknikk), measured wind at Bø i Vesterålen III and the Havfarm 1 site is given in Multiconsult (2017). Time series of wind from the meteorological station Bø i Vesterålen III is used to obtain operational statistics for the Havfarm 1 site.

5.1.2 Extreme value analysis of wind

For estimation of extreme values, a long time series of wind is required. Using the wind time series from Bø i Vesterålen III covering only 14 year period would result in an uncertain estimate of extreme wind. The standard NS-EN 1991-1-4:2005/NA:2009 is considered to give a more reliable estimate, and is therefore used.

Fundamental basic wind velocity for Hadsel municipality and directional factors for «Lofoten, Vesterålen» are used to calculate expected mean wind velocity 10 m above sea level at location (V_m) according to NS-EN 1991-1-4:2005/NA:2009. In this study, 12 directional sectors are used, while NS-EN 1991-1-4:2005/NA:2009 gives the factors for 8 sectors. For the additional sectors falling between the 8 sectors, the greater of the values in the neighbouring sectors was chosen. Terrain roughness is chosen for the different direction sectors as either 0 «sea or coastal area exposed to the open sea» or 1 «Lakes or flat and horizontal area with negligible vegetation and without obstacles».

Table 5-1 summarizes the results based on the standard NS-EN 1991-1-4:2005/NA:2009.

Table 5-1 Derived mean wind velocity at location (V_m) for Hadsel. C_{dir} is the direction factor, V_b is the basic wind speed, C_r is the roughness factor and $V_{b,0}$ is the fundamental basic wind velocity

Direction (from)	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°
$V_{b,0}$ [m/s]	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
C_{dir}	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	0.9	0.9	1	1	1	1	0.9
V_b, RP10 [m/s]	24	24	24	21	21	24	24	26	26	26	26	24
V_b, RP50 [m/s]	26	26	26	23	23	26	26	29	29	29	29	26
V_b, RP100 [m/s]	27	27	27	24	24	27	27	30	30	30	30	27
V_b, RP10000 [m/s]	33	33	33	29	29	33	33	37	37	37	37	33
Terrain category	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1
C_r	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.30	1.30	1.30	1.17
V_m, RP10 [m/s]	28	28	28	25	25	28	28	31	34	34	34	28
V_m, RP50 [m/s]	31	31	31	27	27	31	31	34	38	38	38	31
V_m, RP100 [m/s]	32	32	32	28	28	32	32	35	39	39	39	32
V_m, RP10000 [m/s]	39	39	39	34	34	39	39	43	48	48	48	39

5.1.3 Short term wind conditions and wind spectrum

To estimate short term wind conditions (at other averaging intervals than 10 min) and wind spectrum for wind at 10 m above sea level, the formulation given in Norsok N-003 (2017) is applied. The wind spectrum is given by the Frøya wind spectrum (Andersen and Løvseth, 2006), and is considered valid for the Havfarm 1 site.

The characteristic wind velocity, $v(t)_{10}$, at 10 m above sea level for averaging times lower than 1 hour (t_0=3600s) is given by:

$$v(t) = U_0(1 - 0.41I_{10,u}\, ln\left(\frac{t}{t_0}\right)) \quad (5\text{-}1)$$

where U_0 [m/s] is the 1-hour mean wind speed and $I_{10,u}$ is the turbulence factor given by:

$$I_{10,u} = 0.06(1 + 0.043U_0) \quad (5\text{-}2)$$

For moderate to strong winds and neutral conditions the wind spectrum, *S(f)* may be expressed on the following form:

$$S(f) = 320\ \frac{\left(\frac{u_0}{10}\right)^2}{(1+f')^{\frac{5}{3n}}} \quad (5\text{-}3)$$

Where $n = 0.468$ is a dimensionless constant, $f' = 172f\left(\frac{u_0}{10}\right)^{-0.75}$, f [Hz] is the frequency and S(f) [$m^{-2}Hz^{-1}$] the spectral density.

5.2 Current

5.2.1 Current measurements

Current data are obtained using a measurement buoy as described in Akvaplan Niva AS (2017). The data is quality controlled as recommended by the producer of the instrument, Nortek AS. A further description of quality-controlled data is given in Appendix C.1. Table 5-2 summarizes the metadata for the current measurement at Havfarm 1 site.

The current measurement spans from 02.06.2016 through 23.06.2017. Statistical analysis of the data is performed, including tidal analysis (Codiga, 2011) and analyses of the correlation between wind and current.

Current at 3 m, 9 m, and 25 m depth are reported to facilitate the Havfarm 1 design, while current for depths of 5 m and 15 m are reported according to the NYTEK directive in Appendix C.4. Current at 50 m depth is reported for load calculation on fish nets and the bottom weights and are given in Appendix C.5

Table 5-2 Information of current measurements at the Havfarm 1 site

Position	68°30.156' N 14°35.292'
Approximate depth at measuring position	138 m
Measuring period	02-Jun-2016 08:10:12 to 23-Jun-2017 06:40:12
Duration	385 days, 22 hours, 30 minutes
Number of measurements	55576
Compass orientation	Towards magnetic north (not corrected for magnetic declination)
Instrument – 0.5 m depth	Doppler profiler (Nortek Aquadopp profiler, serial number11470), Current profile of horizontal and vertical current from 3 m to 51 m depth, cell size 2 m
Measurement type	Burst (590 measurements in 590 seconds)
Measuring interval	10 minutes

5.2.2 Extreme value analyses of current

Norsok N-003 (2017) recommends minimum 2 years of current measurements for representative time series. NS9415 (2009) states that current measurements should be carried out for at least one year to conduct long-term statistics on the data. Current measurements at Havfarm 1 are conducted for one year. This will limit the accuracy when estimating extreme values with long return periods. Extreme value analysis was conducted for 10 year, 50 year, 100 year, and 10 000 year return period.

The analysis was conducted using following methods:

- Weibull 3P –3-parameter-Weibull distribution fit to the measured current data using the method of moments
- Weibull 3P –3-parameter-Weibull distribution fit to the measured current data using the least square method for binned data (Mathisen and Bitner-Gregersen,1990)
- GEV –Generalized extreme value distribution fit to daily maximum current speed using the maximum likelihood method
- GP –General Pareto distribution fit to peak over threshold data using the maximum likelihood method
- Exponential distribution – exponential distribution fit to peak over threshold data with maximum likelihood method

The distribution is fitted for 12 directions (use of directional extremes is further explained in Chapter 3.3.2) and omni-directionally. The 3-parameter-Weibull distribution using the least square method for binned data provides the best fit for the present data set. An example of a return period diagram with the fitted 3-parameter Weibull distribution is shown for 12 directions at 3 m depth in Figure 5-1. The return period diagrams with the fitted 3-parameter Weibull distributions are given in Appendix C.6 for 5 m, 9 m, 15 m, 25 m, and 50 m depths. Also examples of other tested distributions are shown. Parameters of the fitted current distributions are given in Appendix C.7.

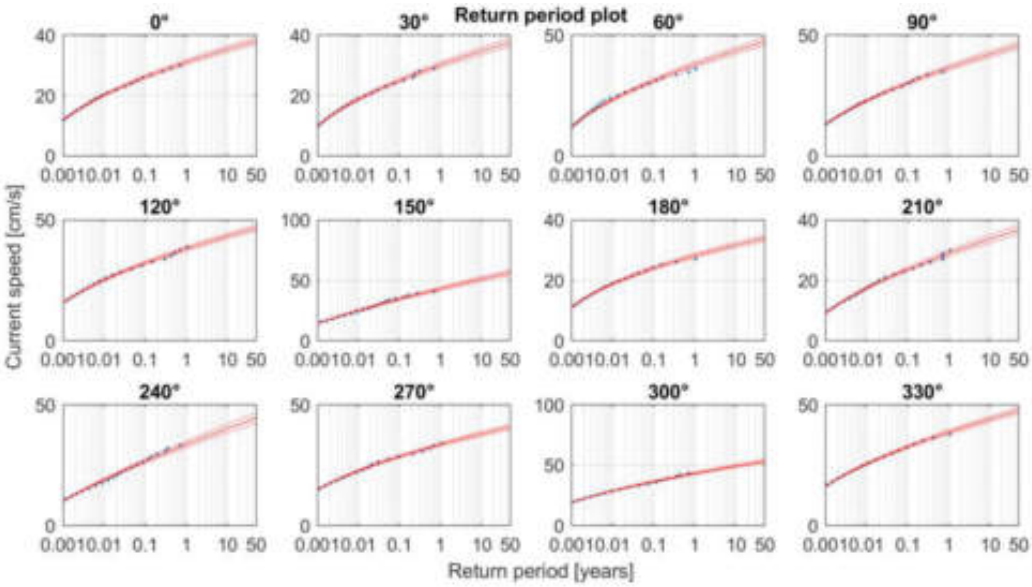


Figure 5-1 Return period diagram for 12 directions at 3 m depth: observations are denoted with blue dots, red line shows fitted Weibull 3P distribution (least square method for binned data)

5.2.3 Synthetic 15 year time series of current

A 15 year synthetic time series of current at 9 m depth is generated for the Havfarm 1 site using an MCP (measure-correlate-predict) method by Multiconsult, similar to the matrix time series method described in Lambert and Grue (2012). The method is described in this section. Wind data from a reference station (Bø i Vesterålen III) and the results of tidal analysis of measured current were used to produce correlated synthetic current time series spanning a 15 year period. Only current at 9 m depth is considered, but the method can be used for other depths as well. Since the tidal current is identified separately, the method should work well even if the tidal contribution dominates compared to the wind generated current.

For making the transfer function from reference wind to on site current, only time steps for which data exists both at the reference station (Bø i Vesterålen III) and the site are used. The following steps are performed:

1. Wind observations from the reference station are binned according to both wind speed (classes of 1-2 m/s) and wind directions (sectors of 30˚). For each bin, the empirical distributions of absolute speed difference (wind in m/s and current in cm/s) and absolute direction difference between reference wind and residual current at the target site are found. A kernel density estimate is used to smooth the distribution. If a bin contains less than 30 observations, this bin is joined with the bin of the adjacent lower wind class.
2. For both distributions (speed difference, direction difference) time series of percentiles at the target site are constructed using the kernel density estimates for each bin.
3. Two long time series of percentiles of speed difference and direction difference are constructed randomly based on a first-order Markov chain method (Ross, 2010). The percentile time series are smoothed with a three-hour average.
4. Using the speed difference and direction difference for each bin, percentile time series are transformed to target site current speeds and current directions.

The result is a time series of current speeds and directions at the target site for the same period as the wind time series. This method will both reproduce probability distributions well and give a time series with realistic autocorrelation and correlation to wind.

The MCP method was applied to the residual current, and tidal predictions were added to produce the synthetic time series of ocean current.

5.3 Waves

5.3.1 Wave measurements

Wave measurements are used to validate the model results. A comparison of measured waves and operational waves from model results can be found in Appendix G.

Results show that the measured significant wave height corresponds well with the modelled operational combined sea. For large waves (measured $H_s > 3.5$ m) the relative difference between the modelled and observed significant wave height of combined sea is on average 4.3 % larger than the measured significant wave height and in all cases, except one, below 25 %, see Figure 5-2. For measured waves with $H_s > 1$ m the average of the relative difference is equal 2.4 %, indicating that the operational time series of total sea is conservative for significant wave heights above 1 m. For smaller waves, the relative differences are larger. The distribution of peak periods below 16 s is similar for the measured and operational ocean swell. The validity of measured peak periods from approximately 16 - 20 s to the cut-off period at 25 s are uncertain. The directional spread of incoming waves for both modelled and operational waves is mainly from southwest to northeast.

The resulting modelled wave spectra correspond well with the observed wave spectra, indicating that the model is reliable during events with high wind waves and high ocean swell. The good agreement between the observations and modelled waves during events with high waves indicate that the model runs of extreme combined waves are reliable.

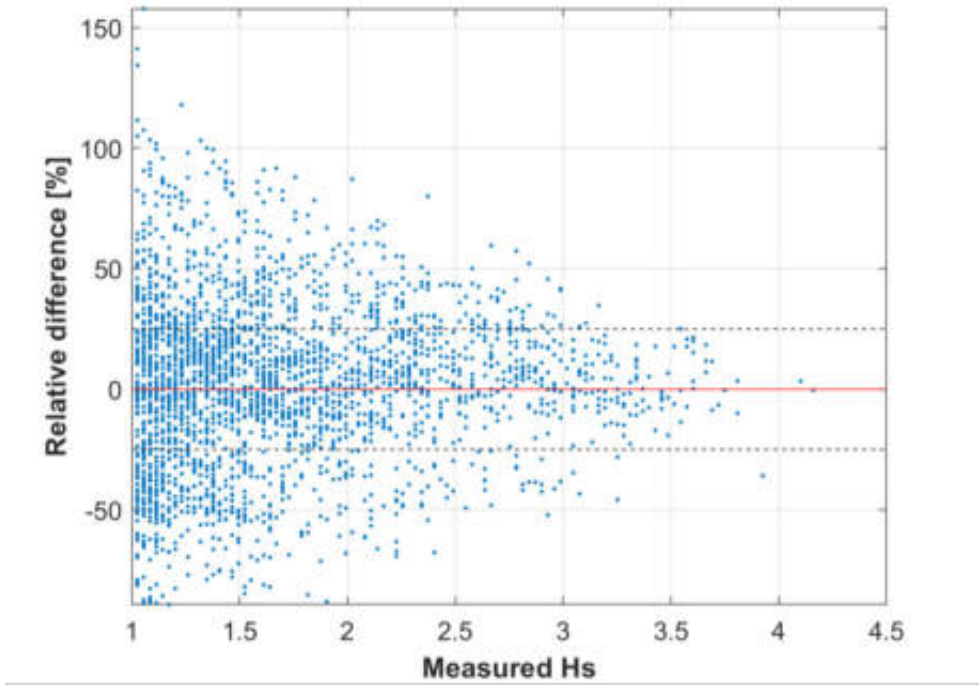


Figure 5-2 Relative difference between significant wave height of operational combined sea and measured waves. Only given for significant wave height above 2 m. Red line indicates no difference, while black dashed lines correspond to 25 % relative difference

5.3.2 Fitting a spectral model to observed spectra

A two peak spectral model defined by a set of parameters can be fitted to observed spectra by finding the parameters that minimize the sum of square errors. However, the energy contained in the spectrum should be fixed and equal to that of the measured spectrum. This means that $H_{s\ combined\ sea}^2 = H_{s\ swell}^2 + H_{s\ wind\ waves}^2$ should be fixed, and only one of $H_{s\ swell}$ and $H_{s\ wind\ waves}$ should be used as a free parameter.

Various two peak spectral models can be fitted to the observed spectra, e.g. the Torsethaugen spectrum or the Ochi-Hubble spectrum. In this report the Ochi-Hubble spectrum has been used, but the methodology is readily extended to other models. The Torsethaugen spectrum only has two parameters, H_s and T_p, and the peaks of the spectrum are related based on observations of offshore data. Therefore, it is not expected to give a sufficiently good fit in this case. The Ochi-Hubble spectrum provides more flexibility, being defined in terms of significant wave height, spectral peak period and a shape parameter for each wave system, i.e. a total of six parameters.

5.3.3 Numerical wave generation and propagation model

To estimate local wave conditions at the Havfarm 1 site, wave generation and propagation offshore and in the area of the Havfarm 1 site has to be taken into account. The wave model SWAN is used to simulate wind waves, ocean swell and the combined sea state. SWAN is a third-generation numerical wave model, developed by Delft Technical University, taking into account the following processes:

- Generation of wind waves
- Wave propagation
- Refraction (deflection due to changing depth)
- Diffraction (deflection due to land)
- Shoaling
- Dissipation by white-capping, breaking, and bottom friction
- Wave-wave interaction

Waves were modelled in a three/four-stage simulation, with nesting steps with increasing resolution from approximately 300 m to 50 m and then to 15 m (Figure 5-4 and Figure 5-5).

The bottom topography is based on topographical maps from Kystkartverket (Kystkartverket, 2007) and the area around Havfarm 1 is shown in Figure 5-3.

Figure 5-6 shows the nesting steps of model runs with combined sea state (wind waves and ocean swell). Offshore wave input is introduced on the outer grid, while wind input is added to the first nesting grid due to fetch limitations described below, with grid borders approximately 30 km from the Havfarm 1 site. Satisfactory analysis of wave refraction and diffraction effects as wind waves and offshore waves approach the site were achieved by increasing the grid resolution by two/three more nesting steps.

SWAN is ran in stationary mode (time independent). The duration of a given wind event before the sea state becomes stationary depends on the fetch length. To achieve the desired balance between fetch length, wind duration and wind speed, borders of the largest grid for wind waves are set approximately 30 km from the site. Depending on the wind speed, a fetch length of 30 km corresponds to a duration of between three hours (for approx. 30 m/s) and 7 hours (for approx. 4 m/s) before sea states become stationary (BS6349-1 (Figure 9)). The sea state duration of modelled

wind waves is therefore between 3 and 7 hours for westerly directions (open fetch), while it is somewhat shorter for easterly directions (limited fetches). To simplify one can assume a sea state duration of 3 h for wind waves.

The time interval until the wave field becomes stationary is calculated according to Leenknecht et al. (1992) and the wind speed over this period is referred to as the fetch wind and is calculated according to NORSOK N-003 (2017). The fetch wind will be averaged over a shorter period for directions with a short fetch (for example 10 minutes) than for directions with longer fetch (for example 3 hours). The fetch wind is calculated based on 10 minutes average wind speed at 10 m height and the fetch geometry.

For swell calculations, the outer grid is much larger than for wind waves and reaches the hindcast point. Transmission of offshore waves are calculated by introducing a JONSWAP spectre on the borders with a spread parameter and pointedness parameter described by Smith et. al (1999).

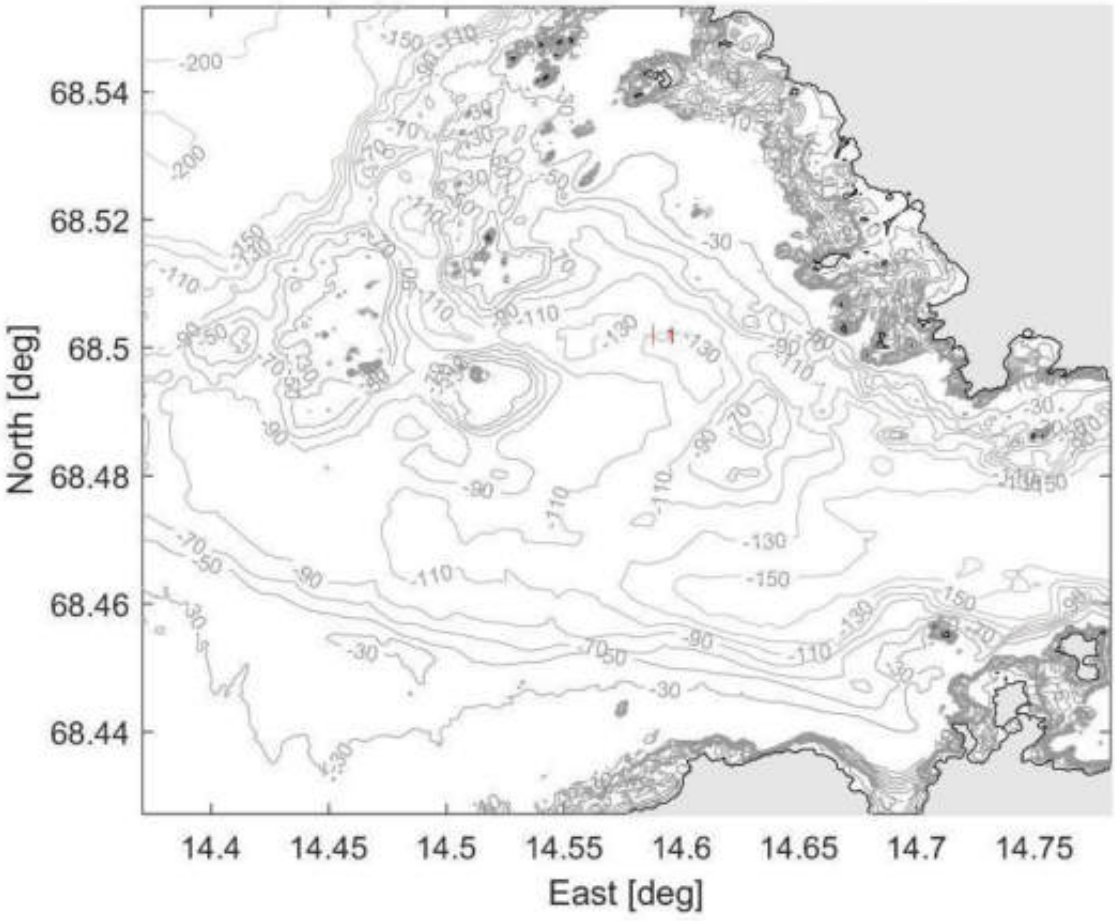


Figure 5-3 The location of the Havfarm 1 site (point 1 is the location of the buoy) and the bottom topography

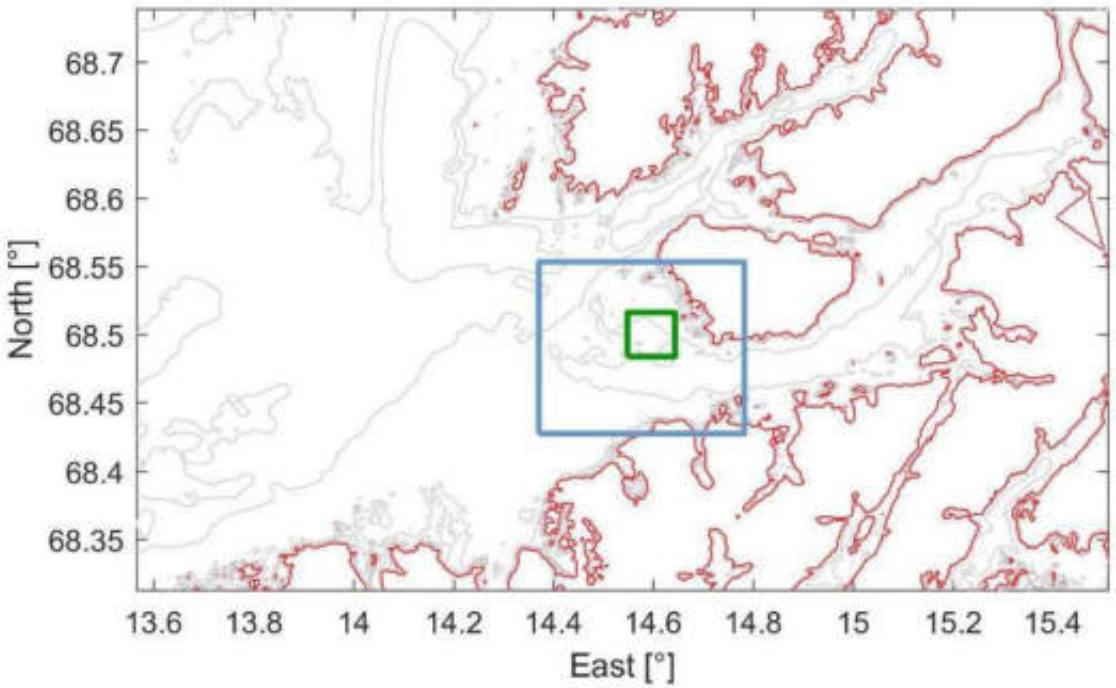


Figure 5-4 Main calculation grid (outer rectangle) and two nested grids (blue and green rectangles) used in modelling generation and propagation of local wind waves

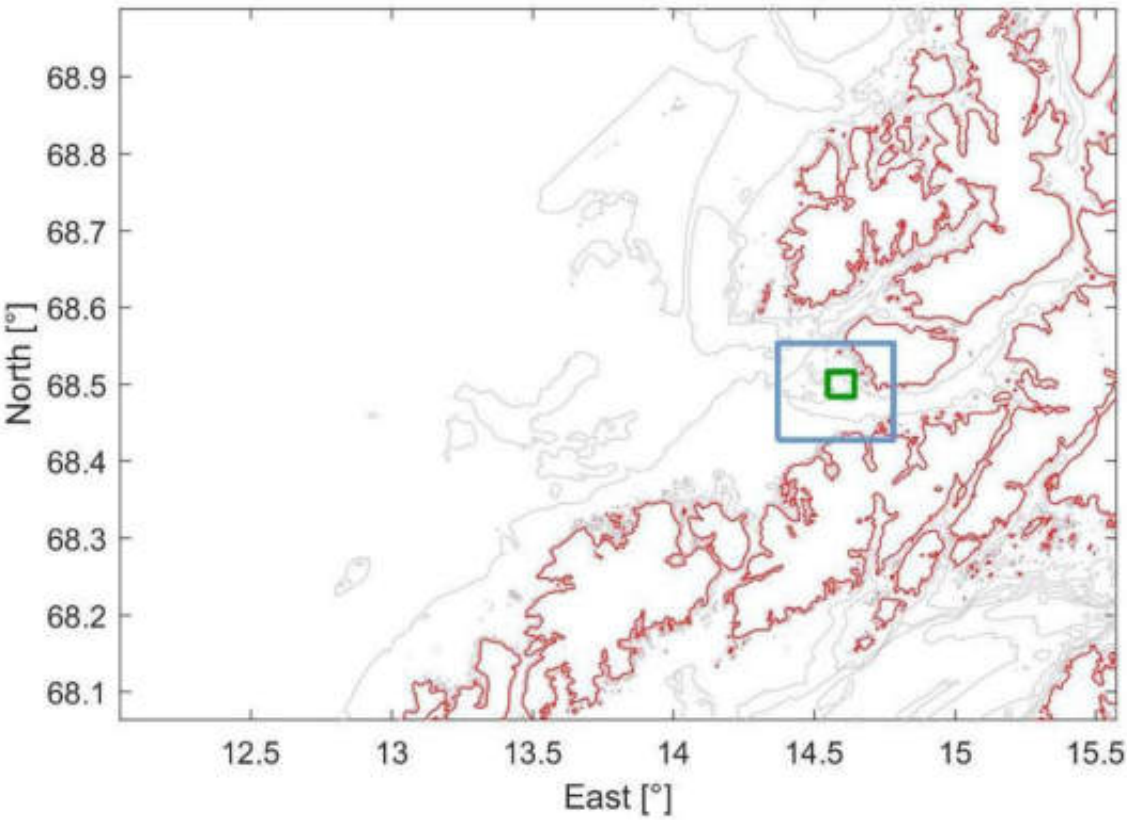


Figure 5-5 Main calculation grid (outer rectangle) and two nested grids (blue and green rectangles) used in modelling propagation of offshore waves (all three grids)

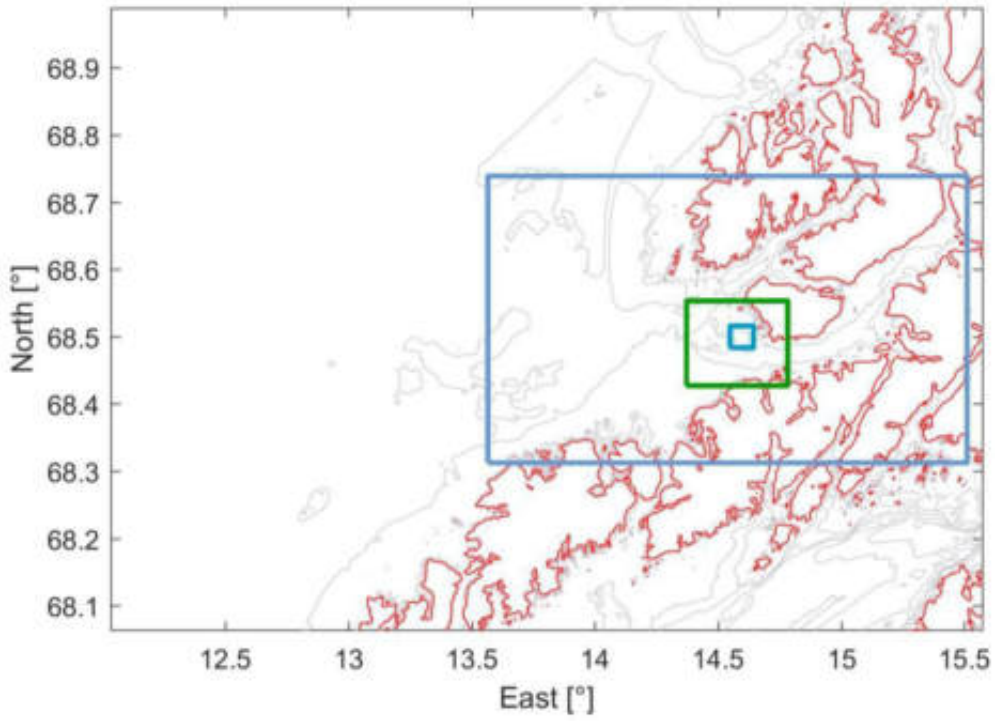


Figure 5-6 Main calculation grid (outer rectangle) and three nested grids (dark blue, green and light blue rectangles) used in modelling combined waves (ocean swell and wind waves). Wind was introduced in the first nesting step (dark blue frame)

5.3.4 Construction of wave time series at site

5.3.4.1 Wind waves time series

Operational wind waves are modelled for a total of 14 wind speeds, with an interval of 2 m/s (from 2 m/s to 28 m/s), and for 12 directions (totally 168 wind cases are calculated), with the model described in Chapter 5.3.3.

A time series of the wind wave condition at site is constructed based on the wave calculations and time series of wind speed and wind direction from the meteorological station at Bø. For each time step, a linear interpolation is performed between the results of significant wave height and peak period for different wind speeds and directions. SWAN results of significant wave height and peak period for different wind speeds and directions are shown in Figure 5-7.

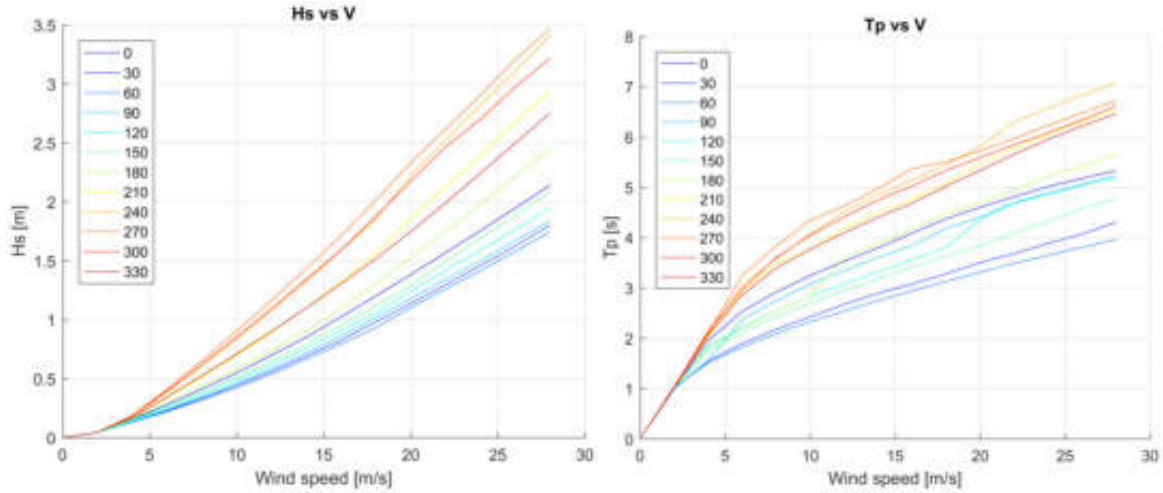


Figure 5-7 Significant wave height (H_s) and peak period (T_p) for different wind speeds (V) and wind direction

5.3.4.2 Ocean swell time series

Operational swell are modelled for a total of 160 combinations of input offshore sea states at the grid border with significant wave heights varying from 2 m to 12 m, peak period varying from 4 s to 22 s, and directions varying from 180° to 30°, with the model descried in Chapter 5.3.3.

A time series of ocean swell at site is constructed based on a transfer function of the hindcast data from the WAM10 model. The transfer function is based on SWAN results of the propagation of offshore waves with different periods, wave heights and directions. For each time step significant wave height (H_s) and peak period (T_p) is calculated as a product of offshore wave (H_s and T_p) with linear interpolation of the relation between H_s at site and offshore H_s (T_p at site and offshore T_p) of the given offshore wave direction.

5.3.4.3 Operational time series of combined wind waves and ocean swell

The significant wave height of the combined wave (wind wave and ocean swell) is estimated based on the following equation:

$$H_{s\ combined\ sea}{}^2 = H_{s\ wind}{}^2 + H_{s\ swell}{}^2 \qquad \text{(Eq. 5-4)}$$

which assumes that wind waves and ocean swell develop independently.

The results gives a good indication of the value of significant wave height, but can both over and underestimate, depending on the difference between wind direction and wave direction.

5.3.5 Input for modelling extreme waves

Extreme wind waves and ocean swell are calculated for 4 return periods for 12 wind directions and 8 swell directions. Combined extreme waves (extreme wind waves and extreme ocean swell) are calculated for 8 different cases. It is assumed that a given return period of offshore waves, wind waves and combined waves equals the same return period at site. By using this method, wave spectra and directional spectra of extreme events can be obtained.

5.3.5.1 Input for modelling extreme wind waves

Extreme wind waves with 10 year, 50 year, 100 year, and 10 000 year return period are modelled based on the fetch wind derived from the 10 minute average wind velocity at location (see Chapter 5.1.2) at the Havfarm 1 site. The fetch wind speeds is given in Table 5-3 (see Chapter 5.3.3 for description of fetch wind).

Table 5-3 Fetch wind speeds at the Havfarm 1 site for 12 directions and 4 return periods

Direction (from)	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°
RP10 [m/s]	25	26	26	23	23	25	26	27	29	29	29	24
RP50 [m/s]	28	29	29	25	24	28	28	30	32	32	32	27
RP100 [m/s]	29	30	30	25	25	29	29	31	33	33	33	28
RP10000 [m/s]	35	36	37	31	30	35	35	37	40	40	40	34

5.3.5.2 Input for extreme ocean swell

Input used for calculating extreme ocean swell with SWAN was based on extreme value analysis of model WAM10 (see Appendix D for more details regarding the method). Significant wave height and associated peak period are given for the equivalent 10 year, 50 year, 100 year, and 10 000 year return period for different directions in Table 5-4.

Table 5-4 Offshore extreme values for H_s with associated T_p (location see Table 4-1) with the equivalent return period

Return period		Directions (from)							
		180°	210°	240°	270°	300°	330°	360°	30°
RP 10	H_s [m]	9.5	12.6	12.7	12.7	12.0	11.2	10.4	10.0
	T_p [s]	12.8	16.9	16.3	16.3	15.5	14.8	15.0	14.1
RP 50	H_s [m]	11.0	14.3	14.6	14.6	14.0	13.0	12.0	11.5
	T_p [s]	13.6	18.1	17.3	17.3	16.7	15.6	16.1	14.9
RP 100	H_s [m]	11.7	15.0	15.4	15.4	14.8	13.7	12.7	12.1
	T_p [s]	13.9	18.6	17.7	17.7	17.1	15.9	16.5	15.2
RP 10000	H_s [m]	16.0	20.0	20.7	20.7	20.5	18.8	17.3	16.4
	T_p [s]	16.1	22.1	20.2	20.2	20.3	17.9	19.4	17.3

5.3.5.3 Input for extreme combined waves

Extreme combined sea state of wind waves and ocean swell is modelled using SWAN. Extreme combined sea state was evaluated by introducing extreme offshore waves (from WAM10) at the model boundary with extreme wind speed (from NS-EN 1991-1-4:2005/NA:2009) introduced in the first nested computational grid (see Chapter 5.3.3 for more details about the model grids). The combined wind speeds and offshore boundary wave conditions had the same return periods, which is a conservative approach. The input combinations of directions of extreme wind waves and extreme offshore waves are given in Table 5-5.

Table 5-5 Input combinations (wind and offshore wave directions) of modelled extreme combined sea state

		Offshore wave direction (from)		
		240°	270°	300°
Wind direction (from)	180°	x		
	240°		x	
	270°		x	x
	300°		x	x
	330°		x	x

It is a simplification to assume that offshore wave / wind of a given return period gives the same return period locally. To evaluate the effect of this simplification, an extreme value analysis of the operational time series of combined sea given in Chapter 6.3.1.3 was performed. A Gumbel distribution was fitted to annual maxima using the method of moments. Results of the extreme value analysis with the fit of the Gumbel distribution are given in Figure 5-8.

Calculating extreme values based on the operational time series of combined sea is not ideal as the setup to estimate the time series is not particularly adjusted to handle extreme values, but focuses on operational values. The time series is also limited to 15 years, which increases the uncertainty of the estimates for long return periods. A 10 000 year return period of significant wave height estimated on a 15 year data set it not reliable and is therefore not presented in the results. Another drawback of using extreme value analysis of operational combined sea is that no wave periods, spectra, directions

or maps can be given. Therefore results from the extreme value analysis of operational combined sea are only used for validating the results from the SWAN runs.

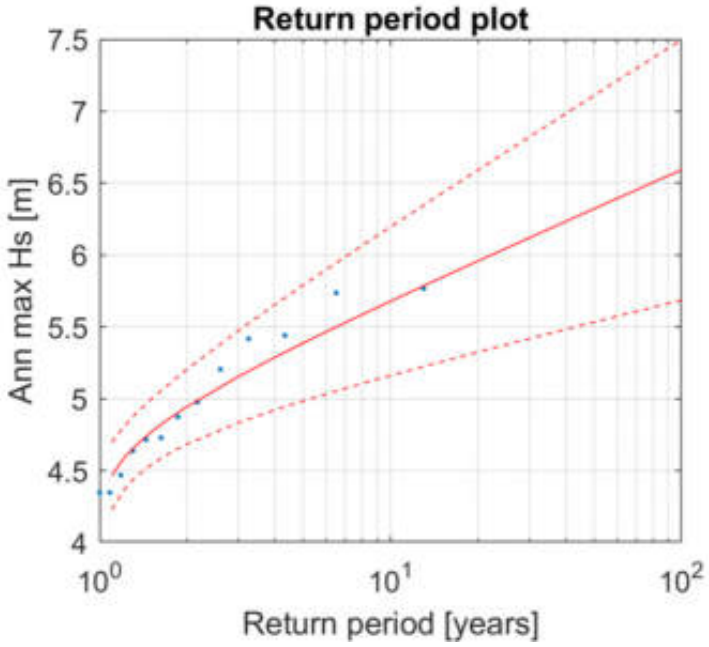


Figure 5-8 Extreme value analysis of the operational time series of combined sea (2002-2017). The blue dots correspond to annual maximum significant wave height, the solid line is the Gumbel distribution fit and the dashed lines represent the 95th confidence interval

H_s-T_p contours of the local sea state are established by introducing various combinations of H_s and T_p along the offshore contours given in Figure 5-9 and Table 5-6, together with extreme wind. Boundary offshore wave conditions were set up with a T_p interval of 1 s and a total of 74 different boundary sea states were investigated. Results from analysis of the combinations given in Table 5-5 show that a combination of wind and offshore waves from 270° at the model boundary mainly resulted in highest waves at the Havfarm 1 site and is therefore used as input in the model. As the extreme value of offshore waves calculated for all directions is less than the calculated directional extreme of offshore waves from 270°, the input values of offshore waves for all directions was used as input in the model (more details regarding use of directional extremes is explained in Chapter 3.3.2).

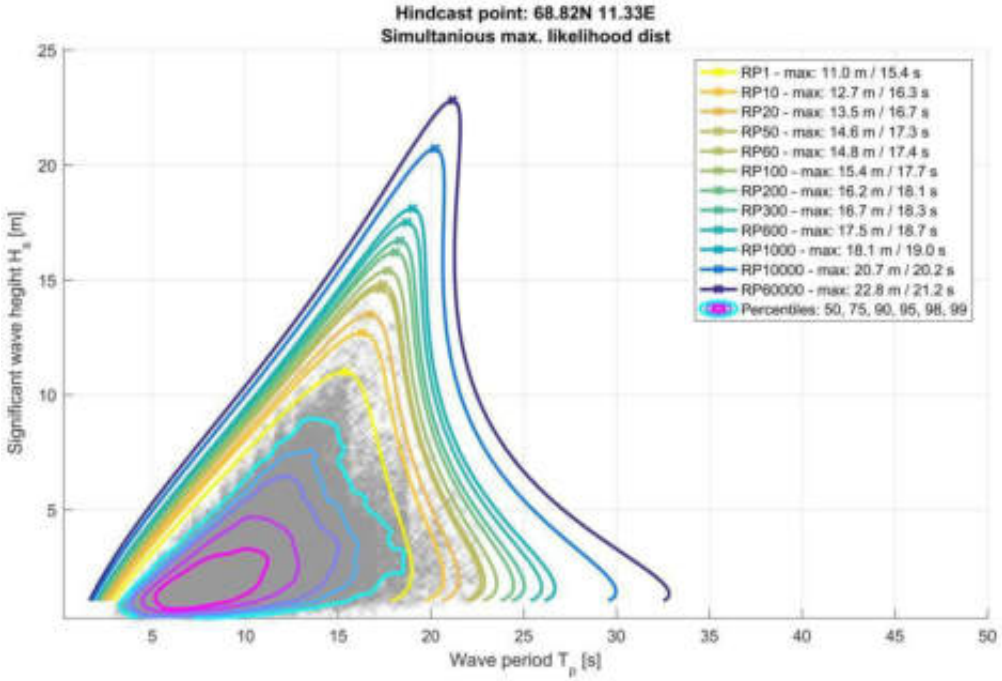


Figure 5-9 Offshore H_s-T_p contours for different return periods from statistical analysis of hindcast data from the WAM10 hindcast model (offshore waves from all directions). Method is described in Appendix D.

Table 5-6 Offshore wave input from west (contour lines of extreme offshore waves for the equivalent 10 year, 50 year, 100 year, and 10 000 year return period (see Figure 5-9))

Offshore wave input of significant wave height																								
Input offshore Tp [s]		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
H_s [m]	RP10	4.5	5.4	6.3	7.2	8.0	8.9	9.8	10.7	11.5	12.2	12.7	12.2	8.8	6.0	4.0									
	RP50	4.9	5.8	6.7	7.7	8.6	9.5	10.4	11.4	12.3	13.2	14.0	14.6	13.9	9.1	6.5	4.8	3.4							
	RP100	5.0	6.0	6.9	7.9	8.8	9.7	10.7	11.6	12.6	13.6	14.5	15.4	15.3	10.9	7.6	5.7	4.3	3.0						
	RP10 000	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	13.1	14.2	15.3	16.5	17.6	18.8	19.9	20.7	11.9	9.1	7.5	6.4	5.4	4.6	3.9	3.2	2.5

5.3.6 Extreme crest heights

Extreme crest elevations above still water level for combined sea are established based on a short-term distribution of crest elevations (η) conditional on H_s according to ISO 19901-1:2015 using the Forristall crest distribution. The probability distribution of crest elevation is given by a Weibull model (Foristall, 2000):

$$P(\eta\,|H_s) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{\eta}{\alpha H_s}\right)^{\beta}\right) \quad \text{(Eq. 5-5)}$$

With α and β being empirical function of the wave steepness S_1 and the Ursell number U_r:

$$S_1 = 2\pi H_s/(gT_{m01}^2) \quad \text{(Eq. 5-6)}$$

$$U_r = H_s/(k_{m01}^2 d^3) \quad \text{(Eq. 5-7)}$$

With mean wave period T_{m01}, wave number k_{m01} for period T_{m01}, and d the water depth (135 m).

For short-crested seas, α and β are given by

$$\alpha = 0.3536 + 0.2568S_1 + 0.0800U_r \quad \text{(Eq. 5-8)}$$

$$\beta = 2 - 1.7912S_1 - 0.5302U_r + 0.2824U_r^2 \quad \text{(Eq. 5-9)}$$

The distribution of maximum crest heights in a 3-hour sea state are then given by the Nth power of the short term distribution, where N is the number of waves in a 3-hour storm event. Extreme crest heights for certain return periods are estimated by using the 90th percentile of the maximum short term distribution defined by the H_s and T_{m01} for the given return periods (Haver, 2002).

5.3.7 Extreme individual wave heights

Extreme individual wave heights (crest-to-trough) for combined sea are established based on a short-term distribution of individual wave heights conditional on H_s according to DNVGL-RP-C205 (2017) using the Forristall distribution. The short-term distribution of the individual wave height is given by a Weibull model:

$$P(h|H_s) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{h}{\alpha_H H_s}\right)^{\beta_H}\right) \quad \text{(Eq. 5-10)}$$

With $\alpha_H = 0.681$ and $\beta_H = 2.126$ being the parameters of the Forristall distribution.

The distribution of maximum individual wave heights in a 3-hour sea state are then given by the Nth power of the short term distribution, where N is the number of waves in a 3-hour storm event (estimated using the mean period T_{m01}). Using the contour line approach, extreme individual wave heights for certain return periods are estimated by using the 90th percentile of the maximum short term distribution defined by the H_s and T_{m01} for the given return periods.

For the Norwegian Continental Shelf, the wave period for extreme individual wave height is calculated according to DNVGL-RP-C205 (2017):

$$T_{Hmax} = 2.94\sqrt{H_{max}} \quad \text{(Eq. 5-11)}$$

In conjunction with H_{100}, T_{Hmax} should be varied in the range

$$2.55\sqrt{H_{100}} \le T_{Hmax} \le 3.32\sqrt{H_{100}} \quad \text{(Eq. 5-12)}$$

5.4 Icing potential and extreme temperatures

5.4.1 Extreme air temperature

Extreme value analysis was conducted of measured air temperature from the meteorological station at Bø. Equivalent 10 year, 50 year, 100 year, and 10 000 year return period was calculated by using a Weibull 3P distribution with the least square method for binned data.

5.4.2 Icing potential and freezing

Sea spray icing is a serious hazard for marine operations near the sea surface in high latitude regions. Wind speed, wind direction, air temperature, water temperature, freezing temperature of water, and wave characteristics (wave height, period and direction) determine the risk and rate of sea spray icing. According to Guest et. al (2005) following environmental conditions are required to form sea spray ice:

- High wind speeds – usually above 9 m/s (icing can occur also for lower wind speeds)
- Low air temperature – below freezing (-1.7°C)
- Low water temperature – usually below 7°C

Guest et. al (2005) gives an icing predictor, PPR index, as

$$PPR = \frac{V_a(T_f - T_a)}{1+0.3(T_w - T_f)} \quad \text{(Eq. 5-13)}$$

where V_a is the wind speed (m/s), T_a is the air temperature (°C), T_w is the water temperature (°C), and T_f is the freezing point of seawater (typically -1.7°C or -1.8°C).

Icing class and rates are given in Table 5-7, for vessels between 20 m and 75 m steaming into the wind and waves.

In lack of literature describing icing on a structure similar to Havfarm 1, the theory from Guest et. al (2005) is used to calculate the icing potential at Havfarm 1 site.

The air temperature from the meteorological station at Bø is used to calculate the potential of sea ice forming around the Havfarm 1 structure. A simplified method, using freezing degree days, of ice formation during stable conditions is based on Anderson (1961). Due to the lack of salinity measurements in the surface layer, freezing point of seawater is set to -1.8 °C.

Table 5-7 Expected icing class and rates for 20 m to 75 m vessels steaming into the wind

PPR index	< 0	0 - 22.4	22.4 - 53.3	53.3 - 83.0	> 83.0
Icing class	None	Light	Moderate	Heavy	Extreme
Icing rate (cm/hour)	0	< 0.7	0.7 - 2.9	2.0 - 4.0	> 4.0

6 Results

6.1 Wind

6.1.1 Operational wind conditions

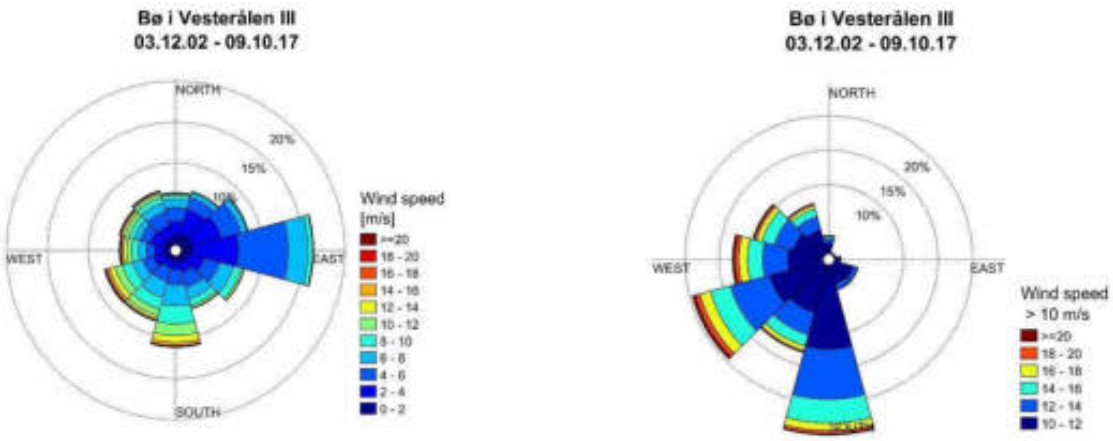
Wind observations from the Havfarm 1 buoy are compared with observations at the meteorological station Bø i Vesterålen III. The local observations from the Havfarm 1 buoy cover a period of less than a year (02.06.2016-11.04.2017). The measurements from the meteorological station in Bø are found representative for the Havfarm 1 site, and given the 15 years duration of the time series (2002-2017), can be used for operational statistics of the site.

Wind roses showing the observations at the meteorological station for the whole measurement period (2002 – 2017) are given Figure 6-1. The most common wind direction is from east, south, and southwest as can be seen in Figure 6-1 a. Figure 6-1 b. (wind speeds above 10 m/s) shows that strong winds occur most commonly from south, southwest, and west.

Table 6-1 gives statistic overview of the wind observations. The average wind is 5.7 m/s, while the strongest wind event in the time series is 27.2 m/s (occurred from northwest).

Table 6-1 Statistics overview for the 10 minutes average wind speed [m/s] measured 2002 – 2017, 10 m height

Wind direction	All dir.	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°
Average	5.7	4.7	3.5	3.7	4.4	5.3	5.5	7.8	7.0	7.4	7.0	6.1	5.8
Median	5.0	4.3	3.1	3.5	4.2	5.1	5.2	7.5	6.8	7.0	6.4	4.9	5.1
90 % percentile	10.4	8.3	6.3	6.1	6.9	8.9	9.3	12.6	11.5	13.3	13.4	12.2	10.7
95 % percentile	12.4	9.9	7.2	6.9	7.8	10	10.3	14.1	13.2	15.2	15.3	14.3	12.8
99 % percentile	16.3	13.3	8.9	8.7	9.5	12.1	12.6	17.1	16.5	19.0	19.1	17.9	16.6
Maximum	27.2	19.4	14.7	15.4	14.5	17.7	19.0	24.2	22.8	25.9	26.4	23.4	27.2
Standard deviation	3.5	2.8	1.9	1.8	1.9	2.7	2.7	3.6	3.4	4.3	4.5	4.2	3.6



a.) *b.)*

Figure 6-1 Wind rose plot for Bø i Vesterålen III meteorological station, 10 minutes average, 10 m height, a.) all wind speeds b.) wind speed above 10 m/s

The cumulative probability distributions for 12 sectors are shown in Table 6-2 (entire year) and Table 6-3 through Table 6-6 (separately for the four seasons). Wind roses for the four seasons are given in Figure 6-2. Figure 6-2 and Table 6-2 through Table 6-6 show that wind pattern at Bø i Vesterålen III varies with season. Prevailing winds occur from east and south in winter and spring. During autumn months, east is the prevailing wind direction. During summer, the winds are lighter and without a distinct prevailing wind direction, and with north-westerly and northerly winds being more common than in other seasons.

Over the entire measured period, wind speeds stay below 10 m/s 88.46 % of the time. During winter months, winds speeds below 10 m/s occur 80.67 % of the time, while during summer months the number is 97.71 %.

In Table 6-7 the persistency of wind speeds remaining above a certain value are given both in hours and in percentage of time. For instance, wind speeds remain above 16 m/s longer than 12 h in average once per year, which corresponds 0.16 % of the time.

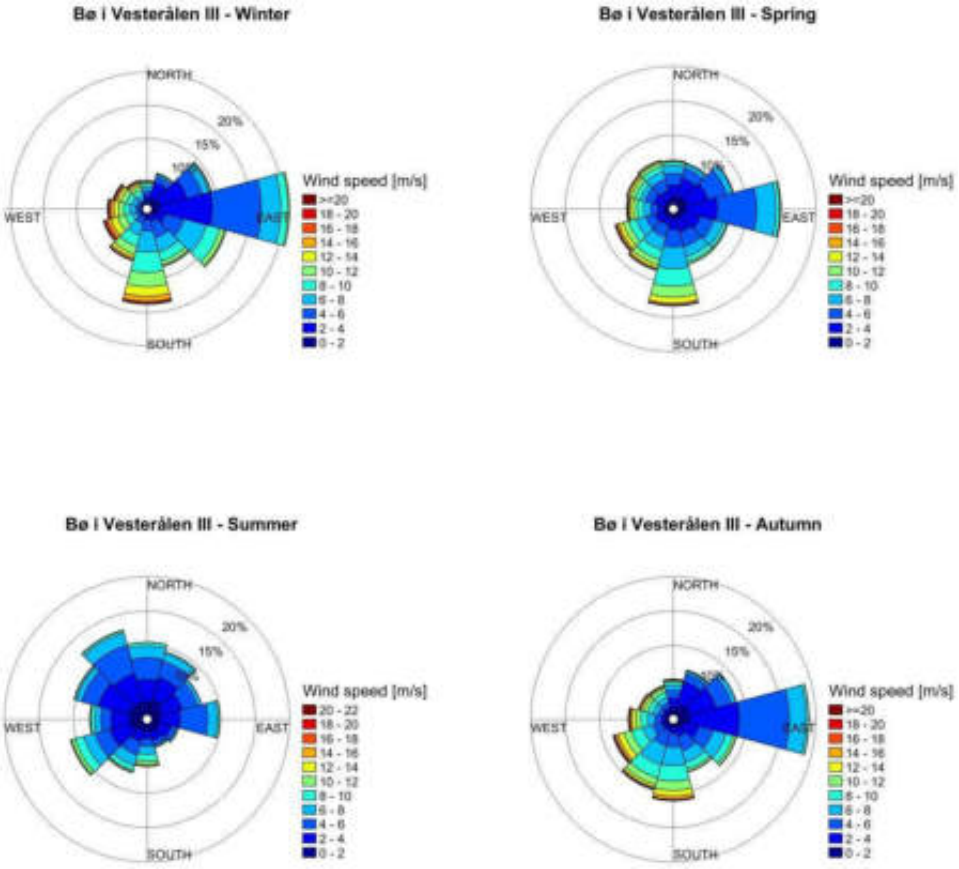


Figure 6-2 Wind roses for the four seasons, observations at Bø i Vesterålen III, 10 minutes average wind at 10 m height

Table 6-2 Cumulative probability distribution [%] for wind speed (10 minutes average, 10 m height) for 12 sectors and for the entire year

Wind speed [m/s]	Wind direction												
	All directions	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°
<2	10.64	1.07	1.48	1.41	1.23	0.81	0.66	0.55	0.50	0.71	0.70	0.78	0.76
<4	36.58	2.91	4.48	5.08	6.95	2.91	2.11	1.68	1.51	2.09	1.87	2.56	2.43
<6	61.26	4.59	5.97	7.55	13.06	4.89	4.02	3.54	3.27	3.48	2.91	3.81	4.19
<8	78.28	5.63	6.62	8.35	15.48	6.67	5.46	6.09	5.31	4.82	3.91	4.61	5.33
<10	88.46	6.09	6.78	8.47	16.06	7.62	6.28	8.31	6.77	6.09	4.72	5.26	6.00
<12	94.10	6.27	6.8	8.50	16.16	7.95	6.60	9.71	7.59	7.01	5.31	5.77	6.42
<14	97.25	6.35	6.81	8.50	16.17	8.02	6.69	10.55	7.98	7.69	5.73	6.10	6.65
<16	98.85	6.39	6.81	8.51	16.17	8.03	6.71	10.95	8.17	8.03	5.98	6.32	6.78
<18	99.56	6.40				8.03	6.71	11.08	8.25	8.22	6.13	6.41	6.85
<20	99.85	6.40					6.71	11.13	8.28	8.30	6.19	6.45	6.87
<22	99.96							11.15	8.28	8.33	6.22	6.47	6.88
<24	99.99							11.15	8.29	8.34	6.23	6.48	6.88
<26	100.00							11.15		8.35	6.23		6.88
<28	100.00										6.24		6.88
All wind speeds	100.00	6.40	6.81	8.51	16.17	8.03	6.71	11.15	8.29	8.35	6.24	6.48	6.88

Table 6-3 Cumulative probability distribution [%] for wind speed (10 minutes average, 10 m height) for 12 sectors over the winter months (December-February)

Wind speed [m/s]	Wind direction												
	All directions	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°
<2	5.19	0.41	0.99	1.19	1.12	0.58	0.19	0.15	0.11	0.10	0.08	0.10	0.17
<4	25.66	1.35	3.46	5.53	9.18	2.16	1.20	0.86	0.48	0.36	0.33	0.36	0.40
<6	47.95	2.11	4.35	7.97	16.62	5.12	3.81	2.66	1.60	0.98	0.97	0.94	0.81
<8	66.80	2.70	4.73	8.99	19.59	8.62	6.04	5.83	3.42	1.71	1.94	1.71	1.52
<10	80.67	3.13	4.90	9.25	20.68	10.72	7.47	8.92	5.14	2.72	2.83	2.61	2.30
<12	89.46	3.39	4.93	9.36	20.92	11.49	8.08	11.08	6.37	3.92	3.66	3.41	2.86
<14	94.61	3.52	4.94	9.37	20.92	11.67	8.28	12.50	6.91	4.97	4.34	3.93	3.25
<16	97.62	3.58			20.93	11.70	8.34	13.30	7.24	5.56	4.82	4.29	3.55
<18	99.01	3.59				11.71	8.34	13.54	7.38	5.91	5.10	4.49	3.70
<20	99.69	3.60					8.34	13.69	7.42	6.08	5.24	4.59	3.77
<22	99.92							13.72	7.43	6.14	5.29	4.66	3.79
<24	99.97							13.73		6.16	5.31	4.67	3.80
<26	100.00							13.73		6.16	5.32		3.80
<28	100.00												3.80
All wind speeds	100.00	3.60	4.94	9.37	20.93	11.71	8.34	13.73	7.33	6.16	5.32	4.67	3.80

Table 6-4 Cumulative probability distribution [%] for wind speed (10 minutes average, 10 m height) for 12 sectors overr the spring months (March – May)

Wind speed [m/s]	Wind direction												
	All dir	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°
<2	9.47	1.02	1.22	1.24	1.05	0.76	0.73	0.65	0.50	0.63	0.53	0.56	0.58
<4	35.14	2.80	3.94	4.50	5.69	3.36	2.82	2.32	1.73	2.03	1.58	2.28	2.09
<6	60.84	4.50	5.44	7.32	11.41	5.39	4.99	4.85	3.57	3.43	2.65	3.56	3.74
<8	78.77	5.63	6.06	8.22	14.24	6.80	6.49	8.00	5.48	4.89	3.72	4.32	4.93
<10	88.76	6.09	6.20	8.34	14.78	7.33	7.23	10.51	6.91	6.03	4.60	5.03	5.71
<12	94.41	6.30	6.20	8.35	14.85	7.46	7.52	12.10	7.71	6.86	5.21	5.63	6.22
<14	97.64	6.36	6.21		14.88	7.49	7.58	12.97	8.20	7.48	5.64	6.02	6.47
<16	99.09	6.38			14.88	7.49	7.58	13.22	8.43	7.82	5.88	6.27	6.57
<18	99.68	6.39						13.34	8.52	7.98	6.00	6.33	6.60
<20	99.88	6.39						13.36	8.56	8.04	6.06	6.36	6.61
<22	99.95							13.36	8.56	8.07	6.09	6.36	
<24	99.98							13.37	8.56	8.08	6.10	6.36	
<26	100.00									8.09	6.11		
<28	100.00										6.11		
All wind speeds	100.00	6.39	6.21	8.35	14.88	7.49	7.58	13.37	8.56	8.09	6.11	6.36	6.61

Table 6-5 Cumulative probability distribution [%] for wind speed (10 minutes average, 10 m height) for 12 sectors over the summer months (June – August)

Wind speed [m/s]	Wind direction												
	All directions	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°
<2	18.51	1.90	2.20	1.52	1.12	1.07	1.12	1.01	1.09	1.75	1.83	2.05	1.85
<4	52.11	5.12	5.59	4.62	4.11	2.98	2.52	2.18	2.71	4.87	4.59	6.66	6.17
<6	78.83	8.25	8.02	6.89	8.13	3.71	3.20	3.26	4.68	7.10	6.04	9.12	10.44
<8	92.32	9.97	9.24	7.46	9.53	3.97	3.46	4.41	6.26	8.80	6.92	9.98	12.30
<10	97.71	10.47	9.45	7.50	9.84	4.04	3.54	5.41	7.00	10.10	7.48	10.23	12.65
<12	99.33	10.50		7.51	9.86	4.04	3.56	5.89	7.24	10.63	7.63	10.30	12.71
<14	99.86	10.51			9.87	4.04	3.56	6.11	7.33	10.78	7.66	10.31	12.72
<16	99.99	10.52						6.17	7.34	10.82			12.73
<18	100.00							6.18		10.82			
<20													
<22													
<24													
<26													
<28													
All wind speeds	100.00	10.52	9.45	7.51	9.87	4.04	3.56	6.18	7.34	10.82	7.66	10.31	12.73

Table 6-6 Cumulative probability distribution [%] for wind speed (10 minutes average, 10 m height) for 12 sectors over the autumn months (September -November)

Wind speed [m/s]	Wind direction												
	All dir	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°
<2	9.61	0.98	1.52	1.70	1.63	0.86	0.59	0.39	0.30	0.37	0.37	0.43	0.45
<4	33.72	2.40	5.00	5.72	8.86	3.16	1.88	1.37	1.12	1.13	1.02	0.96	1.10
<6	57.76	3.56	6.14	8.04	16.14	5.31	4.03	3.34	3.27	2.44	2.01	1.65	1.82
<8	75.51	4.28	6.52	8.72	18.59	7.25	5.78	6.05	6.17	3.93	3.10	2.46	2.64
<10	86.88	4.73	6.67	8.78	18.95	8.32	6.82	8.28	8.11	5.59	4.04	3.20	3.40
<12	93.32	4.95	6.70	8.78	19.00	8.74	7.17	9.63	9.12	6.73	4.78	3.77	3.94
<14	96.94	5.07	6.71	8.78	19.01	8.81	7.26	10.46	9.54	7.60	5.32	4.16	4.21
<16	98.74	5.12	6.72	8.79		8.82	7.27	10.92	9.75	8.01	5.61	4.41	4.32
<18	99.55	5.14				8.82		11.07	9.83	8.23	5.77	4.53	4.38
<20	99.85	5.15						11.11	9.86	8.32	5.84	4.56	4.41
<22	99.96							11.14	9.87	8.36	5.87	4.57	4.41
<24	100.00									8.39	5.88		
<26	100.00									8.39			
<28													
All wind speeds	100.00	5.15	6.72	8.79	19.01	8.82	7.27	11.14	9.87	8.39	5.88	4.57	4.41

Table 6-7 Persistency of wind speed (10 minutes average, 10 m height) remaining above certain values

Events per year								
Wind speed [m/s]	Persistency							Maximum persistency [h] 2002 - 2017
	>6 h	>12 h	>18 h	>24 h	>36 h	>48 h	>72 h	
>0	36.2	31.8	27.6	24.3	21.5	18.9	16.7	4127
>2	189.1	130.0	98.3	78.3	56.1	40.6	25.7	395
>4	188.5	112.9	76.0	55.9	35.2	22.7	10.5	296
>6	131.5	70.4	45.4	32.2	17.5	8.6	2.3	180
>8	77.7	40.3	23.7	15.0	5.9	2.9	0.5	134
>10	46.0	20.9	10.5	5.5	2.2	0.7		66
>12	25.1	9.0	3.5	1.5	0.4	0.1		48
>14	11.7	2.5	1.0	0.4	0.1			36
>16	4.1	0.9	0.1	0.1				25
>18	1.0	0.3	0.1	0.1				24
>20	0.3	0.1	0.1					19
>22	0.1							10
>24	0.0							5
>26	0.0							1
>28								0
Percentage of time								
Wind speed [m/s]	Persistency							Maximum persistency [h] 2002 - 2017
	>6 h	>12 h	>18 h	>24 h	>36 h	>48 h	>72 h	
>0	96.48	96.05	95.35	94.59	93.64	92.42	90.91	4127
>2	79.52	74.00	68.77	64.10	56.60	49.16	39.04	395
>4	51.26	44.22	38.18	33.50	26.60	20.68	12.53	296
>6	28.59	22.95	18.87	15.79	10.89	6.67	2.47	180
>8	14.65	11.23	8.52	6.49	3.48	2.05	0.55	134
>10	7.40	5.08	3.38	2.22	1.15	0.46		66
>12	3.39	1.92	1.01	0.56	0.19	0.04		48
>14	1.33	0.52	0.27	0.13	0.03			36
>16	0.44	0.16	0.04	0.04				25
>18	0.11	0.05	0.04	0.02				24
>20	0.04	0.01	0.01					19
>22	0.01							10
>24	0.00							5
>26	0.00							1
>28								0

6.1.2 Extreme values of wind

Extreme values of mean wind velocity for Havfarm 1 site are listed in Table 6-8 following the method described in Chapter 5.1.2.

Table 6-8 Extreme values of wind velocity at location, V_m, (10 minutes average at 10 m height) with return periods of 10 year, 50 year, 100 year, and 10 000 year

	Wind direction											
	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°
RP10 [m/s]	28	28	28	25	25	28	28	31	34	34	34	28
RP50 [m/s]	31	31	31	27	27	31	31	34	38	38	38	31
RP100 [m/s]	32	32	32	28	28	32	32	35	39	39	39	32
RP10000 [m/s]	39	39	39	34	34	39	39	43	48	48	48	39

6.1.3 Short term wind conditions and wind spectrum

Equations 5-1 and 5-2 are rearranged and used to convert 10-min mean wind to 1-hour mean wind speeds, further used as input to the spectral density function (Equation 5-3).

Figure 6-3 shows an example of the resulting wind extremes for averaging intervals of 1 hour, 10 min, 1 min, 15 sec and 3 sec, using 10-min mean values for wind extremes from 270° (Table 6-8).

Figure 6-4 shows the spectral density S(f) for 270° wind extremes.

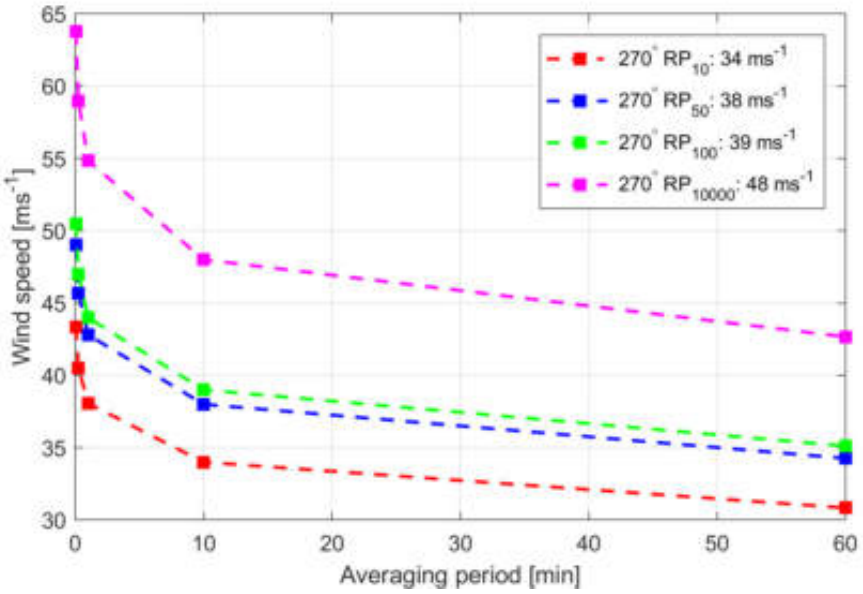


Figure 6-3 10 m Wind speed for different averaging intervals, 1 hr, 10 min, 1 min, 15 sec, and 5 sec. 10 min values from 270° from Table 6-8

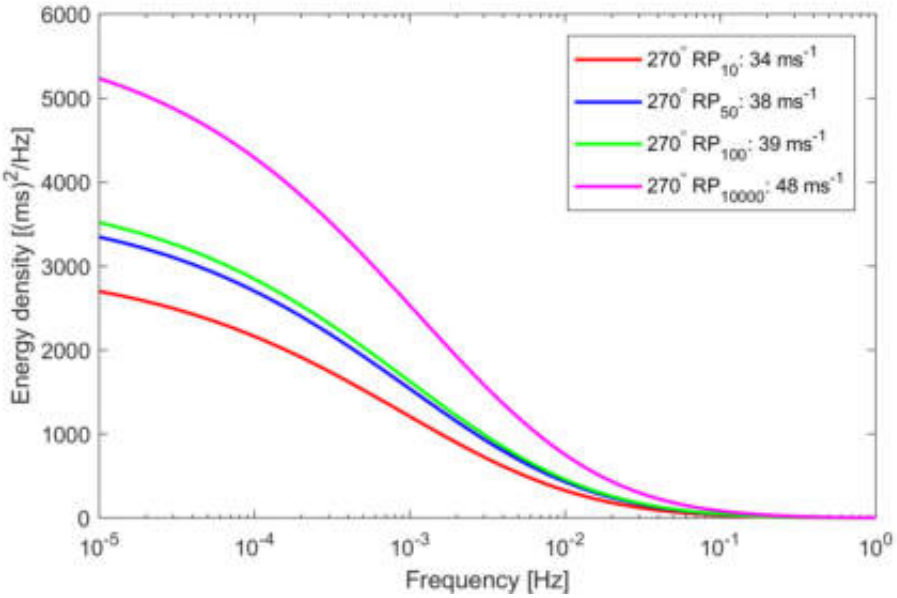


Figure 6-4 Spectral density for 1-hour mean 10 m wind extremes from 270°

6.2 Current

Currents at 3 m, 9 m, and 25 m depth are reported to facilitate the Havfarm 1 design, while current for depths of 5 m and 15 m are reported according to the NYTEK directive in Appendix C.4. Current at 50 m depth is reported for load calculation on fish nets and the bottom weights and are given in Appendix C.5. Time period, position and averaging period are given in Table 4-1 in Chapter 4.

6.2.1 Operational conditions of current

Average current, maximum current, relative water exchange, and number of measurements allocated for each directional sector at 3 m, 9 m, and 25 m depth are shown in Figure 6-5, Figure 6-6 and Table 6-9.

Figure 6-7 shows a progressive vector diagram, a graph visualizing where a water particle at a given depth would be transported during the measuring period. The progressive diagram is only a visualisation. In reality, a water particle will leave the measuring area and the instrument will always measure different water particles. The diagram however gives an indication of how efficient the water exchange is. If the flow is always directed away from the start point (centre of diagram), the water exchange is expected to be more efficient. A water mass flowing back and forth may indicate a reduced water exchange.

A rose plot of the current is given in Figure 6-8. The main current directions at 3 m and 9 m depth are northwest and southeast. At 25 m, the main current directions are between west and southeast.

Table 6-10 gives an overview of the statistical parameters of the ocean current. The average current decreases with depth from 10 cm/s at 3 m to 7 cm/s at 25 m. The maximum current varies with depth, between 38 cm/s and 46 cm/s (Figure 6-9). The maximum current at 3 m is towards northwest, while the maximum current at 9 m and 25 m is towards east-southeast (Figure 6-5). The largest observed current and its direction given for 12 direction sectors is given in Chapter 6.2.2.

Table 6-11 to Table 6-13 give the cumulative probability distribution of current speed for 12 direction sectors at 3 m, 9 m, and 25 m depth. The current speed is less than 20 cm/s 94.22 %, 96.27 %, and 98.79 % of the time at 3 m, 9 m, and 25 m depth, respectively. Table 6-14 shows the percentage of time with periods of sustained current speed below 1 cm/s and 5 cm/s, while Table 6-15 shows the percentage of time periods of sustained current above 10 cm/s, 15 cm/s, 20 cm/s and 25 cm/s. During the measuring period, no periods with current speed below 1 cm/s lasted longer than one hour. The longest period where the current speed was less than 5 cm/s lasted for nearly 12 hours at 25 m depth.

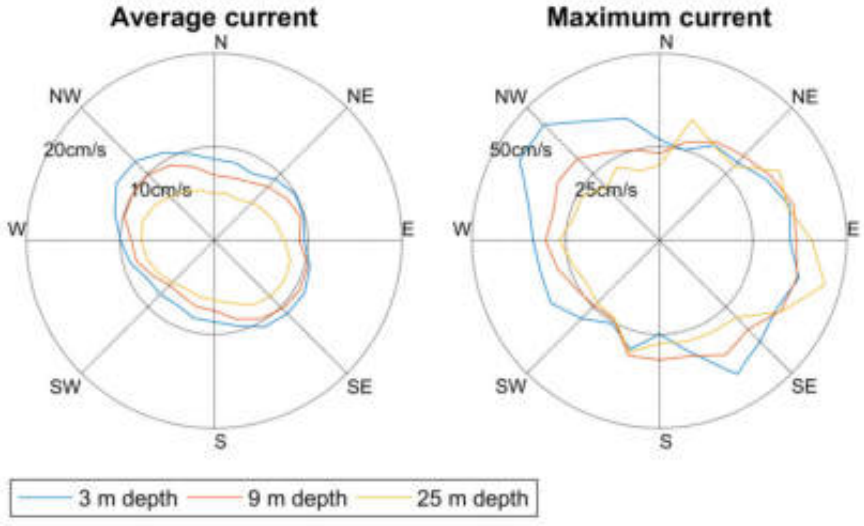


Figure 6-5 Average and maximum current for different directions (15 degrees sectors) and depth

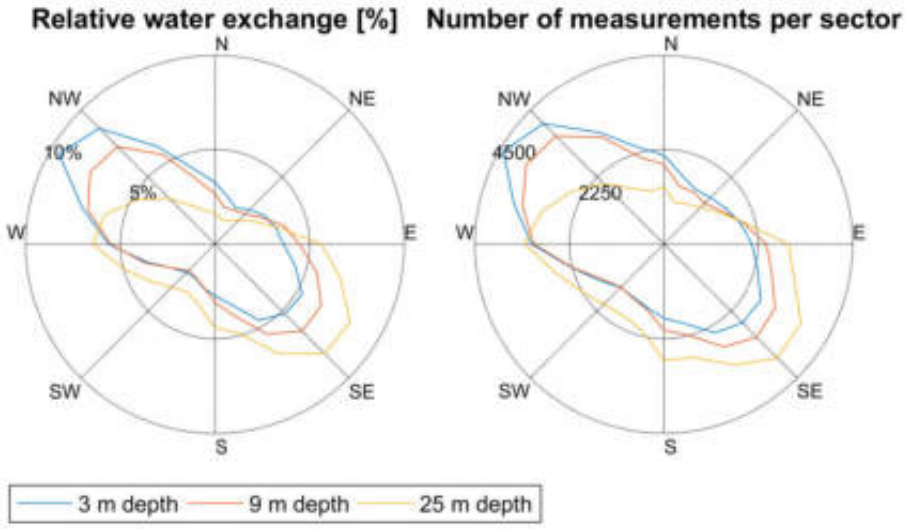


Figure 6-6 Relative water exchange and number of measurements for each 15° sector

Table 6-9 Water exchange [m^3/m^2] during the measured period for 8 sectors (3 m, 9 m and 25 m depth)

	Direction (towards)								
	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°	All directions
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	
Depth	Water exchange [m^3/m^2]								
3 m	332826	261254	379814	508903	282553	225991	555096	**807300**	3353737
9 m	241921	212479	410806	550049	278234	194947	484986	**606527**	2979948
25 m	115317	131863	377280	**548188**	299007	239080	414737	247621	2373092

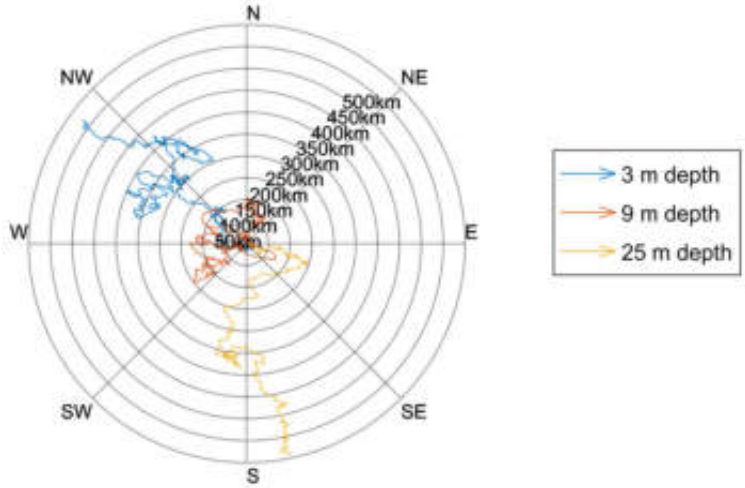


Figure 6-7 Progressive vector diagram for the measured period

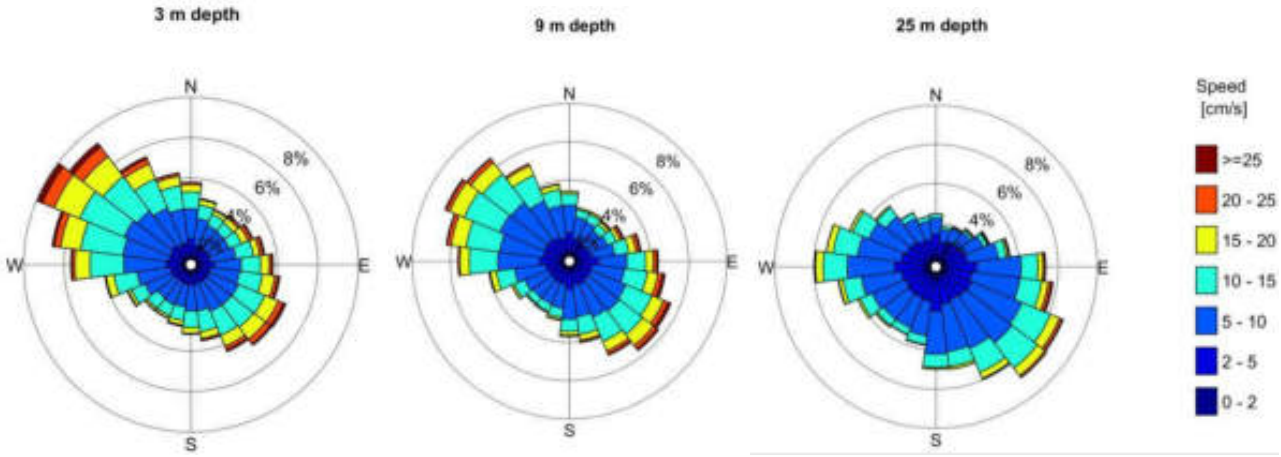


Figure 6-8 Rose plots for current at 3 m, 9 m, and 25 m depth

Table 6-10 Statistical overview of the current data

Ocean current (2016-2017)	3 m depth	9 m depth	25 m depth
Average [cm/s]	10	9	7
Median [cm/s]	9	8	6
Maximum [cm/s]	44	38	46
Standard deviation [cm/s]	6	5	4
50 % percentile [cm/s]	9	8	6
90 % percentile [cm/s]	18	16	13
95 % percentile [cm/s]	21	19	15
99 % percentile [cm/s]	26	25	21

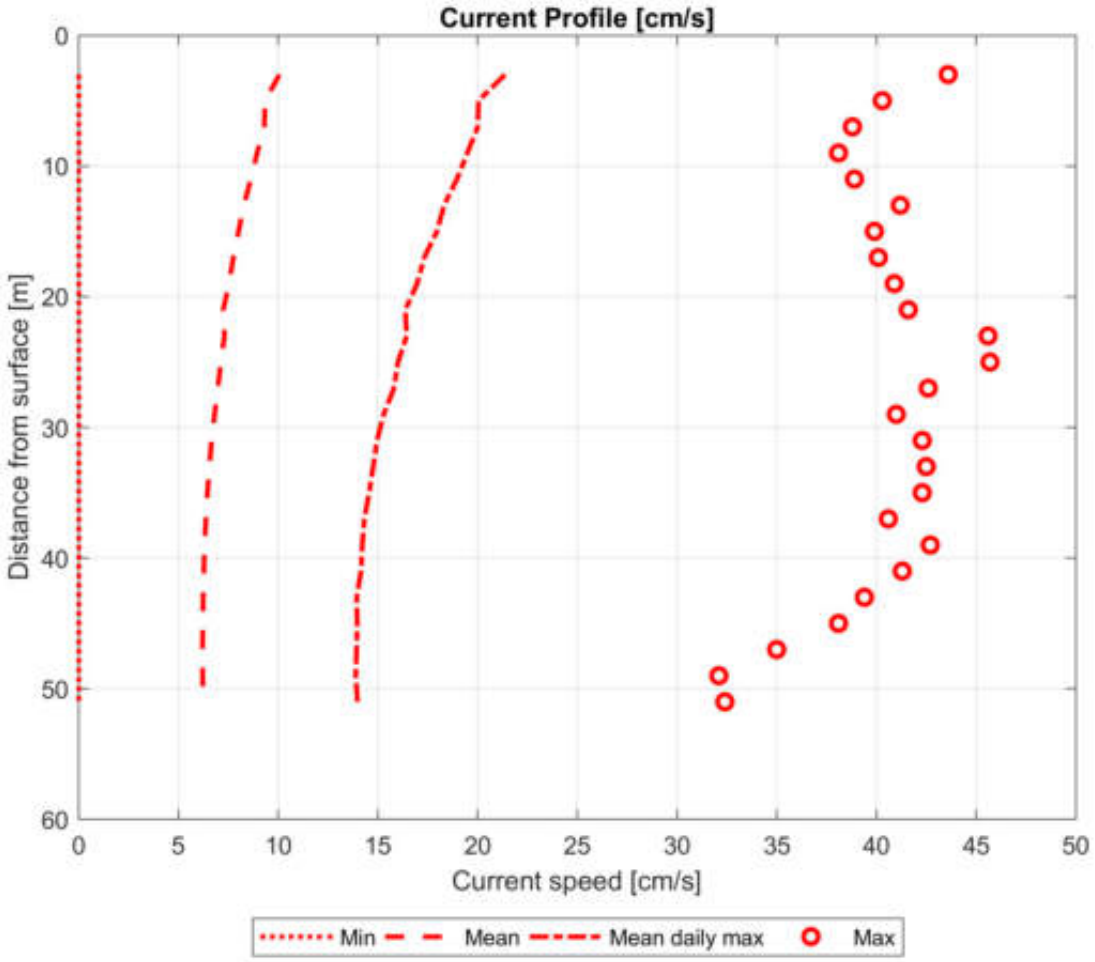


Figure 6-9 Profile of minimum current, average current, average daily maximum current, and maximum current

Table 6-11 Cumulative probability distribution [%] for current speed for 12 direction sectors at 3 m depth, direction towards, measurements 02.06.2016 - 23.06.2017

Current speed [cm/s]	Current direction												
	All directions	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°
<1	0.87	0.10	0.05	0.08	0.08	0.05	0.07	0.12	0.06	0.06	0.07	0.06	0.08
<5	18.36	1.78	1.37	1.45	1.52	1.38	1.38	1.50	1.33	1.50	1.77	1.68	1.71
<10	54.98	4.66	3.66	3.68	4.23	4.48	4.39	3.94	3.62	4.36	5.87	6.41	5.68
<20	94.22	7.09	5.35	5.65	7.11	8.58	8.09	6.17	5.13	6.34	10.60	13.62	10.49
<30	99.67	7.31	5.48	6.15	7.50	9.31	8.56	6.29	5.23	6.44	11.02	15.09	11.29
<40	99.99	7.32		6.17	7.52	9.34	8.61		5.23	6.44	11.03	15.22	11.34
<50	100						8.62					15.22	
All speeds	100	7.32	5.48	6.17	7.52	9.34	8.62	6.29	5.23	6.44	11.03	15.22	11.34
Maximum speed [cm/s]	44	30	29	36	35	39	41	27	30	33	34	44	38

Table 6-12 Cumulative probability distribution [%] for current speed for 12 direction sectors at 9 m depth, direction towards, measurements 02.06.2016 - 23.06.2017

Current speed [cm/s]	Current direction												
	All directions	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°
<1	1.19	0.13	0.10	0.10	0.15	0.07	0.10	0.15	0.05	0.10	0.12	0.06	0.08
<5	24.26	2.14	1.74	1.75	2.14	1.86	2.04	2.18	1.81	1.89	2.31	2.25	2.16
<10	63.70	5.02	3.79	3.94	5.03	5.81	5.88	5.15	4.25	4.64	6.58	7.19	6.40
<20	96.27	6.48	4.89	5.45	7.86	10.02	9.65	6.92	5.22	6.15	10.54	12.84	10.25
<30	99.82	6.53	4.97	5.86	8.36	10.75	10.13	7.05	5.24	6.19	10.79	13.40	10.53
<40	100		4.97	5.89	8.41	10.82	10.15	7.05	5.25		10.80	13.40	
<50													
All speeds	100	6.53	4.97	5.89	8.41	10.82	10.15	7.05	5.25	6.19	10.80	13.40	10.53
Maximum speed [cm/s]	38	25	31	37	37	38	35	32	32	26	30	31	30

Table 6-13 Cumulative probability distribution [%] for current speed for 12 direction sectors, at 25 m depth, direction towards, measurements 02.06.2016 - 23.06.2017

Current speed [cm/s]	Current direction												
	All directions	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°
<1	1.89	0.25	0.11	0.14	0.19	0.14	0.14	0.19	0.12	0.17	0.17	0.10	0.16
<5	35.07	2.46	2.16	2.60	3.29	3.17	3.30	3.62	2.92	2.99	3.32	2.73	2.51
<10	78.32	4.06	3.56	4.94	7.52	8.79	8.82	7.87	6.22	6.72	7.94	6.82	5.07
<20	98.79	4.48	3.79	5.62	9.58	12.78	12.02	9.28	7.07	8.34	11.00	9.00	5.83
<30	99.92	4.48	3.82	5.74	9.85	13.18	12.12	9.31	7.08	8.37	11.09	9.03	5.83
<40	100		3.83	5.75	9.89	13.22		9.31					
<50	100				9.89	13.22							
All speeds	100	4.48	3.83	5.75	9.89	13.22	12.12	9.31	7.08	8.37	11.09	9.03	5.83
Maximum speed [cm/s]	46	20	33	37	41	46	28	31	24	24	27	24	23

Table 6-14 Persistence statistics: Percent of the time with current speeds below 1 cm/s or 5 cm/s for different durations

Depth	Current speed [cm/s]	Duration							Maximum duration during the measuring period [h]
		>1 h	>2 h	>3 h	>4 h	>5 h	>6 h	>12 h	
3 m	<1								0.5
	<5	5.99	1.92	0.46	0.17	0.08	0.08		7.2
9 m	<1								0.8
	<5	12.71	6.39	2.98	1.22	0.67	0.15		6.8
25 m	<1								0.7
	<5	21.07	12.48	6.69	3.47	1.91	0.98		11.7

Table 6-15 Percent of the time with current speeds above 10 cm/s, 15 cm/s, 20 cm/s or 25 cm/s for different durations

Depth	Current speed [cm/s]	Duration							Maximum duration during the measuring period [h]
		>1 h	>2 h	>3 h	>4 h	>5 h	>6 h	>12 h	
3 m	>10.0	30.89	25.57	22.23	19.23	17.39	14.16	5.38	36.2
	>15.0	10.4	8.08	6.34	5.37	4.13	3.44	0.3	14.8
	>20.0	2.99	2.02	1.16	0.85	0.58	0.34		7
	>25.0	0.61	0.41	0.22	0.1	0.06			5.2
9 m	>10.0	25.65	21.8	19.08	15.95	13.8	10.99	3.08	36.3
	>15.0	7.67	5.78	4.53	3.42	2.94	2.4	0.27	12.8
	>20.0	2	1.44	0.95	0.54	0.26	0.15		8
	>25.0	0.35	0.12	0.04					3.3
25 m	>10.0	13.15	10.19	8.21	6.81	5.54	4.6	1.03	29.7
	>15.0	2.7	1.89	1.43	1.09	0.7	0.23		7.5
	>20.0	0.52	0.31	0.1	0.06	0.06			5.8
	>25.0	0.07	0.04	0.04	0.04				4

6.2.1.1 Wind induced current

The correlation between the measured current at the Havfarm 1 site and the wind conditions at the Bø i Vesterålen III weather station are investigated. For easier comparison of wind and current, a 33 hour low pass filter is applied to the current time series in order to remove diurnal and semidiurnal tides. Correlation coefficients are found for the current and wind components along different axes.

The highest correlation between decomposed wind and current was found along the east-west axes (wind towards 60°-90° and currents towards 90°). Wind speeds and low-pass filtered currents along the directions with highest correlation of current at 3 m depth are shown in Figure 6-10. The correlation coefficients for the east-west components are between 0.5 and 0.6 for all depths from 3 m to 25 m.

This indicates that the wind may have influenced the current at least down to 25 m depth and the influence is strongest along the east-west axes.

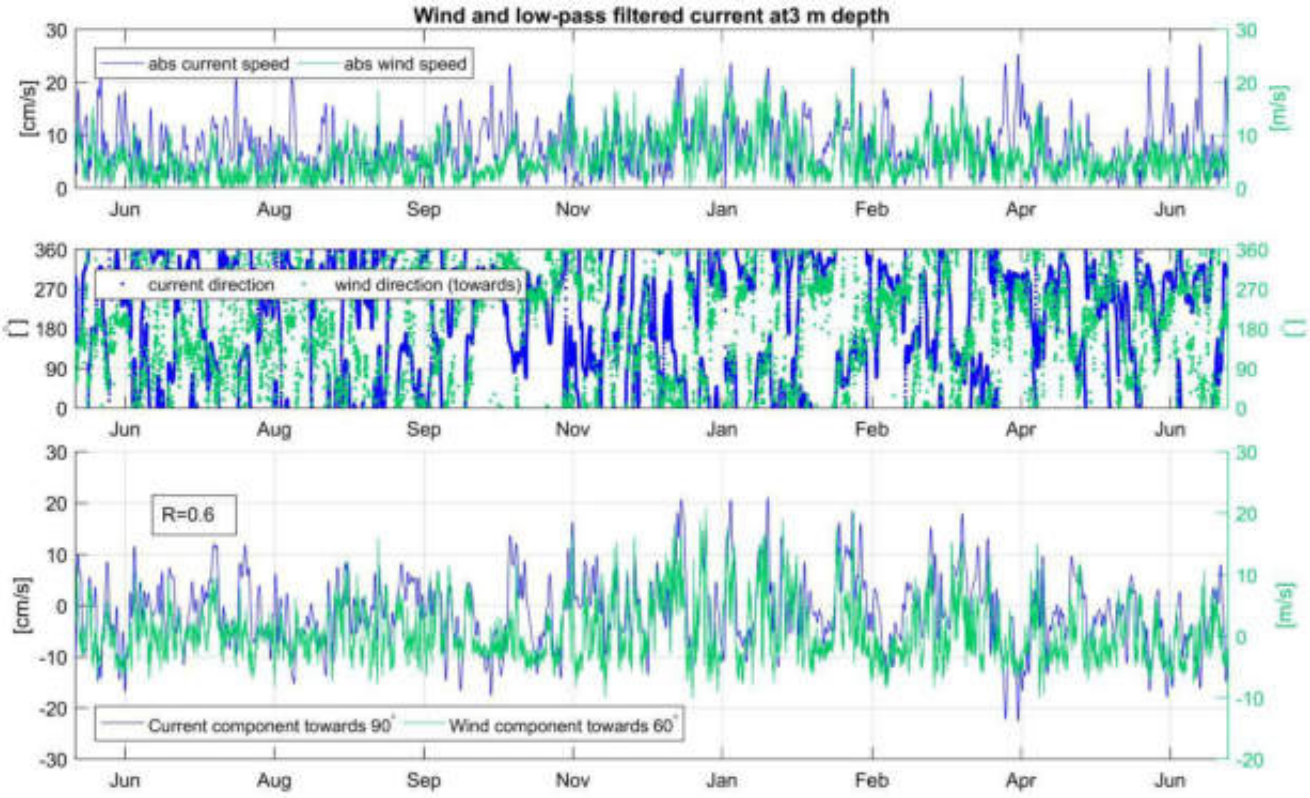


Figure 6-10 Wind and low-pass filtered current speed (direction) are shown in the upper (middle) panel. Lower panel shows the low-pass filtered components of current and wind speed towards 90° and 60°, respectively. R is the calculated correlation factor

6.2.1.2 Tide

Tidal analysis was performed for depths between 3 and 25 m. The analysis suggests that the tides explain between 13 % and 21 % of the variance in the time series and the tidal influence is similar at all depths.

The results from the tidal analysis at 3 m depth are given in Figure 6-11. The tidal analysis for the current at 3 m depth explains 13 % of the variance in the time series. Estimated tidal current maximum at 3 m is 10 cm/s. The residual current is generally below 16 cm/s (significant maximum), but has a maximum value of 38 cm/s.

The tidal current has an elliptic shape, i.e. the current direction rotates and the current reaches its maximum and minimum value twice during a tidal period. Figure 6-11 shows the tidal ellipse for the most prominent tidal constituents at 3 m depth. These constituents have the periods 12.42 hours, 31.81 days, and 14.77 days. The semi-diurnal tidal constituent of the moon (M2) is the most prominent constituent at 3 m depth, and the figure shows that the tidal current oscillates between northwest and southeast.

The vector averaged current is shown as a black line in Figure 6-11. Vector averaged current is the directional average current. For example, a current flowing northward at 10 cm/s for a certain period and subsequently southward at 10 cm/s for an equally long period, the vector averaged current would be 0 cm/s while the mean current speed would be 10 cm/s. A tidal current oscillating back and forth has always a vector average of 0 cm/s when averaging over multiple tidal periods. The vector averaged current shows that the water transport is towards northwest at 3 m depth.

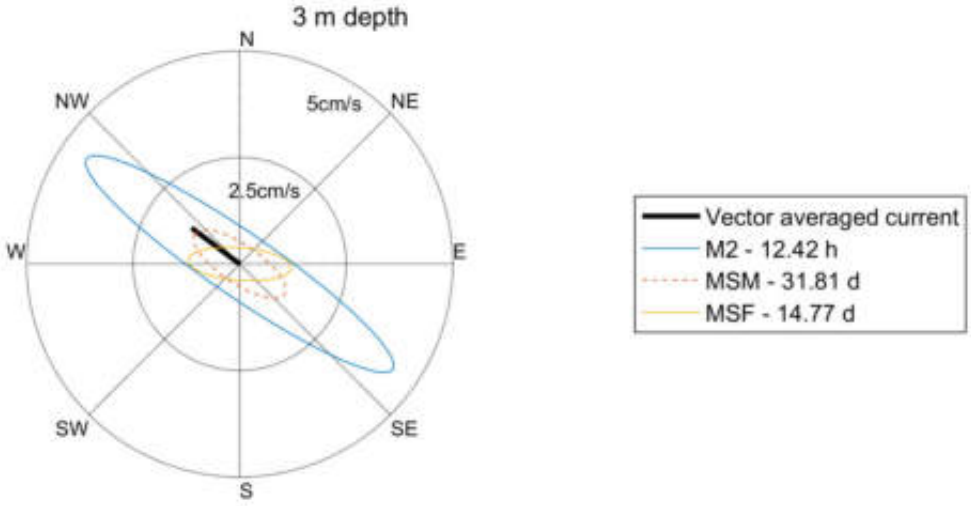


Figure 6-11 Tidal ellipse of current at 3 m depth. M2, MSM, and MSF refer to the tidal constituents. Mean current shown as a black line is vector based

6.2.1.3 Costal current and run off

The influence of the Costal Current varies along the Norwegian coast. Strong outbreaks of the Coastal Current, initiated by sustained south westerly winds, seen in the southwestern part of Norway, are normally not seen in northern part of Norway. However, the correlation found between surface wind and currents at 25 m depth may be a result of modification of the Coastal Current forced by Ekman up- or down-welling due to displacement of the coastal water masses. Due to lack of salinity and temperature measurements in the deep a detailed study of the forces generating residual currents as well as the possible impact from the coastal current, is not possible. Furthermore, seasonality in fresh-water run-off would likely also contribute in modifying the effect the atmospheric forcing on the residual currents.

6.2.2 Extreme values of current

Based on one year of current data an extreme value analysis is conducted for the equivalent 10 year, 50 year, 100 year, and 10 000 year return periods for 3 m, 9 m, and 25 m. Extreme values for 5 m and 15 m are given in Appendix C.4, while extreme values at 50 m depth are given in Appendix C.5. The extreme values are calculated for both 12 independent direction sectors (use of directional extremes is explained in Chapter 3.3.2) and omni directional. The results can be found in Figure 6-12 and Table 6-16 to Table 6-18. The extreme values are found to be largest for currents towards southeast and northwest at 3 m depth. At 9 m and 25 m depths, the strongest currents have a direction between northeast and southeast. The strongest currents at reported depths with the equivalent 10 year, 50 year, 100 year and 10 000 year return period are 50 cm/s, 55 cm/s, 57 cm/s, and 72 cm/s, respectively.

It is important to notice that calculating the equivalent return period of 10 000 years of current speed based on 1 year of measurements will give uncertain values. Return period diagrams and parameters of fitted distribution can be found in Appendix C.6 and Appendix C.7.

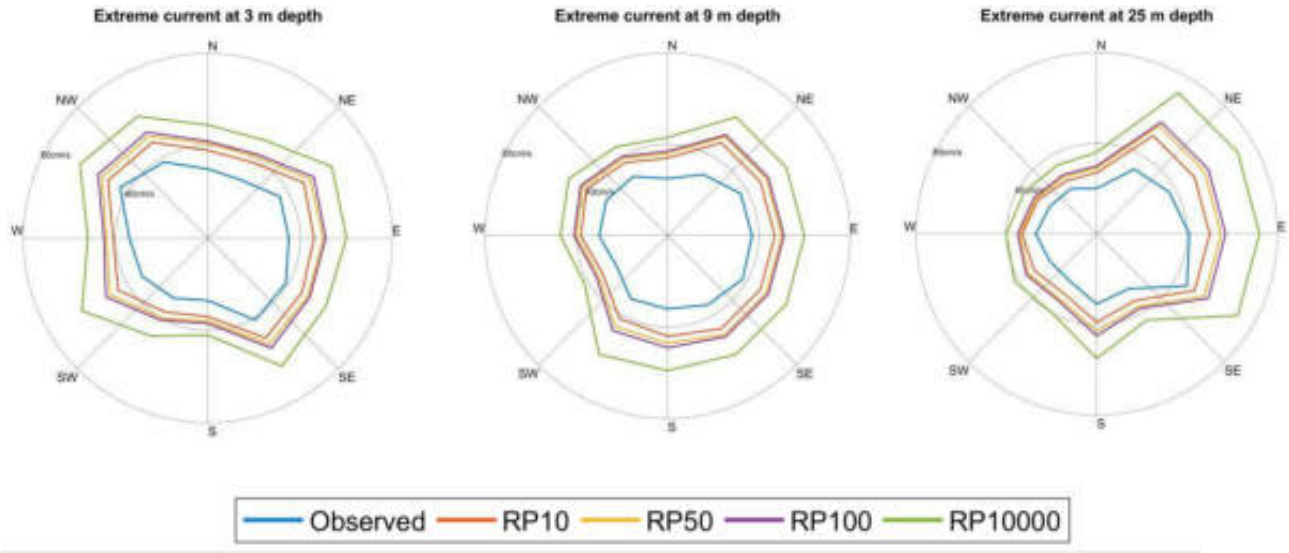


Figure 6-12 Largest observed current speed, together with the current speed with the equivalent 10 year, 50 year, 100 year and 10 000 year return period for 12 direction sectors for 3 m, 9 m, and 25 m depth

Table 6-16 Largest observed current speed at 3 m, together with the current speed with the equivalent 10 year, 50 year, 100 year, and 10 000 year return period for 12 direction sectors, largest number for each row is in bold

		Direction sectors												
		0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°	All dir.
Obser-vations	Speed [cm/s]	30	29	36	35	39	41	27	30	33	34	**44**	38	44
	Direction	351°	39°	68°	95°	109°	146°	167°	199°	245°	276°	311°	316°	311°
Extreme current speed [cm/s]	RP10	38	38	48	46	47	**50**	34	37	45	41	**50**	48	50
	RP50	41	41	51	50	50	**53**	36	40	49	44	**53**	51	53
	RP100	42	42	53	51	51	**55**	37	41	51	45	**55**	53	55
	RP10000	49	49	62	60	59	**64**	42	49	63	52	**64**	61	64

Table 6-17 Largest observed current speed at 9 m, together with the current speed with the equivalent 10 year, 50 year, 100 year and 10 000 year return period for 12 direction sectors, largest number for each row is in bold

		Direction sectors												
		0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°	All dir.
Obser-vations	Speed [cm/s]	25	31	37	37	**38**	35	32	32	26	30	31	30	38
	Direction	12°	39°	75°	86°	112°	153°	187°	196°	240°	272°	296°	317°	112°
Extreme current speed [cm/s]	RP10	34	**47**	**47**	**47**	**47**	**47**	44	42	33	38	41	37	47
	RP50	36	**50**	**50**	**50**	**50**	**50**	47	46	35	40	43	39	50
	RP100	37	**51**	**51**	**51**	**51**	**51**	49	48	36	41	44	40	51
	RP10000	43	**60**	**60**	**60**	**60**	**60**	59	60	42	47	50	45	60

Table 6-18 Largest observed current speed at 25 m, together with the current speed with the equivalent 10 year, 50 year, 100 year and 10 000 year return period for 12 direction sectors, largest number for each row is in bold

		Direction sectors												
		0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°	All dir.
Obser-vations	Speed [cm/s]	20	33	37	41	**46**	28	31	24	24	27	24	23	46
	Direction	359°	17°	55°	97°	106°	152°	191°	210°	249°	270°	291°	323°	106°
Extreme current speed [cm/s]	RP10	27	**50**	**50**	**50**	**50**	34	39	30	32	33	30	27	50
	RP50	29	**55**	**55**	**55**	**55**	37	43	33	35	34	31	29	55
	RP100	30	**57**	**57**	**57**	**57**	38	45	34	36	35	32	30	57
	RP10000	36	**72**	**72**	**72**	**72**	44	55	40	42	40	37	35	72

6.2.3 Synthetic time series of current

A 15 year synthetic time series of ocean current at 9 m depth is produced for the Havfarm 1 site, taking into account both tide and wind induced current. The time series is delivered to the client. In Figure 6-13 the distributions of current speed and current direction are compared for the observed and the synthetic data. It is seen that the distributions of the synthetic time series correspond reasonably well, but with somewhat higher probability for the most probable current speeds. In Figure 6-14 rose plots of the current for the observed and the synthetic data are displayed, revealing that the synthetic data looks reasonable compared to the observations.

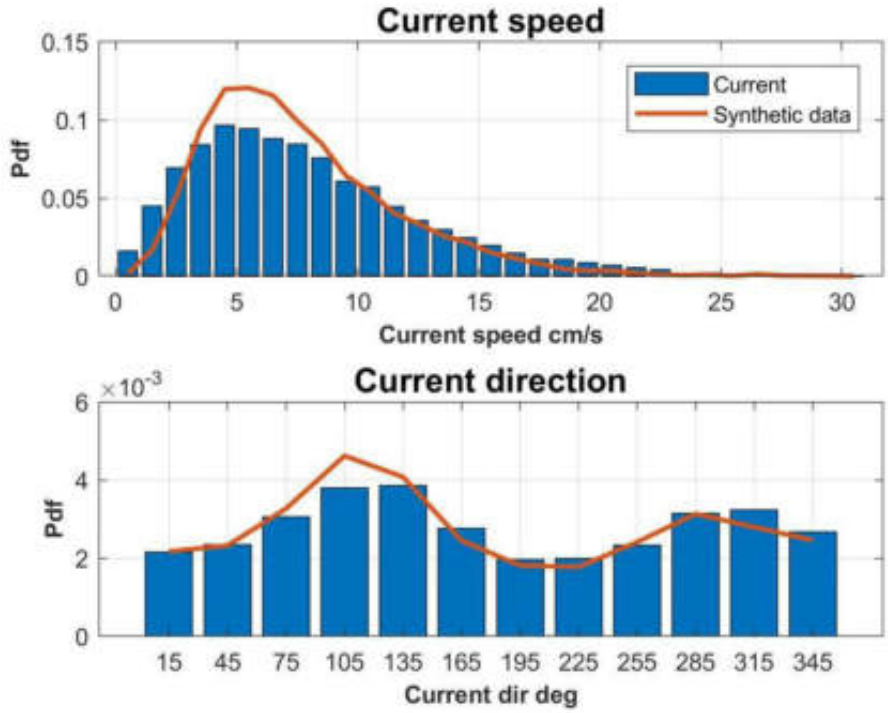


Figure 6-13 The distributions of current speed and current direction for one year of the observed and the synthetic data

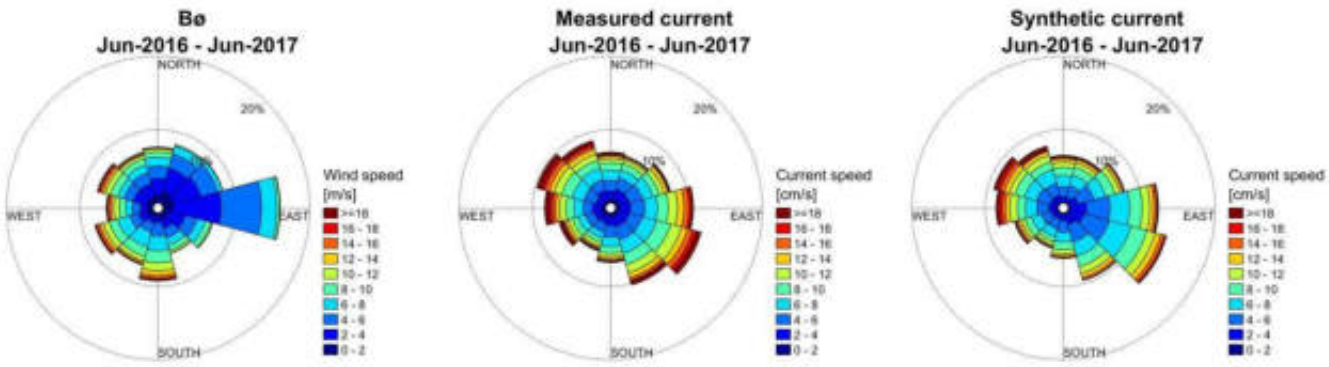


Figure 6-14 Rose plots of wind at the reference station (left), measured current (middle), and the synthetic current time series (right)

In Figure 6-15 the distribution of direction difference between wind and current conditional on wind speed is displayed for the measured current data. Note that the current direction θ_{curr} is here given as bearing angle such that $\theta_{curr} - \theta_{wind}$ is zero when wind and current are aligned. It is clear from Figure

6-15 that there is much stronger correlation between wind and current direction for strong winds. The red lines indicate the difference between wind direction and current direction at 9 m depth according to the theory of Ekman. In Figure 6-16 the distribution of direction difference between wind and current conditional on wind speed is displayed for the synthetic current time series. Comparing with Figure 6-15 it is seen that even though the correlation is overestimated for wind speeds less than 6 m/s, the effect of increasing correlation with increasing wind speed is captured.

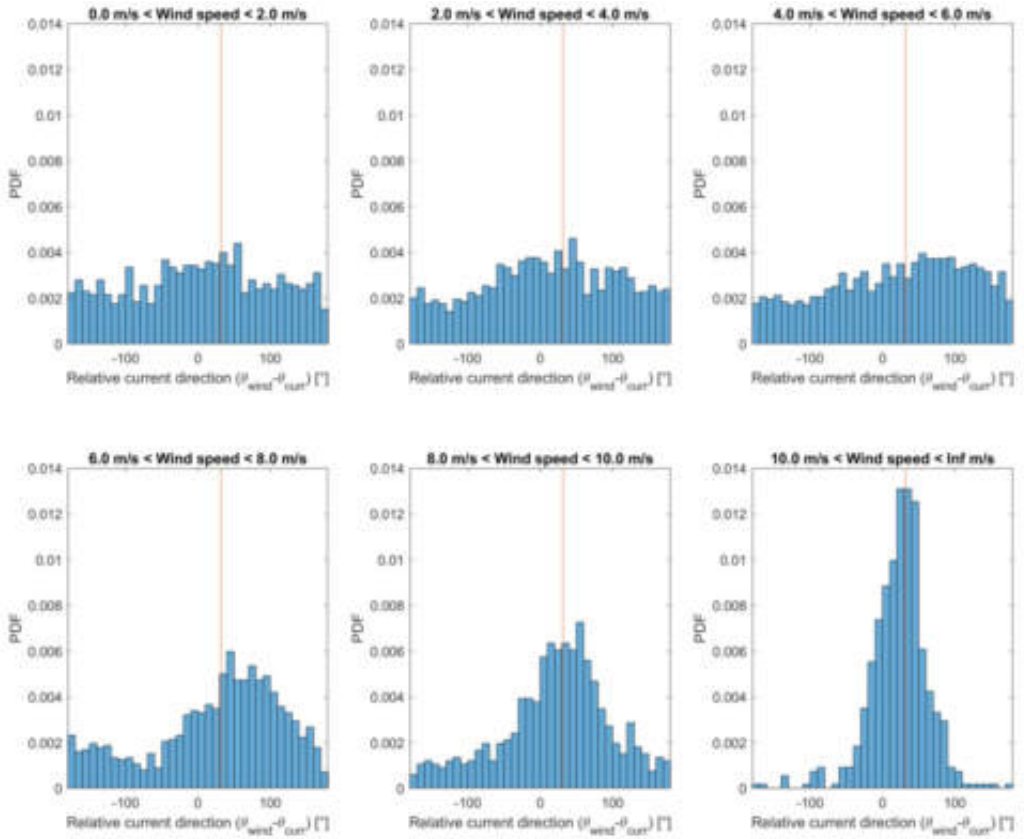


Figure 6-15 The distribution of direction difference between wind and residual current conditional on wind speed for measured data

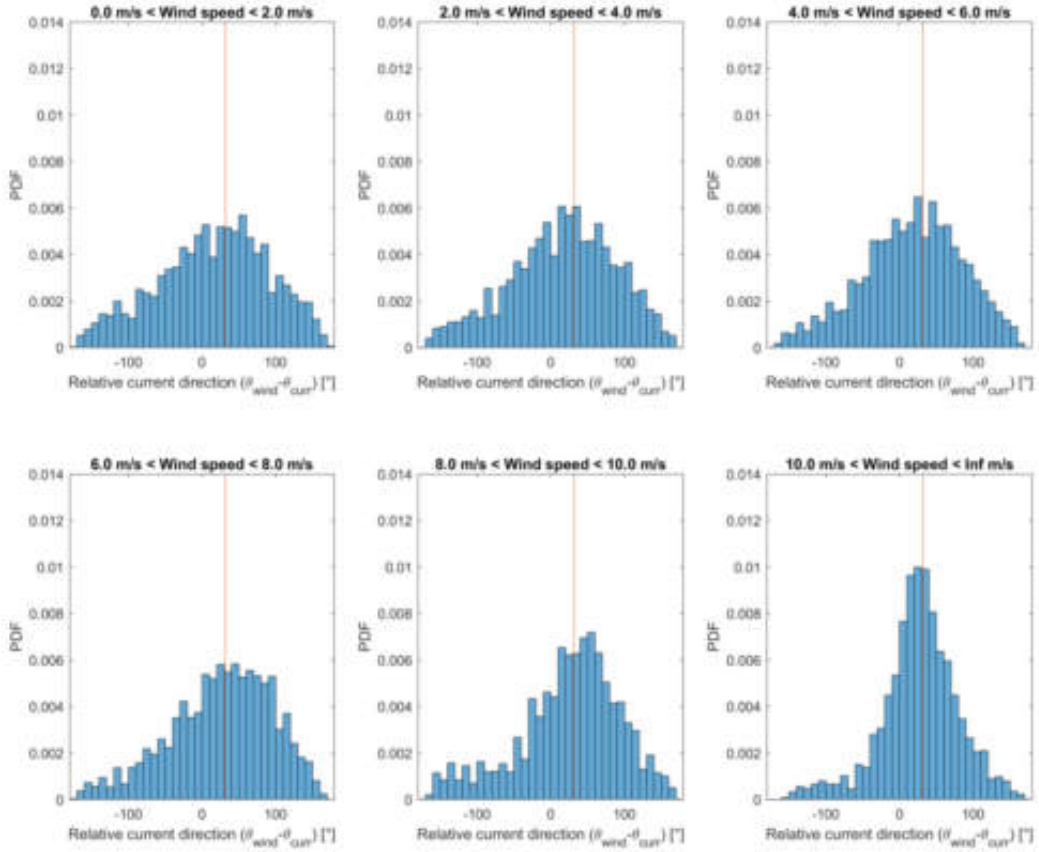


Figure 6-16 The distribution of direction difference between wind and residual current conditional on wind speed for all 15 years of the synthetic current time series

6.3 Waves

6.3.1 Operational wave conditions

6.3.1.1 Operational conditions – Wind waves

Directional distribution of wind waves at the Havfarm 1 site is based on the constructed time series of wind waves for the period 2002 to 2017. The wind wave direction is given as peak direction. Rose plots of wind wave directions for all significant wave heights and for significant wave heights above 1 m are shown in Figure 6-17. The prevailing wave direction is from east and southwest to west. Wind waves with significant wave height above 1 m are mainly directed from west. Statistical overview of operational wind waves is given in Table 6-19.

The wave climate changes during the year and Figure 6-18 shows the seasonal direction distribution for winter, spring, summer and autumn. During summer, the wind wave climate at the Havfarm 1 site is characterized of low significant wave heights with a main direction from southwest to north and from east. During winter, spring and autumn the largest waves are observed from west, but the prevailing direction is from east.

The cumulative probability distribution of significant wave height for 12 directions for all year and the four seasons is given in Table 6-20. The significant wave height of wind waves is less than 1 m 95.13 % of the time. During winter the significant wave height is less than 1 m is 91.55 % the time, while it during summer is less than 1 m 99.48 % of the time. Persistence statistics are given in Table 6-21. Time periods with significant wave heights above 1 m can last longer than 24 hours approximately 2 times a year, corresponding to 0.68 % of the time.

The simultaneous distribution of significant wave height and peak period is given in Table 6-22. The peak period of wind waves is less than 4 s 92 % of the time. The largest wind waves have peak periods between 5-7 s.

A scatter diagram of the joint distribution of H_s and T_z for wind waves is given in Table 7-18 in Appendix F.

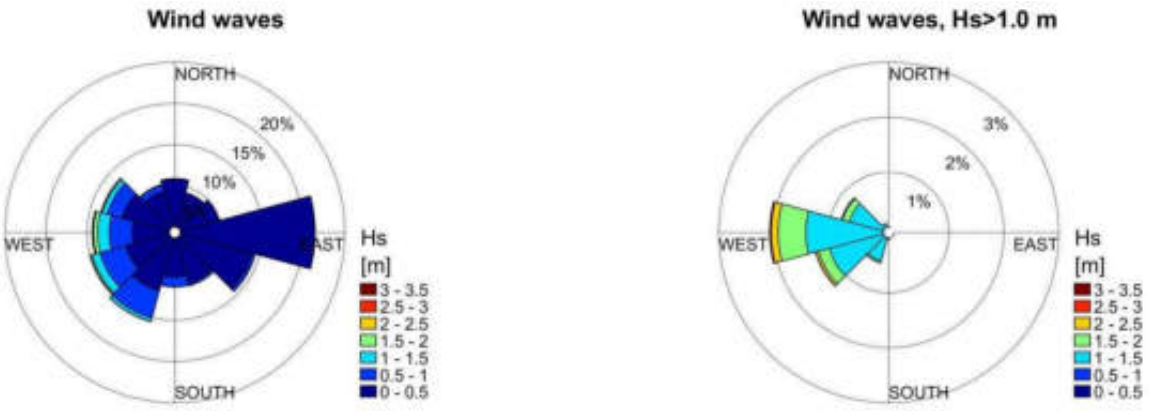


Figure 6-17 Wind waves (peak direction) at the Havfarm 1 site (2002-2017). All significant wave heights (left) and significant wave height above 1 m (right). 3 h sea state duration (see Chapter 5.3.3 for further explanation)

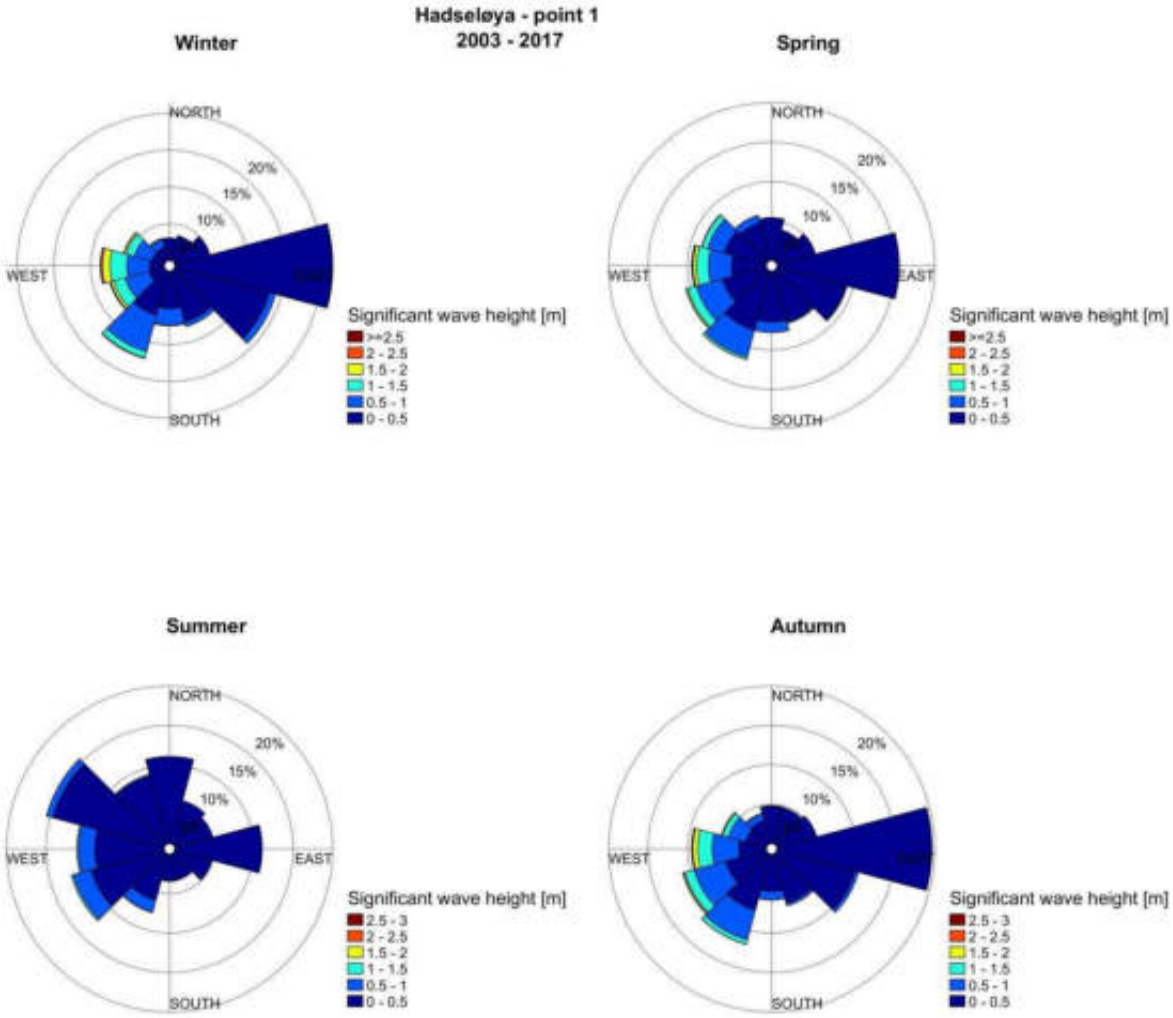


Figure 6-18 Wind waves (peak direction) for four seasons (winter, spring, summer, and autumn) 2002 – 2017. 3 h sea state duration (see Chapter 5.3.3 for further explanation)

Table 6-19 Statistical overview of operational wind waves. 3 h sea state duration (see Chapter 5.3.3 for further explanation)

Operational wind waves	H_s [m]	T_p [s]
Average	0.3	2.1
Median	0.2	2.0
Maximum	3.2	6.8
Standard deviation	0.3	1.1
50 % percentile	0.2	2.0
90 % percentile	0.7	3.8
95 % percentile	1.0	4.2
99 % percentile	1.5	5.1

Table 6-20 Wind waves: Cumulative probability distribution [%] for significant wave height for 12 peak directions. 3 h sea state duration (see Chapter 5.3.3 for further explanation)

		Peak direction											
H_s [m]	All directions	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°
All year													
<0.5	80.70	6.01	4.48	5.03	16.88	9.40	5.94	4.91	6.87	5.70	4.66	6.15	4.68
<1.0	95.13	6.07	4.48	5.03	16.90	9.77	6.23	6.12	10.40	9.02	7.54	8.09	5.47
<1.5	98.86	6.07				9.77		6.15	10.86	10.08	8.99	8.76	5.54
<2.0	99.76								10.89	10.29	9.52	8.89	5.54
<2.5	99.96								10.89	10.34	9.65	8.91	
<3.0	100.00									10.35	9.67	8.91	
<3.5	100.00									10.35	9.67		
Winter													
<0.5	72.42	3.02	3.53	4.88	21.38	13.32	7.22	5.08	6.24	2.18	1.97	1.75	1.85
<1.0	91.55	3.06	3.54	4.90	21.46	14.19	7.82	7.36	11.35	5.54	5.10	4.24	2.98
<1.5	97.68							7.43	12.23	7.15	7.39	5.37	3.14
<2.0	99.49								12.32	7.56	8.41	5.66	3.14
<2.5	99.94								12.33	7.68	8.66	5.73	
<3.0	99.99									7.68	8.70	5.73	
<3.5	100.00									7.69	8.70		
Spring													
<0.5	80.55	5.40	4.03	5.05	15.45	9.05	6.67	6.45	7.77	5.76	4.42	5.53	4.96
<1.0	95.33	5.43	4.03		15.47	9.20	6.88	7.77	11.31	9.22	7.34	7.72	5.90
<1.5	99.05							7.78	11.62	10.34	8.84	8.46	5.94
<2.0	99.8								11.63	10.55	9.29	8.54	
<2.5	99.95									10.58	9.41		
<3.0	99.99									10.58	9.45		
<3.5	100.00										9.45		
Summer													
<0.5	92.31	11.03	5.65	4.98	11.06	4.87	3.37	3.31	6.10	9.61	8.80	14.63	8.89
<1.0	99.48	11.05				4.89	3.38	3.43	7.65	11.96	10.88	15.46	9.09
<1.5	100.00								7.69	12.21	11.08	15.48	9.10
<2.0	100.00									12.21			
<2.5													
<3.0													
<3.5													
Autumn													
<0.5	77.70	4.68	4.75	5.21	19.61	10.27	6.44	4.72	7.36	5.35	3.50	2.75	3.05
<1.0	94.25	4.81	4.76	5.22	19.62	10.70	6.79	5.80	11.25	9.50	6.88	5.01	3.91
<1.5	98.73	4.81				10.70		5.81	11.83	10.71	8.71	5.76	4.00
<2.0	99.74								11.86	10.92	9.33	5.91	
<2.5	99.96									10.98	9.48	5.92	
<3.0	100.00									11.00	9.50		
<3.5													

Table 6-21 Persistence statistics of wind waves: Number of events and duration of periods with significant wave height continuously above a certain wave height

Number of events per year								
H_s [m]	Duration							Maximum duration [h], 2002 - 2017
	>6 h	>12 h	>18 h	>24 h	>36 h	>48 h	>72 h	
>0.5	71.67	37.67	22.87	15.00	5.93	2.47	0.40	141
>1.0	21.00	7.80	3.33	2.00	0.33			45
>1.5	4.87	0.93	0.27	0.13				27
>2.0	0.53	0.20	0.13	0.07				24
>2.5	0.07							9
>3.0								2
>3.5								
Percent of time								
H_s [m]	Duration							Maximum duration [h], 2002 - 2017
	>6 h	>12 h	>18 h	>24 h	>36 h	>48 h	>72 h	
>0.5	13.81	10.68	8.26	6.43	3.39	1.75	0.40	141
>1.0	2.93	1.74	0.99	0.68	0.15			45
>1.5	0.53	0.19	0.07	0.04				27
>2.0	0.07	0.04	0.03	0.02				24
>2.5	0.01							9
>3.0								2
>3.5								

Table 6-22 Wind waves: Simultaneous distribution [%] of significant wave height H_s and peak period T_p. 3 h sea state duration (see Chapter 5.3.3 for further explanation)

H_s [m]	T_p [s]							Sum
	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	
0.0-0.5	10.93	37.46	28.58	3.73				80.70
0.5-1.0			1.68	9.99	2.76			14.43
1.0-1.5				0.02	3.63	0.08		3.73
1.5-2.0					0.07	0.83		0.90
2.0-2.5						0.19	0.01	0.21
2.5-3.0						0.01	0.03	0.03
3.0-3.5								
Sum	10.93	37.46	30.26	13.73	6.46	1.11	0.05	100.00
Maximum H_s [m], 2002 - 2017	0.00	0.30	0.80	1.10	1.70	2.50	3.20	3.20

6.3.1.2 Operational conditions – Ocean swell

Direction distribution of ocean swell at the Havfarm 1 site is based on the constructed time series of ocean swell for the period 1957 – 2017. A rose plot of peak direction is given in Figure 6-19. The peak direction of ocean swell is always from west. Operational ocean swell is only found in the direction sectors 240°, 270°, 300°, and 330°. A statistical overview of operational ocean swell is given in Table 6-23.

The wave climate varies during the year and seasons. The cumulative probability distribution for the entire year is given in Table 6-24, while the seasonal variations of ocean swell are given in Table 6-25. There is no ocean swell at the Havfarm 1 site 7.89 % of the time. The analysis shows that the significant wave height of ocean swell is less than 2 m 93.39 % of the time. During winter the ocean swell is less than 2 m is 86.57 % of the time, while it during summer is less than 2 m 99.21 % of the time.

Persistence statistics is given in Table 6-26. Periods with significant wave height above 2 m can last longer than 48 hours about 1 times per year, corresponding to 0.83 % of the time.

The simultaneous distribution of significant wave height and peak period of ocean swell is given in Table 6-27. The peak period of ocean swell is less than 12 s 85 % of time (including the time no ocean swell is observed). Ocean swell with longer period than 16 s occur 0.7 % of the time. It is found that ocean swell with peak periods between 12 s and 14 s has the highest potential to reach the Havfarm 1 location.

The directional spread of ocean swell is from southwest to northwest at the Havfarm 1 site (see Figure 6-25 in Chapter 6.3.3.1).

A scatter diagram of the joint distribution of H_s and T_z for ocean swell is given in Table 7-19 in Appendix F.

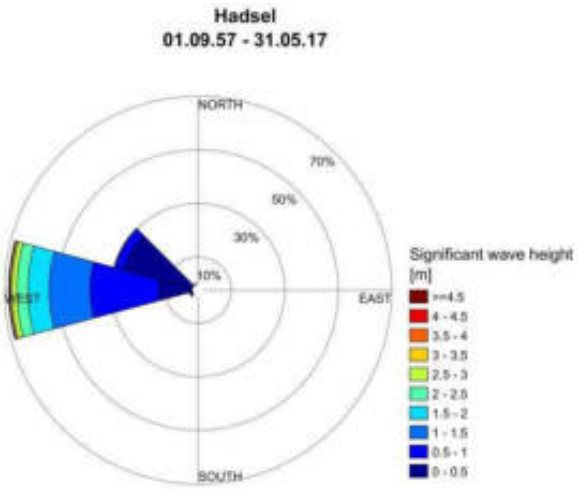


Figure 6-19 Ocean swell (peak direction) at the Havfarm 1 site (1957 - 2017). 3 h sea state duration

Table 6-23 Statistical overview of operational ocean swell (1957-2017). 3 h sea state duration

Operational ocean swell	H_s [m]	T_p [s]
Average	0.7	9.4
Median	0.6	9.1
Maximum	5.2	22.6
Standard deviation	0.7	2.5
50 % percentile	0.6	9.1
90 % percentile	1.7	12.9
95 % percentile	2.1	13.8
99 % percentile	3.0	15.5

Table 6-24 Ocean swell: Cumulative probability distribution in % for significant wave height from 4 direction sectors (peak direction) for all data, 1957-2017. Ocean swell does not occur from other sectors than 240°, 270°, 300°, and 330°. 3 h sea state duration

All year					
H_s [m]	Peak direction				
	All dir.	240°	270°	300°	330°
0	7.89	-	-	-	-
<0.50	44.83	0.96	11.34	24.36	0.28
<1.00	71.62		35.05	27.44	
<1.50	86.09		49.15	27.81	
<2.00	93.39		56.43	27.83	
<2.50	97.16		60.20		
<3.00	98.86		61.90		
<3.50	99.54		62.58		
<4.00	99.85		62.89		
<4.50	99.98		63.02		
<5.00	100.00		63.04		
<5.50	100.00		63.04		

Table 6-25 Ocean swell: Cumulative probability distribution in % for significant wave height from 4 direction sectors (peak direction) for the four seasons, 1957-2017. Ocean swell does not appear from other sectors than 240°, 270°, 300°, and 330°. 3 h sea state duration

Winter (Dec-Feb)					
H_s [m]	Peak direction				
	All dir.	240°	270°	300°	330°
0	4.12	-	-	-	-
<0.50	33.48	0.73	10.46	18.14	0.02
<1.00	56.73		30.00	21.86	
<1.50	75.11		47.80	22.44	
<2.00	86.57		59.20	22.49	
<2.50	93.45		66.09		
<3.00	97.19		69.83		
<3.50	98.80		71.44		
<4.00	99.60		72.23		
<4.50	99.97		72.60		
<5.00	99.99		72.63		
<5.50	100.00		72.64		

Spring (Mar-May)					
H_s [m]	Peak direction				
	All dir.	240°	270°	300°	330°
0	8.27	-	-	-	-
<0.50	46.16	1.13	10.12	26.35	0.29
<1.00	72.68		32.93	30.05	
<1.50	87.38		47.25	30.43	
<2.00	94.47		54.33	30.44	
<2.50	97.92		57.78		
<3.00	99.21		59.07		
<3.50	99.73		59.59		
<4.00	99.91		59.77		
<4.50	99.99		59.85		
<5.00	100.00		59.86		
<5.50					

Summer (Jun-Aug)					
H_s [m]	Peak direction				
	All dir.	240°	270°	300°	330°
0	13.29	-	-	-	-
<0.50	57.52	0.83	13.83	28.97	0.6
<1.00	88.35		43.15	30.48	
<1.50	96.83		51.56	30.55	
<2.00	99.21		53.94	30.55	
<2.50	99.84		54.58		
<3.00	99.98		54.71		
<3.50	99.99		54.72		
<4.00	100.00		54.73		
<4.50					
<5.00					
<5.50					

Autumn (Sep-Nov)					
H_s [m]	Peak direction				
	All dir.	240°	270°	300°	330°
0	5.86	-	-	-	-
<0.50	42.12	1.14	10.99	23.92	0.21
<1.00	68.68		34.16	27.31	
<1.50	85.01		50.02	27.78	
<2.00	93.28		58.27	27.80	
<2.50	97.39		62.39		
<3.00	99.03		64.03		
<3.50	99.65		64.64		
<4.00	99.89		64.89		
<4.50	99.98		64.97		
<5.00	100.00		65.00		
<5.50					

Table 6-26 Persistence statistics of ocean swell: Number of events and duration of periods with significant wave height continuous above given wave heights (1957-2017)

Number of events per year								Maximum duration [h], 1957 - 2017
H_s [m]	Duration							
	>6 h	>12 h	>18 h	>24 h	>36 h	>48 h	>72 h	
>0.0	34.22	32.53	30.98	29.30	27.07	24.85	21.33	3054
>0.5	90.32	74.77	63.42	54.90	41.63	31.70	19.47	624
>1.0	67.58	51.15	40.80	32.38	20.32	13.13	6.37	291
>1.5	41.27	29.42	21.48	16.02	8.62	4.70	1.65	267
>2.0	23.30	14.92	9.80	6.35	2.60	1.07	0.28	132
>2.5	10.90	6.87	3.88	2.12	0.57	0.25	0.08	99
>3.0	5.18	2.58	1.10	0.45	0.08	0.02		54
>3.5	2.10	0.83	0.28	0.10				30
>4.0	0.53	0.17	0.05					24
>4.5								6
>5.0								3
Percent of time								
H_s [m]	Duration							
	>6 h	>12 h	>18 h	>24 h	>36 h	>48 h	>72 h	
>0.0	91.96	91.76	91.46	91.03	90.22	89.12	86.67	3054
>0.5	53.63	51.78	49.64	47.45	42.72	37.82	29.38	624
>1.0	26.66	24.72	22.77	20.61	16.3	12.75	8.13	291
>1.5	12.73	11.32	9.84	8.44	5.81	3.89	1.86	267
>2.0	5.74	4.74	3.78	2.90	1.58	0.83	0.31	132
>2.5	2.38	1.90	1.34	0.90	0.36	0.20	0.08	99
>3.0	0.92	0.62	0.34	0.17	0.04	0.01		54
>3.5	0.33	0.18	0.08	0.03				30
>4.0	0.08	0.03	0.01					24
>4.5								6
>5.0								3

Table 6-27 Ocean swell: Simultaneous distribution [%] of significant wave height H_s and peak period T_p, 7.89 % of time ocean swell does not occur at the Havfarm 1 site (1957-2017). 3 h sea state duration

H_s [m]	T_p [s]								Sum
	<6	6-8	8 -10	10-12	12-14	14-16	16-18	>18	
0									7.89
0.0-0.5	4.61	13.20	12.72	3.94	1.72	0.55	0.14	0.06	36.94
0.5-1.0	1.00	5.79	8.53	6.70	3.27	1.09	0.30	0.11	26.79
1.0-1.5	0.20	2.21	4.36	3.87	2.95	0.83	0.06	0.01	14.47
1.5-2.0	0.01	0.83	2.39	2.42	1.35	0.30			7.30
2.0-2.5		0.18	1.26	1.48	0.71	0.14			3.77
2.5-3.0		0.09	0.33	0.64	0.54	0.10			1.70
3.0-3.5		0.04	0.07	0.24	0.27	0.08			0.69
3.5-4.0		0.02	0.02	0.07	0.18	0.02			0.31
4.0-4.5		0.02	0.01	0.01	0.07	0.03			0.13
4.5-5.0					0.01				0.01
5.0-5.5									
Sum	5.81	22.37	29.68	19.37	11.06	3.14	0.51	0.19	100
Maximum H_s [m], 1957 - 2017	1.7	4.9	4.9	5.0	5.2	4.9	1.5	1.2	5.2

6.3.1.3 Operational conditions – Combined wind waves and ocean swell

Simultaneous occurrence of wind waves and ocean swell is analysed for the period from 2002 through 2017, where the operational time series of wind waves and ocean swell overlap.

Figure 6-20 a gives a scatter plot of significant wave height of ocean swell and wind waves. Figure 6-20 b gives the significant wave height for both ocean swell and wind waves for all wind wave directions.

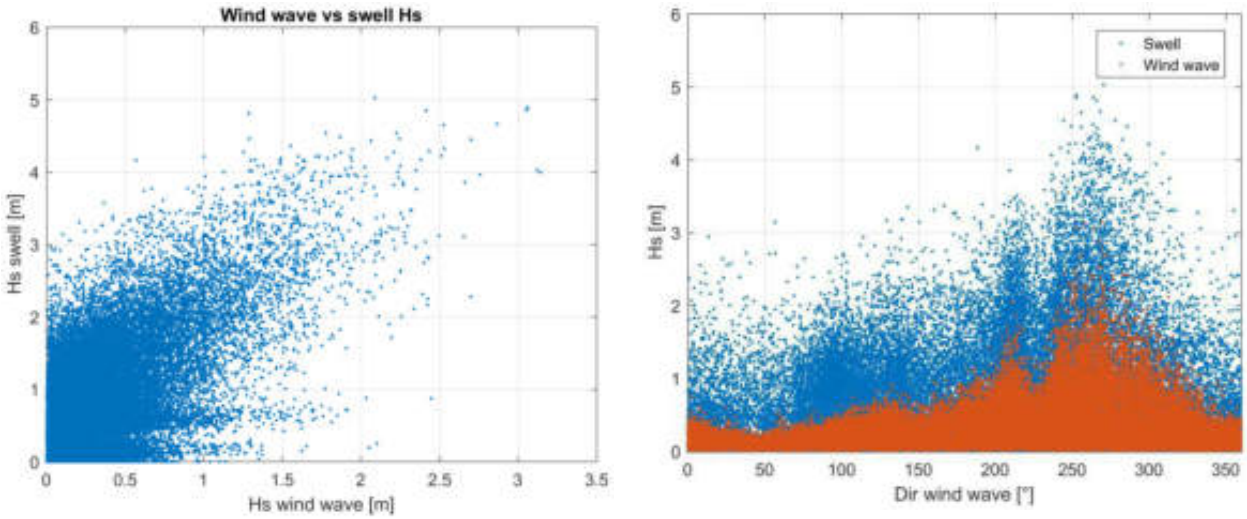
Figure 6-20 shows a correlation between high wind waves and high ocean swell. Ocean swell always has a direction from southwest to northwest, while wind waves occur from all directions. Wind waves with a significant wave height less than 1 m can occur from almost all directions simultaneously with registered ocean swell, see Figure 6-20 b.

The largest wind waves with a significant wave height above 2 m have the approximate same direction as ocean swell. Wind waves with a significant wave height between 1 and 2 m can also be directed from 200° - 220° when occurring at the same time as ocean swell.

Statistical overview of combined sea conditions is given in Table 6-28. The joint distribution of significant wave height from wind waves and ocean swell is given in Table 6-29.

Table 6-30 shows the cumulative distribution of significant wave height of combined waves for the entire year and the four seasons. The analyse shows that the significant wave height of combined waves is smaller than 3 m 98.08 % of the time. During winter, the significant wave height is smaller than 3 m 96.03 % of the time, while during summer, significant wave height is below 3 m 100 % of the time.

Persistence statistics is given in Table 6-31. Periods with significant wave height larger than 3 m can last longer than 24 hours, and occur approximately once a year, corresponding to 0.4 % of the time.



a) Significant wave height of wind waves and ocean swell

b) Significant wave height of wind waves and ocean swell for different wind wave directions

Figure 6-20 Coincidence of wind waves and ocean swell from operational time series (2002-2017)

Table 6-28 Statistical overview of operational wind waves

Operational wind waves	H_s [m]
Average	0.9
Median	0.7
Maximum	5.8
Standard deviation	0.7
50 % percentile	0.7
90 % percentile	1.9
95 % percentile	2.4
99 % percentile	3.4

Table 6-29 Joint distribution [%] of wind waves and ocean swell, 2002-2017

	Ocean swell H_s [m]											
Wind waves H_s [m]	0.0-0.5	0.5-1.0	1.0-1.5	1.5-2.0	2.0-2.5	2.5-3.0	3.0-3.5	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	Sum
0.0-0.5	42.21	21.60	11.36	3.95	1.03	0.25	0.04					80.44
0.5-1.0	2.26	3.40	3.25	3.04	1.79	0.61	0.23	0.03				14.60
1.0-1.5	0.18	0.42	0.41	0.70	0.94	0.64	0.32	0.13	0.03			3.76
1.5-2.0	0.01	0.07	0.02	0.11	0.13	0.26	0.17	0.13	0.04			0.96
2.0-2.5	0.01	0.01		0.01	0.03	0.04	0.06	0.03	0.02	0.01	0.00	0.20
2.5-3.0								0.01	0.01	0.01		0.02
3.0-3.5										0.01		0.01
Sum	44.67	25.50	15.04	7.81	3.91	1.80	0.82	0.32	0.11	0.02	0.00	100

Table 6-30 Combined waves: Cumulative probability distribution [%] for significant wave height for all year and the four seasons, 2002 - 2017

H_s [m]	All year	Winter (Dec-Feb)	Spring (Mar-May)	Summer (Jun-Aug)	Autumn (Sep-Nov)
<0.5	39.50	26.94	38.67	60.75	33.19
<1.0	66.84	51.20	66.55	90.02	61.42
<1.5	82.96	71.63	83.75	96.89	80.72
<2.0	91.44	84.79	91.75	99.14	90.78
<2.5	95.88	92.00	96.01	99.92	96.01
<3.0	98.08	96.03	98.11	100	98.37
<3.5	99.15	98.20	99.20		99.29
<4.0	99.69	99.36	99.61		99.82
<4.5	99.90	99.80	99.90		99.92
<5.0	99.97	99.95	99.96		99.98
<5.5	100	99.99	99.99		100
<6.0	100	100	100		

Table 6-31 Persistence statistics of combined waves: Number of events and duration of significant wave height remaining above given wave heights

Number of events per year								Maximum duration [h], 2002 - 2017
H_s [m]	Duration							
	>6 h	>12 h	>18 h	>24 h	>36 h	>48 h	>72 h	
>0.5	91.5	73.86	63.29	54.64	42.50	32.86	22.07	714
>1.0	72.71	55.00	44.14	36.21	23.21	15.43	7.93	354
>1.5	49.00	35.14	26.57	20.36	10.50	5.93	2.14	147
>2.0	30.36	20.07	13.07	8.07	3.43	1.64	0.29	132
>2.5	15.71	9.79	5.86	3.36	1.29	0.29	0.07	120
>3.0	8.71	4.43	1.79	1.14	0.14			42
>3.5	3.43	1.29	0.50	0.14				27
>4.0	1.57	0.36	0.21					21
>4.5	0.21	0.07						18
>5.0	0.07							9
>5.5								3
Percent of time								Maximum duration [h], 2002 - 2017
H_s [m]	Duration							
	>6 h	>12 h	>18 h	>24 h	>36 h	>48 h	>72 h	
>0.5	58.44	56.36	54.39	52.18	47.89	43.11	35.66	714
>1.0	30.79	28.73	26.71	24.67	20.03	16.23	11.12	354
>1.5	15.47	13.84	12.24	10.66	7.22	4.94	2.41	147
>2.0	7.46	6.25	4.94	3.67	2.07	1.19	0.31	132
>2.5	3.46	2.76	2.04	1.42	0.73	0.24	0.10	120
>3.0	1.56	1.05	0.56	0.40	0.07			42
>3.5	0.53	0.28	0.14	0.04				27
>4.0	0.21	0.08	0.05					21
>4.5	0.03	0.01						18
>5.0	0.01							9
>5.5								3

6.3.2 Extreme wave conditions

6.3.2.1 Extreme wind wave results

Extreme wind waves were simulated with the numerical model SWAN using input values from extreme wind derived from NS-EN 1991-1-4. Information regarding input values of extreme wind are given in Chapter 5.3.5.1. The results of 10 year, 50 year, 100 year, and 10 000 year return period of extreme wind waves are given in Table 6-32. The largest wind waves are observed from westerly direction. The highest significant wave heights are 4.2 m, 4.7 m, 4.8 m and 5.4 m for 10 year, 50 year, 100 year and 10 000 year return period, respectively.

Table 6-32 Extreme wind wave for 10 year, 50 year, 100 year, and 10 000 year return period. 3 h sea state duration

Wind direction (from) [°]	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330
10 year return period												
H_s [m]	2.1	1.8	1.7	1.6	1.7	2.1	2.4	3.3	4.2	4.2	3.9	2.7
T_p [s]	5.3	4.3	4.0	4.9	4.9	4.8	5.7	6.9	7.4	7.4	7.3	6.5
Peak direction [°]	317	353	108	108	115	115	223	245	238	274	274	310
50 year return period												
H_s [m]	2.4	2.0	2.0	1.8	1.8	2.4	2.8	3.7	4.6	4.7	4.3	3.1
T_p [s]	5.6	4.5	4.2	5.1	5.1	5.0	5.9	7.1	7.7	7.8	7.7	6.7
Peak direction [°]	317	353	108	108	115	115	223	238	238	274	274	310
100 year return period												
H_s [m]	2.5	2.0	2.1	1.8	1.9	2.5	2.9	3.8	4.7	4.8	4.4	3.2
T_p [s]	5.7	4.6	4.3	5.2	5.2	5.2	6.0	7.2	7.7	7.9	7.8	6.8
Peak direction [°]	317	353	108	108	115	115	230	238	238	274	274	310
10 000 year return period												
H_s [m]	3.1	2.5	2.8	2.4	2.5	3.0	3.6	4.6	5.3	5.4	5.0	3.9
T_p [s]	6.0	5.0	4.7	5.6	5.7	5.5	6.6	7.7	8.4	8.6	8.8	7.6
Peak direction [°]	317	353	108	108	115	115	230	238	238	281	281	310

6.3.2.2 Extreme ocean swell results

The Havfarm 1 site is exposed for offshore waves from west. The SWAN model was used to calculate the propagation of offshore waves towards the Havfarm 1 site, based on extreme value analysis of hindcast wave data from WAM10 described in Chapter 5.3.5.2 and Appendix D. Offshore waves from 270° gives the highest significant wave heights for 10 year, 50 year, and 100 year return period at site, while offshore waves from 300° gives the highest significant wave height for 10 000 year return period. The highest significant wave heights of ocean swell are 4.3 m, 4.4 m, 4.4 m and 4.8 m for 10 year, 50 year, 100 year and 10 000 year, respectively (see Table 6-33).

The calculated ocean swell wave spectra for the Havfarm 1 site all have two to three peaks: one close to the peak direction of the input offshore wave, and one or more at higher harmonics due to wave triad interactions (typically around 8 – 10 s, and around 4 – 5 s, illustrated in Figure 6-26 in Chapter 6.3.3.1). The reported peak period is equal to the period of the highest of these three peaks. Which peak ends up as the highest in the wave spectrum, depends on the wave transformation processes absorbing wave energy at different rates depending on the period as swell propagates towards the Havfarm 1 site.

Table 6-33 Extreme ocean swell for 10 year, 50 year, 100 year, and 10 000 year return period. 3 h sea state duration

Offshore wave direction (from)	[°]	180	210	240	270	300	330	360	30
10 year return period									
Significant wave height	Hs [m]	0.2	1.4	3.5	4.3	4.2	2.7	0.8	0.4
Peak period	Tp [s]	12.9	8.5	8.1	8.1	15.3	14.7	14.9	14.0
Peak direction (from)	[°]	238	274	274	274	317	274	274	317
50 year return period									
Significant wave height	Hs [m]	0.3	1.8	3.6	4.4	4.3	2.9	0.9	0.4
Peak period	Tp [s]	13.7	9.1	8.6	8.6	8.3	15.5	15.9	14.7
Peak direction (from)	[°]	238	274	274	310	317	274	274	317
100 year return period									
Significant wave height	Hs [m]	0.3	1.9	3.7	4.4	4.4	3.0	1.0	0.4
Peak period	Tp [s]	14.1	9.3	8.8	8.8	8.5	15.8	16.4	15.1
Peak direction (from)	[°]	245	274	274	310	317	274	274	317
10 000 year return period									
Significant wave height	Hs [m]	0.4	2.8	4.0	4.7	4.8	3.6	1.3	0.5
Peak period	Tp [s]	16.3	11.0	10.1	10.0	10.1	8.9	19.3	4.3
Peak direction (from)	[°]	274	274	274	310	310	274	274	310

6.3.2.3 Extreme combined sea state

The SWAN model was used to calculate the combined sea state of extreme wind waves and extreme ocean swell for 10 year, 50 year, 100 year, and 10 000 year return period for different direction cases.

The significant wave height, peak period, mean period, peak direction, crest height, individual wave height and the corresponding period of combined extreme sea states are given in Table 6-34. Only the maximum combined significant wave height for each direction sector where ocean swell is of significance are reported. Note that the wave direction is given as the peak direction at the Havfarm 1 site. The wave energy has directions from southwest (210°) to north-northwest (330°), see e.g. Figure 6-27 in Chapter 6.3.3.1, i.e. there will also be wave energy in other sectors than the sector of the peak direction.

The results show a significant wave height of 5.6 m, 5.9 m, 6.0 m, and 6.5 m for 10 year, 50 year, 100 year, and 10 000 year return period, respectively. Highest extreme significant wave height at the Havfarm 1 site for 10 year, 50 year 100 year, and 10 000 year return period occurs when wind has a direction from 270° and offshore wave has directions from between 270° and 300°. At the Havfarm 1 site, the local extreme combined waves with highest significant wave height are directed from northwest for all the return period.

A wave map with 10 000 year return period of the combined sea state with wind and offshore waves from west is given in Figure 6-21. The resulting sea state has a two peak spectrum with peaks at 9.9 s and 20 s (see Figure 6-27 in Chapter 6.3.3.1). The latter equals the offshore peak period used as the model input.

These results are based on the assumption that a combination of a certain return period for wind waves and offshore waves will have the same return period at site. The results are therefore compared with estimates based on an extreme value analysis of the operational combined sea time series. Extreme values of operational combined sea indicate a significant wave height of 5.7 m, 6.3 m and 6.5 m for 10 years, 50 years and 100 years respectively. The SWAN results are somewhat lower than the extreme operational combined sea, but within the 95 % confidence interval (Figure 5-8). This indicates that the usage of the same return period offshore and on site is a valid assumption.

Table 6-34 Extreme combined sea state and crest height and individual wave height with 10 year, 50 year, 100 year, and 10 000 year return period for different directional sectors, sea state duration is 3 hours

		Wave direction sectors at site			
		240°	270°	300°	330°
10 year return period					
Significant wave height	H_s [m]	4.3	5.6	5.6	5.5
Peak period	T_p [s]	16.2	8.2	15.3	15.3
Mean period	T_{m01} [s]	6.2	7.5	7.6	7.7
Peak direction (from)	[°]	238	274	310	317
Crest height	[m]	5.4	6.8	6.8	6.7
Individual wave height	H_{max} [m]	8.5	11.0	11.0	10.8
Wave period	T_{Hmax} [s]	8.6	9.8	9.8	9.7
50 year return period					
Significant wave height	H_s [m]	5.8	5.9	-	5.9
Peak period	T_p [s]	8.6	8.6	-	8.4
Mean period	T_{m01} [s]	7.4	7.5	-	7.7
Peak direction (from)	[°]	238	274	-	317
Crest height	[m]	7.1	7.3	-	7.2
Individual wave height	H_{max} [m]	11.4	11.6	-	11.6
Wave period	T_{Hmax} [s]	9.9	10.0	-	10.0
100 year return period					
Significant wave height	H_s [m]	5.9	5.9	-	6.0
Peak period	T_p [s]	8.8	8.8	-	8.6
Mean period	T_{m01} [s]	7.4	7.5	-	7.7
Peak direction (from)	[°]	238	274	-	317
Crest height	[m]	7.3	7.3	-	7.3
Individual wave height	H_{max} [m]	11.6	11.6	-	11.8
Wave period	T_{Hmax} [s]	10.0	10.0	-	10.0
10 000 year return period					
Significant wave height	H_s [m]	6.4	6.5	-	6.5
Peak period	T_p [s]	9.9	10.0	-	10.1
Mean period	T_{m01} [s]	7.5	7.6	-	7.6
Peak direction (from)	[°]	230	274	-	317
Crest height	[m]	8.0	8.1	-	8.1
Individual wave height	H_{max} [m]	12.6	12.8	-	12.8
Wave period	T_{Hmax} [s]	10.4	10.5	-	10.5

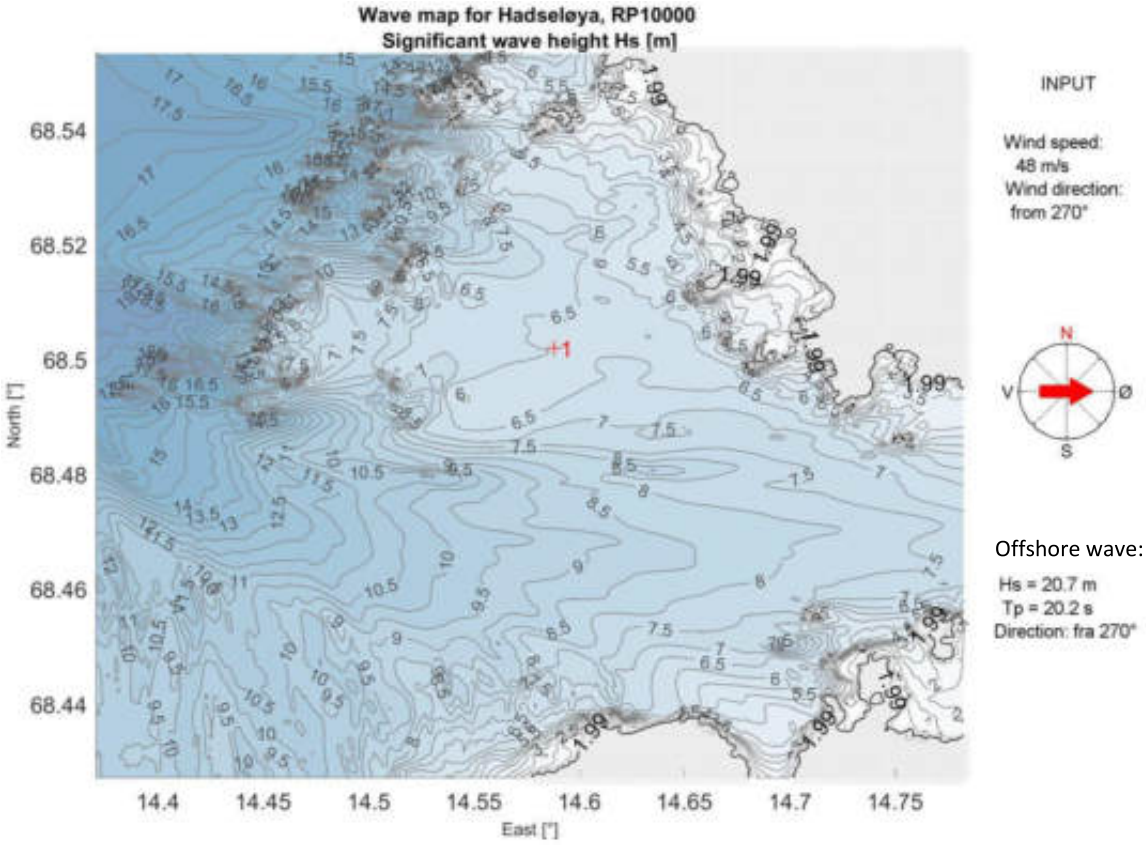


Figure 6-21 Wave map of significant wave height with 10 000 year return period of combined wave state. Input wind waves and offshore waves from west. 3 h sea state duration

The resulting wave spectra of the H_s - T_p contour analysis were separated into a long periodic part and a short periodic part as the example shown in Figure 6-22. More details about wave spectra are given in Chapter 6.3.3. The wave spectrum was divided at the local minimum between the long periodic and short periodic part. H_s and T_p were derived separately for the two frequency ranges. Possible overlapping tails of the spectra at the local minimum were not taken into account.

H_s - T_p contours at the Havfarm 1 site are illustrated for 10 year, 50 year, 100 year, and 10 000 year return periods in Figure 6-23. Note that the x-axis gives the offshore peak period (above 11 s the offshore peak period is approximately equal to the peak period of the long periodic part of the spectrum). The figure gives both the significant wave height of the whole spectrum (dashed lines which represent the significant wave height calculated based on both the blue and red part of the wave spectrum in Figure 6-22) and the significant wave height of the long periodic part of the spectra (solid line which represent the significant wave height of only the blue part of the spectrum in Figure 6-22).

For evaluation of H_s - T_p pairs within T_p -range 1 s – 8 s, it is proposed to assume that the sea states is described by the JONSWAP spectrum. The limit relation between H_s and T_p for Jonswap spectrum can then be estimated as given in DNVGL-RP-C205 (2017) for the average steepness limiting value of 1/15 (steepness criteria for peak periods less than 8 s).

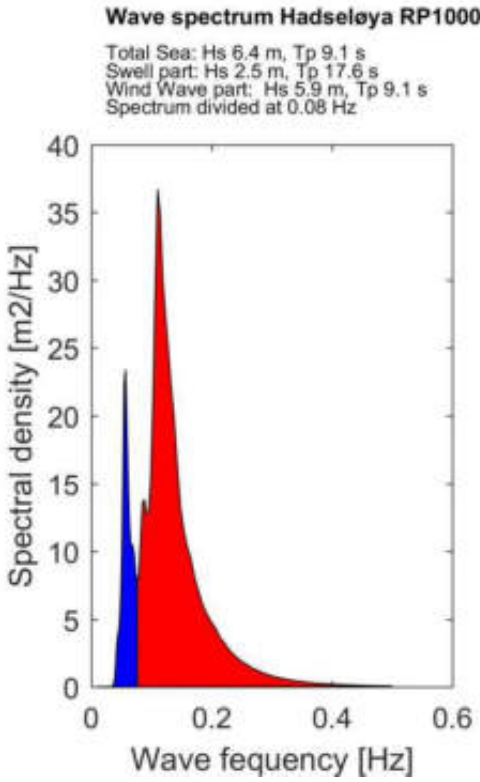


Figure 6-22 Example of the separation of a two peaked spectrum: Wave spectrum is divided at the local minimum into a long periodic part (blue) and a short periodic part (red).

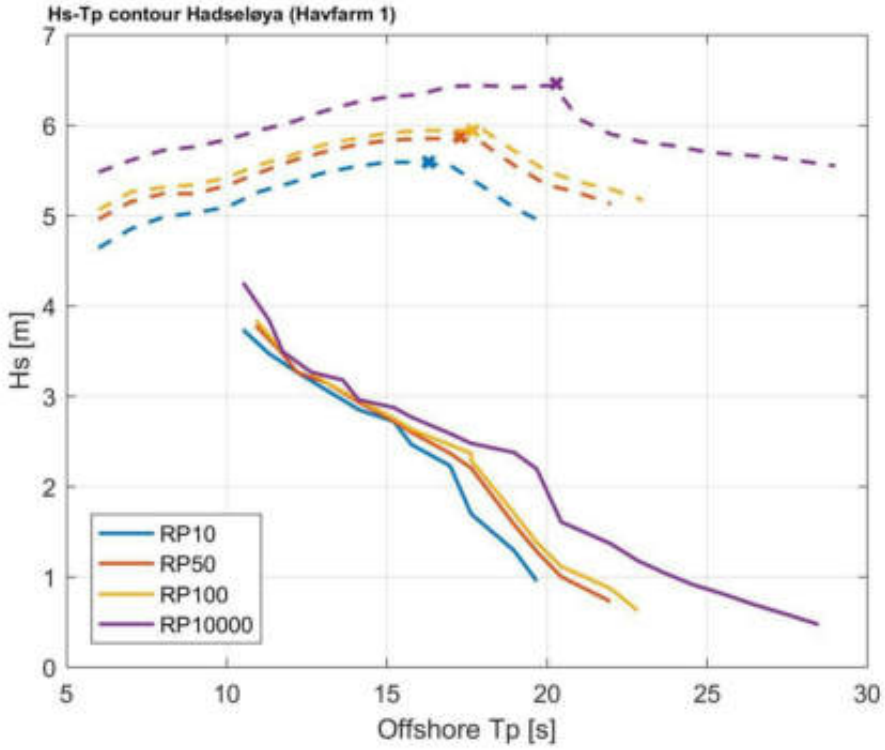


Figure 6-23 H_s - T_p contours of combined sea state at the Havfarm 1 site given wind and offshore waves from west with different return periods. Note that the x-axis shows the offshore peak period (above 11 s the offshore peak period is approximately equal to the peak period of the long periodic part of the spectrum). Dashed lines: Significant wave height of combined sea (based on the whole spectra). Solid lines: Significant wave height of the long periodic part of the spectra (based on the blue part of the spectra). Crosses represent the values from extreme combined sea state given in Table 6-34

Table 6-35 H_s - T_p contours of combined sea state (based on the whole spectrum (blue and red part) shown in example Figure 6-22 and dashed lines in Figure 6-23)

		$H_s - T_p$ contours of combined sea state																						
Offshore Tp [s]		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
RP 10	H_s [m]	4.6	4.9	5.0	5.0	5.1	5.3	5.4	5.5	5.5	5.6	5.6	5.6	5.3	5.1	4.9									
	T_p [s]	8.2	8.8	9.3	10.0	10.6	11.4	12.2	13.1	14.0	14.9	8.2	8.5	8.9	9.2	8.4									
RP 50	H_s [m]	5.0	5.1	5.2	5.2	5.3	5.5	5.6	5.7	5.8	5.8	5.9	5.9	5.8	5.6	5.3	5.3	5.1							
	T_p [s]	8.4	9.0	9.5	10.1	10.8	11.6	12.4	13.2	14.1	7.8	8.1	8.6	8.9	9.3	9.5	8.7	8.5							
RP 100	H_s [m]	5.1	5.3	5.3	5.3	5.4	5.6	5.7	5.8	5.8	5.9	5.9	5.9	5.9	5.7	5.5	5.4	5.3	5.2						
	T_p [s]	8.5	9.1	9.6	10.2	10.9	11.7	12.5	13.3	14.1	7.8	8.1	8.8	8.9	9.4	9.7	8.9	8.7	8.4						
RP 10 000	H_s [m]	5.5	5.6	5.7	5.8	5.8	5.9	6.0	6.1	6.2	6.3	6.3	6.4	6.4	6.4	6.4	6.1	5.9	5.8	5.8	5.7	5.7	5.7	5.6	5.6
	T_p [s]	9.0	9.6	10.1	10.5	11.1	11.9	12.7	13.5	7.7	7.9	8.2	8.6	9.0	9.4	10.0	10.3	10.5	9.6	9.5	9.3	9.1	9.0	9.0	8.8

Table 6-36 H_s - T_p contours of the long periodic part of the spectrum (based on the blue part of the spectrum shown in example Figure 6-22 and solid lines in Figure 6-23)

		$H_s - T_p$ contours of long periodic part of spectrum																							
Offshore Tp [s]		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
RP 10	H_s [m]					3.7	3.5	3.3	3.1	2.8	2.7	2.5	2.2	1.7	1.3	1.0									
	T_p [s]					10.5	11.3	12.2	13.1	14.1	15.2	15.8	17.0	17.6	19.0	19.7									
RP 50	H_s [m]					3.8	3.4	3.2	3.1	2.9	2.7	2.6	2.4	2.2	1.6	1.3	1.0	0.7							
	T_p [s]					10.9	11.8	12.2	13.1	14.1	15.2	15.8	17.0	17.6	19.0	19.7	20.4	22.0							
RP 100	H_s [m]					3.8	3.5	3.3	3.1	3.0	2.8	2.6	2.3	2.3	1.7	1.4	1.1	0.9	0.6						
	T_p [s]					10.9	11.8	12.6	13.1	14.1	15.2	15.8	17.6	17.6	19.0	19.7	20.4	22.0	22.8						
RP 10000	H_s [m]				4.3	3.3	2.9	3.3	3.2	3.0	2.9	2.8	2.6	2.5	2.4	2.2	1.6	1.4	1.2	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5
	T_p [s]				10.5	11.3	11.8	12.6	13.6	14.1	15.2	15.8	17.0	17.6	19.0	19.7	20.4	22.0	22.8	23.7	24.6	25.5	26.5	27.5	28.5

Table 6-37 H_s - T_p contours of the short periodic part of the spectrum (based on the red part of the spectrum shown in example Figure 6-22)

		H_s – T_p contours of short periodic part of spectrum																						
Offshore Tp [s]		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
RP 10	H_s [m]					3.4	3.9	4.2	4.5	4.7	4.8	4.9	5.0	5.0	4.9	4.8									
	T_p [s]					7.3	7.8	8.1	8.7	7.5	7.8	8.1	8.4	9.1	9.1	8.4									
RP 50	H_s [m]					3.7	4.2	4.5	4.7	4.9	5.1	5.2	5.3	5.3	5.3	5.1	5.1	5.0							
	T_p [s]					7.3	7.8	8.1	8.7	7.5	7.8	8.1	8.7	9.1	9.4	9.4	8.7	8.4							
RP 100	H_s [m]					3.7	4.3	4.5	4.8	5.0	5.2	5.2	5.4	5.4	5.4	5.3	5.2	5.2	5.1						
	T_p [s]					8.4	7.8	8.1	8.7	7.5	7.8	8.1	8.7	9.1	9.4	9.8	9.1	8.7	8.4						
RP 10 000	H_s [m]				3.8	4.7	5.1	5.0	5.2	5.4	5.5	5.6	5.8	5.9	5.9	6.0	5.8	5.7	5.6	5.6	5.6	5.5	5.6	5.5	5.5
	T_p [s]				7.3	7.5	8.1	8.4	8.7	7.5	7.8	8.1	8.7	9.1	9.4	10.1	10.1	10.5	9.8	9.4	9.4	9.1	9.1	9.1	9

6.3.3 Wave spectra

6.3.3.1 Numerical wave spectra

For each modelled wave case, a numerical wave spectrum is given as an output. Wave spectra are available for all 168 operational wind wave cases and 160 operational ocean swell cases which are simulated with SWAN. An example of a wind wave spectrum for input wind speed of 10 m/s from west is given in Figure 6-24. An example of a two peak spectrum of ocean swell is shown in Figure 6-25.

The calculated extreme ocean swell wave spectra for the Havfarm 1 site all have two to three peaks: one close to the peak direction of the input offshore wave, and one or more at higher harmonics due to wave triad interactions (typically around 8 – 10 s, and around 4 – 5 s). A three peak wave spectrum of ocean swell at the Havfarm 1 site for 10 year return period is illustrated in Figure 6-26.

The wave spectrum with 10 000 year return period of the combined sea state with wind and offshore waves from west is given in Figure 6-27. The resulting sea state has a two peak spectrum with peaks at 9.9 s and 20 s. The latter equals the offshore peak period used as the model input.

All numerical spectra are available on demand. Further analysis of loads and structural analysis based on numerical spectra are recommended.

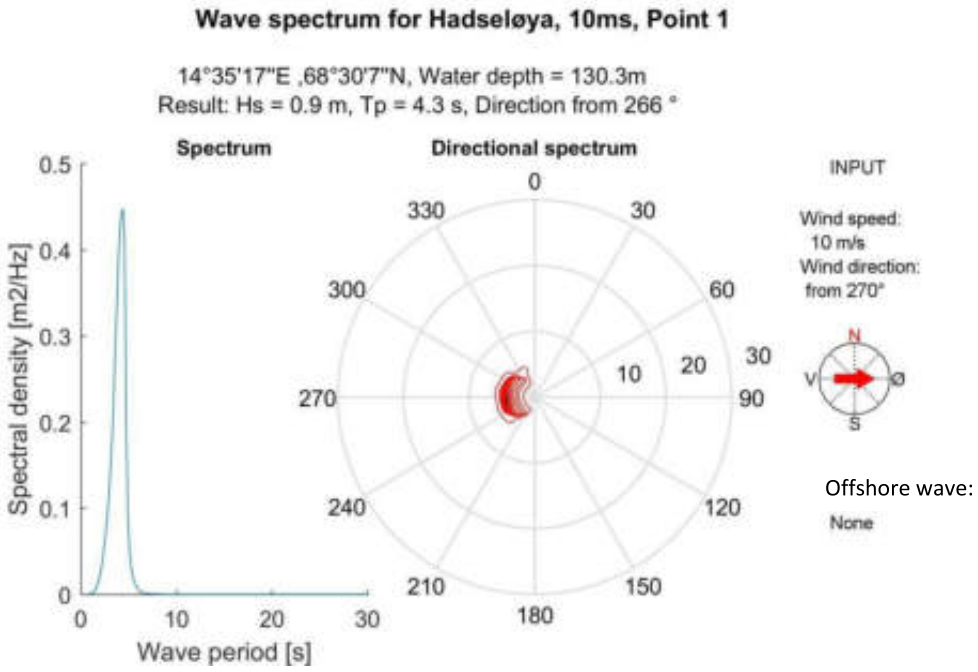


Figure 6-24 Example of a wind wave spectrum for westerly winds with a wind speed of 10 m/s

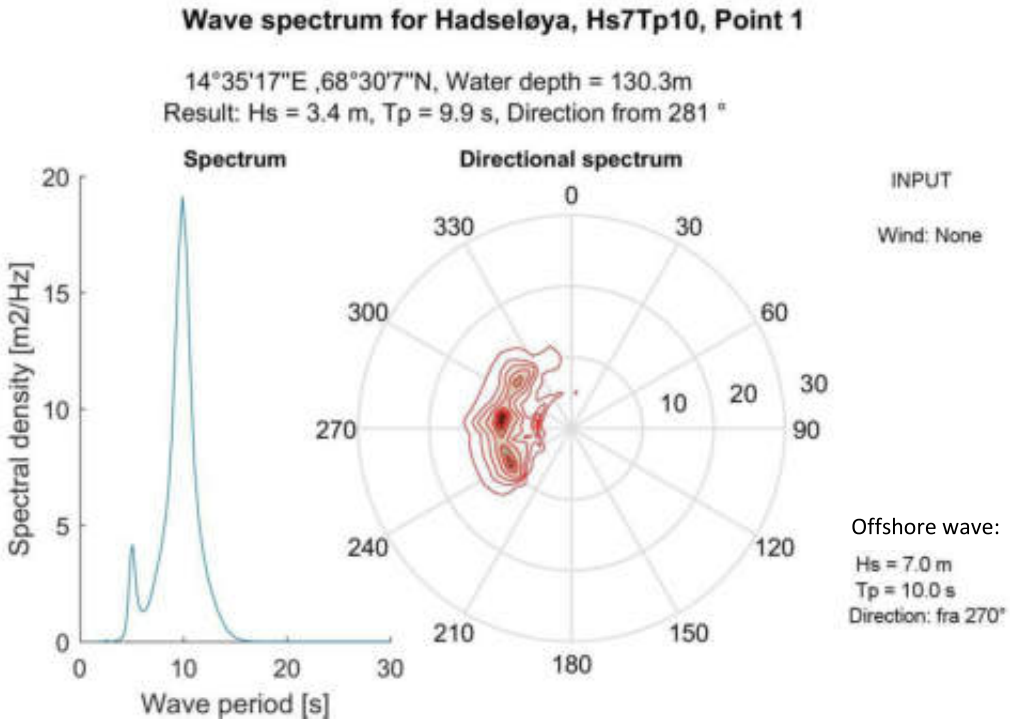


Figure 6-25 Example of an ocean swell spectrum for input of a significant wave at 7 m and a peak period of 10 s (two peaks)

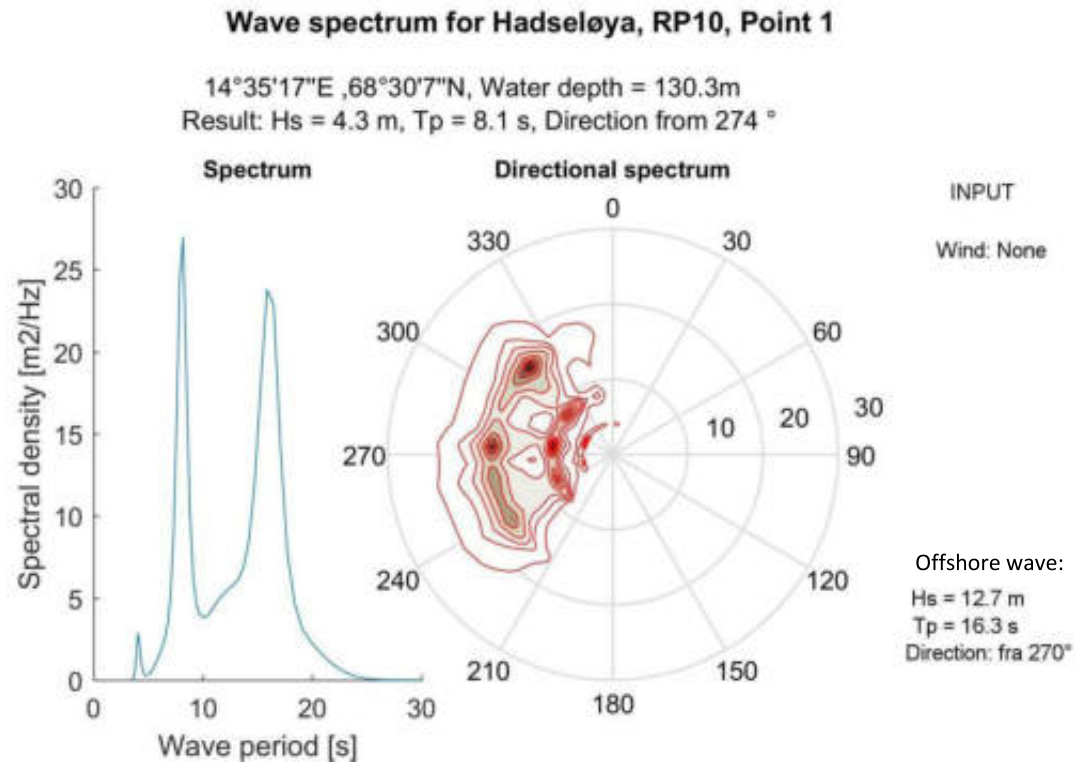


Figure 6-26 Wave spectra for ocean swell at the Havfarm 1 site with 10 year return period (offshore waves from west) (three peaks)

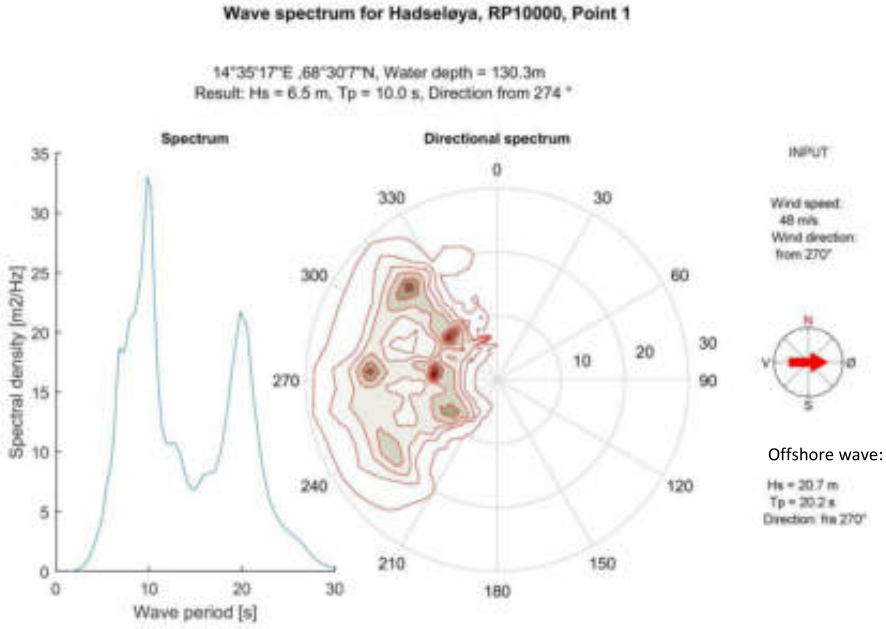


Figure 6-27 Wave spectrum of combined sea state with 10 000 year return period at the Havfarm 1 site

6.3.3.2 Fitted spectra to observed and modelled data

Two examples of the Ochi-Hubble spectrum fitted to observed and modelled spectra are shown in Figure 6-28. Both measured spectra obtained from the buoy and spectra generated using SWAN can be described reasonably well by the Ochi-Hubble spectrum. Parameters of the fitted Ochi-Hubble spectra are reported in Appendix E for the points along the H_s-T_p contours reported in Table 6-35.

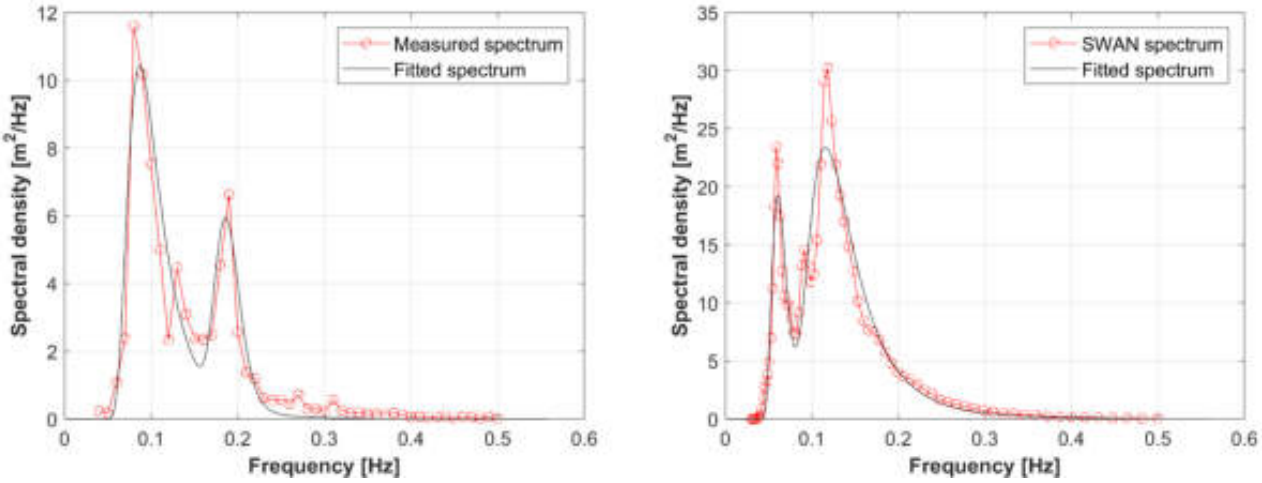


Figure 6-28 Examples of fitted wave spectra for a measured spectrum (26.03.17 08:30) (left) and a spectrum generated by SWAN (RP100, wind and offshore waves from west) (right)

6.3.4 Other wave conditions potentially affecting wave spectrum

Other wave conditions, which can influence the wave spectrum, are:

- Ship generated waves
- Wave reflection
- The effect of multiple wave trains
- Wave-current interaction

There is no fairway in the manoeuvring area of Havfarm 1. Ship generated waves are assumed to have a neglectable effect on the wave spectrum of a wave with 10 year, 50 year, 100 year, or 10 000 year return period. Operational waves can be affected by ship generated waves.

Wave reflection can be important where the surrounding topography is steep and the waves meet the coast at an angle. Havfarm 1 is located approximately 3 km from the coast and the surrounding topography is not characterized as steep. Wave reflection is therefore not considered as important.

The effect of wave trains is included in the SWAN model and is therefore included in the results.

In periods with strong ocean currents, an interaction between waves and currents can arise. This can lead to steeper waves when waves and currents have opposite direction.

6.4 Correlation between waves and current

The relation between measured wave direction and current direction at 9 m depth is investigated. Scatter plots where the data is grouped according to significant wave height and current speed are shown in Figure 6-29. Note that the current direction θ_{curr} is here given as bearing angle, i.e. where the current comes from, in order to have the same convention for both directions. It is seen that the waves mainly come from west, especially for large significant wave heights. The current is more uniformly distributed, but slightly peaked in the directions of the tidal current with increasing effect for large current speeds. For increasing significant wave height, the current direction becomes more aligned with the wave direction. This is also observed by considering the distribution of the direction difference between wave and current ($\theta_{curr} - \theta_{wave}$) conditional on significant wave height, as shown in Figure 6-30.

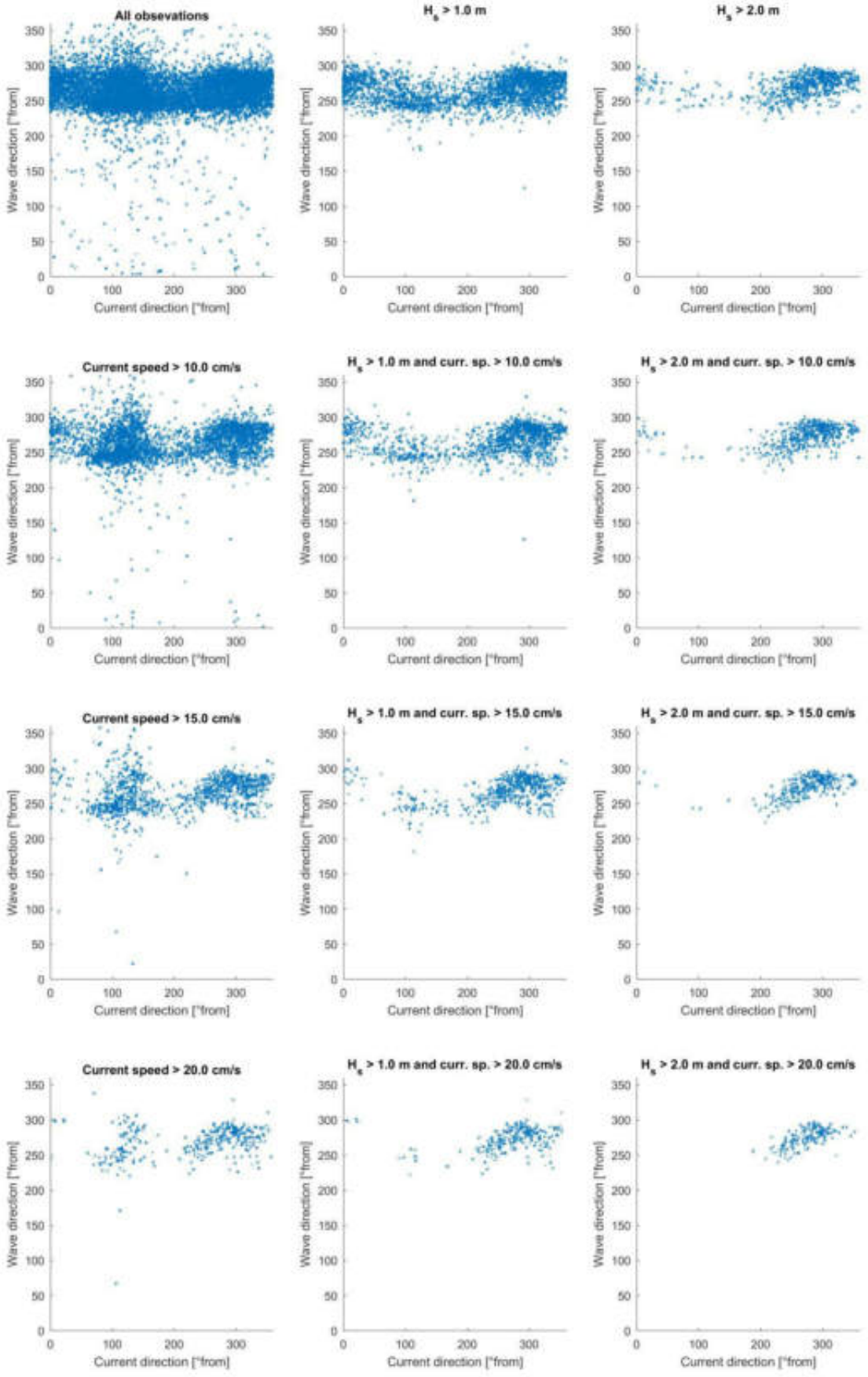


Figure 6-29 Scatter plots for the wave direction and current direction

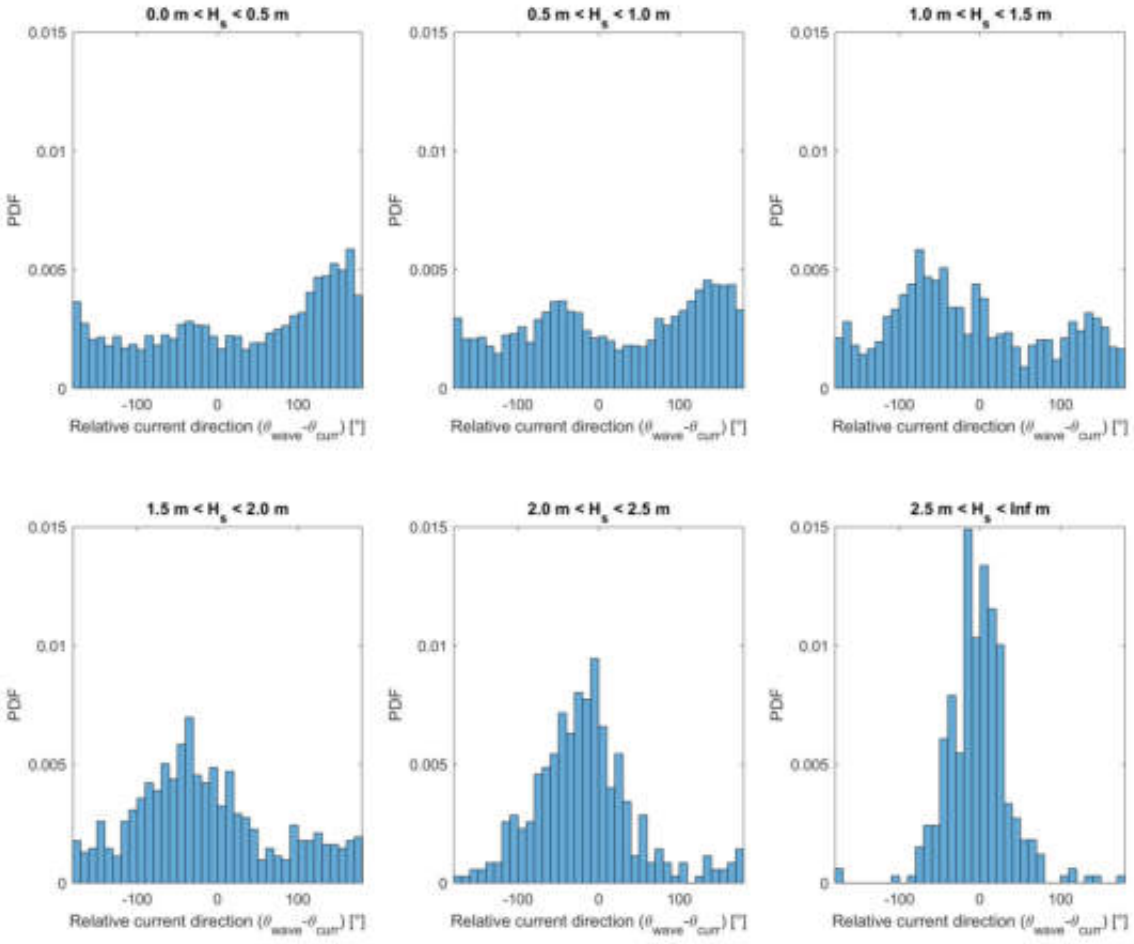


Figure 6-30 The distribution of direction difference between waves and current conditional on significant wave height for measured data

6.5 Water Level

Water levels at the Havfarm 1 site are given in Figure 6-31 (sehavnivå.no for Hadsel municipality, Nordland). The water levels are relative to chart datum.

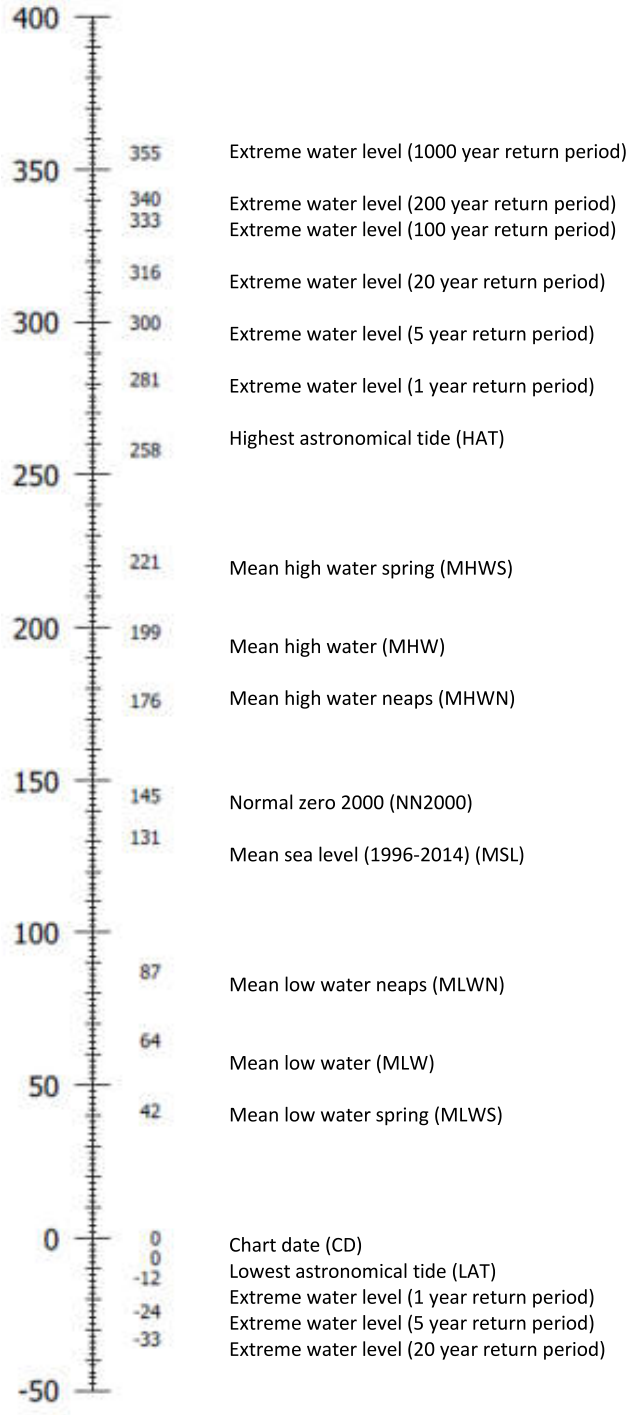


Figure 6-31 Water level at the Havfarm 1 site. All numbers given in cm relative chart datum.

6.6 Air temperature, icing potential, sea ice

6.6.1 Air temperature

Observations of wind speed, wind direction, and air temperature from the meteorological station at Bø are used for studies of the icing potential at the Havfarm 1 site. As described in Chapter 6.1.1 the wind measurements at the meteorological station at Bø are representative for the area of Havfarm 1. The air temperature at the Havfarm 1 is found to be in average 1.3° warmer than the air temperature measured at the meteorological station at Bø, when air temperatures at Bø is below zero. This is likely due to the difference in measurement heights at 2 m (measuring buoy) and 10 m (weather station at Bø). The air temperature from Bø is used in calculations for icing risk (Figure 6-32). The results can be regarded as conservative. The air temperature is measured every hour.

Figure 6-33 gives the monthly air temperatures from the meteorological station at Bø. Table 6-38 shows the joint distribution of air temperature and wind speed from the meteorological station at Bø for sub-zero air temperatures.

Extreme temperatures are based on measurements from the meteorological station at Bø. The equivalent return period of 10 year, 50 year, 100 year and 10 000 year of temperature is given in Table 6-39.

A statistical overview of the measured temperature from Bø is given in Table 6-40.

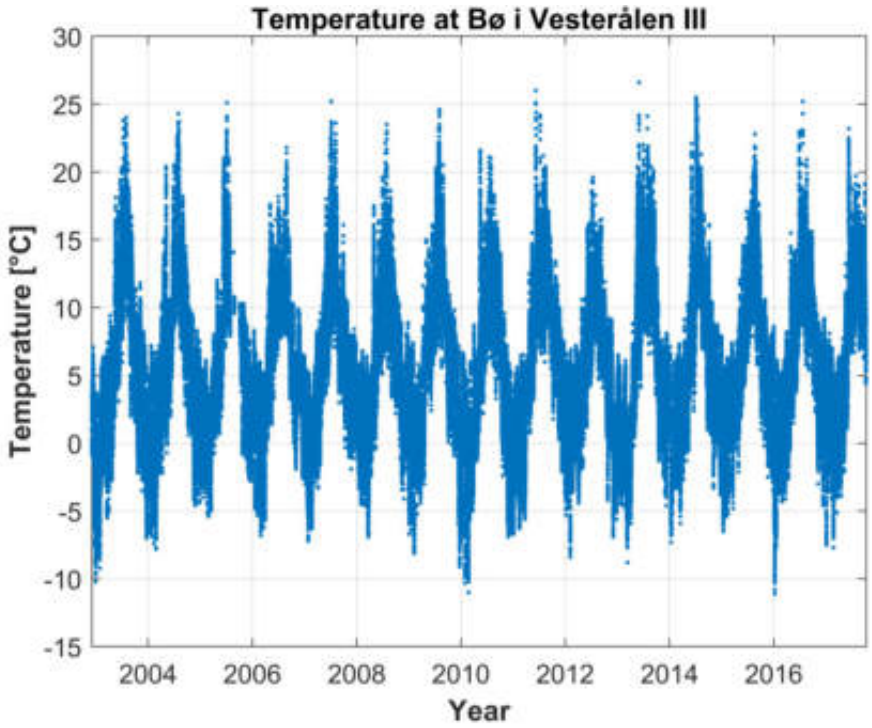


Figure 6-32 Air temperature from the meteorological station at Bø (2002 to 2017). Hourly values

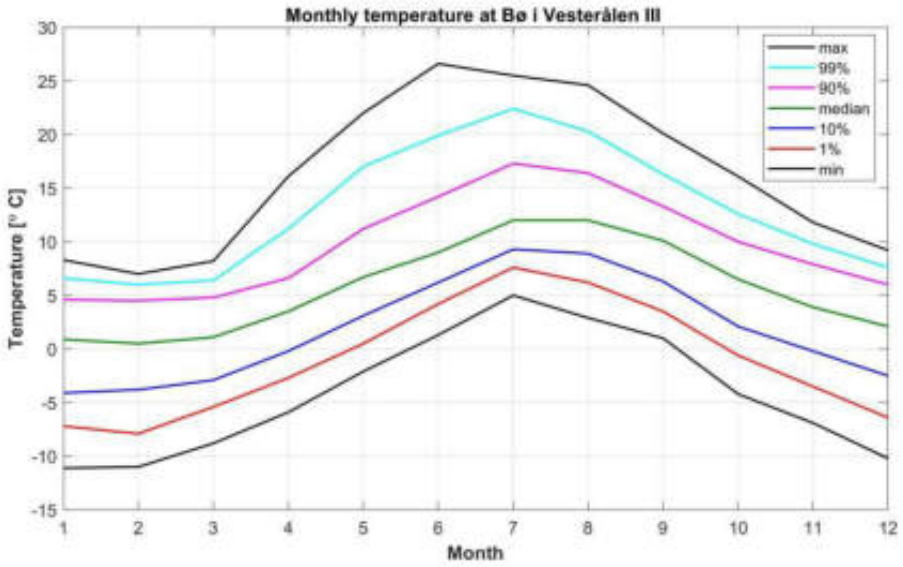


Figure 6-33 Monthly air temperatures measured at the meteorological station at Bø

Table 6-38 Joint distribution of wind speed and air temperature from the meteorological station at Bø. Percentage of observations with air temperatures below 0°C

		Wind speed [m/s]											Sum
		0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20	20-Inf	
Air temperature [°C]	0 - -2	5.5	16.8	13.5	7.9	4.6	2.9	1.4	0.7	0.2	0.1	0.1	53.7
	-2 - -4	3.4	10.8	6.9	3.9	2.1	0.9	0.5	0.3	0.2	0.1		28.9
	-4 - -6	1.6	5.2	3.1	1.4	0.7	0.4	0.2	0.1				12.7
	-6 - -8	0.3	1.4	0.9	0.6	0.2	0.1						3.6
	-8 - -10		0.3	0.3	0.2	0.1							1.0
	-10 - -12			0.1									0.1
	-12 - -14												
	Sum	10.8	34.5	24.7	14.0	7.7	4.3	2.0	1.1	0.5	0.2	0.1	100.0

Table 6-39 Extreme temperature from the meteorological station at Bø, with equivalent 10 year, 50 year, 100 year and 10 000 year return period (based on Weibull 3P and the least square method for binned data)

	Extreme temperature	
	Minimum extreme	Maximum extreme
10 yrp	-12	28
50 yrp	-13	28
100 yrp	-13	30
10 000 yrp	-16	33

Table 6-40 Statistical overview of temperature data from the meteorological station at Bø

Temperature (2002-2017)	Bø
Average [°C]	5.8
Median [°C]	5.5
Minimum [°C]	-11.1
Maximum [°C]	26.6
Standard deviation [°C]	5.4
1 % percentile [°C]	-5.4
5 % percentile [°C]	-2.6
10 % percentile [°C]	-1.0
50 % percentile [°C]	5.5
90 % percentile [°C]	12.7
95 % percentile [°C]	14.7
99 % percentile [°C]	18.7

6.6.2 Icing potential

The icing predictor (PPR index) is calculated based on measurements from the meteorological station at Bø (2002-2017). The resulting PPR indices are divided into five the icing classes: «None», «Light», «Moderate», «Heavy», and «Extreme», as defined in Table 5-7.

The water temperature used in the calculations (Table 6-41) is a monthly average temperature from interpolation of water temperatures measured at meteorological stations along the Norwegian coast (MC, 2015).

Table 6-41 Water temperature used in icing potential calculations at Havfarm 1 (MC, 2015)

	December	January	February	March	April
Water temperature [°C]	4.2	3.1	2.3	2.5	3.7

Based on wind and temperature measurements the time series of the PPR-index is found, given in Figure 6-34. Average number of days with a maximum icing risk in the categories from «Light» to «Extreme» for different wind directions is given in Figure 6-35.

The icing risk shows that the Havfarm 1 site is exposed to weather conditions that can give sea spray icing in the icing class «Light» mainly when the wind is from the east and icing class «Moderate» when wind is from northwest to north and east to southeast. The icing potential reached the icing class «Moderate» 7 times throughout the examined period of 15 years, accumulating to 0.02 % of the time. Two periods with "Moderate" icing class lasted for 10 hours, while the 5 remaining periods lasted for less than 4 hours. The icing class «Moderate» can lead to an icing rate from 0.7 to 2.0 cm/hour (Table 5-7). 7.2 % of the measured period had an icing index above zero, indicating "Light" or "Moderate" icing class.

The reliability of these result is limited by the fact that the Havfarm 1 structure is not steaming against the wind and waves, and is much larger than the vessels the method of Guest et. al (2005) is intended for. The wave characteristics at site will also influence the amount of sea spray icing.

Havfarm 1 is an open structure and the wave characteristics inside the structure can be different from the outside. This can lead to different sea spray icing conditions inside the structure than what is estimated for the outer part of the structure.

Employees at local fish farms (personal communication with Nordlaks) have experienced that sea spray icing mainly occurs during periods with low temperatures and wind from northeast and east. The last 5 years sea spray icing has not lead to severe problems on the nearby fish farms. Wind from west and northwest usually occurs at higher temperatures that do not favour sea spray icing.

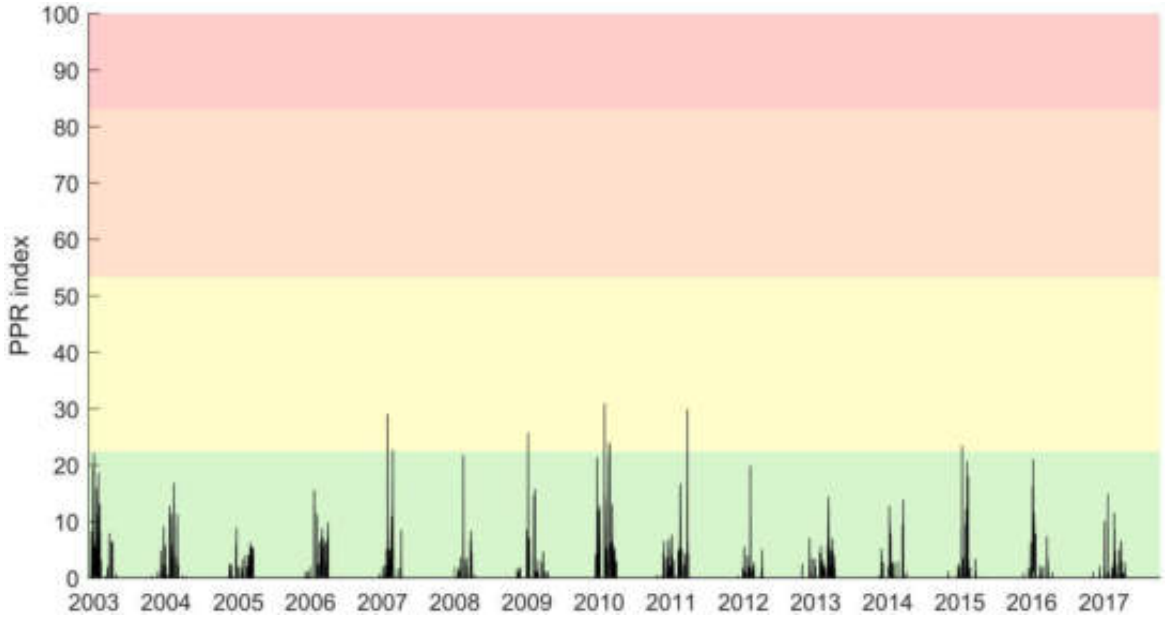


Figure 6-34 PPR index based on wind and temperature from the meteorological station at Bø (2002 - 2017). The color-codes represents the icing classes from «Light» (green) to «Extreme» (red)

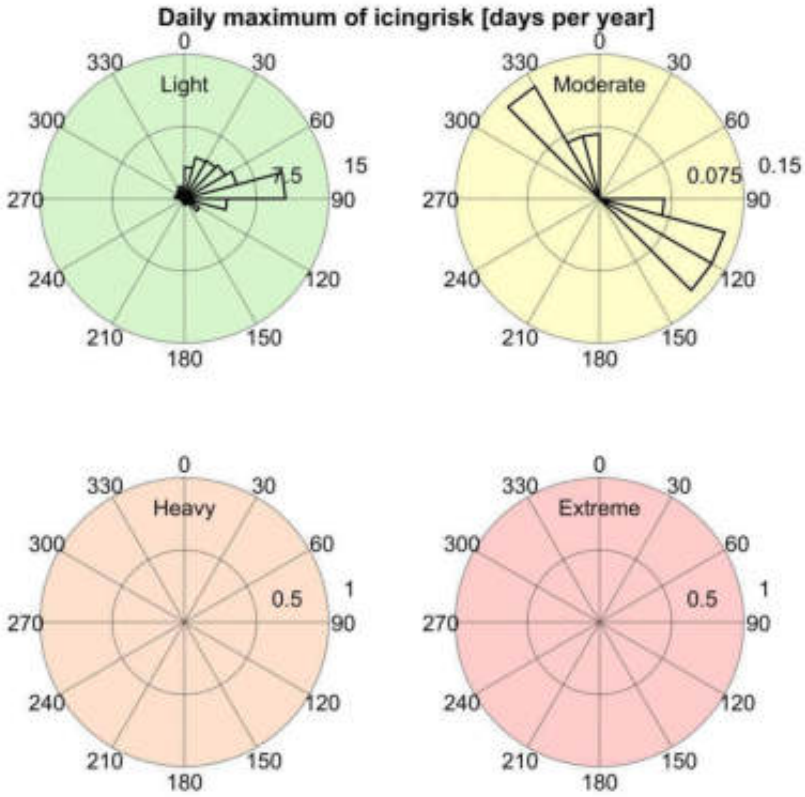


Figure 6-35 Wind directions giving sea spray icing at Havfarm 1 site. Wind and temperature are measured at the meteorological station at Bø (2002 - 2017). The figure shows the average number of days per year with maximum icing risk for the different icing classes

6.6.3 Sea ice formation and drift ice

Sea ice formation based on freezing degree days yields a maximum ice thickness of 25 cm for the period between 2002 and 2017.

The Havfarm 1 site is located 3 km from land. Low wind speeds (less than 4 m/s) and cold temperatures (below -2°C) that could facilitate sea ice formation and occurred 3.7 % of the time from 2002 to 2017. Results of operational combined sea (Table 6-30 in Chapter 6.3.1.3) show that there are waves with a significant wave height of more than 0.5 m 73 % of the time during winter.

These results indicate that the risk of sea ice formation at Havfarm 1 is low. The risk of drift ice will also be small due to the location being far from sources of fresh water runoff and protected bays were ice formation could take place. Employees at local fish farms (personal communication with Nordlaks) support the conclusion.

7 Reference

Akvaplan Niva, 2017: Resultatrapport, met-ocean data fra bølgebøye, lokalitet Ytre Hadseløya (Havfarm 1), Hadsel kommune, Nordland 2017. Rapport: 8042-03

Andersen, O. J. and Løvseth, J. (2006), The Frøya database and boundary layer wind description, Marine Structures, Vol. 19, pp. 173-19

BS6349-1: 2000: Maritime Structures: Part 1: Code of Practice for General Criteria

Codiga, Daniel L. 2011. Unified Tidal Analysis and Prediction Using the UTide Matlab Functions. Graduate School of Oceanography, University of Rhode Island Narragansett, RI. ftp://po.gso.uri.edu/pub/downloads/codiga/pubs/2011Codiga-UTide-Report.pdf

DNVGL-RP-C205 (2017). Environmental conditions and environmental loads. Recommended practice. Edition August 2017.

eKlima (eklima.no): Meteorologisk data fra Meteorologisk Institutt

Forristall, George Z. 2000. "Wave Crest Distribution: Observations and Second-Order Theory. Shell E&P Technology, Huston Texas

Forristall, George Z. 2004. "On the Use of Directional Wave Criteria". Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering 130 (5):272-275.

Fugro, 2017: Site Survey Nordlaks Havfarm Hadselfjord, Fugro Report No.: 131927.V00, 05 May 2017

Haver (2002): On the prediction of extreme wave crest heights, 7TH INTERNATIONAL WORKSHOP ON WAVE HINDCASTING AND FORECASTING

ISO 19901-1:2015: Petroleum and natural gas industries -- Specific requirements for offshore structures -- Part 1: Metocean design and operating considerations

Kystkartverket (2007): Dybdegrunnlag fra Statens kartverk sjø. Gjengitt med tillatelse 571/07

Lambert, T., Grue, A. 2012 'The Matrix Time Series method for MCP, Proceedings of the WINDPOWER 2012 Conference, Atlanta, Georgia, USA

Leenknecht et al. (1992): Automated Coastal Engineering System – Technical Reference, Chapter I. Windspeed Adjustment and Wave Growth. Coastal Engineering Research Center, Department of the Army Waterways Experiment Station, Corps of Engineers

Mathisen and Bitner-Gregersen (1990): Joint distribution for significant wave height and wave zero-up-crossing period. Applied Ocean Research, 1990, Vol. 12, No. 2

MC (2015): Ising og isingsestimater. Multiconsult, Internal note

Multiconsult, 2017: 71347-RIMT-RAP-001 Metocean report – Havfarm 1

NORSOK N-003 (2017): Actions and action effects

Nortek, 2005: "Aquadopp Current Profiler, User Guide"

NS-EN 1991-1-4:2005/NA:2009 Eurokode 1: Laster på konstruksjoner - Del 1-4: Allmenne laster – Vindlaster

NS 9415 2009: "NS 9415 - Flytende oppdrettsanlegg: Krav til lokalitetsundersøkelse, risikoanalyse, utforming, dimensjonering, utførelse, montering og drift", Norsk Standard

Ross, S.M., 2010. «Introduction to Probability Models», 10th edition, Elsevier, 2010

sehavnivå.no: Kartverkets webpage regarding sea water level

Smith, Resio, and Zundel (1999) Instruction Report CHL-99-1, STWAVE: Steady-State Spectral Wave Model, Report 1, User's Manual for STWAVE Version 2.0, WES, U.S. Army Corps of Engineers

SWAN (2015): Technical documentation – SWAN Cycle III version 41.01A, Delft University of Technology

Appendix A Wind data: Meteorological station in Bø vs. local observations from buoy

Wind data from the meteorological station of Bø i Vesterålen III is compared with local observations from the Havfarm 1 buoy (see Figure 7-1 and Figure 7-2). The position of the meteorological station and the buoy, as well as description of the datasets is given in Table 4-1. The local observations from the Havfarm 1 buoy cover less than a year, a period too short for the dataset being used directly for operational statistics. However, the observations can be used for estimating representativeness of the longer time series from the meteorological station in Bø for the Havfarm 1 site.

The directional distribution of wind at Bø and the local observations at the Havfarm 1 buoy are very similar. Wind speeds measured at Bø are somewhat higher than those measured with the buoy (up to 10 m/s). The wind vane is mounted on the buoy at 2.5 m height while measurements from Bø are taken at 18 m above sea level (10 m above ground). The wind speeds from buoy measurements are corrected to 18 m height assuming a logarithmic wind profile and roughness length of 0.0001 m over sea. When the difference in height of the measurement is taken in to consideration, there is a good agreement between the wind speeds from the buoy and the meteorological station (Figure 7-2).

The wind time series from the meteorological station in Bø is found to be representative for the Havfarm 1 site based on the good agreement in both wind direction and height-corrected wind speeds between the buoy measurements and the meteorological station. Wind time series from the meteorological station in Bø is thus used for extracting operational statistics for the Havfarm 1 site.

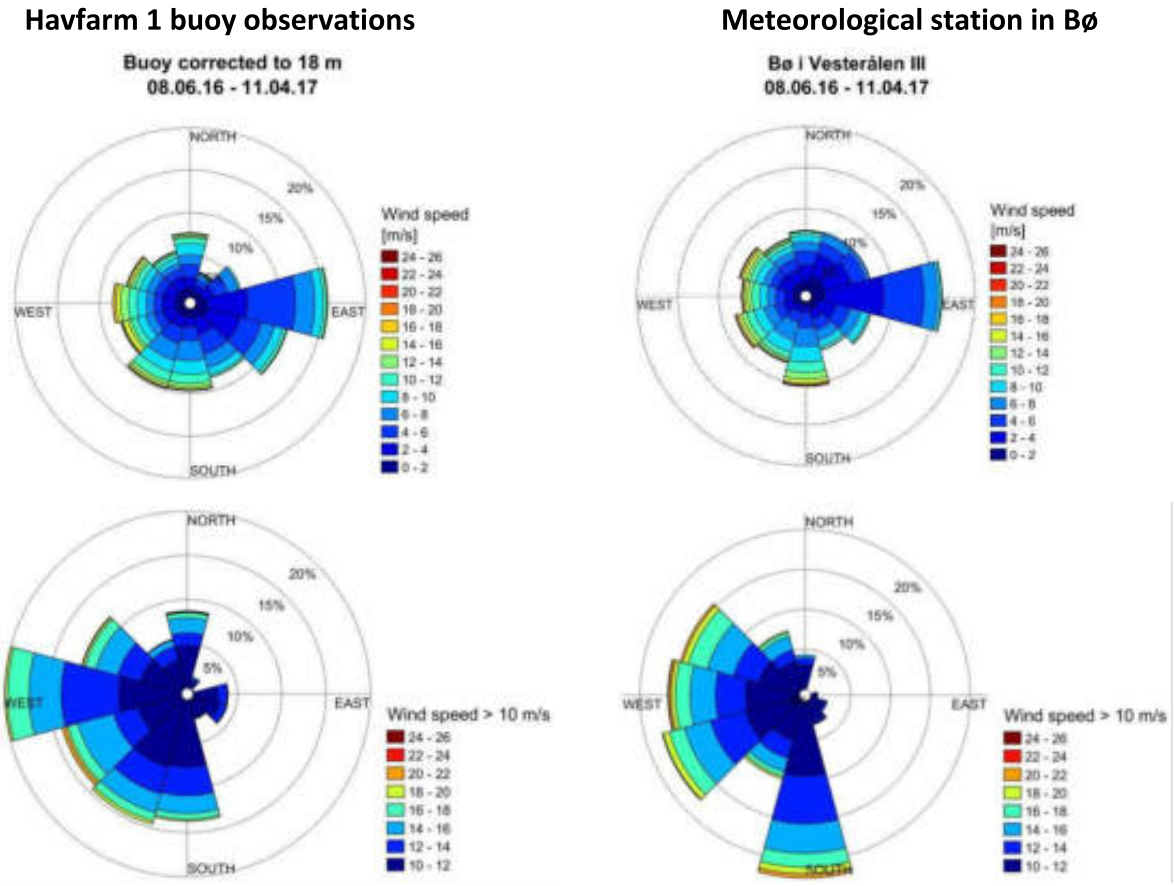


Figure 7-1 Wind roses for the Havfarm 1 buoy (left) and the meteorological station in Bø (right) for the overlapping measurement period. Buoy wind speeds are corrected to 18 m height. Lower figures are for wind speeds above 10 m/s

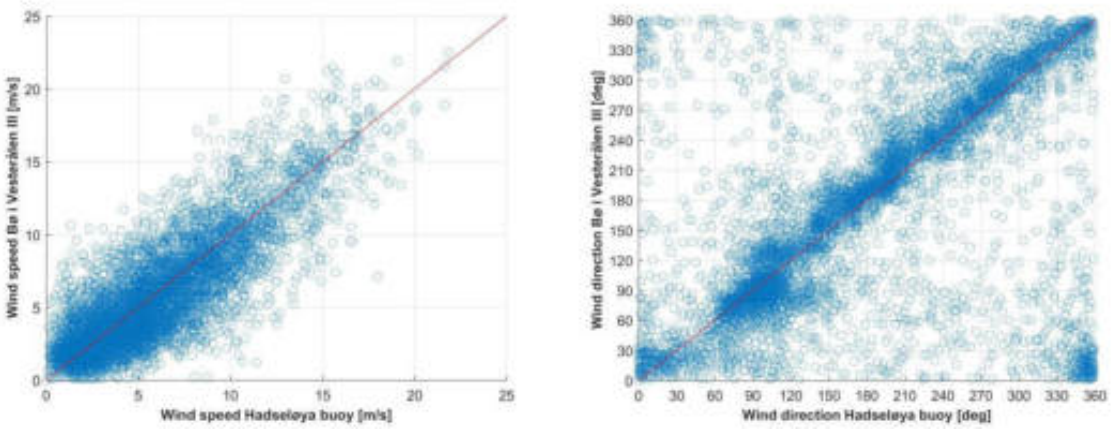


Figure 7-2 Comparison of wind speed and direction measured in Bø and the Havfarm 1 buoy (Hadseløya buoy). Buoy wind speeds are corrected to 18 m height

Appendix B Equations for extreme value distributions

Extreme value distributions of ocean currents and temperature are based on Weibull 3P and the least square method (Mathisen and Bitner-Gregersen, 1990), while extreme significant wave heights are based on a Gumbel distribution.

The Weibull 3P probability density function is given as

$$F(x) = \frac{b}{a}\left(\frac{x-c}{a}\right)^{b-1} exp\left(-\left(\frac{x-c}{a}\right)^{b}\right)$$

where a is the scale parameter, b is the shape parameter and c is the location parameter.

The Gumbel probability density function is given as

$$F\,(x) = \frac{1}{\beta}\, exp^{-(\frac{x-\mu}{\beta})}\, exp^{-exp^{-(\frac{x-\mu}{\beta})}}$$

where β is the scale parameter and μ is the location parameter.

Appendix C Current measurements

C.1 Current data quality control

A quality control of current data (time period, position and averaging period are given in Table 4-1 in Chapter 4) measured at Havfarm 1 site is conducted based on the recommendations of the producer of the Aquadopp profiler, Nortek. The general recommendations for Aquadopp profiler are as follows:

- pitch and roll less than 30°
- signal strength larger than 7 counts above the noise floor

In addition to checking the above quality criteria, outliers are removed from the data. The current direction is not corrected for magnetic deviation and all directions are referred to magnetic north. The compass was calibrated before deployment. Quality parameters (pitch, roll, signal strength, and depth) are given in Figure 7-3.

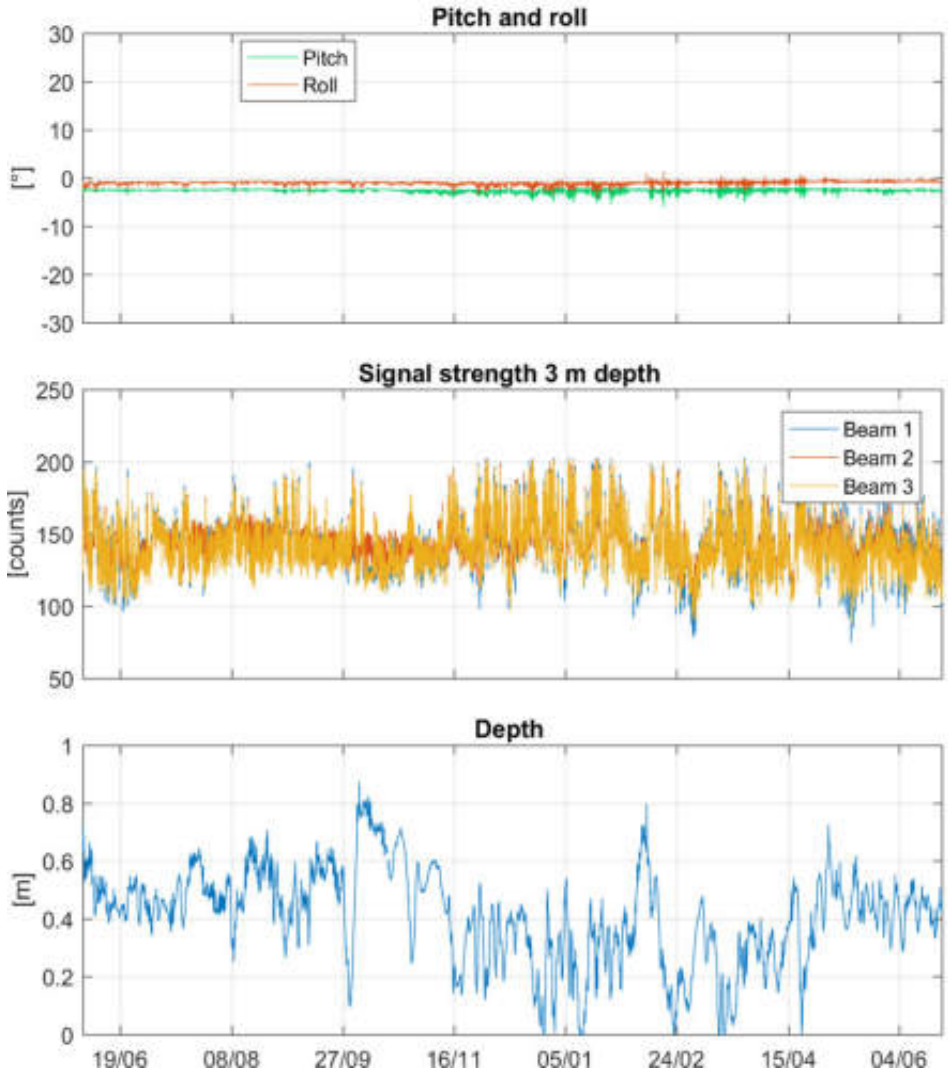


Figure 7-3 Quality control parameters of Aquadopp instrument after quality control

C.2 Data removed from reported time series

```
Removed 6 data points due instrument tilt:
17-Oct-2016 07:20:12 to 17-Oct-2016 08:10:12
Numbers of NaN in reported time series: 6
Noise level set to 16 counts (measured in air before deployment)
24  points are removed from the cell at 33 m depth due to low signal strength
80  points are removed from the cell at 35 m depth due to low signal strength
169 points are removed from the cell at 37 m depth due to low signal strength
290 points are removed from the cell at 39 m depth due to low signal strength
451 points are removed from the cell at 41 m depth due to low signal strength
568 points are removed from the cell at 43 m depth due to low signal strength

Outliers - Removed 4 data points from all reported depths:
02-Jun-2016 08:00:12, 10-Feb-2017 12:10:12, 10-Feb-2017 12:20:12, 10-Feb-
2017 12:30:12

Removed data points from 50 m depth:
1316 points due to low signal strength

3 outliers from 50 m depth:
30-Dec-2016 09:40:12, 30-Dec-2016 12:30:12, 10-Feb-2017 12:10:12.

Removed data points outside the interval 02-Jun-2016 08:10:12 - 23-Jun-2017
06:40:12 due to low quality data and before and after deployment of
instrument.
```

C.3 Test and Specifications of Aquadopp Profiler - AQD 11470

Table 7-1 Instrument specifications

	Aquadopp Profiler
Horizontal accuracy	±0.5 cm/s, ±1%
Accuracy direction	±2°
Accuracy temperature	±0.1°

Table 7-2 Test and specification

	Date	Performed by
Service/test	24.11.2008	Nortek
Noise floor (measurements in air)	31.10.2017	Akvaplan Niva AS

C.4 Measured and extreme current data at 5 m and 15 m according to NS 9415

Current at the Havfarm 1 site is measured at 5 m and 15 m as required in NS 9415. The current is measured over a period of 385 days from 02.06.2016 through 23.06.2017. Further information about instrumentation and measurements is given Chapter 5.2.1 and in Akvaplan Niva (2017). The measurements are performed according to NS 9415 and the data is quality controlled following recommendations from the instrument producer Nortek (Appendix C.1).

The average current speed at 5 m and 15 m depth is 9 cm/s, while the maximum current speed equals 40 cm/s for both depths (Figure 7-4 and Table 7-3).

The water exchange for 5 m and 15 m depth is shown in Figure 7-5 and Table 7-4. A progressive vector diagram is shown in Figure 7-6 and the current directional distribution in Figure 7-7. For a description of water exchange and progressive vector diagram see Chapter 6.2.1.

The main current directions at the Havfarm 1 site at 5 m and 15 m depth are southeast and northwest. The largest water exchange is towards northwest at 5 m and towards southeast at 15 m depth. Statistical overview of the current data is given in Table 7-3, Table 7-5 and Table 7-6.

A detailed description of tidal current, wind induced current, coastal current and run off at the Havfarm 1 site is given in Chapter 6.2.1.

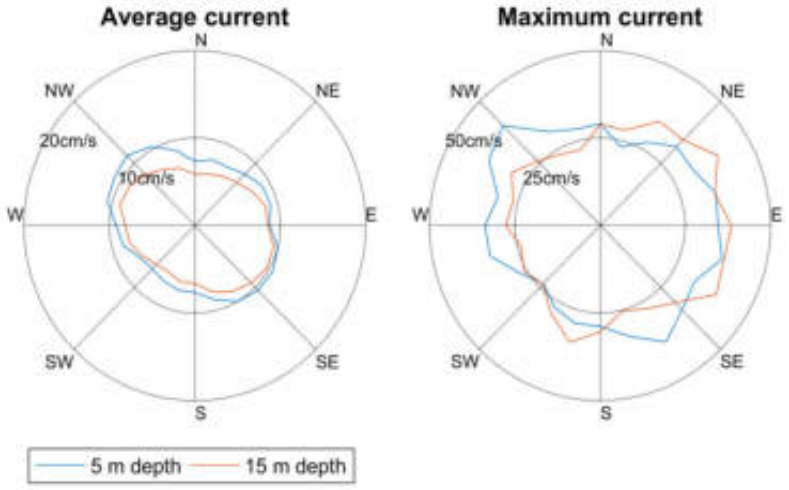


Figure 7-4 Average and maximum current for different directions (15° sectors) for 5 m and 15 m depth

Table 7-3 Statistical overview of the current data from the Havfarm 1 site at 5 m and 15 m depth

Ocean current (2016-2017)	5 m depth	15 m depth
Average [cm/s]	9	8
Median [cm/s]	9	7
Maximum [cm/s]	40	40
Standard deviation [cm/s]	5	5
50 % percentile [cm/s]	9	7
90 % percentile [cm/s]	17	14
95 % percentile [cm/s]	20	17
99 % percentile [cm/s]	25	23

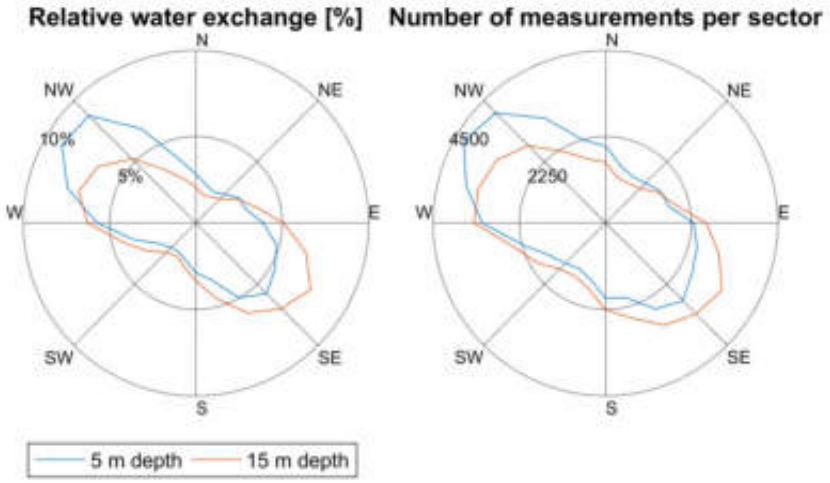


Figure 7-5 Relative water exchange and number of measurements for each 15° sector

Table 7-4 Water exchange [m^3/m^2] during the measured period for 8 sectors (5 m and 15 m depth)

Depth	Direction (towards)								
	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°	All directions
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	
	Water exchange [m^3/m^2]								
5 m	278158	226911	364829	499926	265702	198097	533136	**747796**	3114554
15 m	169340	172339	406696	**552053**	279814	210284	470848	408763	2670135

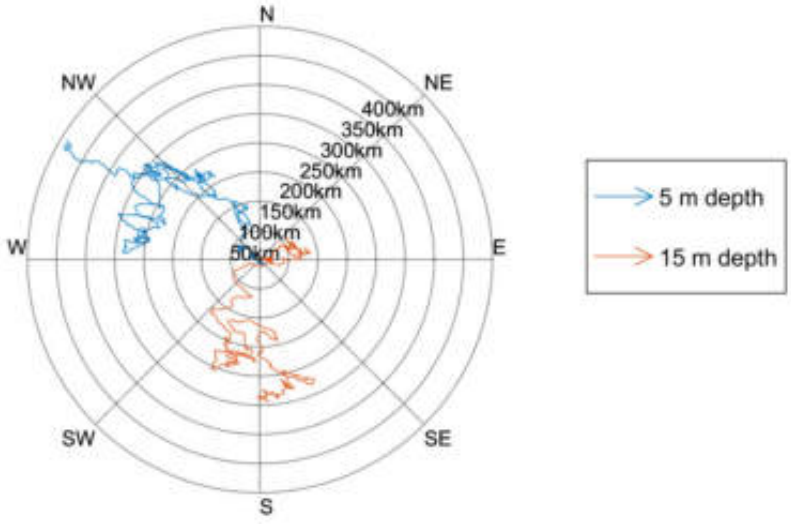


Figure 7-6 Progressive vector diagram for the measured period for 5 m and 15 m depth

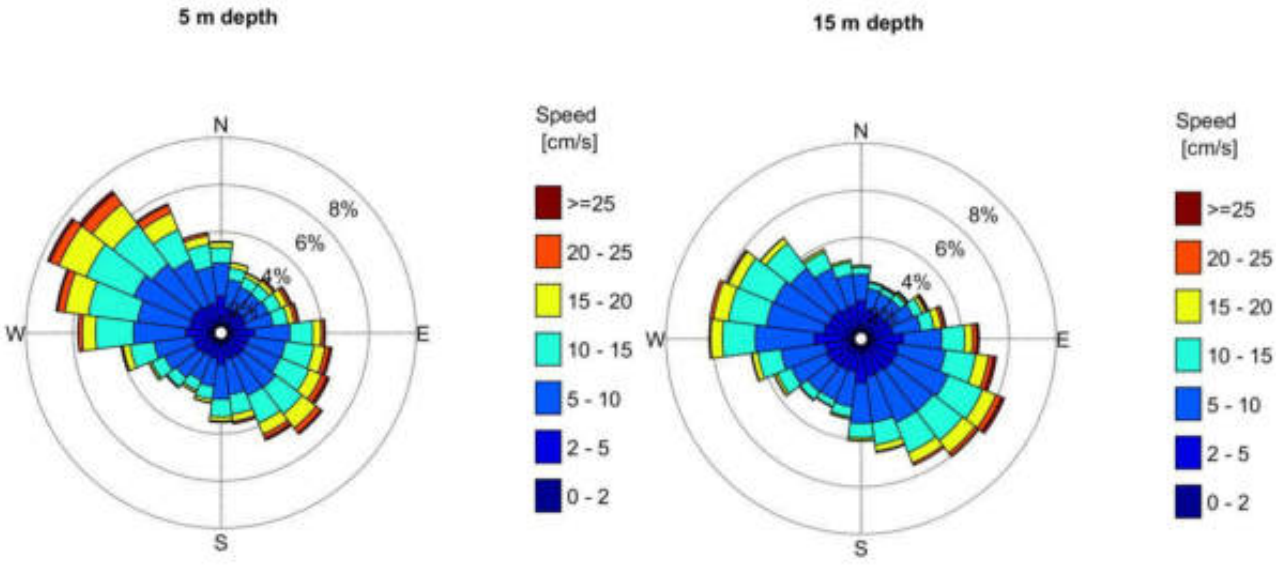


Figure 7-7 Direction distribution (direction towards) for 5 m and 15 m depth

Table 7-5 Current speed and direction matrix for 5 m depth. Table shows the number of measurements for each sector (section centre given in table) and speed interval together with water exchange for the measured period per direction sector

	Current speed [cm/s]											Water exchange	
	0-1	1-5	5-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-75	75-100	>100	Sum%	m^3/m^2	%
0°	90	624	779	489	24						4	87962	3
15°	30	439	648	400	12						3	71302	2
30°	34	410	577	349	23						3	64123	2
45°	20	455	532	396	63	1					3	72909	2
60°	23	452	586	483	98	9					3	89879	3
75°	35	403	646	499	114	2					3	93556	3
90°	56	580	847	729	93	6					4	121302	4
105°	25	478	872	945	155	9					4	149971	5
120°	16	462	880	1055	187	15					5	164773	5
135°	28	486	960	1202	181	5					5	179742	6
150°	29	457	963	978	134	24					5	155411	5
165°	29	443	842	637	61	2					4	105772	3
180°	66	534	809	515	32						4	89792	3
195°	21	441	669	384	15						3	70138	2
210°	26	416	615	312	11						2	60671	2
225°	25	448	707	307	3						3	62726	2
240°	39	492	757	384	16						3	74699	2
255°	21	491	927	733	47	4					4	115882	4
270°	72	607	1234	1204	100	3					6	178045	6
285°	17	570	1246	1720	208	3					7	239209	8
300°	33	585	1454	1915	271	16					8	279173	9
315°	31	571	1294	1774	369	12	1				7	273241	9
330°	29	518	1150	1212	230	4					6	195381	6
345°	26	532	854	737	82						4	118894	4
Sum%	1	21	38	35	5	0	0						

Table 7-6 Current speed and current direction matrix at 15 m depth. Table shows the number of measurements for each sector (section centre given in table) and speed interval together with water exchange for the measured period per direction sector

	Current speed [cm/s]											Water exchange	
	0-1	1-5	5-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-75	75-100	>100	Sum%	m^3/m^2	%
0°	79	671	617	210	4						3	55212	2
15°	42	522	476	164	8						2	44171	2
30°	37	493	474	161	24	2					2	46169	2
45°	29	510	472	213	40	2					2	52643	2
60°	38	557	591	315	70	8					3	73526	3
75°	36	569	661	489	103	4					3	95582	4
90°	74	775	906	725	146	10					5	135395	5
105°	46	684	1127	1018	163	29					6	175719	7
120°	28	723	1322	1221	198	20					6	204706	8
135°	27	722	1246	1242	107	5					6	186798	7
150°	35	676	1272	1030	61						6	160549	6
165°	46	701	1086	689	32						5	120247	5
180°	74	815	950	403	16	1					4	89492	3
195°	31	613	822	282	10	2					3	70074	3
210°	35	609	764	186	4						3	58867	2
225°	33	645	762	245	5						3	64189	2
240°	49	665	909	427	17						4	87228	3
255°	40	654	1058	679	25						4	115607	4
270°	86	865	1389	1052	37						6	167602	6
285°	37	699	1363	1259	83						6	187639	7
300°	36	650	1375	1164	52	1					6	174215	7
315°	30	666	1248	891	15						5	139986	5
330°	34	588	1018	487	7						4	94561	4
345°	39	608	724	347	4						3	69957	3
Sum%	2	28	41	27	2	0							

An extreme value analysis based on Weibull 3P and the least square method for binned data is conducted on the current data measured at 5 m and 15 m depth. Description of the method is given in Chapter 5.2.2. Return period diagrams with the fitted 3-parameter Weibull distribution and parameters of the fitted distribution can be found in Appendix C.6 and Appendix C.7.

Figure 7-8, Table 7-7 and Table 7-8 gives the extreme values at 5 m and 15 m depth. Maximum observed current speed and its corresponding direction is also given.

The strongest extreme currents are toward northeast to southeast. The strongest current at 5 m and 15 m with the equivalent 10 year, 50 year, 100 year, and 10 000 year return period equals 49 cm/s, 54 cm/s, 56 cm/s, and 67 cm/s, respectively.

It is important to notice that calculating the equivalent return period of 10 000 year of current speed based on 1 year of measurements will give uncertain values.

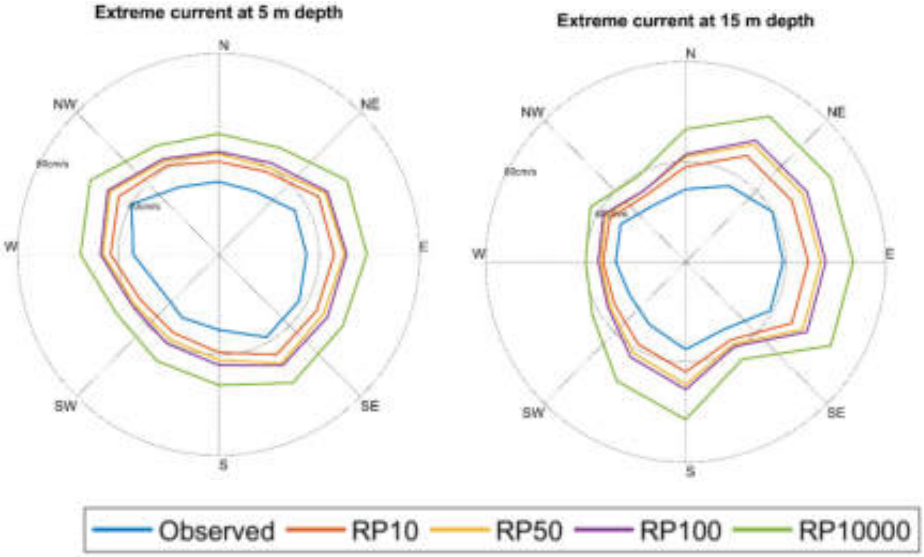


Figure 7-8 Largest observed current speed, together with the current speed with the equivalent 10 year, 50 year, 100 year, and 10 000 year return period for 12 direction sectors at 5 m and 15 m depth

Table 7-7 Largest observed current speed at 5 m depth, together with the current speed with the equivalent 10 year, 50 year, 100 year, and 10 000 year return period for 12 direction sectors, largest number for each row is in bold

		Direction sectors												
		0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°	All dir.
Obser-vations	Speed [cm/s]	29	29	35	35	37	38	29	29	27	34	**40**	31	40
	Direction	355°	44°	70°	99°	105°	148°	166°	199°	242°	268°	313°	319°	313°
Extreme current speed [cm/s]	RP10	37	38	46	**46**	45	**46**	39	36	36	43	**46**	41	46
	RP50	40	40	49	**50**	48	**50**	42	39	39	46	**50**	43	50
	RP100	41	42	50	**51**	50	**51**	44	41	40	47	**51**	44	51
	RP10000	48	49	59	**59**	57	**59**	52	49	47	55	**59**	50	59

Table 7-8 Largest observed current speed at 15 m depth, together with the current speed with the equivalent 10 year, 50 year, 100 year, and 10 000 year return period for 12 direction sectors, largest number for each row is in bold

		Direction sectors												
		0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°	All dir.
Obser-vations	Speed [cm/s]	29	34	**40**	39	39	31	34	29	26	28	30	26	40
	Direction	355°	39°	65°	97°	113°	141°	192°	200°	242°	277°	297°	317°	65°
Extreme current speed [cm/s]	RP10	38	**49**	**49**	**49**	**49**	36	44	38	33	33	35	31	49
	RP50	42	**54**	**54**	**54**	**54**	38	49	42	35	34	37	33	54
	RP100	43	**56**	**56**	**56**	**56**	39	51	44	36	35	38	33	56
	RP10000	53	**67**	**67**	**67**	**67**	45	63	55	43	40	44	39	67

C.5 Measured and extreme current at 50 m depth

Current at 50 m depth is reported for load calculation on fish nets and the bottom weights.

The average current speed at 50 m depth is 6 cm/s, while the maximum current speed equals 32 cm/s (Figure 7-9 and Table 7-9).

The water exchange for 50 m is shown in Figure 7-10 and Table 7-10.

A progressive vector diagram is shown in Figure 7-11 and the current directional distribution in Figure 7-12. For a description of water exchange and progressive vector diagram see Chapter 6.2.1.

The main current directions at the Havfarm 1 site at 50 m depth are towards southeast and west. The largest water exchange is towards southeast. Statistical overview of the current data is given in Table 7-9.

A detailed description of tidal current, wind induced current, coastal current and run off at the Havfarm 1 site is given in Chapter 6.2.1.

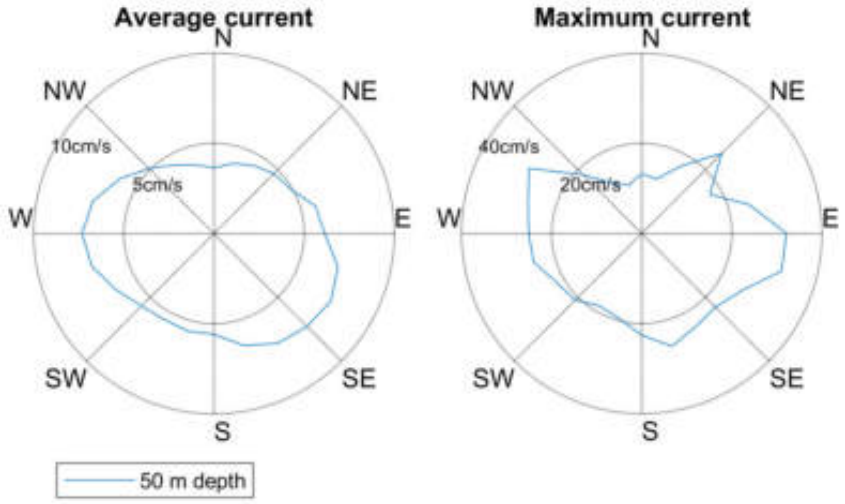


Figure 7-9 Average and maximum current for different directions (15° sectors) for 50 m depth

Table 7-9 Statistical overview of the current data from the Havfarm 1 site at 50 m depth

Ocean current (2016-2017)	50 m depth
Average [cm/s]	6
Median [cm/s]	6
Maximum [cm/s]	32
Standard deviation [cm/s]	4
50 % percentile [cm/s]	6
90 % percentile [cm/s]	11
95 % percentile [cm/s]	14
99 % percentile [cm/s]	18

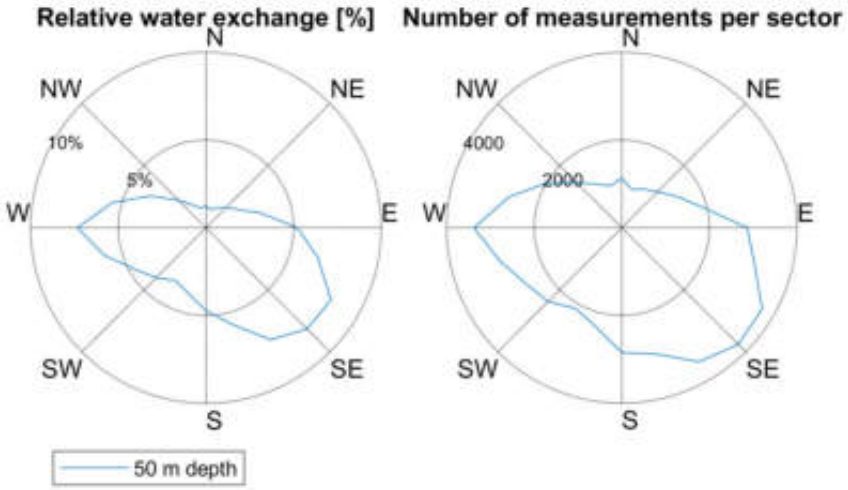


Figure 7-10 Relative water exchange and number of measurements for each 15° sector

Table 7-10 Water exchange [m^3/m^2] during the measured period for 8 sectors (50 m depth)

	Direction (towards)								
	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°	All directions
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	
Depth	Water exchange [m^3/m^2]								
50 m	69854	101712	304446	**479651**	288487	246473	381406	148086	2020116

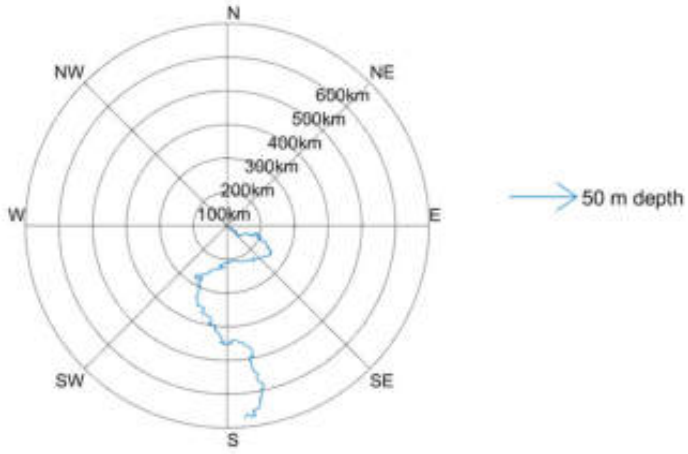


Figure 7-11 Progressive vector diagram for the measured period for 50 m depth

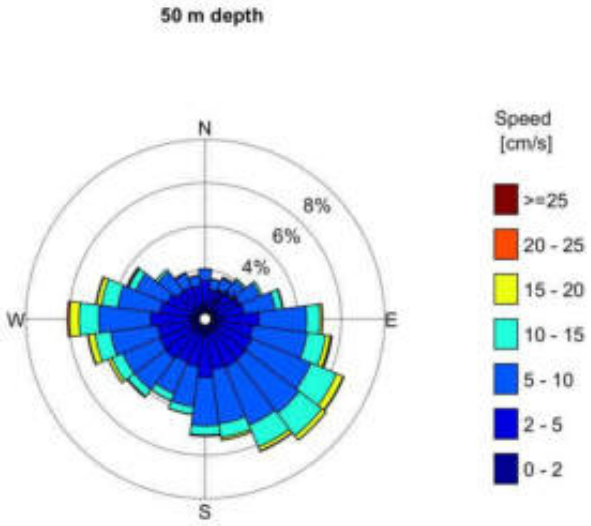


Figure 7-12 Direction distribution (direction towards) for 50m depth

An extreme value analysis based on Weibull 3P and the least square method fir binned data is conducted on the current data measured at 50 m depth. Description of the method is given in Chapter 5.2.2. Return period diagrams with the fitted 3-parameter Weibull distribution and parameters of the fitted distribution can be found in Appendix C.6 and Appendix C.7.

Figure 7-13 and Table 7-11 gives the extreme values at 50 m depth. Maximum observed current speed and its corresponding direction is also given.

The strongest extreme currents are toward east and southeast. The strongest current at 50 m with the equivalent 10 year, 50 year, 100 year, and 10 000 year return period equals 37 cm/s, 40 cm/s, 42 cm/s, and 50 cm/s, respectively.

It is important to notice that calculating the equivalent return period of 10 000 year of current speed based on 1 year of measurements will give uncertain values.

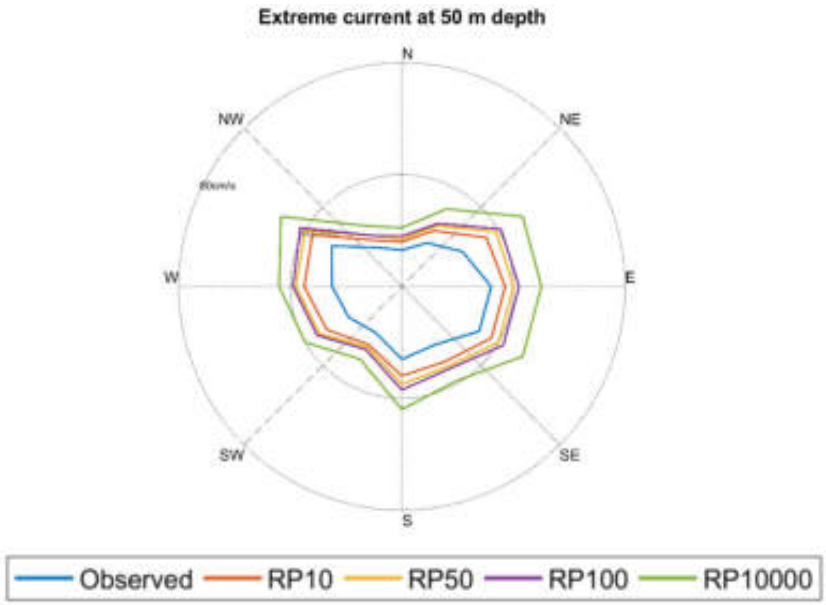


Figure 7-13 Largest observed current speed, together with the current speed with the equivalent 10 year, 50 year, 100 year, and 10 000 year return period for 12 direction sectors at 50 m depth

Table 7-11 Largest observed current speed at 50 m depth, together with the current speed with the equivalent 10 year, 50 year, 100 year, and 10 000 year return period for 12 direction sectors, largest number for each row is in bold

		Direction sectors												
		0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°	All dir.
Obser-vations	Speed [cm/s]	13	18	25	**32**	**32**	24	26	19	22	25	29	16	32
	Direction	2	43	52	97	109	155	167	219	234	265	299	316	97/109
Extreme current speed [cm/s]	RP10	16	23	35	**37**	**37**	31	32	24	31	35	37	19	37
	RP50	17	25	39	**40**	**40**	33	35	25	34	38	40	21	40
	RP100	18	26	41	**42**	**42**	34	37	26	35	39	42	21	42
	RP10000	21	32	**50**	**50**	**50**	39	44	30	40	44	50	25	50

C.6 Return period diagrams for 5 m, 9 m, 15 m, 25 m, and 50 m depth

The 3-parameter-Weibull distribution with the least square method for binned data provides the best fit for the concerned data set (see Chapter 5.2.2). The return period diagrams with the fitted 3-parameter Weibull distributions are shown for 12 directions at 5 m, 9 m, 15 m, 25 m, and 50 m depth in Figure 7-14 to Figure 7-18.

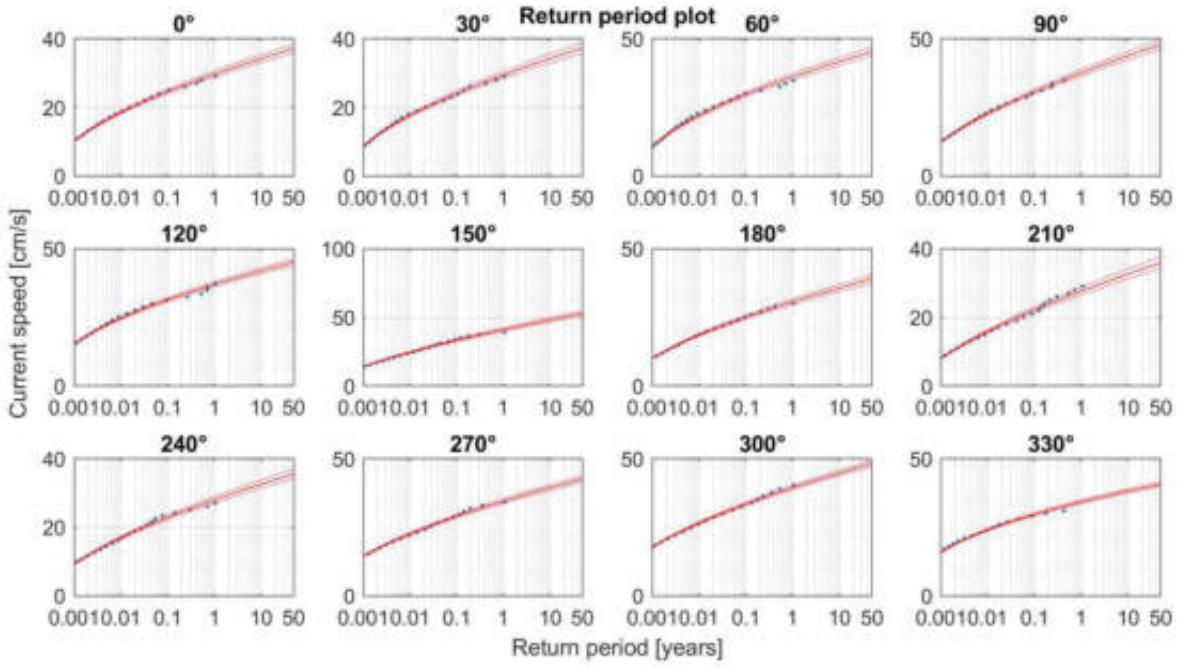


Figure 7-14 Return period diagram for 12 directions at 5 m depth: observations are denoted with blue dots, red line shows fitted Weibull 3P distribution

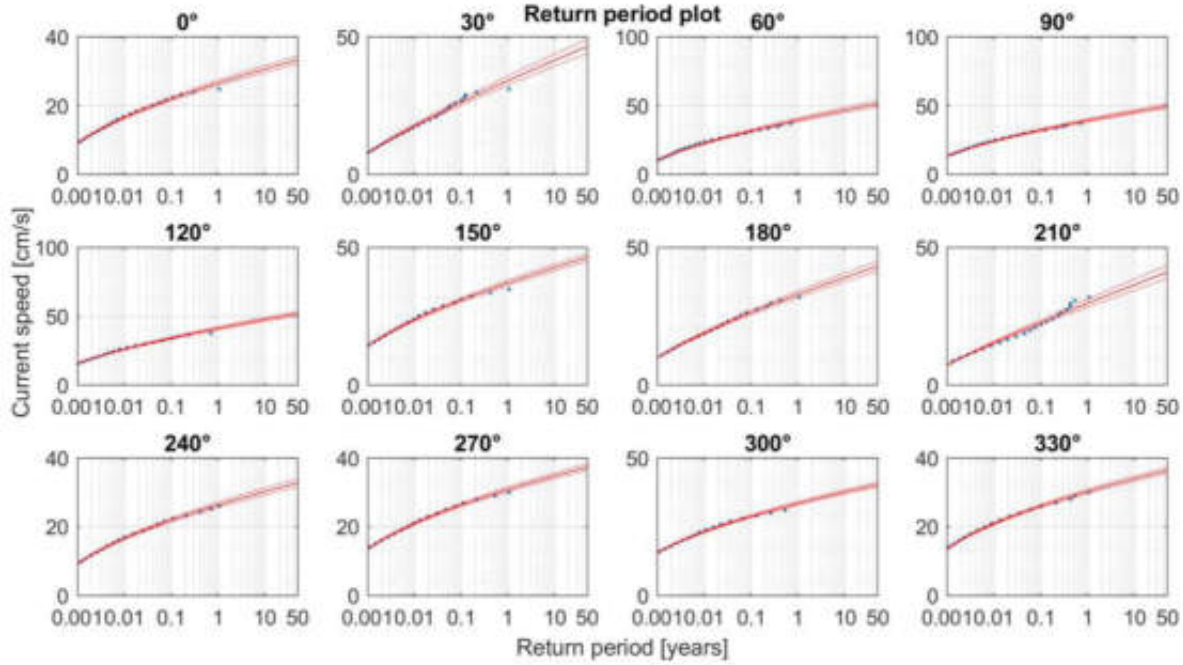


Figure 7-15 Return period diagram for 12 directions at 9 m depth: observations are denoted with blue dots, red line shows fitted Weibull 3P distribution

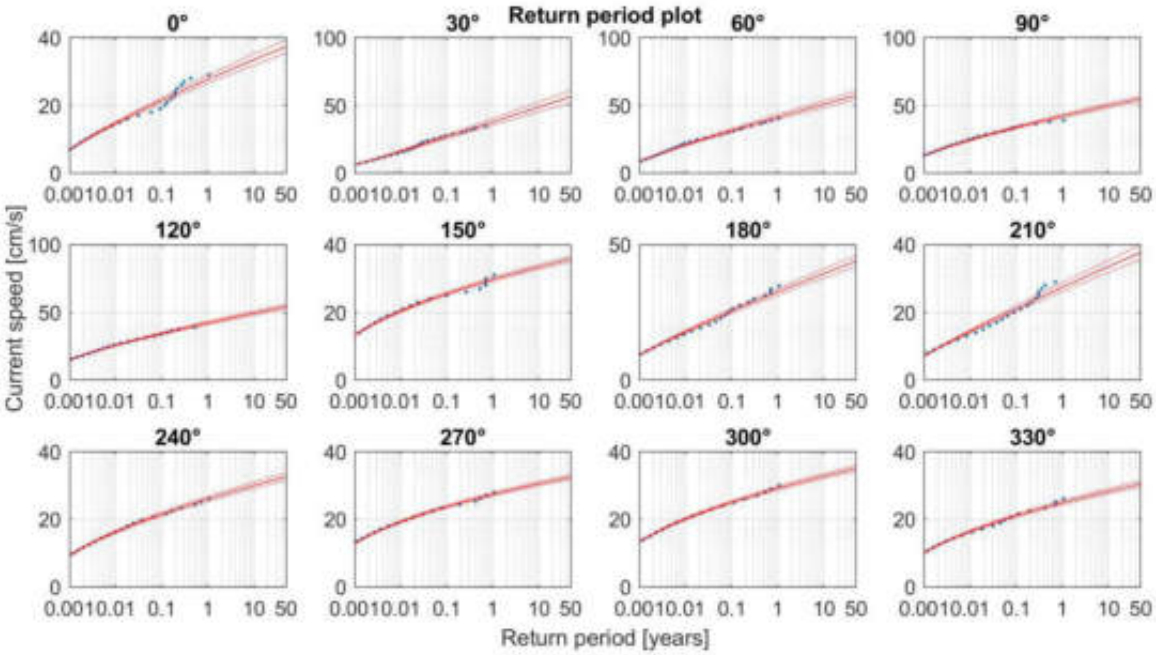


Figure 7-16 Return period diagram for 12 directions at 15 m depth: observations are denoted with blue dots, red line shows fitted Weibull 3P distribution

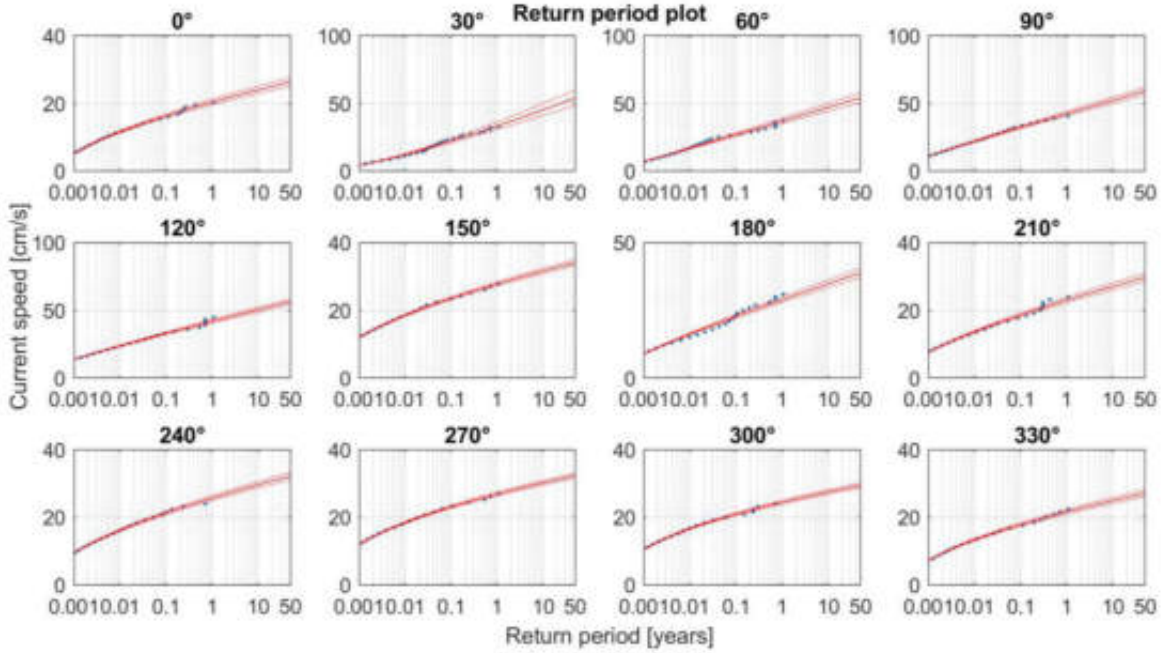


Figure 7-17 Return period diagram for 12 directions at 25 m depth: observations are denoted with blue dots, red line shows fitted Weibull 3P distribution

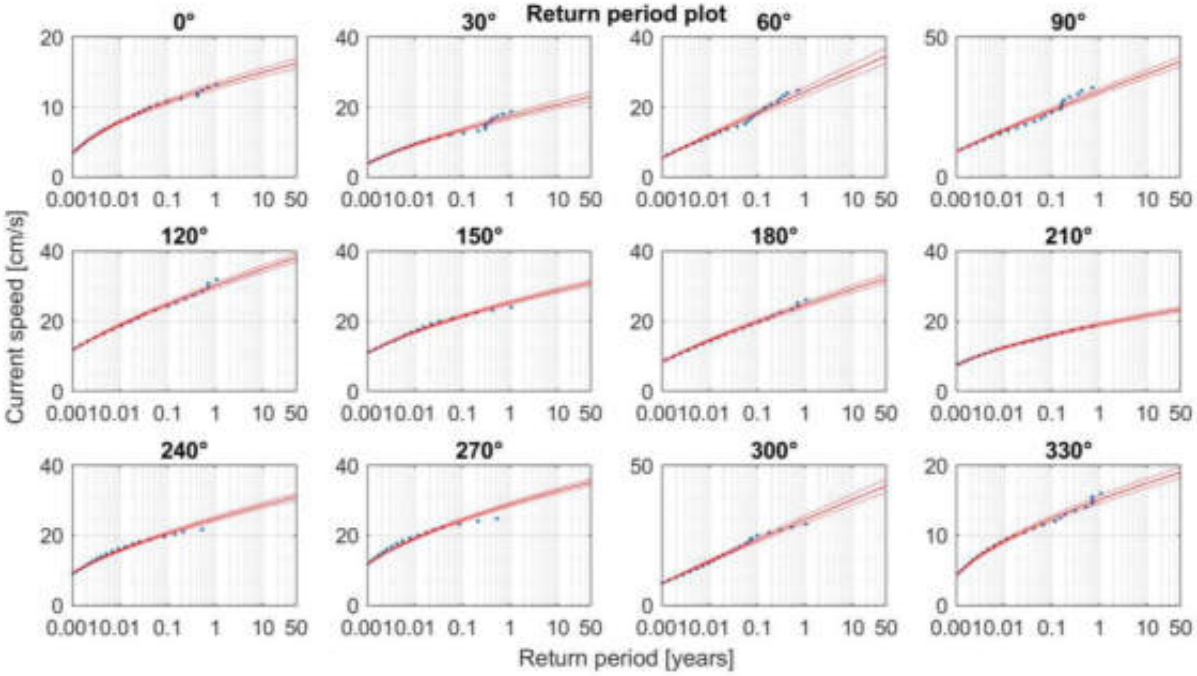


Figure 7-18 Return period diagram for 12 directions at 50 m depth: observations are denoted with blue dots, red line shows fitted Weibull 3P distribution

Examples of other tested fits (GEV and GP) are shown in Figure 7-19 and Figure 7-20.

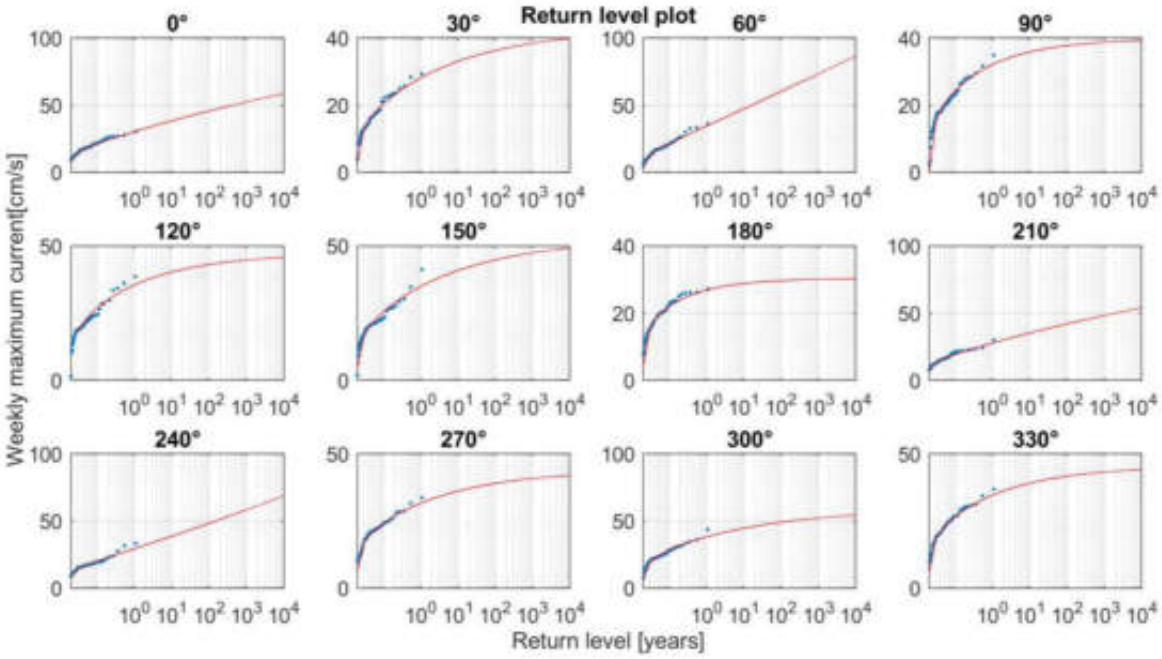


Figure 7-19 Return period diagram for 12 directions at 3 m depth: observations are denoted with blue dots, red line shows fitted generalized extreme value distribution (GEV). The y-axis represent the weekly maximum current speed in cm/s

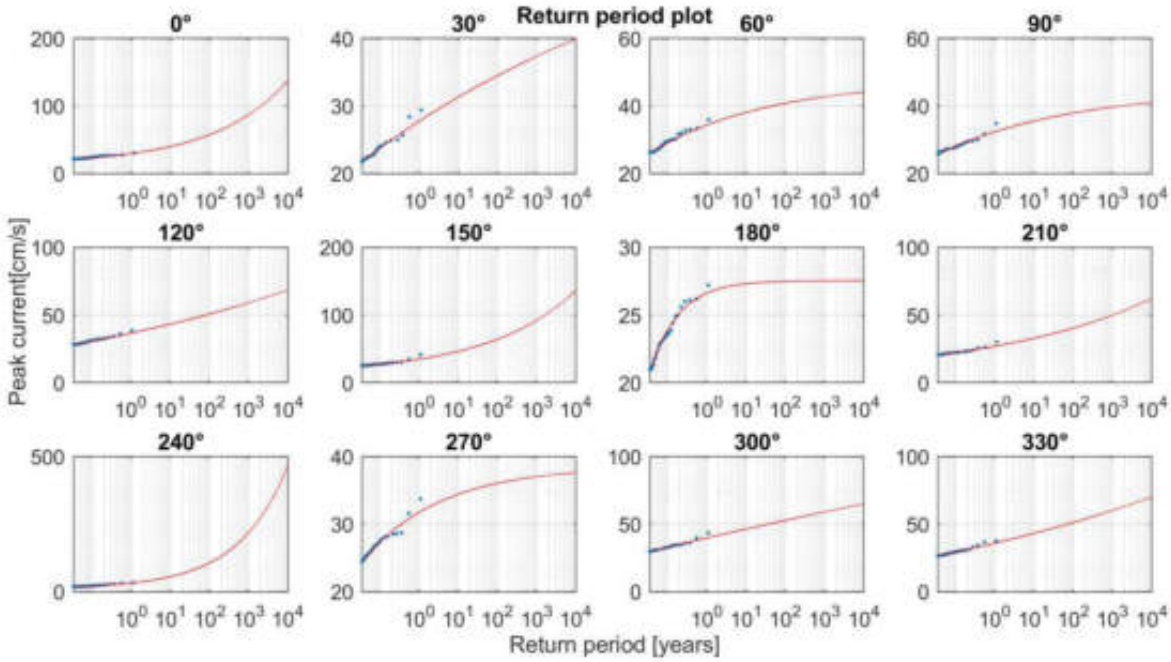


Figure 7-20 Return period diagram for 12 directions at 3 m depth: observations are denoted with blue dots, red line shows fitted General Pareto distribution (GP). The y-axis represent the peak over threshold current speed in cm/s

C.7 Parameters of fitted current distributions

Parameters for the fitted Wiebull 3P distribution of current data with the least square method for binned data are shown in Table 7-12 to Table 7-14. Sector probability is also given for each direction and depth. In cases where omni directional parameters are used instead of directional parameters 100 % probability has to be used (see Chapter 3.3.2 for more information on directional extreme values).

Table 7-12 Scale, shape and location parameter the Weibull 3P distribution, for current at 3 m and 5 m depth. Directional probability is also given. Brackets are given where parameters for all directions are used

Direction sector	Scale parameter	Shape parameter	Location parameter	Probability [%]
3 m depth				
All directions	9.6142	1.6041	1.5849	100
0°	10.4952	1.921	-0.4353	7.32
30°	9.5345	1.8059	0.103	5.48
60°	12.1671	1.7991	-1.0661	6.17
90°	9.9192	1.6631	1.1576	7.52
120°	11.5515	1.8304	0.8782	9.34
150°	9.6142*	1.6041*	1.5849*	8.62 (100)
180°	11.705	2.239	-1.6395	6.29
210°	7.4671	1.5958	1.6333	5.23
240°	5.9074	1.2785	3.1815	6.44
270°	9.9545	1.8413	1.3745	11.03
300°	9.6142*	1.6041*	1.5849*	15.22 (100)
330°	10.7489	1.7379	1.325	11.34
5 m depth				
All directions	10.0757	1.6961	0.4163	100
0°	9.1655	1.7725	-0.3186	6.86
30°	8.7144	1.7042	0.1758	5.05
60°	12.9057	1.8891	-2.7831	5.86
90°	10.0757*	1.6961*	0.4163*	7.88 (100)
120°	12.397	1.9381	-0.4742	9.62
150°	10.0757*	1.6961*	0.4163*	9.15 (100)
180°	7.9695	1.5935	0.885	6.64
210°	6.332	1.4649	1.725	5.04
240°	6.9122	1.5597	1.4868	6.37
270°	9.4874	1.7195	1.1712	11.19
300°	10.0757*	1.6961*	0.4163*	15.01 (100)
330°	14.9512	2.3613	-3.1059	11.34

*omni directional parameters are used

Table 7-13 Scale, shape and location parameter the Weibull 3P distribution, for current at 9 m and 15 m depth. Directional probability is also given. Brackets are given where parameters for all directions are used

Direction sector	Scale parameter	Shape parameter	Location parameter	Probability [%]
9 m depth				
All directions	9.0207	1.5911	0.9586	100
0°	7.7256	1.7196	0.4325	6.53
30°	9.0207*	1.5911*	0.9586*	4.97 (100)
60°	9.0207*	1.5911*	0.9586*	5.89 (100)
90°	9.0207*	1.5911*	0.9586*	8.41 (100)
120°	9.0207*	1.5911*	0.9586*	10.82 (100)
150°	9.0207*	1.5911*	0.9586*	10.15 (100)
180°	6.8717	1.3873	1.6236	7.05
210°	4.4085	1.1446	2.8615	5.25
240°	8.1755	1.8013	0.2906	6.19
270°	10.2099	1.9554	0.1003	10.8
300°	10.6784	1.943	0.6941	13.4
330°	11.0271	2.096	-0.5137	10.53
15 m depth				
All directions	6.7679	1.324	1.9765	100
0°	5.0917	1.2678	1.4917	4.48
30°	6.7679*	1.324*	1.9765*	3.83 (100)
60°	6.7679*	1.324*	1.9765*	5.75 (100)
90°	6.7679*	1.324*	1.9765*	9.89 (100)
120°	6.7679*	1.324*	1.9765*	13.22 (100)
150°	10.8176	2.0753	-0.8694	12.12
180°	5.4412	1.2268	1.9883	9.31
210°	3.9644	1.1392	2.7444	7.08
240°	7.2152	1.6807	0.6325	8.37
270°	11.703	2.3394	-2.1302	11.09
300°	9.6792	1.9874	0.3938	9.03
330°	8.0042	1.8959	0.4068	5.83

*omni directional parameters are used

Table 7-14 Scale, shape and location parameter the Weibull 3P distribution, for current at 25 m and 50 m depth. Directional probability is also given. Brackets are given where parameters for all directions are used

Direction sector	Scale parameter	Shape parameter	Location parameter	Probability [%]
25 m depth				
All directions	4.9228	1.1367	2.6475	100
0°	5.4919	1.5765	0.229	4.48
30°	4.9228*	1.1367*	2.6475*	3.83 (100)
60°	4.9228*	1.1367*	2.6475*	5.75 (100)
90°	4.9228*	1.1367*	2.6475*	9.89 (100)
120°	4.9228*	1.1367*	2.6475*	13.22 (100)
150°	7.9735	1.7767	0.7731	12.12
180°	4.4488	1.199	2.4587	9.31
210°	4.8232	1.4211	1.8191	7.08
240°	6.9371	1.6605	0.7327	8.37
270°	10.2639	2.1312	-1.3802	11.09
300°	9.1244	2.1103	-0.6564	9.03
330°	6.3888	1.7342	0.399	5.83
50 m depth				
All directions	5.5888	1.3819	1.213	100
0°	4.8431	1.9682	-0.5268	3.80
30°	3.7978	1.3933	1.0625	3.67
60°	3.279**	1.0776**	2.0344**	5.38
90°	5.5888*	1.3819*	1.213*	9.93 (100)
120°	5.5888*	1.3819*	1.213*	13.13 (100)
150°	7.476	1.8033	0.3319	13.04
180°	4.6308	1.3387	1.6881	10.03
210°	5.9532	1.8503	0.3397	7.97
240°	7.0243	1.6948	-0.0609	9.72
270°	10.5975	2.008	-2.2695	11.56
300°	5.5888*	1.3819*	1.213*	7.36 (100)
330°	4.7484	1.7853	0.1742	4.42

*omni directional parameters are used

**for 10 000 yrp towards 60° parameters for all direction is used

Appendix D Extreme value analysis of WAM10 hindcast data

Input for calculating extreme values from ocean swell using SWAN is based on an extreme value analysis of the hindcast data from model WAM10, from The Norwegian Meteorological Institute. Hindcast data from 68° 49.200'N 11° 19.800'E is used, see map in Figure 4-2. The WAM10 model covers the time period from 01.09.1957 through 31.05.2017, with 3-hour interval and a resolution on 10 km. The model output gives significant wave height, peak period and direction for wind waves, ocean swell and combined sea. Extreme values are calculated based on combined sea for relevant sectors (12 directional sectors).

The joint distribution of significant wave height and peak period is modelled by the Conditional Modelling Approach (CMA) described in DNV-RP-C205 (2017) and Mathisen and Bitner-Gregersen (1990). The significant wave height is assumed to be Weibull distributed and the parameters of the 3-parameter Weibull distribution are estimated according to Mathisen and Bitner-Gregersen (1990). Equation C-1 gives the joint distribution of significant wave height and peak periods:

$$f_{Tp\,Hs}\left(T_p, H_s;\ \alpha, \beta, \gamma, a_1, a_2, a_3, b_1, b_2, b_3\right) = \frac{1}{T_p\sqrt{2\pi}\,\epsilon_{T_p}(Hs)} exp\left\{-\frac{\left(\ln(T_p)-\xi_x(H_s)\right)^2}{2\epsilon_{T_p}^2(Hs)}\right\} \cdot \frac{\beta(H_s-\gamma)^{\beta-1}}{\alpha^\beta} exp\left\{-\left(\frac{H_s-\gamma}{\alpha}\right)^\beta\right\} \qquad \text{(Eq. C-1)}$$

where $\xi(H_s) = a_1 + a_2 {H_s}^{a_3}$ and $\epsilon(H_s) = b_1 + b_2 \exp(b_3 H_s)$.

The parameters α, β, γ of the marginal Weibull distribution are estimated by nonlinear least square method (Mathisen and Bitner-Gregersen, 1990). For each class of significant wave height, parameters $\xi(H_s), \epsilon(H_s)$ of conditional log-normal distribution of zero-up-crossing period are estimated. Finally, the parameter $a_1, a_2, a_3, b_1, b_2, b_3$ (given in Table 7-15) are found by fitting Equation C-1 to the conditional log-normal parameters, by non-linear least square method.

The Constant probability density approach is used to find the corresponding H_s - T_p contour. Using this method, the extreme value for significant wave height is found for different return periods based on the assumption of a Weibull distributed wave height. The limit of a set of maxima generated from Weibull distributed data is the Gumbel distribution (see Equation C-2). Therefore, annual maximum wave height is expected to be Gumbel distributed. The Gumbel distribution parameters are estimated by the method of moments.

$$F_c(H_s) = exp\left\{-exp\left[-\frac{(H_s-U)}{A}\right]\right\}, \qquad \text{(Eq. C-2)}$$

where A and U are distribution parameters (given in Table 7-16) related to the standard deviation σ = 1.283A and the mean μ= U+0.557A of the Gumbel variable.

The conditional median peak period is found based on the estimated extreme significant wave height. The H_s - T_p contour is found as the contour of constant probability density in the CMA joint model going through the combination of extreme significant wave height and conditional peak period.

As recommended in Norsok-003 (2017) the directional wave height is calculated as the wave height corresponding to an exceedance probability of 0.5 times the number of direction sectors. The equivalent return period of significant wave height for a given directional sector is taken as the minimum of calculated wave height and the omni-directional condition. For omni-directional extremes, no correction of the return period is needed. Use of directional extremes is further explained in Chapter 3.3.2.

An example of the resulting H_s - T_p contour for different return periods is given in Figure 7-21 (offshore waves from westerly direction).

An example of a return level plots of the Gumbel distribution is given in Figure 7-22.

Table 7-15 Parameters fitted for the Weibull 3P distribution

Direction sector	Weibull3P scale parameter (α)	Weibull3P shape/slope parameter (β)	Weibull3P location/threshold parameter (γ)	a1	a2	a3	b1	b2	b3
All dir.	1.9005	1.2032	0.9533	1.2924	0.746	0.2746	0.014	0.2843	-0.1333
345°-15°	1.7159	1.2812	0.9631	1.3483	0.6162	0.3385	0.0242	0.1869	-0.1496
15°-45°	1.3461	1.1934	0.9537	0.8462	1.0952	0.216	0	0.2256	-0.1282
165°-195°	1.8285	1.3814	0.8763	1.0011	0.8487	0.2661	0.0422	0.2681	-0.3183
195°-225°	2.4698	1.4241	0.9476	1.7512	0.3152	0.4841	0	0.275	-0.1252
225°-255°	1.9005	1.2032	0.9533	1.2924	0.746	0.2746	0.014	0.2843	-0.1333
255°-285°	1.9005	1.2032	0.9533	1.2924	0.746	0.2746	0.014	0.2843	-0.1333
285°-315°	2.0743	1.2312	0.9537	1.3547	0.6059	0.3326	0	0.2088	-0.1325
315°-345°	1.913	1.311	1.0629	0.3029	1.6655	0.1493	0	0.2014	-0.1335

Table 7-16 Parameters of the fitted Gumbel distribution for extreme offshore waves

Direction sector	Location parameter (U)	Scale parameter (A)
All dir.	10.127	1.1517
345°-15°	6.3221	1.0012
15°-45°	6.1594	0.9365
165°-195°	5.607	0.9506
195°-225°	8.2077	1.0715
225°-255°	10.127	1.1517
255°-285°	10.127	1.1517
285°-315°	7.0627	1.2205
315°-345°	6.6997	1.1052

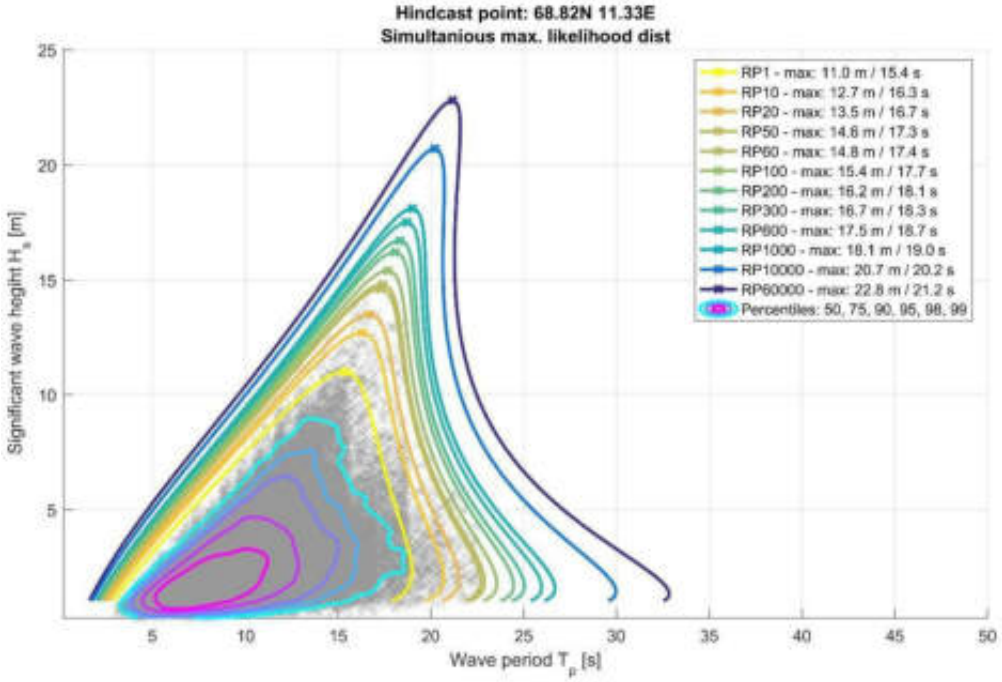


Figure 7-21 Joint distribution of significant wave height and peak period (all directions). Grey points indicate the hindcast model data, while the contours represent different percentiles and return periods

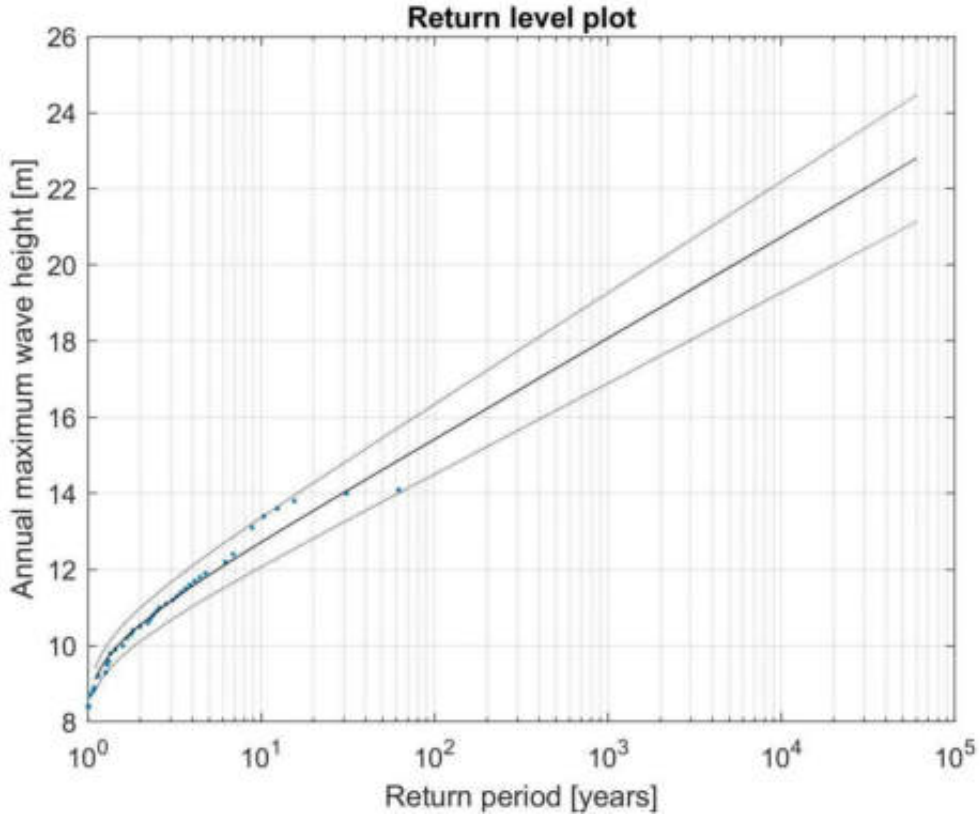


Figure 7-22 Return level plot for the Gumbel distribution of offshore waves (all directions)

Appendix E Parameters of fitted extreme wave spectra

The Ochi-Hubble spectrum is defined in terms of significant wave height H_s, spectral peak period T_p and a shape parameter λ for each wave system, i.e. a total of six parameters. Specifically, according to DNV-RP-C205 (2017) it is defined in terms of angular frequency by

$$S(\omega) = \sum_{j=1}^{2} E_j \cdot G_j \cdot \Gamma_j(\omega), \qquad \text{(Eq. D-1)}$$

where $E_j = \frac{1}{32\pi} {H_{s,j}}^2 T_{p,j}$, $G_j = \frac{1}{\Gamma(\lambda_j)} 4 \left(\lambda_j + \frac{1}{4}\right)^{\lambda_j}$ and $\Gamma_j(\omega) = \left(\frac{\omega T_{p,j}}{2\pi}\right)^{-4\left(\lambda_j + \frac{1}{4}\right)} \exp\left\{-\left(\lambda_j + \frac{1}{4}\right)\left(\frac{\omega T_{p,j}}{2\pi}\right)^{-4}\right\}$. Here $\Gamma(\cdot)$ denotes the gamma function, and $j = 1{,}2$ refers to the different wave systems. The significant wave height of the combined sea state is given by $H_s = \sqrt{{H_{s,1}}^2 + {H_{s,2}}^2}$. The spectrum in terms of wave frequency is given by $S(f) = 2\pi S(\omega)$ with $\omega = 2\pi f$.

Parameters of fitted spectra are reported in Table 7-17 for the points along the H_s-T_p contours reported in Table 6-35.

As seen in Figure 6-27 the directional spectrum will also have peaks at different directions. For all the cases considered in Table 7-17 there are three directional peaks, located roughly around 240°, 275° and 315°. However, the distribution of wave energy between the peaks varies. A three-peaked directional distribution can be obtained as a weighted sum of three different single-peaked directional distributions, i.e. $D(\theta) = a_1 D_1(\theta) + a_2 D_2(\theta) + a_3 D_3(\theta)$, where the sum of the weights a_i equals unity. A rough approximation of the directional distribution can be obtained by taking $a_1 = a_2 = a_3 = 1/3$, assuming equal weight of the peaks, and let $D_1(\theta), D_2(\theta), D_3(\theta)$ be cos-2s-type directional distributions with some large value of s, say $s = 50$, and peak directions at 240°, 275° and 315° respectively. For definition of the cos-2s distribution see DNV-RP-C205 (2017) section 3.5.8.7.

In reality, the directional distribution is frequency dependent, but for simplification it is commonly assumed to be a function of direction only. A frequency independent estimate for the directional distribution can be obtained from the directional spectrum $S(\omega, \theta)$ as

$$D(\theta) = \frac{\int S(\omega,\theta) d\omega}{\iint S(\omega,\theta) d\omega d\theta} \qquad \text{(Eq. D-2)}$$

A better approximation of the three-peaked directional distribution can be obtained by fitting an expression of the form $a_1 D_1(\theta) + a_2 D_2(\theta) + a_3 D_3(\theta)$ to this estimate, thus identifying the relative weights of the peaks.

Table 7-17 Parameters of the fitted Ochi-Hubble spectra for the points along the H_s-T_p contours of combined sea state

		Spectrum parameters for the H_s – T_p contours of combined sea state																							
Offshore Tp [s]		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
RP 10	Hs_1 [m]	2.1	2.6	4.1	3.9	3.7	3.6	3.3	2.9	2.8	2.6	2.5	2.3	1.9	1.4	1.1									
	Tp_1 [s]	5.0	5.5	9.4	10.0	10.7	11.4	12.2	13.0	13.8	14.7	15.8	16.5	17.5	18.4	19.5									
	λ_1 [ ]	1.8	1.5	3.0	2.5	2.4	2.3	2.9	4.2	4.4	4.7	3.6	3.7	3.9	4.5	4.6									
	Hs_2 [m]	4.1	4.1	2.9	3.1	3.4	3.8	4.2	4.6	4.8	4.9	5.0	5.0	5.0	4.9	4.8									
	Tp_2 [s]	8.4	8.8	6.0	6.5	6.8	7.2	7.7	8.1	8.3	8.5	8.5	8.7	9.0	8.8	8.5									
	λ_2 [ ]	2.5	3.2	1.4	1.4	1.4	1.4	1.3	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	0.9	1.0	1.2									
RP 50	Hs_1 [m]	2.2	2.7	4.2	4.0	3.8	3.7	3.4	3.1	2.9	2.7	2.7	2.5	2.4	1.8	1.4	1.1	0.8							
	Tp_1 [s]	5.1	5.6	9.6	10.3	10.9	11.6	12.3	13.1	13.9	14.7	15.5	16.7	17.4	18.5	19.4	20.5	21.6							
	λ_1 [ ]	1.7	1.5	3.0	2.7	2.4	2.0	2.4	3.5	3.8	4.1	3.4	3.1	3.0	3.9	4.3	4.7	8.0							
	Hs_2 [m]	4.4	4.4	3.1	3.4	3.7	4.0	4.4	4.8	5.0	5.1	5.2	5.3	5.3	5.2	5.1	5.1	5.1							
	Tp_2 [s]	8.6	9.0	6.2	6.7	7.0	7.3	7.7	8.1	8.3	8.5	8.5	8.7	8.9	9.1	9.0	8.8	8.5							
	λ_2 [ ]	2.4	2.9	1.4	1.4	1.4	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0	1.1	1.1	1.0	0.8	0.9	1.1	1.3							
RP 100	Hs_1 [m]	2.2	2.7	6.3	4.0	3.9	3.8	3.5	3.1	2.9	2.8	2.7	2.5	2.4	1.9	1.5	1.2	1.0	0.7	2.2					
	Tp_1 [s]	5.1	5.6	8.9	10.3	10.9	11.6	12.4	13.1	13.9	14.7	15.5	17.1	17.4	18.4	19.4	20.5	21.5	22.6	5.0					
	λ_1 [ ]	1.7	1.5	1.3	2.7	2.3	2.0	2.3	3.2	3.6	3.9	3.2	3.0	3.0	3.6	4.1	4.5	5.0	8.0	1.9					
	Hs_2 [m]	4.5	4.5	0.0	3.5	3.8	4.1	4.5	4.9	5.1	5.2	5.3	5.4	5.4	5.4	5.3	5.2	5.2	5.1	4.2					
	Tp_2 [s]	8.7	9.1	8.0	6.7	7.0	7.4	7.7	8.1	8.3	8.5	8.5	8.8	8.8	9.2	9.1	9.0	8.8	8.5	8.2					
	λ_2 [ ]	2.3	2.7	3.7	1.4	1.4	1.4	1.3	1.2	1.1	1.1	1.1	1.0	1.0	0.8	0.9	1.0	1.1	1.4	3.2					
RP 10 000	Hs_1 [m]	2.6	2.9	3.6	4.1	3.9	3.8	3.6	3.4	3.2	3.0	3.0	2.9	2.8	2.5	2.3	1.8	1.5	1.2	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5
	Tp_1 [s]	5.6	6.0	6.7	10.7	11.3	12.0	12.7	13.3	14.1	14.8	15.6	16.4	17.4	18.4	19.6	20.4	21.5	22.5	23.6	24.6	25.6	26.6	27.7	28.7
	λ_1 [ ]	1.5	1.3	1.3	2.8	2.3	2.0	2.0	2.1	2.5	2.8	2.4	2.3	2.2	2.7	2.8	3.3	4.3	5.5	6.3	6.7	6.2	4.8	8.0	8.0
	Hs_2 [m]	4.8	4.8	4.4	4.1	4.3	4.6	4.8	5.1	5.4	5.5	5.6	5.7	5.8	5.9	6.0	5.8	5.7	5.7	5.7	5.6	5.6	5.6	5.6	5.5
	Tp_2 [s]	9.2	9.5	10.1	7.1	7.4	7.6	7.8	8.0	8.3	8.4	8.5	8.5	8.7	9.0	9.4	9.5	9.4	9.3	9.2	9.1	9.0	9.0	8.9	8.9
	λ_2 [ ]	2.2	2.2	2.8	1.4	1.5	1.4	1.4	1.3	1.2	1.2	1.2	1.3	1.2	1.0	0.8	0.7	0.7	0.8	0.9	0.9	1.1	1.2	1.3	1.4

Appendix F Fatigue waves (H_s-T_z diagram)

Further analysis regarding fatigue waves are based on H_s-T_z scatter diagrams. Table 7-18 and Table 7-19 contain scatter diagrams of number of events based on the joint distribution of H_s and T_z for wind waves and ocean swell at the Havfarm 1 site.

The chosen method for establishing an operational combined sea state, as given in Chapter 6.3.1.3, only allows calculation of the resulting combined H_s.

Wind waves and ocean swell occur simultaneously. Combined sea state depends on wind wave and swell sea state, as well as the direction of the wind and the offshore waves. Combining the two scatter diagrams (Table 7-18 and Table 7-19) is therefore not a straightforward process.

Distribution of T_z for overlapping time period (2016-2017) of operational ocean swell, operational wind waves and measured waves are given in Figure 7-23.

Figure 7-23 indicates that the operational ocean swell is the dominant part of the combined sea state when comparing it with measured waves. Comparing T_z from operational ocean swell and measured waves shows that the operational ocean swell contains more T_z values between 6 s and 8 s. This is expected since the operational ocean swell only contains T_z values from operational ocean swell and not the shorter periods from operational wind waves, while T_z from the measured waves is calculated based on the combined sea state.

It is investigated whether the one year with measured wave data is representative for a longer time period and therefore can be used in further fatigue analysis. To evaluate this the whole time series of operational swell and operational wind waves are compared with the operational wave data with the same time period as the measurements. This way it is possible to evaluate if the one year with measured wave data from 2016 to 2017 is representative for a longer time period. T_z for the whole time series of operational wave data together with the overlapping time series of operational wave data are given for ocean swell and wind waves separately in Figure 7-24.

Figure 7-24 indicates that the one year of operational wave data (2016-2017) is representative for the longer time period (1957-2017 for ocean swell and 2002-2017 for wind waves). This supports that the one year of measurements from 2016-2017 will give a good representation of the combined sea situation at the Havfarm 1 site. A H_s- T_z scatter diagram of combined sea from measurements is given in Table 7-20.

It is important to notice that the spectra from the measured waves are found to contain both one, two and three peaks, see examples in Figure 7-25. The usage of JONSWAP type spectra for approximation of both types of sea state separately (one for the wind wave part and one for the ocean swell part), is a reasonable assumption when the spectra contains two peaks. Using only one-peaked JONSWAP spectra to fit Tz values from measured waves will in these cases move energy from the wind wave contribution to lower frequencies. Another reasonable approach is to fit Ochi-Hubble type spectra parameters to the combined Tz value from measurements. The T_z value from measurements will lay somewhere between the peaks, when multiple peak spectra are measured. Therefore, the choice of spectra is important when using the combined sea H_s- T_z scatter diagram in further analysis.

Table 7-18 Operational wind waves: Joint distribution [%] of significant wave height, H_s, and the zero-up-crossing period, T_z, at the Havfarm 1 site. Based on wind time series from 2002 to 2017 (Table 4-1). 3 h sea state duration (see Chapter 5.3.3 for further explanation)

H_s [m]	T_z [s]						Sum
	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	
0.0-0.5	29.50	46.50	4.70				80.70
0.5-1.0		0.00	13.60	0.80			14.40
1.0-1.5			0.30	3.40			3.70
1.5-2.0				0.80	0.10		0.90
2.0-2.5				0.00	0.20		0.20
2.5-3.0					0.00		0.00
3.0-3.5					0.00	0.00	0.00
Sum	29.55	46.46	18.59	5.04	0.36	0.003	100

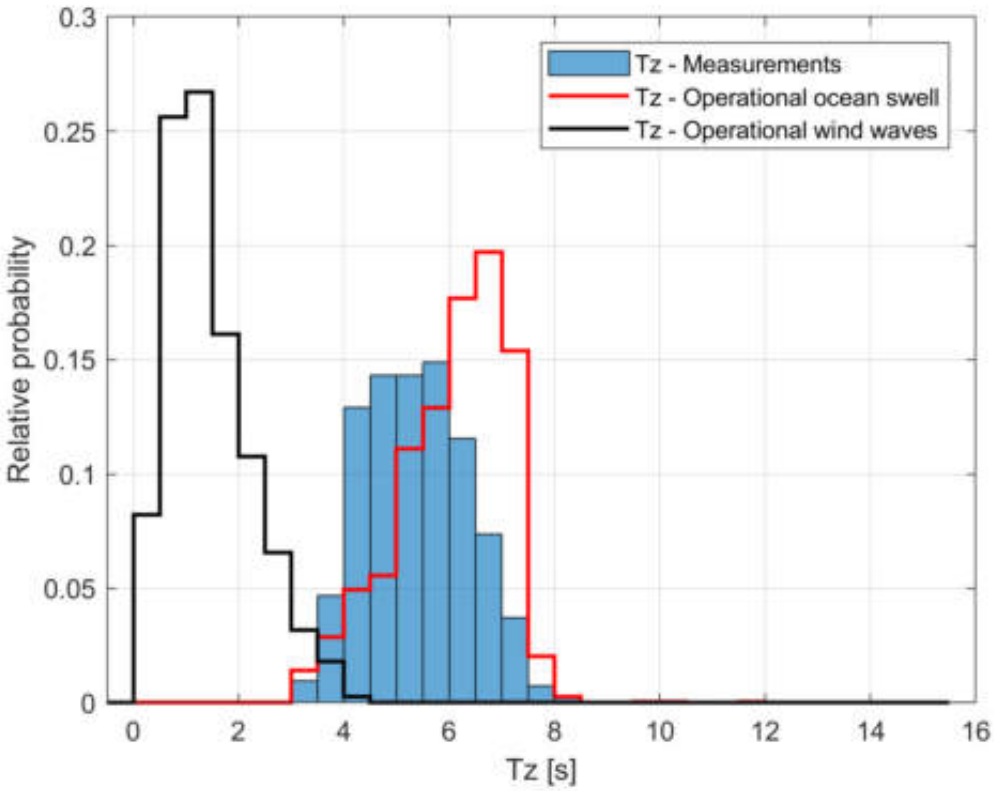


Figure 7-23 Tz for operational ocean swell, operational wind waves and measured waves. Bin size equal 0.5. Overlapping time period (2016-2017). Operational wave data is based on 3 h sea state duration. Observed waves are based on one hour measurements

Table 7-19 Operational ocean swell: Joint distribution [%] of significant wave height, H_s, and the zero-up-crossing period, T_z, at the Havfarm 1 site. Based on the period from 1957 to 2017 (Table 4-1). 3 h sea state duration

H_s [m]	T_z [s]																Sum
	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	
No swell																	7.886
0.0-0.5			0.00	3.27	6.92	16.29	9.28	1.02	0.11	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	36.94
0.5-1.0				0.96	2.56	5.87	11.91	5.25	0.23	0.00							26.79
1.0-1.5				0.06	0.39	2.34	7.55	4.08	0.06								14.47
1.5-2.0				0.00	0.02	0.98	4.09	2.21									7.30
2.0-2.5						0.24	2.16	1.37									3.77
2.5-3.0						0.02	0.95	0.73									1.70
3.0-3.5							0.25	0.44	0.00								0.69
3.5-4.0							0.03	0.27	0.01								0.31
4.0-4.5							0.00	0.11	0.03								0.13
4.5-5.0							0.00	0.01	0.00								0.01
5.0-5.5								0.00									0.00
Sum			0.00	4.29	9.88	25.73	36.22	15.49	0.44	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	100.00

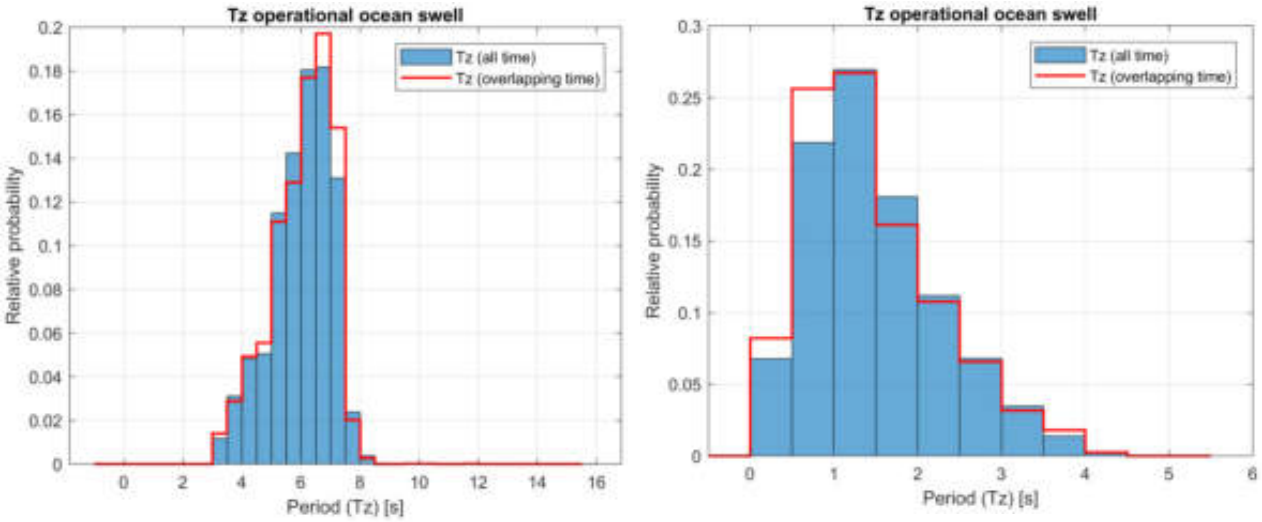


Figure 7-24 Tz for the whole time series of operational ocean swell (1957-2017) and wind waves (2002-2017), together with Tz for the operational time series which overlaps with measurements (2016-2017). Bin size equal 0.5. 3 h sea state duration

Table 7-20 Measured waves: Joint distribution [%] of significant wave height, H_s, and the zero-up-crossing period ,T_z, at the Havfarm 1 site (2016-2017). Waves are measured every hour

H_s [m]	T_z [s]											Sum
	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	
0.0-0.5	0.01	4.97	14.41	9.89	5.27	1.33	0.15	0.04	0.01		0.02	36.12
0.5-1.0		2.69	11.46	10.84	7.63	2.21	0.23	0.08	0.01		0.02	35.17
1.0-1.5		0.06	5.44	5.61	2.42	0.90	0.07					14.48
1.5-2.0			1.01	3.69	1.85	0.22						6.76
2.0-2.5			0.01	2.14	1.53	0.15						3.83
2.5-3.0				0.74	1.38	0.20						2.32
3.0-3.5				0.10	0.78	0.14						1.02
3.5-4.0					0.21	0.04						0.25
4.0-4.5						0.02						0.02
Sum	0.01	7.72	32.33	33.01	21.06	5.22	0.45	0.12	0.02		0.04	100

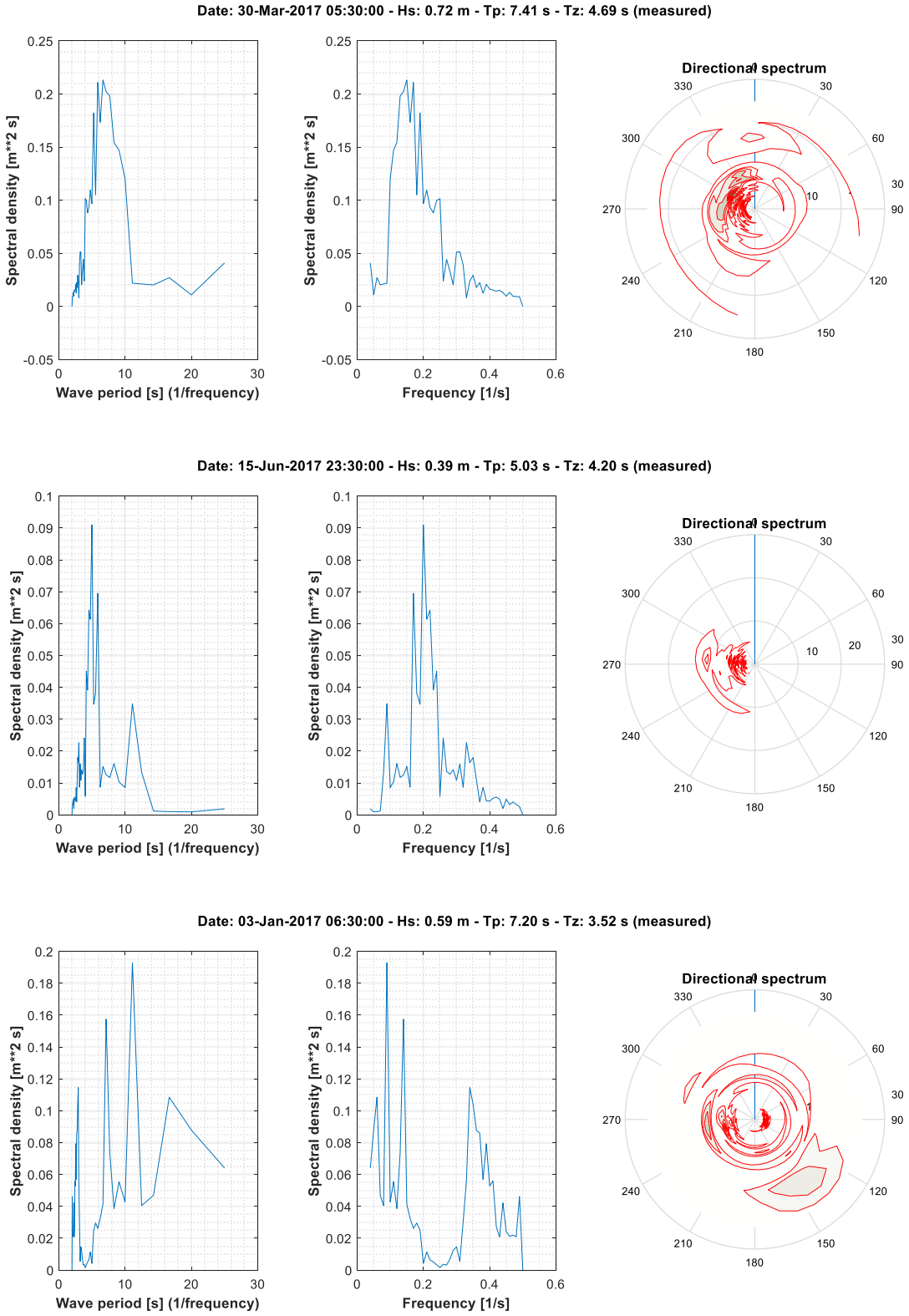


Figure 7-25 Wave spectra from measurements given as period, frequency and directional spectrum. The figures represents situations with one top (upper figure), two tops (middle figure) and three tops (lower figure). Hs, Tp and Tz is directly from the buoys calculations and can therefore vary some from the spectra

Appendix G Wave model validation

To validate the SWAN model, measured wave data from the Havfarm 1 site were compared with model results from SWAN. The modelled operational time series of wind waves, ocean swell and combined sea were compared with the measured waves at site.

A histogram and a scatter plot of significant wave height for both measurements and operational combined sea (Figure 7-26) indicate a good agreement between the data sets. The correlation coefficient between measured significant wave height and the significant wave height of operational combined sea is equal to 0.87. Figure 7-27 and Figure 7-28 show scatter plots and histograms of measured peak period (T_p) and mean period (T_z /T_{m02}) against the peak and mean period from the operational swell time series (wave periods are not available for operational combined sea). The distributions of mean periods and peak periods below 16 s are similar for the measured and operational ocean swell. The validity of measured peak periods from approximately 16 - 20 s to the cut-off period at 25 s are uncertain. The measured data seems to be affected by the cut-off period at 25 s. The wave spectra with these peak periods shows directional spectra containing wave energy from all directions, also from east, which is not expected (see Figure 7-29). Oceanor Fugro recommend removal of the peak periods above 24 s (personal communication with Akvaplan Niva). This is done for the measured dataset before the comparison. Additional studies of the erroneous data is recommended. Further discussion of high peak periods from measured wave data is given in Akvaplan Niva (2017).

Case studies from several measurement periods were simulated with the SWAN model. Offshore hindcast data from WAM10 and wind data from the weather station at Bø during the time period of the case studies were used as model input. Wave from during the time period of maximum observed significant wave height during the measuring period (26.03.2017, H_s equal 4.2 m and T_p equal 13 s) are given in Figure 7-30, for both measured and modelled waves. The modelled wave spectra correspond well with the observed wave spectra, indicating that the model is reliable during events with high wind waves and high ocean swell. The good agreement between the observations and modelled waves during events with high waves indicate that the model run of extreme combined waves is reliable. The directional spread is also similar for the observed and the modelled wave cases, both indicating large directional spread (from southwest through northwest), likely caused by the shallow areas west of the Havfarm 1 site. During periods with dominating ocean swell, the wave spectra from the model often contains more than one peak. This can be an effect of triad wave interaction, which move energy from lower frequencies to higher frequencies. The strong peaks at higher harmonics were not observed in the investigated cases of measurements.

The relative difference between the significant wave height of total operational sea and measurements is given in Figure 7-31. During observations of the largest waves (H_s > 3.5 m) the relative difference is smaller than 25 %. For smaller significant wave heights, the relative difference is larger.

Cumulative distribution of significant wave height (all directions) from measurements and modelled operational waves (wind waves, swell, and combined sea) is given in Table 7-21. Table 7-22 shows significant wave height statistics. Table 7-21 and Table 7-22 only contains data for overlapping time periods.

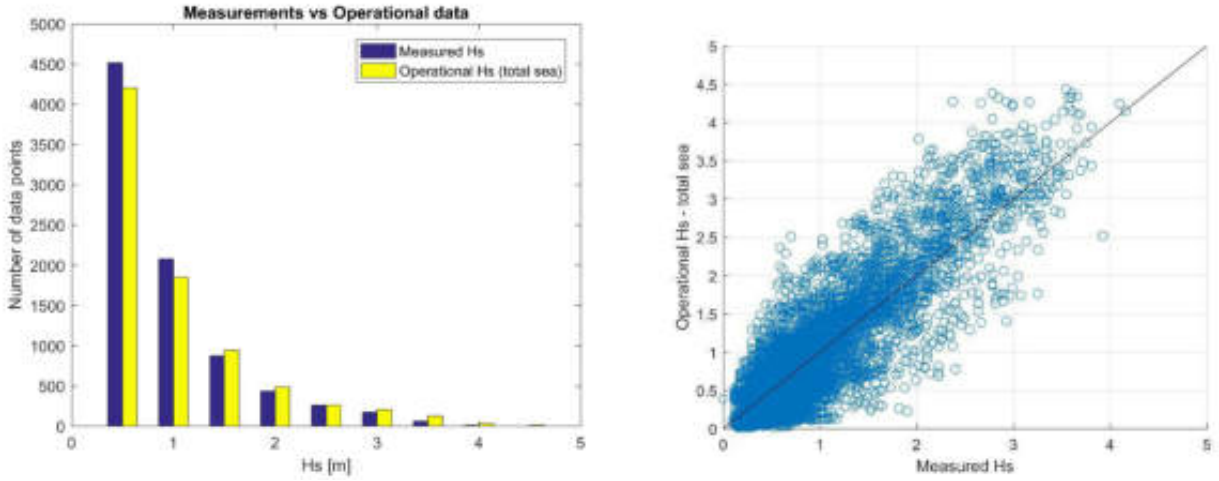


Figure 7-26 Histogram of measured (blue) and modelled operational significant combined sea wave height (yellow) to the left. Scatterplot of measured and modelled operational significant combined sea wave height to the right

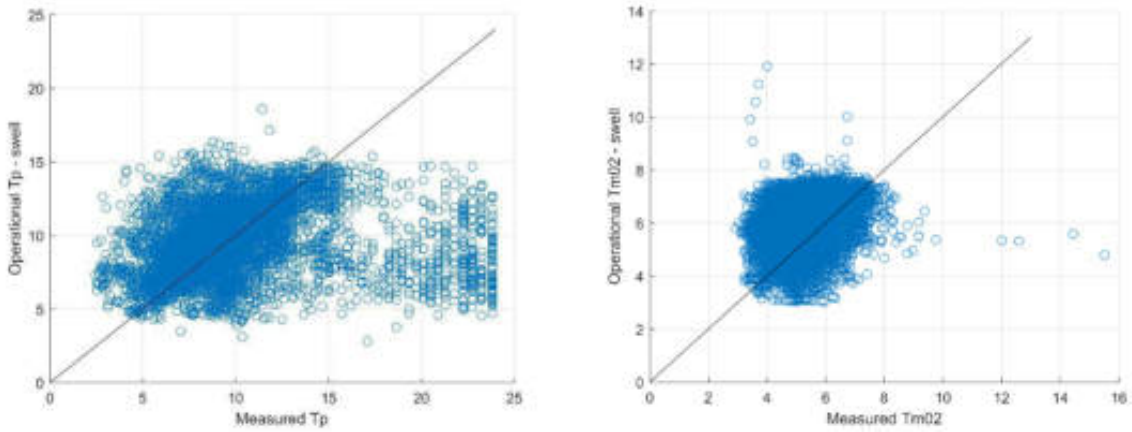


Figure 7-27 Scatterplot of measured and modelled operational swell with peak period (T_p) to the left and mean period (T_z /T_{m02}) to the right

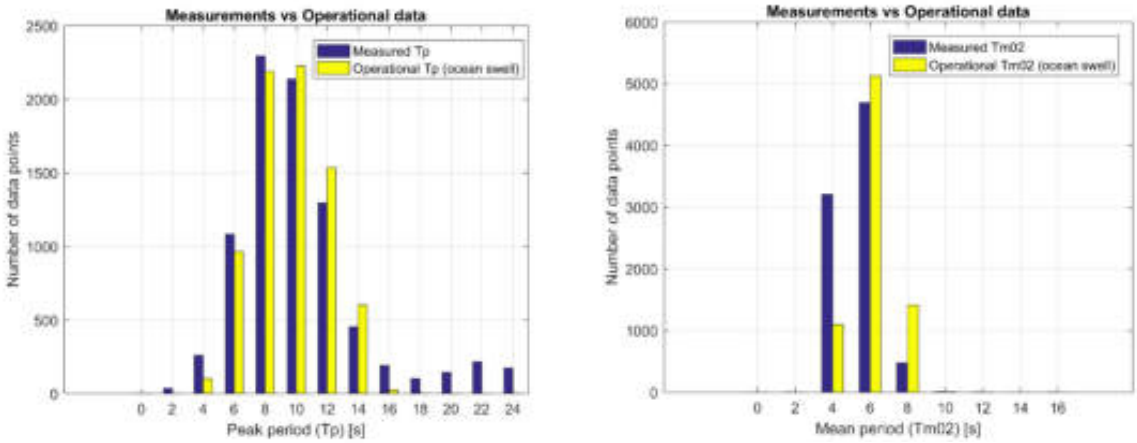


Figure 7-28 Histogram of measured and modelled operational swell with peak period (T_p) to the left and mean period (T_z /T_{m02}) to the right

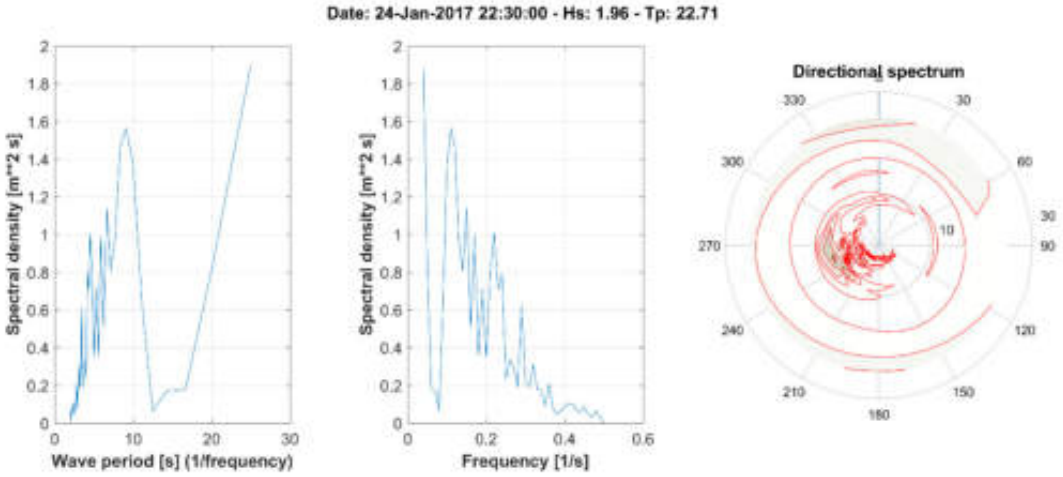


Figure 7-29 Spectral density for wave periods and frequency, together with directional spectrum at Havfarm 1 site at a time with T_p equal 22.7 s (24.01.2017) from measurements and model results

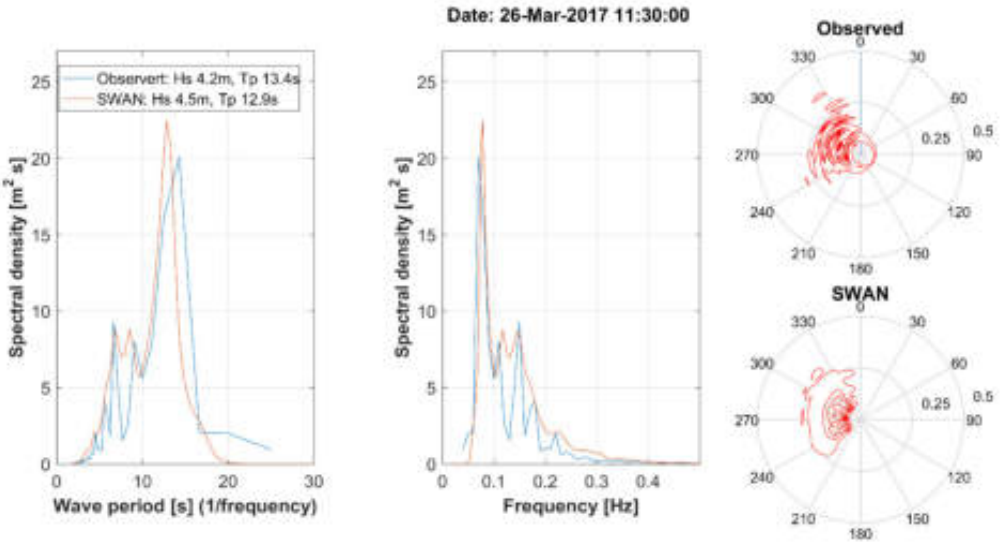


Figure 7-30 Spectral density for wave periods and frequency, together with directional spectrum during the period of maximum measured significant wave height (4.2 m) at Havfarm 1 site (26.03.2017) from measurements and model results

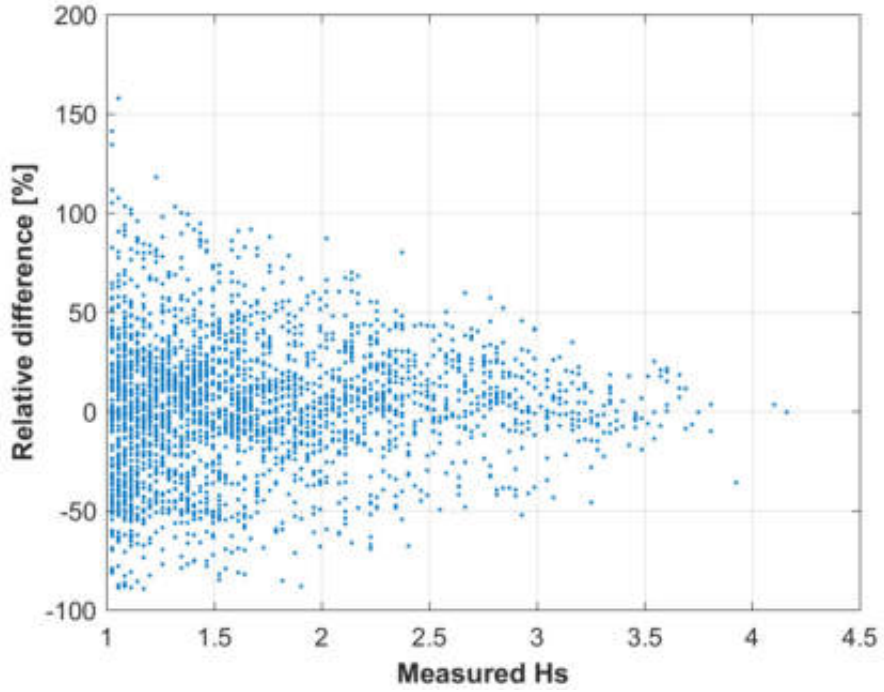


Figure 7-31 Relative difference between significant wave height of operational combined sea and measured waves.

Table 7-21 Cumulative distribution of significant wave height of measurements, modelled operational wind waves, swell, and combined sea for the overlapping time period (2016-2017)

Significant wave height [m]	All directions			
	Overlapping period			
	Measurements	Operational time series		
	Buoy	Swell	Wind	Combined
<0.50	36.14	44.27	81.98	38.92
<1.00	71.31	70.03	95.35	66.48
<1.50	85.79	84.22	98.59	81.28
<2.00	92.56	91.29	99.85	90.06
<2.50	96.39	95.13	99.98	94.12
<3.00	98.70	98.18	100.00	97.08
<3.50	99.73	99.49		98.90
<4.00	99.98	99.90		99.69
<4.50	100.00	100.00		100.00
<5.00				
<5.50				
<6.00				

Table 7-22 Significant wave height statistics of measurements, modelled operational wind waves, swell and combined sea for overlapping time period (2016-2017)

Statistics Significant wave height [m]	All directions			
	Overlapping period			
	Measurements	Operational time series		
	Buoy	Swell	Wind	Combined
Mean	0.9	0.9	0.3	0.9
Median	0.7	0.7	0.2	0.7
Maximum	4.2	4.1	2.7	4.4
50-procentile	0.7	0.6	0.2	0.7
90-procentile	1.8	1.9	0.7	2.0
95-procentile	2.3	2.5	1.0	2.7
99-procentile	3.1	3.2	1.6	3.5
Standard deviation	0.7	0.8	0.3	0.8
Mean monthly maximum	2.6	2.8	1.6	3.0

Appendix H Bottom topography

Bottom topography was mapped at Havfarm 1 site in February 2017 as part of a full-scale geophysical site survey by Fugro (Fugro, 2017).

The survey track lines are shown in Figure 7-32. According to Fugro (2017), the spatial resolution of the multibeam depth data is 1 m x 1 m and the data is smoothed with a 3-cell radius. See Fugro (2017) for documentation of the methods and instrumentation.

Bathymetry of Havfarm 1 site is shown in Figure 7-33. According to the geophysical site survey the sea bed at Havfarm 1 site consists mainly on clay and glacial till deposits. Larger single boulders as well as boulder fields and human installations are mapped in Fugro (2017) study.

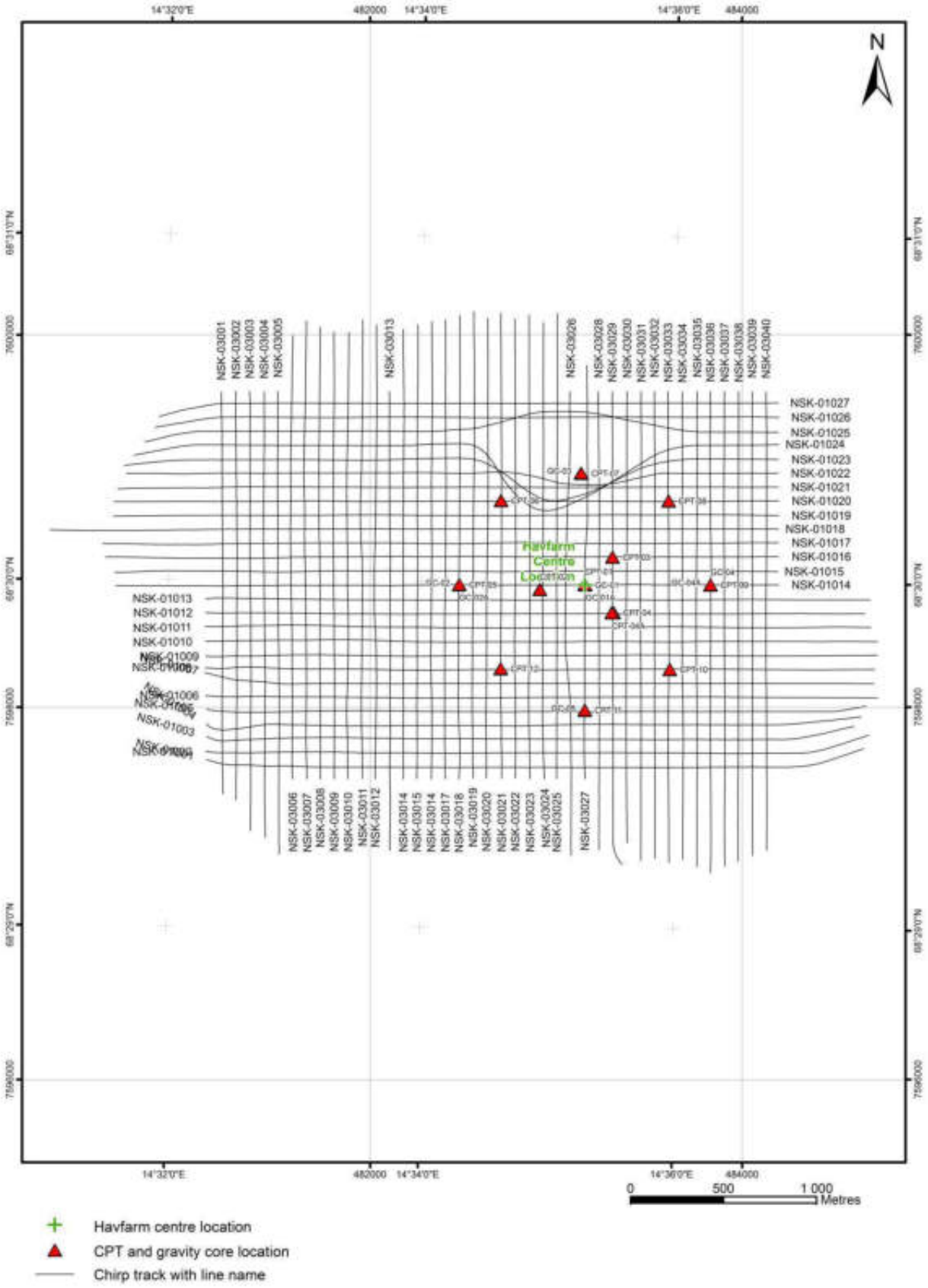


Figure 7-32 Survey tracks from Fugro (2017)

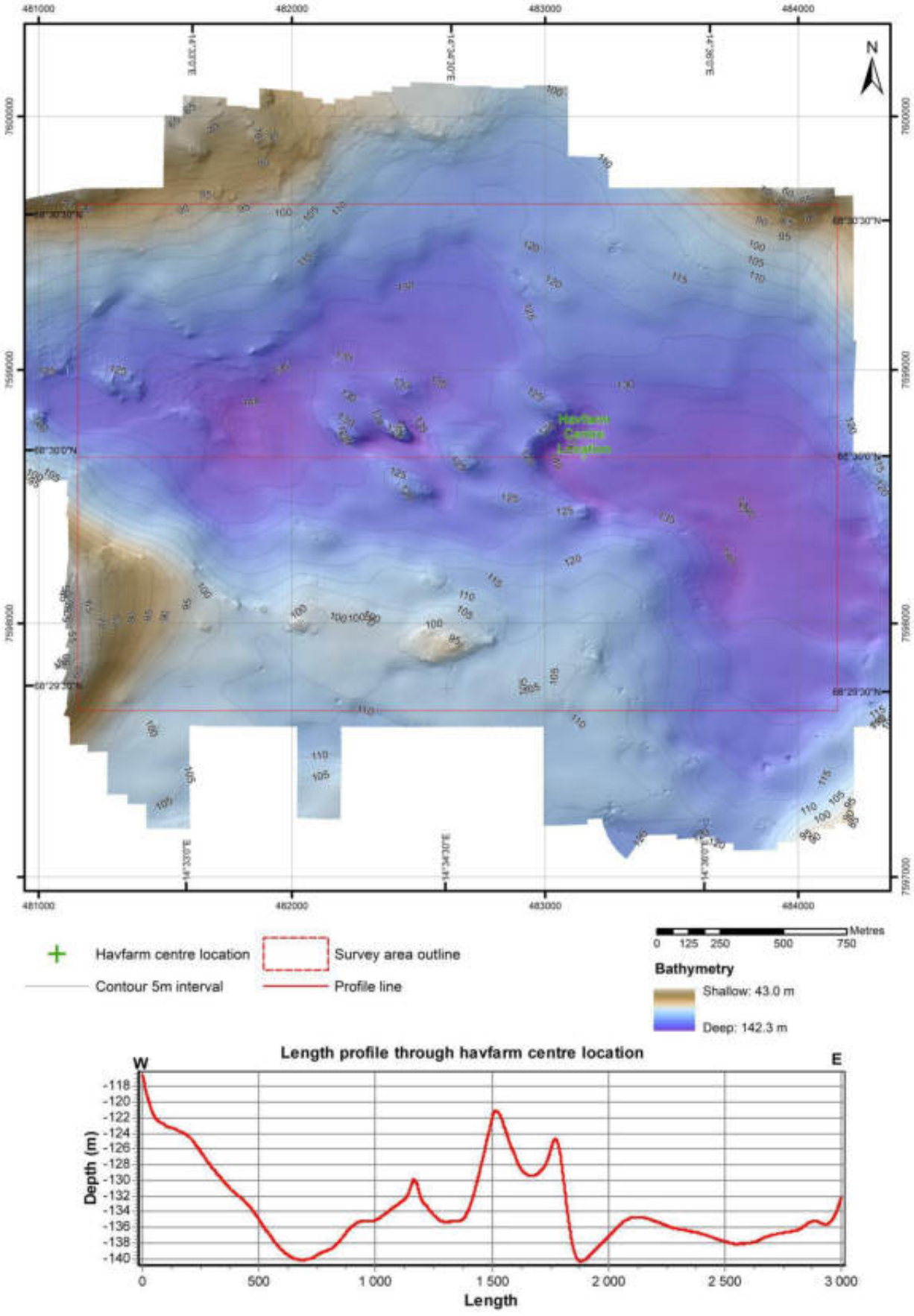


Figure 7-33 Bathymetry of Havfarm 1 site from Fugro (2017)

Vedlegg B

VI

Havfarm 1 – Biologisk prestasjon

Delrapport, Produksjonen på postsmolt-lokalitetene Bullatholmen og Grøttøy 2019-20

Innhold

Sammendrag 3
Bakgrunn 5
Fisken 5
Lokaliteter og miljø 6
  Miljø 7
Appetitt, tilvekst og fôrfaktor 9
Fiskehelse og velferd 11
  Helsekontroller og diagnoser 11
  Dødelighet og dødfisk-kategorisering 13
  Lus og behandlinger 15
  Adferdsregistreringer 16
  Klinisk kjemi 17
Flyttestatus 18
  Vektprøver 19
  Velferdsskåring 22
  Organstatus - histologi 24
  Agensstatus - PCR 24
Vedlegg 26

Forfatter
Kristoffer Vale Nielsen

Kvalitetssikret av:
Arve Nilsen og Eirik Biering

© Veterinærinstituttet 2021 /
© Norwegian Veterinary Institute 2021
Nielsen, K.V. Havfarmfisken - postsmoltfasen

Oppdragsgiver:
Nordlaks Oppdrett AS

Sammendrag

I løpet av seinsommer og høst 2019 ble det satt ut smolt (laks) på de to nabolokalitetene 11162 Bullatholmen og 29096 Grøttøy, tilhørende Nordlaks Oppdrett AS. Fisken ble stående på disse lokalitetene i knapt ett år før den ble flyttet inn i Havfarm 1, Jostein Albert, på lokaliteten 39777 Ytre Hadseløy. Denne rapporten oppsummerer de fiskehelse- og fiskevelferdsmessige sidene ved produksjonen på postsmolt-lokalitetene, og rapporten utgjør en del av det biologiske dokumentasjonsprogrammet til Havfarm 1.

På Bullatholmen ble det satt ut 1 212 310 smolt med en snittvekt på 129 g, fordelt i 9 stk. 100-meters PE-merder. På Grøttøy ble det satt ut 1 190 372 smolt med en snittvekt 92 gram, fordelt i 11 stk. tilsvarende merder. Alle merder hadde luseskjørt (10 m). Fisken sto på Bullatholmen i gjennomsnitt 300 dager med gjennomsnittlig temperatur på 6,5°C (5 m dyp, min 2,5, maks 13,8°C). Ved flytting var gjennomsnittlig vekt 1,24 kg, med SGR = 0,76 %, VF3 = 2,9, BFF = 1,02 og ØFF = 1,04. På Grøttøy stod fisken i gjennomsnitt 335 dager med gjennomsnittlig temperatur på 6,9°C (5 m dyp, min 2,6, maks 14,1°C). Ved flytting var gjennomsnittlig vekt på 1,73 kg, med SGR = 0,88 %, VF3 = 3,26, BFF = 1,05 og ØFF = 1,06. Det var noe spredning i prestasjonen mellom de ulike fiskegruppene/ merdene. Dersom en slår sammen produksjonsresultatene for merder som ble flyttet inn i samme bur i Havfarm 1 hadde fisken som ble flyttet til bur 1 og 2 det beste resultat fra postsmolt-fasen og fisken som ble flyttet til bur 4 og 5 det svakeste resultat.

Månedlig helsetilsyn med vurdering av fiskevelferd ble gjennomført av Åkerblå AS. Fiskevelferden på begge lokalitetene ble stort sett vurdert som god, periodevis noe redusert hos deler av fisken som følge av sykdom. Underveis i produksjonen ble det påvist en rekke smittsomme agens og vevsforandringer forenelig med spesifikke sykdommer, men av disse var sykdomskomplekset «sår» den lidelsen med størst klinisk betydning. Akkumulert dødelighet var 3,9 % på Bullatholmen og 1,9 % på Grøttøy. De siste månedene før flytting var dødeligheten normal/lav i begge anlegg.

Driftspersonellet på lokalitetene hadde som en av sine daglige oppgaver å foreta en overordnet vurdering av adferden til fisken i merdene, om den var normal eller unormal, samt å telle opp hvor mange avvikere de så - fisker med svært avvikende utseende eller adferd. Stort sett ble adferden vurdert som normal og antallet avvikere i merdene var stort sett ≤10.

Det var lave lusetall gjennom hele produksjonen på begge lokalitetene. Fisken på Grøttøy (merdene 2 tom. 10) ble behandlet mot lus med Slice vet. på høsten 2019. All fisken på begge lokaliteter ble behandlet med Slice vet. før flytting, dette for å sikre at så lite lus som mulig ble med inn i Havfarm 1. De fire siste ukene før lokalitetene ble tømt for fisk var det på Bullatholmen ≤0,08 lakselus (alle stadier) i gjennomsnitt per fisk, mens det tilsvarende tallet for Grøttøy var ≤0,02.

I forkant av flyttingen av fisken til Havfarm 1 ble det gjennomført en utvidet prøvetaking på lokalitetene med målsetting om å øke kunnskapen om fiskegruppene. Veieprøvene fra de fleste merdene indikerte at fisken var litt større i gjennomsnitt enn oppgitt i Mercatus. Veieprøvene indikerte også at fisken som senere ble overført til bur 3 og 4 hadde noe større spredning i størrelse enn fisken som ble overført til de øvrige burene. Forenklet velferdsskåring viste noe variasjon fra merd til merd, med andel fisk med moderate eller store ytre avvik mellom 0 og 26 %. Avmagring og sår/finneråte var de hyppigste avvik. Et utvidet prøveuttak fra dødfisk fra de to lokalitetene resulterte i påvisning av følgende agens (PCR): *Branchiomonas cysticola*, Salmon Gill Pox Virus (SGPV), *Parvicapsula pseudobranchicola*, Piscine Orthoreovirus (PRV), Piscine Myocarditis Virus (PMCV) og Infeksiøs pankreasnekrosevirus (IPNV). Gjennom histologisk undersøkelse av organprøver fra klinisk frisk fisk ble det i prøvene fra Bullatholmen funnet muskel- (Myositt) og gjelleforandringer (proliferativ gjellebetennelse, PGI) i nesten alle individene, men disse forandringene ga ikke grunnlag for å mistenke spesifikke sykdommer. I organprøvene fra Grøttøy ble det funnet grunnlag for å sette diagnosene Hjerte- og skjelettmuskelbetennelse (HSMB),

Parvicapsulose og Epiteliocystis. I prøvene fra Grøttøy ble det også funnet myositt og PGI i alle individer. Prøvesvar fra undersøkelsene av organstatus (histologi) forelå først i etterkant av at det meste av fisken var flyttet til Havfarm 1. Disse funnene ble derfor ikke tatt med i vurderingen før flytting.

Fisken ga generelt et godt inntrykk ved undersøkelse av flyttestatus (juli 2020) og også i forbindelse med de siste helsekontrollene på anleggene. På flyttetidspunktet var det ikke kunnskap som skulle tilsi at disse fiskegruppene ikke var egnet til å flytte inn i Havfarm 1.

Bakgrunn

Nordlaks Oppdrett AS fikk i 2017 tilsagn om utviklingstillatelser knyttet til prosjektet «Havfarm 1». Havfarm 1 ble fortøyd på lokaliteten 39777 Ytre Hadseløya i slutten av juni 2020 og laks ble flyttet inn i slutten av juli samme året. Tilknyttet Havfarmprosjektet er bl.a. et program for biologisk dokumentasjon av fisken i Havfarm 1. I henhold til dette dokumentasjonsprogrammet skal postsmolt-fasen til laksen som ble flyttet inn i Havfarm 1 også dokumenteres, dog med et relativt lavere detaljnivå. Begrunnelsen for denne delen av prosjektet er å ha god kjennskap til fisken som ble flyttet inn i Havfarm 1, derigjennom å øke forståelsen av fiskens utvikling i Havfarm 1.

Denne rapporten beskriver produksjonen fra utsett i sjø på postsmolt-lokalitetene i 2019 frem til flytting til Havfarm 1, sommer og høst 2020.

Laksen på postsmolt-lokalitetene fikk utvidet oppfølging av driftspersonell og fiskehelsetjeneste. Det ble også gjennomført tilsvarende oppfølging på lokaliteten Steilo (32697) som fungerte som reservelokalitet i tilfelle problemer på en av postsmolt-lokalitetene. Resultatene fra Steilo er ikke inkludert i denne rapporten. I tillegg til utvidet oppfølging ble det i forkant av flyttingen til Havfarm 1 gjennomført ekstra undersøkelser med formål å beskrive en «flyttestatus» på fisken.

Datagrunnlaget for rapporten er: 1) Nordlaks sitt produksjonsstyringsverktøy, Mercatus, 2) rapporter fra fiskehelsetjenesten samt tilknyttede prøvesvar, 3) daglige opptegnelser gjort av driftspersonell på lokalitetene og 4) resultater fra undersøkelser gjennomført juli 2020 vedrørende «flyttestatus» på fisk.

Fisken

Høsten 2019 ble det satt ut smolt (0-årig laks, *Salmo salar*) på Nordlaks sine lokaliteter Bullatholmen og Grøttøy. Fisken ble levert fra to Nordlaks settefiskanlegg, 11296 Innhavet og 15315 Mastermovika II. All fisk var vaksinert i forkant av utsett med vaksinen Pentium forte pluss. Tabell 1 og tabell 2 oppsummerer for hver lokalitet og merd: smoltleverandør, stamme, utsettsdato, antall fisk og gjennomsnittsvekt ved utsett.

Tabell 1. Smolt (laks) satt ut på Bullatholmen høsten 2019; smoltleverandør, utsettsdato, antall og snittvekt.

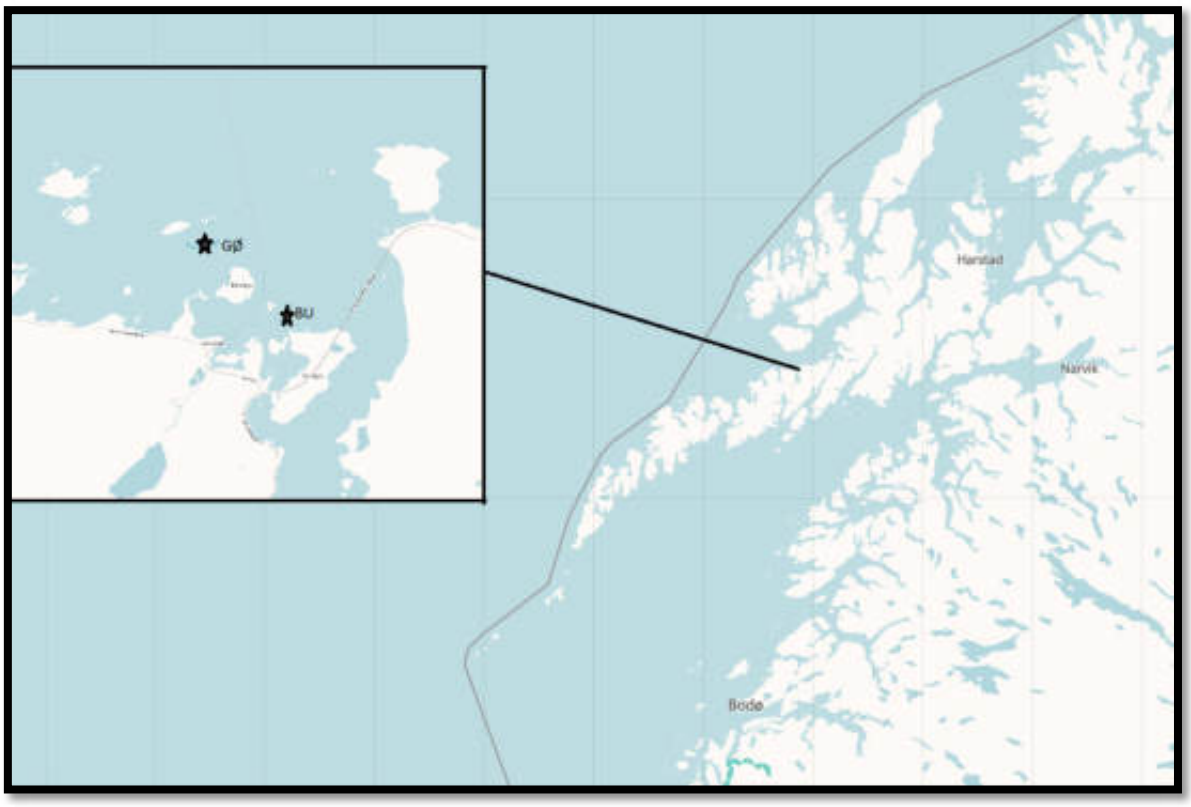
Merd	Leverandør	Stamme	Utsettsdato	Antall	Snittvekt(g)
2	Innhavet	AquaGen	11.10.2019	91 701	86
3	Innhavet	AquaGen	29.10.2019	139 402	131
4	Innhavet	AquaGen	29.10.2019	139 401	131
5	Innhavet	AquaGen	30.10.2019	139 208	161
6	Innhavet	AquaGen	30.10.2019	139 208	161
7	Innhavet	AquaGen	31.10.2019	147 345	136
8	Innhavet	AquaGen	31.10.2019	147 345	136
9	Innhavet	AquaGen	01.11.2019	133 890	96
10	Innhavet	AquaGen	01.11.2019	134 810	104

Tabell 2. Smolt (laks) satt ut på Grøttøy høsten 2019; smoltleverandør, utsettsdato, antall og snittvekt.

Merd	Leverandør	Stamme	Utsettsdato	Antall	Snittvekt(g)
1	Innhavet	AquaGen	11.10.2019	117 816	95
2	Mørsvik	Hemne sjø	14.08.2019	99 817	88
3	Mørsvik	Hemne sjø	14.08.2019	98 983	88
4	Mørsvik	Hemne sjø	14.08.2019	98 843	93
5	Mørsvik	Hemne sjø	14.08.2019	100 557	93
6	Mørsvik	Hemne sjø	15.08.2019	102 549	86
8	Mørsvik	Hemne sjø	15.08.2019	103 145	86
9	Mørsvik	Hemne sjø	15.08.2019	103 146	86
10	Mørsvik	Hemne sjø	15.08.2019	117 816	85
11	Innhavet	AquaGen	12.10.2019	137 982	103
12	Innhavet	AquaGen	12.10.2019	137 974	103

Lokaliteter og miljø

Bullatholmen og Grøttøy er to nabolokaliteter beliggende i sørlige del av Hadselfjorden, rett ut for tettstedet Fiskebøl i Hadsel kommune (figur 1). Lokalitetene har felles landbase på Fiskebøl. På Bullatholmen var det fortøyd 9 stykk 100-meters PE-merder mens det på Grøttøya var 11 stykk. Alle nøtene var dekket med luseskjørt (Salgard planktonduk, 350µ) de 10 øverste meterne. Fisken ble tildelt fôr gjennom flytende spredere lokalisert sentralt i merdene. Fôringssystemet ble styrt fra Nordlaks sin operasjonssentral (OPS) på Børøya og fôringen overvåket via kamera i merdene. I starten av produksjonen ble fisken i tillegg tildelt fôr direkte fra driftsoperatørene på merdkanten.



Figur 1. Lokalitetene Bullatholmen (BU) og Grøttøy (GØ).

Miljø

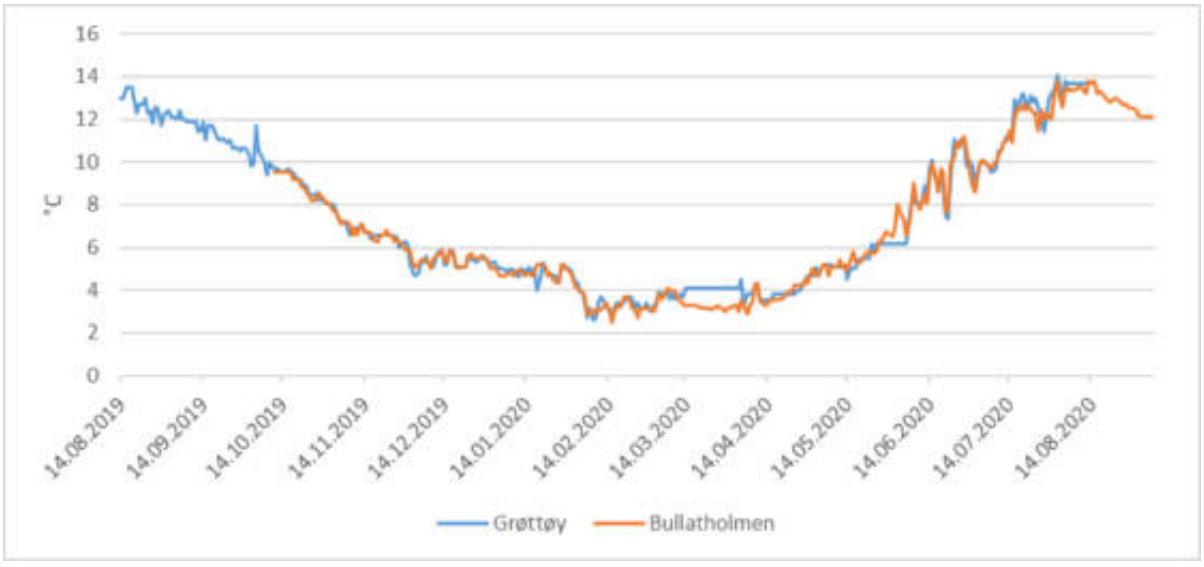
På hver lokalitet var det plassert to sensorer for oksygen- og temperaturmåling i hver av to merder (Meox, 5 og 15 m. dyp, midtveis mellom ring og senter av merden). På Bullatholmen var det sensorer i merdene 3 og 10 mens det på Grøttøy var sensorer i merdene 4 og 9. Sensordata ble overført manuelt til Mercatus med 0 – 5 registreringer per dag i perioden fisken stod i sjøen.

Datasettet i Mercatus er ikke komplett med registreringer alle dagene i produksjonen og fra alle sensorene. Det er også i en del tilfeller mangelfull informasjon om fra hvilken merd måleresultatet stammer. I starten av produksjonen ble det registrert få målinger, men det er en tendens til økende antall daglige registreringer utover i produksjonen. Produksjonen på Bullatholmen var 331 dager og det manglet temperaturdata (5 m) for 40 dager. Produksjonen på Grøttøy var 366 dager og det manglet temperaturdata (5 m) for 93 dager. Det var større mangler når det gjelder oksygendata. Data fra temperatursensorene på 15 m. dyp er ikke presentert i rapporten.

Siden dataene er registrert i Mercatus med varierende frekvens er det gjort følgende tilpasninger for å få til en temperaturkurve med daglige verdier: I tilfeller med flere registreringer på samme dato ble det brukt en gjennomsnittsverdi av målingene. Dager uten en registrert sjøtemperatur fikk en konstruert temperaturverdi ved å ta gjennomsnittet av den siste målingen før den manglende registreringen og den første målingen etter den manglende registreringen. Dersom det manglet data for flere sammenhengende dager ble samme temperaturverdi brukt alle dagene i perioden. For oksygendataene er det ikke konstruert data for manglende dager.

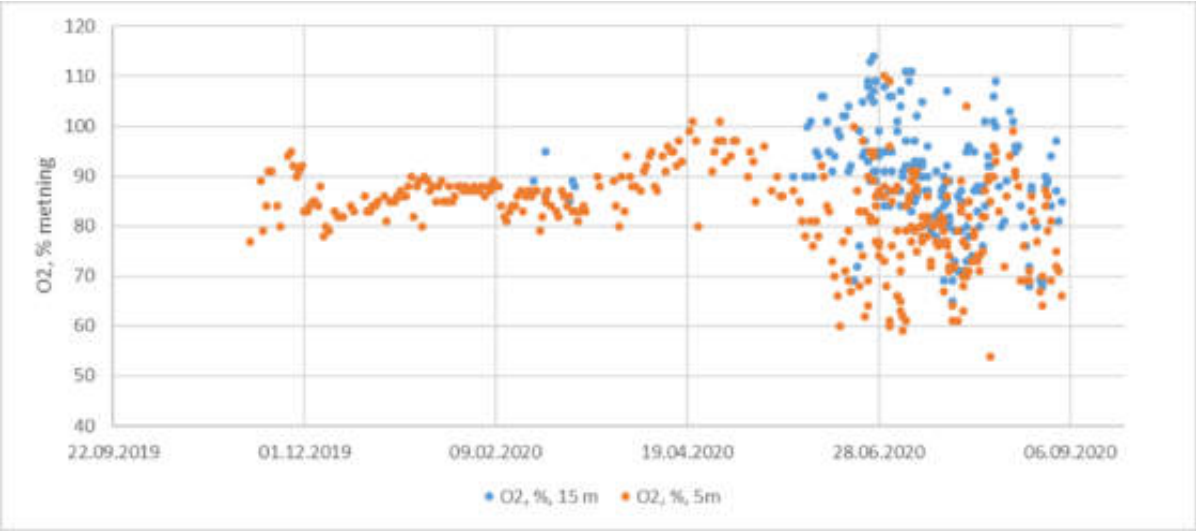
Det var registrert enkelte ekstremverdier for både oksygen (n=2) og temperatur (n=3) i datasettet i Mercatus. Disse verdiene ble vurdert som feilregistreringer og ble tatt ut av resultatene. Eksklusjonskriteriene ble definert for sjøtemperatur på 5 m dyp og oksygenmetning som henholdsvis: ≥17 °C og DO ≤40 %.

Temperaturdata, konstruerte og hentet fra Mercatus, er sammenstillet i figur 2 for begge lokalitetene. På Bullatholmen var gjennomsnittlig temperatur (5 m dyp) på 6,5 °C (min 2,5, maks 13,8 °C) og på Grøttøy 6,9 °C (min 2,6, maks 14,1 °C) i perioden det var fisk på lokalitetene. De delvis konstruerte temperaturkurvene fra sensorene på 5 meters dyp er også brukt som utgangspunkt for å beregne gjennomsnittstemperaturen for produksjonen i de ulike merdene.



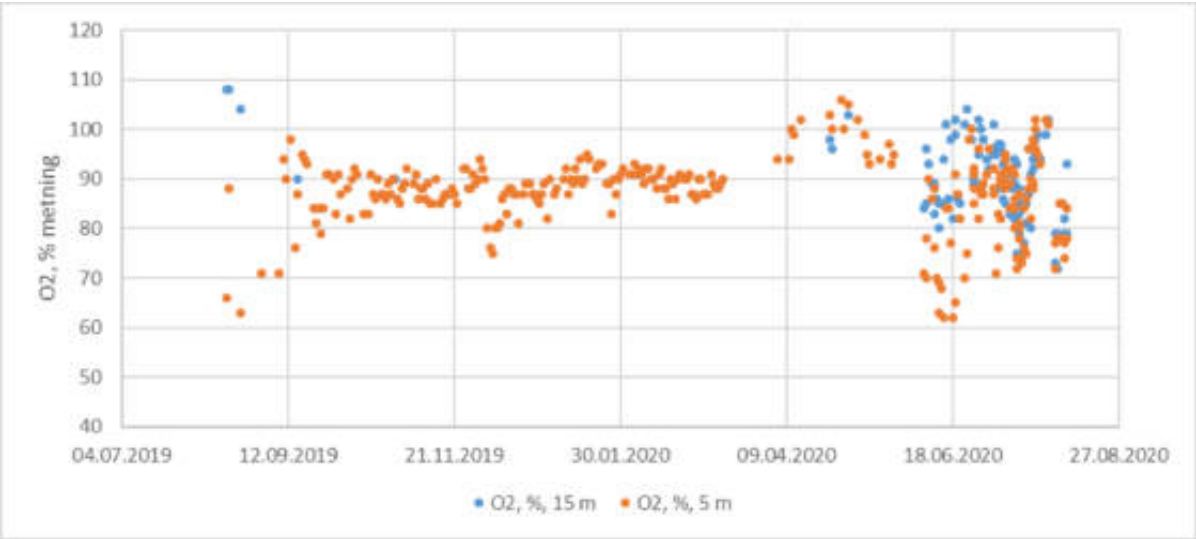
Figur 2. Sjøtemperatur (5 m) på Bullatholmen og Grøttøy i perioden det stod fisk på lokalitetene.

Oksygendata fra Bullatholmen er presentert i figur 3. På 15 meters dyp var gjennomsnittlig oksygennivå 90 % DO (min. 65 %, maks. 114 %, n= 194) og på 5 meters dyp 83 % DO (min. 54 %, maks. 110 %, n = 347). Fra 1. juni 2020 og ut produksjonen var det hyppigere registreringer i Mercatus og et tilsvarende antall registreringer fra 15 (n = 186) og 5 meters dyp (n = 185). I denne perioden var gjennomsnittlig oksygennivå 90 % DO på 15 meters dyp og 79 % DO på 5 meters dyp.



Figur 3. Målinger av oksygenmetning (5 og 15 meters dyp) i merder på Bullatholmen i perioden fisken stod på lokaliteten.

Oksygendata fra Grøttøy er presentert i figur 4. På 15 meters dyp var gjennomsnittlig oksygennivå 90 % DO (min. 72 %, maks. 108 %, n= 111) og på 5 meters dyp 87 % DO (min. 62 %, maks. 106 %, n = 284). Fra 6. juni 2020 og ut produksjonen var det hyppigere registreringer i Mercatus og tilsvarende antall registreringer fra 15 (n = 102) og 5 (n = 102) meters dyp. I denne perioden var gjennomsnittlig oksygennivå 90 % DO på 15 meters dyp og 84 % DO på 5 meters dyp.



Figur 4. Målinger av oksygenmetning (5 og 15 meters dyp) i merder på Grøttøy i perioden fisken stod på lokaliteten.

Daglige avlesninger fra enkelte målepunkt på en lokalitet kan være tilstrekkelig når det gjelder vanntemperatur, men når det gjelder oksygen vil dette fort bli mangelfullt. Vanntemperaturen er ofte noenlunde stabil over en periode på flere uker mens oksygennivået i en oppdrettsmerd kan variere mye i løpet av et døgn. Vanntemperaturen på et gitt dyp vil også ofte være omtrent den samme fra en merd til en annen på lokaliteten, mens oksygennivået kan variere mellom merder i samme anlegg. Det å konstruere en temperaturkurve basert på relativt få målinger er vurdert å være noenlunde forsvarlig, men det samme vil ikke nødvendigvis gjelde for oksygen.

Datagrunnlaget når det gjelder oksygeninnholdet i vannet er for mangelfullt for å kunne si noe sikkert om forholdene i merdene på Bullatholmen og Grøttøy. Likevel virker det å være en tendens til lavere oksygeninnhold på 5 meters dyp sammenliknet med på 15 meters dyp. Dette forholdet kan trolig blant annet tilskrives luseskjørtene som var montert på nøtene. Fra midten av juni 2020 ble det gjort en del målinger av oksygenmetning under 70 %, noe som ikke er optimalt for produksjon av laks.

Appetitt, tilvekst og fôrfaktor

Antall fisk satt ut, fiskens snittvekt ved utsett og mengde fôr brukt har vært utgangspunktet for beregning av fiskens tilvekst i løpet av perioden på post-smolt lokalitetene. I Mercatus er Nordlaks sine erfaringstall lagt til grunn for beregning av vektøkning relatert til tildelt fôrmengde. Snittvekten på fisken som oppgis i Mercatus ved produksjonens slutt er et estimat, og dermed er beregning av fôrfaktor og tilvekstfaktorer beheftet med tilsvarende usikkerhet. Fasit på antall fisk og størrelse får en først den dagen fisken blir slaktet

Tilvekstmodellene i Mercatus er kontrollert ved snittveiinger i løpet av produksjonen. På Grøttøy ble det gjennomført snittveiing i de fleste merder 7. november 2019 og 2. mars 2020. Den første viste jevnt over høyere snittvekter enn prognose, mens den andre viste vekter som lå omtrent på prognose eller litt under. Vekter i Mercatus ble ikke justert etter disse veiingene. 8. mai 2020 ble det gjennomført snittveiing på både Bullatholmen og Grøttøy. Denne snittveiingen resulterte i en nedjustering av snittvekten i Mercatus på mellom ca. 3 og 6 % på merdnivå.

Biologisk fôrfaktor (FF_{bio}) angir hvor mye fôr (kg) som ble utfôret i gjennomsnitt per kg vektøkning hos fisken. Biologisk fôrfaktor inkluderer også vekten på fisken som døde underveis i produksjonen. Den økonomiske fôrfaktor ($FF_{øko}$) inkluderer ikke mengden død fisk underveis i produksjonen, slik at denne faktoren bare tar hensyn til mengden fisk ved produksjonens slutt, i forhold til mengden fôr tildelt. Spesifikk vekstrate (SGR) angir den gjennomsnittlige tilveksten i prosent per dag i perioden. Temperaturkorrigert vekstfaktor (TGC) /Vekstfaktor 3 (VF3) er en verdi som beskriver tilveksten over en periode og som også inkluderer gjennomsnittstemperatur i beregningen. Dette slik at sammenligning av tilvekst mellom ulike grupper fisk er enklere. De ulike faktorene og vekstraten beregnes etter følgende formler:

$$FF_{Bio}=\frac{Utfôret\ mengde}{BMslutt+BMdøde-BMstart}$$

$$FF_{Øko}=\frac{Utfôret\ mengde}{BMslutt-BMstart}$$

$$SGR=((\frac{Snittvekt\ slutt}{Snittvekt\ start})^{\frac{1}{dg}}-1)100$$

$$TGC=\frac{((Snittvekt\ slutt)^{\frac{1}{3}}-(Snittvekt\ start)^{\frac{1}{3}})\times 1000}{Snitttemperatur\times dg}$$

I tabell 3 og 4 oppsummeres resultater ved produksjonens slutt på merdnivå for henholdsvis Bullatholmen og Grøttøy; Dato for når fisken ble flyttet til Havfarm 1, antall dager på postsmolt-lokalitetene, gjennomsnittlig sjøtemperatur for perioden (se også kapittel «Miljø»), antall fisk og snittvekt ved flytting, akkumulert dødelighet, biologisk- og økonomisk fôrfaktor, spesifikk vekstrate og VF3.

Fisken stod på Bullatholmen og Grøttøy mellom 276 og 347 dager før den ble flyttet til Havfarm 1, i løpet av sommer og høst 2020. Gjennomsnittsvekten på fisken på merdnivå hadde da økt til mellom 906 og 2080 gram. Gjennomsnittstemperaturen varierte fra 6 til 7 grader mellom merdene. Den biologiske fôrfaktoren varierte på merdnivå mellom 1,00 og 1,06, mens den økonomiske fôrfaktoren varierte mellom 1,01 og 1,07. Spesifikk vekstrate var mellom 0,69 og 0,92 % og VF3 var mellom 2,71 og 3,39.

Tabell 3. Oppsummerte produksjonsresultater på merdnivå for fisken på Bullatholmen. Leveringsdato, antall fisk og snittvekt, antall dager produksjon og snitt-temperatur, akkumulert dødelighet, biologisk- og økonomisk fôrfaktor, spesifikk vekstrate (SGR) og vekstfaktor 3 (VF3).

Merd	Dato levering	Antall	Snittvekt, g	Ant. dager	Snitt °C	Akk. Døde, %	FF_{bio}	$FF_{øko}$	SGR	VF3
2	29.08.2020	90 444	1474	323	6,8	1,37	1,04	1,04	0,88	3,20
3	01.08.2020	130 994	985	277	6,0	6,03	1,03	1,06	0,73	2,95
4	02.08.2020	133 828	908	278	6,0	4,00	1,04	1,06	0,70	2,77
5	29.08.2020	132 731	1567	304	6,6	4,65	1,04	1,06	0,75	3,07
6	05.09.2020	134 916	1504	311	6,7	3,08	1,02	1,04	0,72	2,88
7	05.09.2020	142 344	1440	310	6,7	3,39	1,00	1,02	0,76	2,95
8	02.08.2020	143 245	906	276	6,0	2,78	1,03	1,05	0,69	2,75
9	06.09.2020	129 448	1368	310	6,7	3,32	1,00	1,01	0,86	3,13
10	06.09.2020	126 633	1109	310	6,7	6,07	1,00	1,02	0,76	2,71

Tabell 4. Oppsummerte produksjonsresultater på merdnivå for fisken på Grøttøy. Leveringsdato, antall fisk og snittvekt, antall dager produksjon og snitt-temperatur, akkumulert dødelighet, biologisk- og økonomisk fôrfaktor, spesifikk vekstrate (SGR) og vekstfaktor 3 (VF3).

Merd	Dato levering	Antall	Snittvekt, g	Ant. dager	Snitt °C	Akk. Døde, %	FF_{bio}	$FF_{øko}$	SGR	VF3
1	11.08.2020	116 543	1292	305	6,5	1,08	1,04	1,05	0,86	3,19
2	26.07.2020	98 619	1918	347	7,0	1,19	1,06	1,06	0,89	3,27
3	24.07.2020	97 800	2022	345	7,0	1,19	1,06	1,06	0,91	3,39
4	24.07.2020	97 212	2041	345	7,0	1,65	1,06	1,07	0,90	3,38
5	25.07.2020	98 537	2080	346	7,0	2,00	1,06	1,07	0,90	3,39
6	26.07.2020	101 017	1915	346	7,0	1,49	1,06	1,07	0,90	3,30
8	27.07.2020	101 848	1880	347	7,0	1,26	1,06	1,06	0,89	3,25
9	27.07.2020	101 526	1911	347	7,0	1,57	1,06	1,06	0,89	3,27
10	25.07.2020	87 870	2025	345	7,0	1,89	1,06	1,06	0,92	3,41
11	12.08.2020	136 036	1106	305	6,5	1,41	1,04	1,04	0,78	2,84
12	11.08.2020	130 520	1284	304	6,5	5,40	1,04	1,06	0,83	3,13

Summeres produksjonsresultatet (tabell 3 og 4) for postsmoltfasen fordelt på hvilken merd/bur fisken ble flyttet til i Havfarm 1 får en resultatene gjengitt i tabell 5. Fisken som ble flyttet til bur 1 og 2 hadde lavest dødelighet og best tilvekst, mens fisken som ble flyttet til bur 4 og 5 hadde høyest dødelighet og lavest tilvekst. Fisken som ble flyttet til bur 3 og 6 lå mellom disse i både dødelighet og tilvekst.

Tabell 5. Fisk flyttet til Havfarm 1, antall, snittvekt, og produksjonsresultat fra postsmoltfasen på Bullatholmen og Grøttøy

Bur i HF	Fra merder	Antall	Snittvekt, g	Akk. døde, %	FF_{bio}	$FF_{øko}$	SGR	VF3
1	GØ 3, 4, 5, 10	381419	2042	1,68	1,06	1,07	0,90	3,39
2	GØ 2, 6, 8, 9	403010	1906	1,38	1,06	1,06	0,89	3,27
3	BU 2, 5, 6	358091	1520	3,25	1,04	1,05	0,76	3,00
4	BU 7, 9, 10	398425	1312	4,24	1,00	1,01	0,79	2,93
5	BU 3, 4, 8	408067	932	4,24	1,03	1,06	0,70	2,82
6	GØ 1, 11, 12	383099	1223	2,71	1,04	1,05	0,82	3,05

Fiskehelse og velferd

Fiskehelse og -velferd på lokalitetene ble daglig overvåket av driftspersonellet, fôringen ble overvåket via kamera, det ble tatt opp dødfisk og plukket svimere, telt lus, tatt ut og analysert blodprøver og fiskehelsetjenesten gjennomførte et risikobasert helsetilsyn. Alle disse aktivitetene og registreringene forteller noe om fiskens helse og velferd og nevnes ofte under fellesbetegnelsen «velferdsindikatorer».

I dette kapitlet oppsummeres noen av de registreringene som ble gjort under ordinær drift i løpet av produksjonen på Bullatholmen og Grøttøy.

Helsekontroller og diagnoser

Helsekontrollen på Bullatholmen og Grøttøy ble utført av Åkerblå AS fra utsett høsten 2019 fram til flytting sensommeren 2020.

På Bullatholmen ble det gjennomført 11 besøk i perioden (tabell 6). De første månedene gikk det generelt bra på lokaliteten. I desember 2019 var det begynnende sårproblematikk i merd 3 og fra omkring uke 3-2020 økte dødeligheten som følge av sår og finneråte, dette spesielt i merd 3 og 4. I perioden februar til april/mai var det sårproblematikk og forhøyet dødelighet i alle merder unntatt merd 2. I forbindelse med sårproblematikk ble det dyrket bakterier av typene *Vibrio wodanis* og *Tenacibaculum sp*. I april og utover ble det ved obduksjon funnet flere fisker med sirkulasjonsforstyrrelse, ofte i tillegg til sår. Det ble i slutten av april påvist (histologi) CMS hos ett individ (av 5 undersøkte) fra merd 10 og PMCV (PCR) hos tre (av 5 undersøkte) individ fra merd 3. I tillegg ble det påvist (PCR) PRV i små mengder i 1 av 5 prøver fra merd 3. Fra juni og fram til flytting var dødeligheten normal i hele anlegget. I juli ble det gjennomført en utvidet smittekartlegging (PCR) der det i tillegg til PMCV og PRV også ble påvist IPN, SGPV og Parvicapsula (se kapittel «Flyttestatus»).

På Grøttøy ble det gjennomført 11 besøk i løpet av perioden fisken var på lokaliteten (tabell 7). Det var litt utsettsdødelighet i merdene 5 og 10 som raskt ble normalisert. I forbindelse med første besøk ble det påvist *Vibrio logei, V. splendidus og V. wodanis* ved dyrking fra sårfisk. I september var det litt økende dødelighet i merdene 4 og 5 og det kunne sees en del fisker med slitasje/råte på ryggfinnene. Det ble påvist IPN gjennom både histologi og PCR, dessuten noen organskader som ikke ble knyttet til spesifikk sykdom. I slutten av september ble det satt ut fisk i tre merder og i merd 12 oppstod det forhøyet dødelighet etter utsett. I prøver fra merd 12 ble det ved dyrking påvist *Vibrio logei* og *V. wodanis* og mistanke om *Tenacibaculum sp.*, men årsaken til utsettsdødeligheten ble ikke endelig avklart. Den forhøyede dødeligheten i merd 12 fortsatte utover i november og desember og sårproblematikk var den viktigste dødsårsaken. Bakteriell sårinfeksjon (*Vibrio logei*, *V.*

wodanis og *Tenacibaculum sp.*) ble satt som diagnose på fisken fra merd 12 etter prøveuttak 9. desember, analysert hos Veterinærinstituttet (VI). I januar var dødeligheten i merd 12 litt på retur. I februar var dødeligheten fortsatt litt forhøyet i merd 12 og i merd 11 hadde den økt litt. Hovedproblemet ble vurdert fortsatt å være sår. I mars var dødeligheten noenlunde normalisert i merd 12 og ellers normal i resten av anlegget. Dødeligheten var fra mars og ut produksjonen normal i alle merdene. I juli ble det gjennomført en utvidet smittekartlegging (PCR) der det ble påvist IPN, PRV, PMCV, Branchiomonas og Parvicapsula på fisken fra Grøttøy (se kapittel «Flyttestatus»).

Tabell 6. Gjennomførte helsekontroller på Bullatholmen og velferdsvurderingen utført i sammenheng med disse.

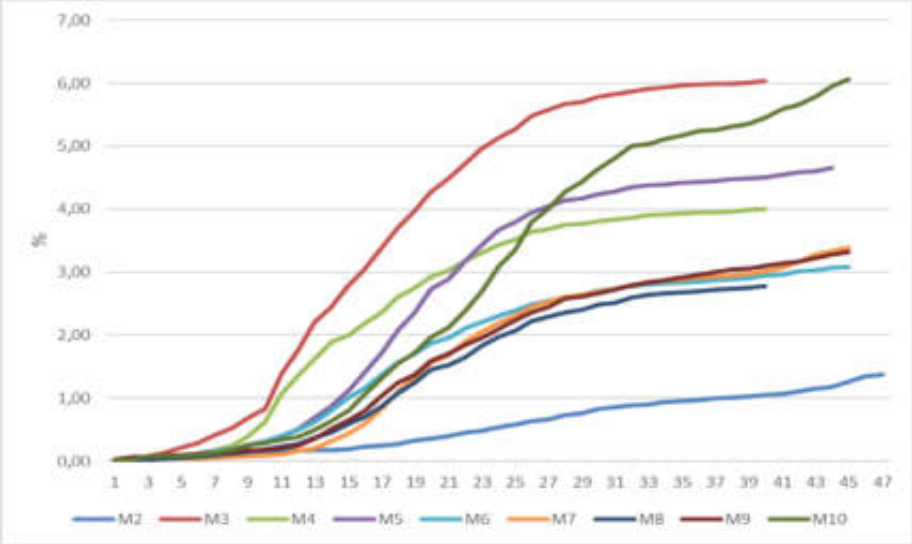
Besøk dato	Rapport id.	Velferdsvurdering
21.10.2019	ÅB-Z2CYJ-RR	God
12.11.2019	ÅB-8Q495-RR	God
09.12.2019	ÅB-8P8B6-RR	God
10.02.2020	ÅB-9GFN2-RR	Generelt tilfredsstillende, nedsatt hos individer med sår/finneråte.
09.03.2020	ÅB-SBP56-RR	Generelt tilfredsstillende, nedsatt hos individer med sår/finneråte.
03.04.2020	ÅB-6EP65-RR	Nedsatt i merder med sår og tapere
27.04.2020	ÅB-4RXWS-RR	Velferdsvurdering mangler
28.05.2020	ÅB-66CSM-RR_k1	Generelt god, akseptabel. Nedsatt i merd 10
25.06.2020	ÅB-8UFFC-RR	God
13.07.2020	ÅB-6A36F-RR	God
20.08.2020	ÅB-EB3AR-RR	God

Tabell 7. Gjennomførte helsekontroller på Grøttøy og velferdsvurderingen utført i sammenheng med disse.

Besøk dato	Rapport id.	Velferdsvurdering
02.09.2019	ÅB-8XRB2-RR	Generelt god, nedsatt hos individer med sår.
09.09.2019	ÅB-ATHHS-RR	Ikke vurdert
21.10.2019	ÅB-4CG9P-RR	Generelt god, nedsatt i merd 12.
12.11.2019	ÅB-V4TU8-RR	Akseptabel, noe nedsatt i merd 12.
09.12.2019	ÅB-J5PV5-RR	Generelt god, nedsatt hos individer med sår.
07.01.2020	ÅB-6D3EA-RR	Generelt god
10.02.2020	ÅB-YZ6E4-RR	Generelt god, nedsatt hos undermålsfisk og fisk med sår.
09.03.2020	ÅB-MBY8S-RR	Generelt god, nedsatt hos individer med sår.
03.04.2020	ÅB-F2896-RR	Generelt god, nedsatt hos individer med sår.
02.06.2020	ÅB-WCC4S-RR	God
13.07.2020	ÅB-2X86P-RR	God

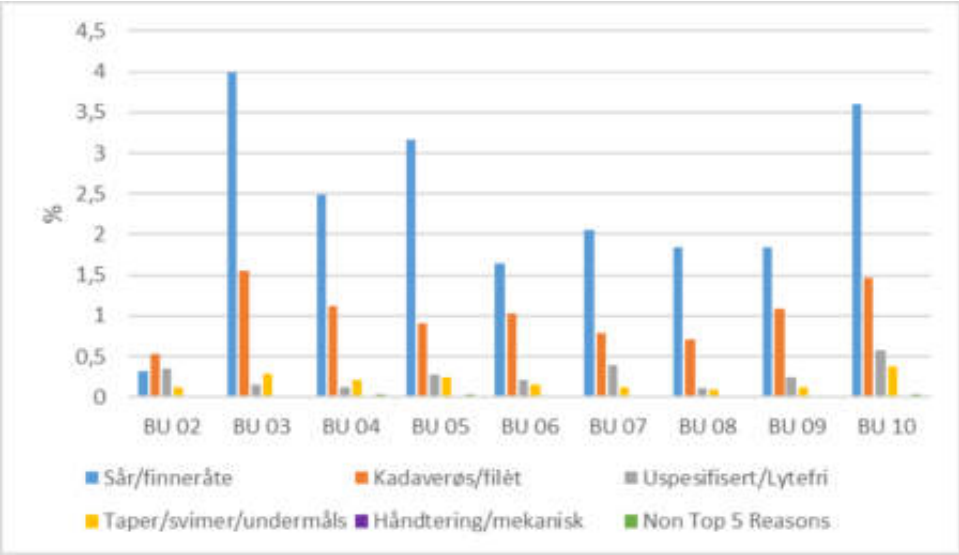
Dødelighet og dødfisk-kategorisering

Utviklingen i akkumulert dødelighet fra utsett til flytting i merdene på Bullatholmen er vist i figur 5. Det er her tatt utgangspunkt i datoen fisken ble satt i sjøen, noe som var litt forskjellig fra merd til merd (tabell 1). Fisken i merd 2 ble satt ut 11. oktober mens fisken i de øvrige merdene ble satt ut rundt månedsskiftet oktober/november. Fisken i merd 2 hadde lavest akkumulert dødelighet (1,4 %), mens de øvrige merdene hadde fra 2,8 % til 6,1 % akkumulert dødelighet (tabell 3). Dødeligheten var normal de første ukene men økte etter ca. 8 uker i de fleste merdene, noe som stort sett hadde sammenheng med sårproblematikk.



Figur 5. Akkumulert dødelighet (%) i merder på Bullatholmen, i uker etter utsett.

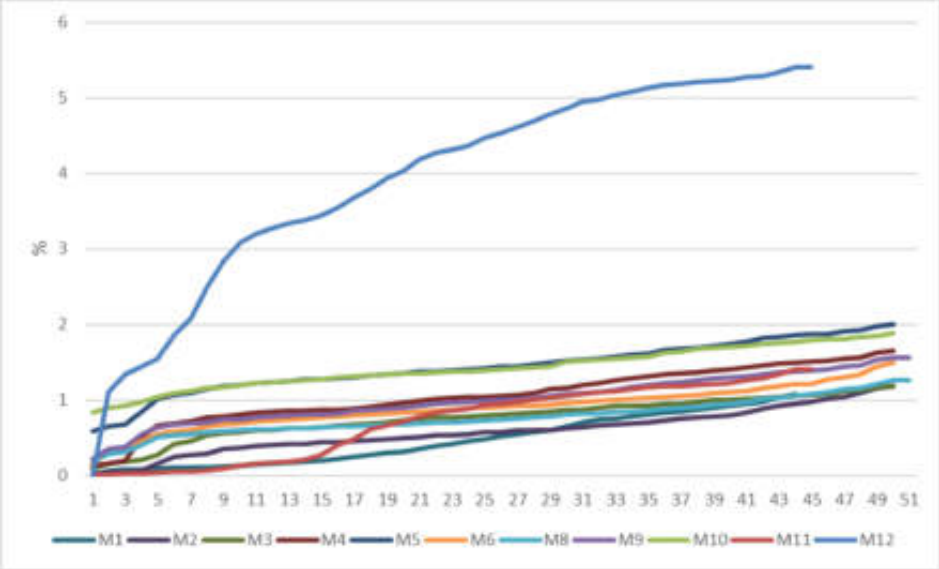
I figur 6 er den akkumulerte dødeligheten i de ulike merdene på Bullatholmen delt opp på dødfisk-kategorier. Dødfisken ble kategorisert daglig av driftspersonell i forbindelse med opptak fra merdene. For hele lokaliteten var «sår/finneråte» den viktigste dødfisk-kategorien (61 %), etterfulgt av «kadaverøs/filet» (26 %), «uspesifisert/lytefri» (7 %) og «taper/svimer/undermåls» (5 %).



Figur 6. Akkumulert dødelighet (%) i merder på Bullatholmen, fordelt på dødfisk-kategorier.

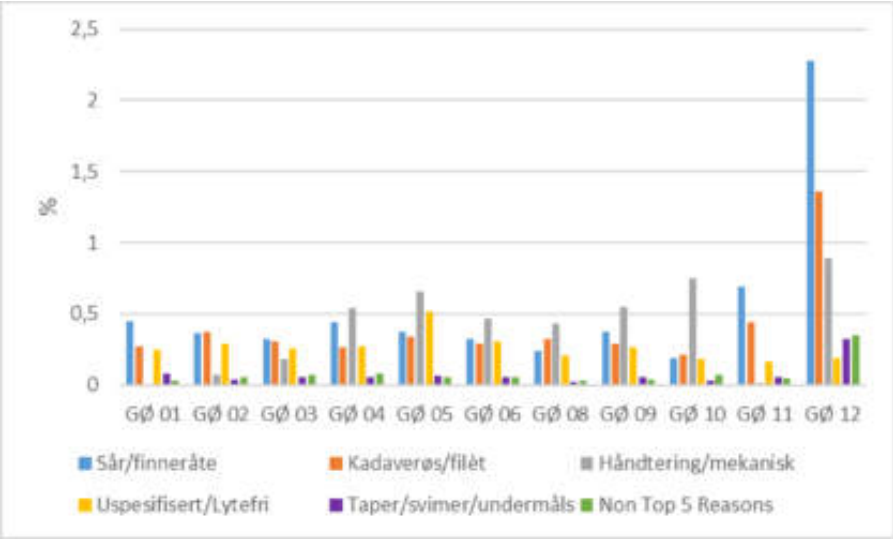
Utviklingen i akkumulert dødelighet fra utsett til flytting i merdene på Grøttøy er vist i figur 7. Det er her tatt utgangspunkt i datoen fisken ble satt i sjøen, noe som var litt forskjellig fra merd til

merd (tabell 2). Fisken ble satt ut i løpet av to korte perioder 14. – 15. august (merdene 2 – 10) og 11. – 12. oktober (merdene 1, 11 og 12). Fisken hadde stort sett en akkumulert dødelighet mellom 1 og 2 %, men i merd 12 var den akkumulerte dødeligheten på 5,4 % (tabell 4). I merd 12 økte dødeligheten rett etter utsett og var forhøyet de første 2 månedene. I resten av merdene var dødeligheten normal gjennom hele produksjonen.



Figur 7. Akkumulert dødelighet i merder på Grøttøy, %, i uker etter utsett.

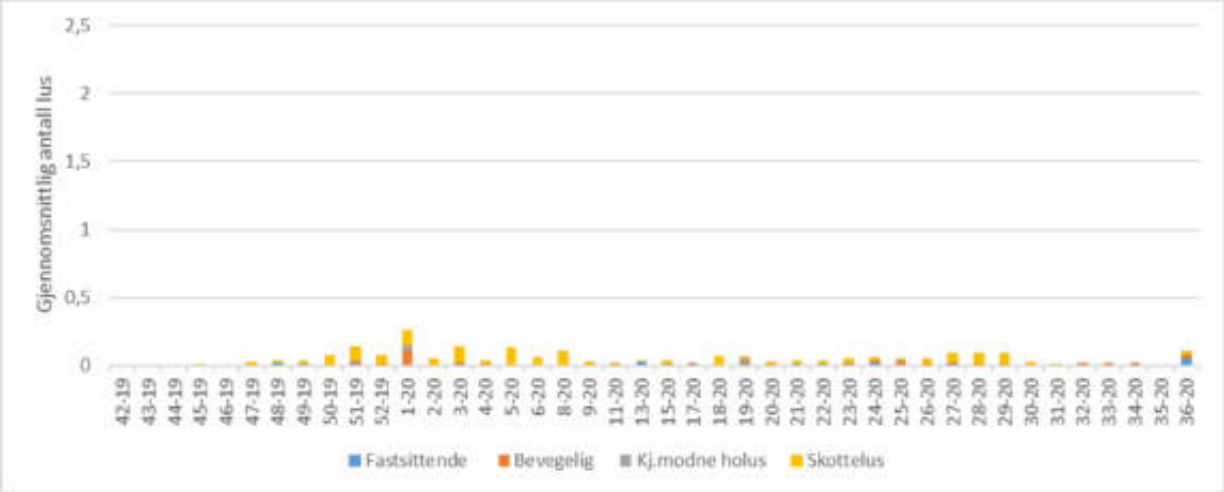
I figur 8 er den akkumulerte dødeligheten i de ulike merdene på Grøttøy delt opp på dødfisk-kategorier. Dødfisken ble kategorisert daglig av driftspersonell i forbindelse med opptak fra merdene. For hele lokaliteten var «sår/finneråte» den viktigste dødfisk-kategorien (32 %), etterfulgt av «kadaverøs/filet» (23 %), «håndtering/mekanisk» (22 %), «uspesifisert/lytefri» (14 %) og «taper/svimer/undermåls» (4 %).



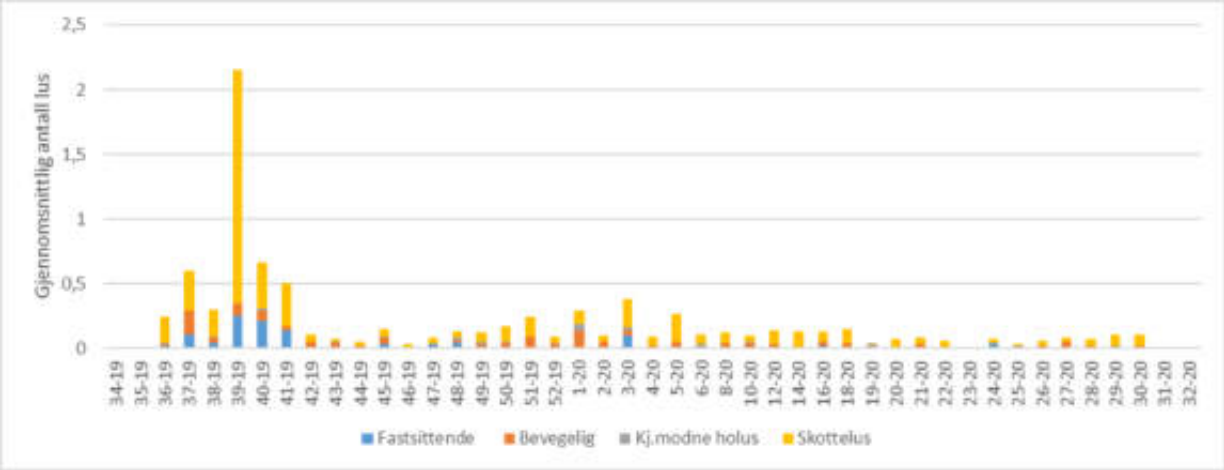
Figur 8. Akkumulert dødelighet (%) i merder på Grøttøy, fordelt på dødfisk-kategorier.

Lus og behandlinger

Det var lave lusenivå gjennom hele produksjonen på både Bullatholmen (figur 9) og Grøttøy (figur 10). Lusemengden var på intet tidspunkt nær det forskriftsfestede maksnivået på 0,5 kjønnsmodne holus i gjennomsnitt per fisk. Fisken på Grøttøy (merdene 2 tom. 10) ble, grunnet økende lusemengder høsten 2019, behandlet mot lus med Slice vet. All fisken på begge lokaliteter ble behandlet med Slice vet. før flytting, dette for å sikre at så lite lus som mulig ble med inn i Havfarm 1. De fire siste ukene før lokalitetene ble tømt for fisk var det på Bullatholmen ≤0,08 lakselus (alle stadier) i gjennomsnitt per fisk, mens det tilsvarende tallet for Grøttøy var ≤0,02.



Figur 9. Resultatet av ukentlige lusetellinger på Bullatholmen oppgitt som gjennomsnittlig antall lakselus i ulike stadier (fastsittende, bevegelig og kjønnsmodne holus) og skottelus.



Figur 10. Resultatet av ukentlige lusetellinger på Grøttøy oppgitt som gjennomsnittlig antall lakselus i ulike stadier (fastsittende, bevegelige og kjønnsmodne holus) og skottelus.

Adferdsregistreringer

Som driftspersonell på en akvakulturlokalitet er en av dine viktige oppgaver å overvåke fiskene i merdene. Det menneskelige sanseapparat er et avansert system som trenger minimalt med vedlikehold. Dersom dette systemet brukes jevnlig til en oppgave vil sansene skjerpes til å oppfatte små men viktige nyanser. Mange vil naturlig gjøre observasjoner av adferden til fisken, men like naturlig er det kanskje ikke å systematisk notere ned sine observasjoner. Gjennom systematisk arbeid med observasjoner vil disse potensielt utgjøre et viktig bidrag til arbeidet med fiskevelferden i anlegget og dokumentasjonen av denne. Et observant driftspersonell kan i gitte situasjoner utgjøre en vesentlig forskjell ved å gi tidlige varsler på viktige endringer i for eksempel fiskens adferd.

Tidlig i driften på Bullatholmen og Grøttøy ble det etablert et enkelt system for loggføring av daglige observasjoner av adferd og antall avvikere i merdene. Et regneark med én rad per merd per dag og kolonner for adferd, antall avvikere og fritekstfelt. Adferden skulle beskrives som enten normal (1) eller unormal (2), der unormal adferd skulle følges av en beskrivelse av observasjonen. Avvikere i en merd kan være svimere, sårfisk, deformerte, tapere eller annet. Antall avvikere observert ble delt inn i intervall der 0 = 0, 1 = 1-10 stk., 2 = 11 – 20 stk., 3 = 21 – 50 stk. og 4 > 50 stk. Det var også et merknadsfelt for beskrivelse av avvikere. For begge kategoriene, adferd og antall avvikere, var det et alternativ (5) at merden ikke ble inspisert gjeldende dag. Dette alternativet ble som regel anvendt som følge av dårlig vær.

I tabell 8 og 9 er adferdsregistreringene fra henholdsvis Bullatholmen og Grøttøy oppsummert. Det ble gjennomført adferdsregistrering ca. 90 % av dagene fiskene var på lokalitetene. Det var svært få registreringer av unormal adferd, henholdsvis 21 merdregistreringer på Bullatholmen og 5 på Grøttøy. Dette ut av henholdsvis 2470 merd-dager med registrering på Bullatholmen og 3011 på Grøttøy. Det ble observert 10 eller færre avvikere i merdene på Bullatholmen 2364 ganger og over 10 avvikere 37 ganger. På Grøttøy ble det observert 10 eller færre avvikere i merdene 2925 ganger og over 10 avvikere 19 ganger.

Tabell 8. Bullatholmen. Antall dager med registrering av normal (=1) og unormal (=2) adferd hos fisken i merdene, og antall dager med registrering av antall avvikere i ulike intervall (0 = 0, 1 = 1-10 stk., 2 = 11 – 20 stk., 3 = 21 – 50 stk. og 4 > 50 stk.). Valgalternativet «5» er dager det ikke ble gjort registrering.

Merd	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Sum
Adferd 1, antall	300	254	255	278	279	278	253	280	272	2449
Adferd 2, antall	1	5	1	2	1	3	0	0	8	21
Adferd 5, antall (ingen registrering)	23	20	20	23	26	25	21	27	27	212
Avvikere 0, antall	210	87	97	132	139	140	125	148	127	1205
Avvikere 1, antall	84	147	145	136	133	133	119	122	140	1159
Avvikere 2, antall	0	13	7	2	1	1	1	1	4	30
Avvikere 3, antall	0	2	1	1	0	0	0	1	1	6
Avvikere 4, antall	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
Avvikere 5, antall (ingen registrering)	30	28	25	29	32	31	27	34	34	270

Tabell 9. Grøttøy. Antall dager med registrering av normal (=1) og unormal (=2) adferd hos fisken i merdene, og antall dager med registrering av antall avvikere i ulike intervall (0 = 0, 1 = 1-10 stk., 2 = 11 – 20 stk., 3 = 21 – 50 stk. og 4 > 50 stk.). Valgalternativet «5» er dager det ikke ble gjort registrering.

Merd	1	2	3	4	5	6	8	9	10	11	12	Sum
Adferd 1, antall	272	270	270	272	270	275	276	274	274	277	276	3006
Adferd 2, antall	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	5
Adferd 5, antall (ingen registrering)	30	37	37	36	37	32	31	33	33	26	25	357
Avvikere 0, antall	187	198	210	206	197	208	212	210	210	198	129	2165
Avvikere 1, antall	78	66	54	58	68	59	57	57	58	74	131	760
Avvikere 2, antall	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	12	16
Avvikere 3, antall	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3
Avvikere 4, antall	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Avvikere 5, antall (ingen registrering)	36	43	43	43	42	39	38	40	39	29	28	420

Klinisk kjemi

Klinisk kjemi brukt som velferdsindikator på laks er lite utprøvd og det fins lite offentlig dokumentasjon tilgjengelig. Metoden er likevel vurdert som potensielt svært interessant og har vært inkludert i begrenset grad i denne dokumentasjonen, hovedsakelig for å se om den kan bidra med interessant informasjon.

Ved en rekke anledninger i løpet av produksjonen ble det tatt ut blodprøver fra tilfeldig uttatt fisk fra enkelte merder i de to anleggene, 10 prøver per merd ved hvert uttak. Blodprøvene ble analysert hos Atla Aquaculture AS for 5 ulike måleparametere i plasma, disse var:

- Ferric reducing ability of plasma (FRAP): FRAP er et mål på antioksidativ kapasitet i blodet. Høye verdier indikere at fisken er utsatt for oksidativt stress. Lave verdier er positivt – angir at fisken har en god antioksidativ status.
- C-reaktivt protein (CRP): CRP er et akuttfaseprotein som øker ved betennelsestilstander.
- Kreatinkinase (CK): CK er et enzym som hovedsakelig finnes i muskelceller. Normalt finnes det lav konsentrasjon i blodet, mens høye nivåer indikerer muskelskade.
- Alanin transaminase (ALAT): ALAT er et enzym som normalt finnes inne i cellene, hovedsakelig i leverceller. Normalt finnes det lav i konsentrasjon i blodet, mens høye nivåer kan indikere leverskade.
- Aspartat transaminase (ASAT): ASAT er et enzym som normalt finnes inne i cellene, hovedsakelig i lever- og muskelceller. Normalt finnes det lav konsentrasjon i blodet, mens høye nivåer kan indikere skade i en eller begge organsystemer.

Prøvesvar fra Atla Aquaculture (oppsummert i tabell 10) oppgir en gjennomsnittsverdi fra de 10 prøveanalysene på en skala fra 1 – 10, der 1 angir lavt nivå (positivt) økende til 10 som angir høyt nivå (negativt).

Tabell 10. Resultat fra målinger av 5 ulike blod-faktorer fra ulike datoer (uttak) og merder på Bullatholmen (BU) og Grøttøy (GØ). Måleverdiene (gjennomsnitt av 10 fisk) angis på en skala fra 1 – 10, der 1 angir lavt nivå (positivt) økende til 10 som angir høyt nivå (negativt).

Lokalitet	Merd	Dato	FRAP	CRP	CK	ALAT	ASAT
BU	5	28.04.2020	1	4	8	4	5
BU	5	26.05.2020	2	3	6	4	2
BU	5	21.07.2020	3	4	9	4	5
BU	6	21.07.2020	2	3	10	4	6
BU	8	28.04.2020	1	6	9	4	5
BU	10	26.05.2020	1	4	3	3	2
GØ	2	23.06.2020	3	5	10	4	6
GØ	3	20.11.2019	2	4	6	2	3
GØ	4	20.11.2019	2	4	7	3	3
GØ	4	06.01.2020	1	3	4	1	2
GØ	4	26.02.2020	1	5	3	1	2
GØ	4	21.04.2020	1	5	3	1	2
GØ	4	26.05.2020	2	6	3	1	1
GØ	4	23.06.2020	2	4	10	4	6
GØ	4	21.07.2020	3	4	10	8	7
GØ	6	26.02.2020	1	4	3	1	2
GØ	9	26.05.2020	2	5	4	1	2
GØ	10	21.04.2020	1	6	4	2	2
GØ	12	21.07.2020	3	3	6	4	3

Det ble tatt ut og analysert klart flest prøver fra Grøttøy merd 4. Resultatene fra denne merd viser en tydelig og negativ utvikling over tid i flere av de målte faktorene. Det er ingen tydelig sammenheng mellom resultatene fra blodprøve-analysene og dødeligheten og tilveksten i Grøttøy merd 4 – dødeligheten var lav og tilveksten god. Dersom blod-resultatene i stedet sammenlignes med analysesvar vedrørende organstatus og agensstatus (se kapitlet «Flyttestatus» under) finnes en mulig sammenheng. Dessverre ble det ikke tatt ut organprøver for histologisk undersøkelse fra Grøttøy merd 4 under uttaket av «flytteprøver» i midten av juli, men bare fra nabomerder (1, 8 og 10). I disse prøvene (se vedlegg 2, prøvesvar fra Veterinærinstituttet) ble det påvist patologiske forandringer, bl.a. forenelig med kjente smittsomme agens (se kapittel Organstatus). Det er uvisst om de samme typene patologiske forandringene fantes i fisk fra Grøttøy merd 4, men smittekartleggingen ved PCR (tabell 15) indikerer at dette kan ha vært tilfellet. Blodprøveresultatene fra Grøttøy merd 4 kan dermed tenkes å være et resultat av blant annet HSMB og gjellesykdom.

Flyttestatus

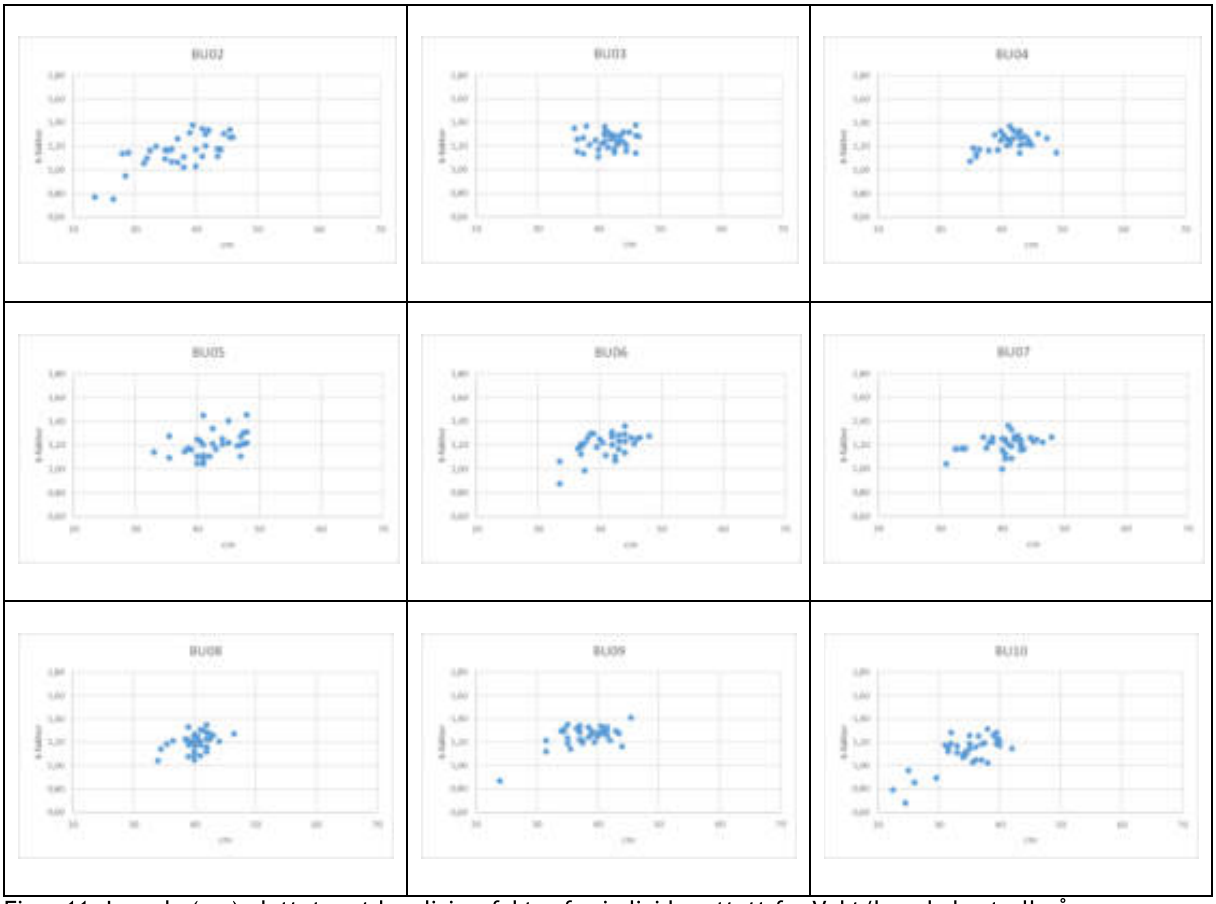
Dette kapitlet oppsummerer undersøkelsene som ble gjennomført på Bullatholmen og Grøttøy 7. – 9. juli 2020, der målet var å beskrive status på fisken i forkant av flytting til Havfarm 1. Et utvalg fisk fra hver merd ble veid, målt og det ble beregnet kondisjonsfaktor (k-faktor). De samme fiskene ble kontrollert for synlige ytre avvik (Velferdsskåring). Et utvalg av fiskene fikk undersøkt organstatus ved histologi, og omtrent samtidig ble det tatt ut prøver fra dødfisk for undersøkelse av agensstatus ved PCR.

Vektprøver

Det ble veid og målt 34 - 37 fisker fra hver av merdene på Grøttøy og Bullatholmen, dette slik at det før flytting var veid og målt 105 - 142 fisk per merd i Havfarmen. Fiskene ble innfanget med avkastnot og deretter håvet og bedøvd (Benzoak vet.) før veiing og måling. Fiskene ble tilbakeført til merdene etter undersøkelsene var gjennomført. Undersøkelsene ble gjennomført om bord på en av arbeidsbåtene til lokaliteten og spesielt veiing var utfordrende når det var vind og bevegelse i båten. Vektdataene er dermed forbundet med noe usikkerhet. Det ble brukt en stor og dyp avkastnot til innfangning av fisken og det var som oftest rikelig med fisk i avkastene, slik at uttakene antakelig var noenlunde representative for fisken i merdene. Likevel er det erfaringsvis slik at det er vanskelig å få representative uttak når en undersøker et relativt lavt antall fisk.

Første avkast i merd 2 på Bullatholmen var et dårlig uttak med totalt bare 19 fisk, hvorav langt de fleste var «pinner». Disse dataene ble ikke inkludert i det videre arbeidet. Etter det første og mislykkede uttaket ble det tatt et andre og bedre avkast i merd 2 på Bullatholmen, men trolig var ikke dette heller representativt (se argumentasjon lenger ned i dokumentet).

I figur 12 (Bullatholmen) og figur 13 (Grøttøy) er lengde plottet mot k-faktor for alle undersøkte fisk, ett plott per merd. Disse plottene indikerer at spesielt merdene BU02 og BU10 hadde stor spredning i størrelse og et visst innslag av liten fisk med lav k-faktor (pinner).

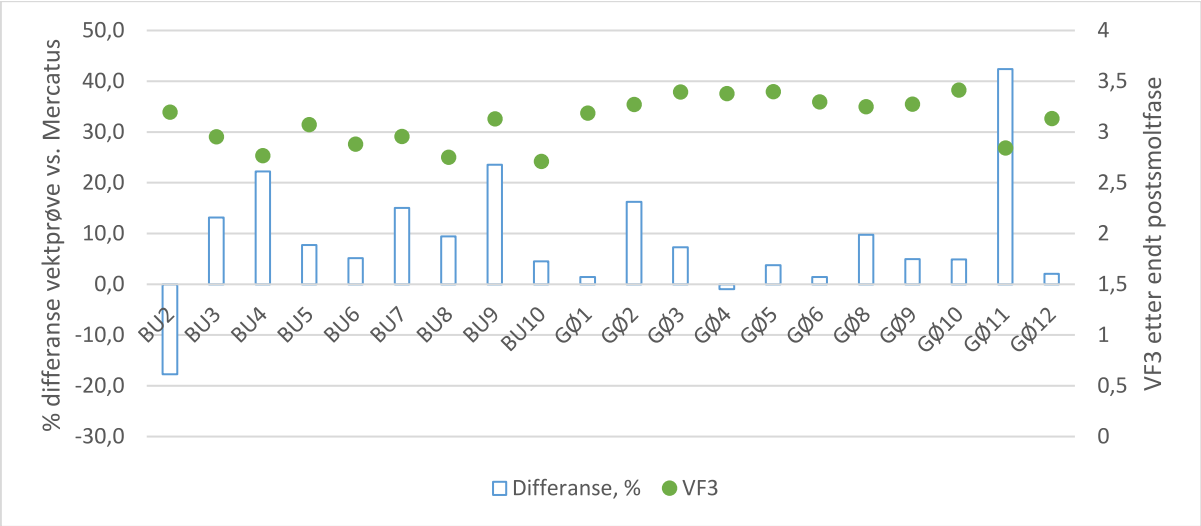


Figur 11. Lengde (cm) plottet mot kondisjonsfaktor for individer uttatt for Vekt/lengde kontroll på Bullatholmen 7. – 9- juli 2020.

Figur 12 Lengde (cm) plottet mot kondisjonsfaktor for individer uttatt for vekt/lengde kontroll på Grøttøy 7. – 9. juli 2020.

Sammenlignes gjennomsnittsvekten på fisken fra veieprøvene med den forventede snittvekten, estimatet som oppgis i Mercatus for samme dag, er det generelle bildet at de veide fiskene var større enn forventet (figur 14). Det var enkelte unntak fra det generelle bildet og veieprøven fra merd 2 på Bullatholmen skiller seg ut med en snittvekt ca. 20 % lavere enn den forventede snittvekten. En mulig forklaring på dette kan være at det andre og tellende avkastet ikke var representativt. Resultatene fra merd 11 på Grøttøy er det andre større avviket fra den generelle trenden, men her med et positivt vektavvik på over 40 %.

I figur 14 er det i tillegg til differansen i snittvekt mellom vektprøve og Mercatus-tall også plottet inn den beregnede vekstfaktor (VF3) på tidspunktet for flytting til Havfarm 1. VF3-verdien for merd 11 på Grøttøy skiller seg ut fra de øvrige merdene på Grøttøy med en lavere verdi. Sammenlignes differansen i VF3 med differansen i snittvekt, mellom vektprøve og tall fra Mercatus, kan dette indikere at snittvekten i Mercatus for denne er underestimert.



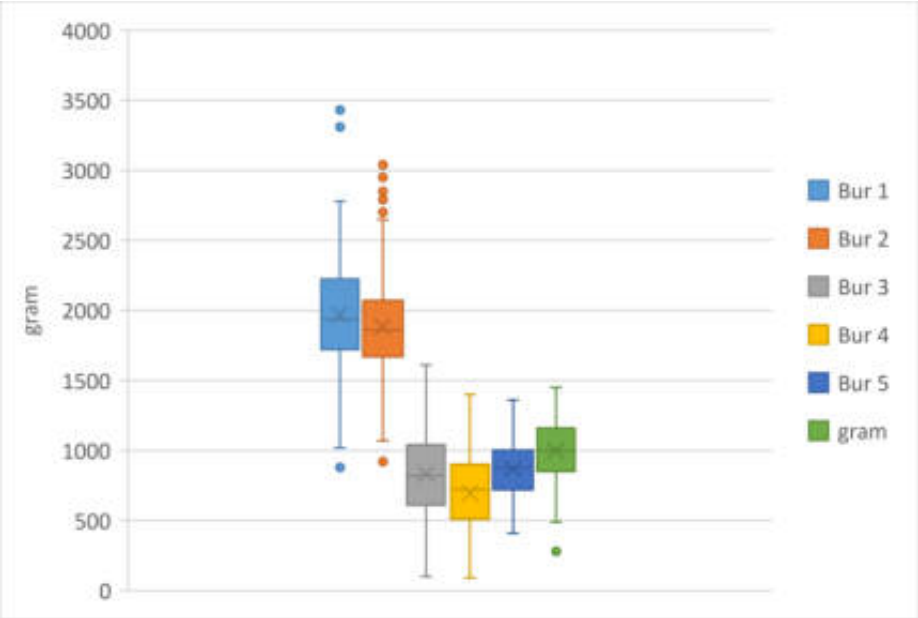
Figur 13. Differansen på merdnivå (%) mellom gjennomsnittsvekt fra vektprøven juli 2020 og gjennomsnittsvekt hentet fra Mercatus på samme dato. VF3-verdier etter endt postsmoltproduksjon er plottet inn til sammenlikning.

Fra slutten av juli og til begynnelsen av september ble fisken fra Bullatholmen og Grøttøy flyttet og fordelt på de 6 burene i Havfarm 1, fisk fra 3- 4 merder ble samlet i hvert bur. Bur 1: fisk fra Grøttøy merd 3, 4, 5 og 10. Bur 2: fisk fra Grøttøy merd 2, 6, 8 og 9. Bur 3: fisk fra Bullatholmen merd 2, 5 og 6. Bur 4: fisk fra Bullatholmen merd 7,9 og 10. Bur 5: fisk fra Bullatholmen merd 3, 4 og 8. Bur 6: fisk fra Grøttøy merd 1, 11 og 12.

I tabell 11 og i boks-diagrammet under (figur 15) er resultatet av veieprøvene samlet for hvert bur i Havfarm 1. I tabellen er det også presentert variasjonskoeffisienten (CV), som beregnes ved å dele standardavviket på gjennomsnittet. Variasjonskoeffisientene oppgitt i tabell 11 indikerer at fisken som ble satt inn i bur 3 og 4 i Havfarm 1 hadde større relativ variasjon i størrelse enn fisken som ble flyttet til hver av de andre burene i Havfarm 1.

Tabell 11. Vekt (g) nøkkeltall. Veide individer på Bullatholmen og Grøttøy 7. – 9. juli 2020, gruppert på hvilket bur i Havfarm 1 som fisken senere ble flyttet til.

	Gjennomsnitt	*Standardavvik*	*Median*	*Størst*	*Minst*	*Variasjonskoefficient (CV)*
Bur 1	1969	396	1935	3430	880	0,20
Bur 2	1883	381	1860	3040	920	0,20
Bur 3	833	312	820	1610	100	0,37
Bur 4	690	264	715	1400	90	0,38
Bur 5	876	204	875	1360	410	0,23
Bur 6	1001	223	1000	1450	280	0,22



Figur 14. Boks diagram med vektdata fra individmålinger. Data fra fisk som senere ble flyttet til samme bur i Havfarm 1 er samlet i en boks for hvert bur.

Velferdsskåring

Forenklet velferdsskåring er tenkt å være en kjapp og enkel måte å øke kunnskapen om velferden i en fiskegruppe. Metoden forutsetter at den som evaluerer fisken har vurdert en del oppdrettslaks tidligere, slik at moderate til uttalte forandringer/forskjeller umiddelbart registreres. Skåringen er basert på Fishwell-plakaten (Morfologiske operative velferdsindikatorer for atlantisk laks v. 1.1, https://nofima.no/wp-content/uploads/2018/09/FISHWELL-poster-hi-res-FINAL.pdf) men er en betydelig forenkling av denne. I forenklet velferdsskåring brukes et helhets-/førsteinntrykk av fisken og fiskene kategoriseres i tre kategorier:

- Helhetsinntrykk Skår 1: Normal kroppsfasong og lite skader/forandringer – en «vanlig» oppdrettslaks. Avhelte sår og finneskader, andre små lyter og skader er vanlig hos oppdrettslaks. Dessuten oppstår mindre skader også ofte i forbindelse med håndtering relatert til undersøkelse av fisk. Tilsvarer skår 0 – 1 på Fishwell-plakaten.
- Helhetsinntrykk Skår 2: Tydelig endret kroppsfasong og/eller tydelige skader/forandringer. En fisk med helhetsinntrykk 2 vurderes å ha midlertidig eller lett nedsatt velferd og vil ha rimelig mulighet for å bli frisk igjen. Tilsvarer skår 2 på Fishwell-plakaten
- Helhetsinntrykk Skår 3: Markant endret kroppsfasong og/eller store forandringer/skader. En fisk med helhetsinntrykk 3 har trolig sterkt nedsatt velferd og bør avlives for å hindre ytterligere lidelse. Tilsvarer skår 3 på Fishwell-plakaten

Dersom en fisk får helhetsinntrykk skår 2 eller 3 markeres det i en/flere kategorier som beskriver årsaken til skåringen av denne fisken. Disse kategoriene er «sekker» som samler en eller flere av kategoriene som er beskrevet på Fishwell-plakaten. Det er i utgangspunktet angitt 4 kategorier, som antatt dekker de hyppigste avvik. Dessuten er det et fritekstfelt, «Annet», som brukes for skader/forandringer som ikke passer inn i de 4 kategoriene. Det er mulig å sette mer enn ett kryss per fisk og samtidig bruke fritekstfeltet ved behov. De 4 kategoriene er:

- Sår/finneråte: sår på kroppen eller i hoderegionen og/eller aktiv finneråte/slitasje. Grodde sår eller skader på finner gir ikke grunnlag for å gi helhetsinntrykk skår 2 eller 3, unntatt i helt spesielle tilfeller.
- Risttap/hudblødning: Skjelltap og hudblødninger
- Slank: Avmagring

- Deformitet: Deformiteter i skjelettet – ryggsøyle eller kjever
- Annet: I fritekstfeltet kan det f.eks. skrives inn «forkortet gjellelokk», «øyeskade» eller liknende

Det ble gjennomført en forenklet velferdsskåring på all fisken som ble tatt ut for å sjekke «Flyttestatus» i juli 2020. Resultatet fra velferdsskåringene er presentert i tabell 12 for Bullatholmen og i tabell 13 for Grøttøya. På Bullatholmen fikk 38 ut av totalt 319 (11,9 %) undersøkte fisker en helhetsinntrykk skår 2 eller 3, mens på Grøttøya var de tilsvarende tallene 17 ut av totalt 386 (4,4 %) undersøkte fisker. På Bullatholmen var avmagring den vanligste årsaken til at fisken fikk helhetsinntrykk skår 2 eller 3.

Tabell 12. Resultater av velferdsskåring på Bullatholmen 7. - 9. juli 2020. Bare fisk som fikk helhetsinntrykk skår 2 eller 3 er presentert i tabellen.

Merd	n	Helhetsinntrykk (antall)		Sår/ finneråte	Risttap/ hudblød.	Slank	Deform.	Annet
		Skår 2	*Skår 3*					
BU02	35	4	2			4	2	
BU03	36							
BU04	35	3	1	2	2	1		
BU05	35	1		1				
BU06	35	2	1			2	1	
BU07	36	3	1	2	1	2		
BU08	35	4		1			1	2 (fork. gjellelokk)
BU09	37	5	2	2	2	1		3 (fork. gjellelokk)
BU10	35	7	2	1	1	7		1 (fork. gjellelokk)

Tabell 13. Resultater av velferdsskåring på Grøttøy 7. - 9. juli 2020. Bare fisk som fikk helhetsinntrykk skår 2 eller 3 er presentert i tabellen.

Merd	n	Helhetsinntrykk (antall)		Sår/ finneråte	Risttap/ hudblød.	Slank	Deform.	Annet
		Skår 2	Skår 3					
GØ01	35	1	3	2	1	1	1	1 (katarakt) 1(fork. gjellelokk)
GØ02	35	2		1	1			
GØ03	35	1		1				
GØ04	35							
GØ05	35	1		1				
GØ06	35	1				1		
GØ08	35	3		2			1	
GØ09	34	1			1			
GØ10	37							
GØ11	35	2			2			
GØ12	35	2		1	1			

Figur 15. Tre laks fra Grøttøy merd 1 med helhetsinntrykk skår 3. Øverst forkortet gjellelokk, i midten katarakt og snutesår (ikke synlig på foto) og nederst deformert ryggsøyle.

Organstatus - histologi

I forbindelse med utredningen av flyttestatus på fisken på Bullatholmen og Grøttøy ble det tatt ut organprøver for histologisk undersøkelse. Fra hver lokalitet ble det valgt ut tre merder, en i hver ende av anlegget og en på midten. Fra disse tre merdene ble de siste 5 fiskene fra veieprøvene avlivet med overdose bedøvelse (Benzoak vet.) og prøvetatt. Slik ble det tatt ut organprøver fra 15 klinisk friske fisker fra hver lokalitet. Prøvene ble analysert hos VI og prøvesvarene er vedlagt rapporten (vedlegg 1 og 2).

På Bullatholmen ble det tatt ut prøver fra merdene 2, 7 og 10. Det ble funnet muskelbetennelse (Myositt) i 13 av 15 prøver og proliferativ gjellebetennelse (PGI) i 15 av 15 prøver, men forandringene ga ikke grunnlag for å mistenke spesifikke sykdommer.

På Grøttøy ble det tatt ut prøver fra merdene 1, 8 og 10. I disse prøvene ble det funnet grunnlag for å sette diagnosene HSMB (påvist 7 av 15, mistanke 8 av 15), Parvicapsulose (påvist 3 av 15, mistanke 7 av 15, ikke påvist 5 av 15) og Epiteliocystis (påvist 10 av 15, ikke påvist 5 av 15). Også her ble det funnet Myositt (15 av 15) og PGI (15 av 15).

Agensstatus - PCR

Fiskehelsetjenesten tok ut prøver for PCR-analyse fra dødfisk fra Grøttøy og Bullatholmen 7. og 8. juli. Det ble tatt ut gjelleprøver fra 20 fisker og hjerte- og nyreprøver fra 60 fisker fra hver lokalitet. Prøvene ble analysert hos FishVet Group og analysesvarene er oppsummert for Bullatholmen i tabell 14 og for Grøttøy i tabell 15.

Prøvene ble testet for forekomsten av 8 ulike laksepatogene agens. Ingen prøver var positive for virusene som forårsaker infeksiøs lakseanemi (ILAV) eller pankreassykdom (SAV/PD). Gjelleagenset *Branchiomonas cysticola*, som forbindes med lidelsen Epiteliocystis, ble ikke påvist på prøver fra Bullatholmen men var til stede i alle prøver (20 av 20) fra Grøttøy. Parasitten *Parvicapsula*

pseudobranchicola, som forbindes med lidelsen Parvicapsulose, ble funnet i 7 av 20 prøver fra Bullatholmen og i alle prøver (20 av 20) fra Grøttøy. Gjelleviruset laksepox (Salmon gill pox virus, SGPV) ble bare funnet hos 4 av 20 fisker fra merd 10 på Bullatholmen. Viruset, Piscine orthoreovirus (PRV), som er knyttet til lidelsen Hjerte- og skjelettmuskelbetennelse (HSMB) ble funnet i 7 av 60 prøver fra Bullatholmen og i 53 av 60 prøver fra Grøttøy. Viruset, Piscine Myocarditis virus (PMCV), som er knyttet til lidelsen kardiomyopati syndrom (CMS) ble funnet i 24 av 60 prøver fra Bullatholmen og i 6 av 60 prøver fra Grøttøy. Viruset, Infeksiøs pankreasnekrose virus (IPNV), som er knyttet til lidelsen infeksiøs pankreasnekrose (IPN) ble funnet i 29 av 60 prøver fra Bullatholmen og i 32 av 60 prøver fra Grøttøy.

Tabell 14. Oppsummert prøvesvar for gjelle-, hjerte- og nyreprøver tatt på Bullatholmen 7. og 8. juli 2020. For hvert testet agens er det én kolonne som viser antall positive av antall analyserte prøver og én kolonne som viser minimums- og maksimums CT-verdier for de positive prøvene.

	Branchio-monas		ILAV		Parvicap-sula		POX (SGPV)		SAV (PD)		PRV (HSMB)		PMCV (CMS)		IPNV (IPN)	
Merd	Ant pos /N	CT	Ant pos /N	CT	Ant pos /N	CT	Ant pos /N	CT	Ant pos /N	CT	Ant pos /N	CT	Ant pos /N	CT	Ant pos /N	CT
BU02									0/6		0/6		0/6		3/6	15-34
BU03									0/4		0/4		0/4		4/4	23-31
BU04									0/3		0/3		3/3	15-28	0/3	
BU05									0/2		0/2		0/2		2/2	24-28
BU06	0/1		0/1		0/1		0/1		0/4		1/4	37	2/4	35	2/4	29-30
BU07									0/8		0/8		5/8	15-35	2/8	29-32
BU08	0/3		0/3		2/3	31-37	0/3		0/6		1/6	36	2/6	25-29	0/6	
BU09	0/6		0/6		1/6	32	0/6		0/14		5/14	21-36	0/14		9/14	20-33
BU10	0/10		0/10		4/10	31-35	4/10	20-36	0/13		0/13		12/13	14-35	7/13	18-34
Total	**0/20**		**0/20**		**7/20**		**4/20**		**0/60**		**7/60**		**24/60**		**29/60**	

Tabell 15. Oppsummert prøvesvar for gjelle-, hjerte- og nyreprøver tatt på Grøttøy 7. og 8. juli 2020. For hvert testet agens er det én kolonne som viser antall positive av antall analyserte prøver og én kolonne som viser minimums- og maksimums CT-verdier for de positive prøvene.

	Branchio-monas		ILAV		Parvicap-sula		POX (SGPV)		SAV (PD)		PRV (HSMB)		PMCV (CMS)		IPNV (IPN)	
Merd	Ant pos /N	CT	Ant pos /N	CT	Ant pos /N	CT	Ant pos /N	CT	Ant pos /N	CT	Ant pos /N	CT	Ant pos /N	CT	Ant pos /N	CT
GR01	3/3	29-31	0/3		3/3	31-35	0/3		0/3		3/3	22-32	0/3		0/3	
GR02	3/3	29-30	0/3		3/3	30-33	0/3		0/7		7/7	23-30	0/7		5/7	30-34
GR03	2/2	28-29	0/2		2/2	30-33	0/2		0/6		6/6	22-30	0/6		4/6	29-35
GR04	2/2	26-28	0/2		2/2	28-33	0/2		0/2		2/2	23-25	0/2		0/2	
GR05	2/2	25-26	0/2		2/2	33-35	0/2		0/3		3/3	23	0/3		1/3	30
GR06	2/2	23-24	0/2		2/2	29-32	0/2		0/9		9/9	17-26	0/9		2/9	31-34
GR08	2/2	22-23	0/2		2/2	33-34	0/2		0/3		3/3	21-25	0/3		2/3	33
GR09	2/2	22-24	0/2		2/2	29-34	0/2		0/9		9/9	18-24	0/9		5/9	32-33
GR10	2/2	22-26	0/2		2/2	34-35	0/2		0/7		7/7	20-30	0/7		3/7	28-33
GR11									0/6		3/6	20-35	3/6	18-32	6/6	29-34
GR12									0/5		1/5	36	3/5	28-35	4/5	26-35
Total Grøttøy	**20/20**		**0/20**		**20/20**		**0/20**		**0/60**		**53/60**		**6/60**		**32/60**	

Vedlegg

1. Analysesvar histologi Bullatholmen, Veterinærinstituttet (VI ref. 2020-70-857/F481)
2. Analysesvar histologi Grøttøy, Veterinærinstituttet (VI ref. 2020-70-858/F482)

Veterinærinstituttet
Norwegian Veterinary Institute

Postadresse: Havnegata 4,9404 HARSTAD
Sentralbord: +47 23 21 60 00 E-post: vih@vetinst.no

Veterinærinstituttet Trondheim
v/Kristoffer Vale Nielsen

7485 TRONDHEIM

Deres ref.:Havfarmen Vår ref.: 2020-70-857/F481 Dato: 12.08.2020

Prøvesvar til innsendelse mottatt 23.07.2020

Uttaksdato: 08.07.2020
Mottatt materiale: Formalinfikserte organer (gjeller, pseudobrankie, hjerte, lever, pankreas/tarm, milt, nyre, og hud/muskulatur) fra 15 laks merket F31-F35 (M2), F32-F36 (M7) og F31-F35 (M10).
Lokalitet: 11162 Bullatholmen, HADSEL kommune
Eier: NORDLAKS OPPDRETT AS, POSTBOKS 224, 8455 STOKMARKNES
Hensikt: Forskning
Sykdomshistorie: Laks, klinisk frisk fisk, vaksinert, merd: 2 (680 g), 7 (850 g) og 10 (500 g), salinitet: 34 promille.
Ønsker organstatus

Sykdomsdiagnose:

Myositt (Alle med unntak av fisk F31M2 og F35M10)
Proliferativ gjellebetennelse (Alle)
Kalkavleiring i pseudobrankie (F33M7)

Kommentarer: Forandringene i disse fiskene er generelt ansett som uspesifikke og gir ikke grunnlag for spesiell sykdomsmistanke.

Prøve(r):

Nr.	Merking	ID Nr	Materiale	Art
1	F31	2/MerdID	Formalinfikserte organer	Laks
2	F32	2/MerdID	Formalinfikserte organer	Laks
3	F33	2/MerdID	Formalinfikserte organer	Laks
4	F34	2/MerdID	Formalinfikserte organer	Laks
5	F35	2/MerdID	Formalinfikserte organer	Laks
6	F32	7/MerdID	Formalinfikserte organer	Laks
7	F33	7/MerdID	Formalinfikserte organer	Laks
8	F34	7/MerdID	Formalinfikserte organer	Laks
9	F35	7/MerdID	Formalinfikserte organer	Laks
10	F36	7/MerdID	Formalinfikserte organer	Laks
11	F31	10/MerdID	Formalinfikserte organer	Laks
12	F32	10/MerdID	Formalinfikserte organer	Laks
13	F33	10/MerdID	Formalinfikserte organer	Laks
14	F34	10/MerdID	Formalinfikserte organer	Laks
15	F35	10/MerdID	Formalinfikserte organer	Laks

Analyseresultat(er):

Histopatologi (ME01_002) (Veterinærinstituttet Harstad)

Funn: Undersøkte organer uten sikre patologiske forandringer omtales ikke

Opplysninger om usikkerhet i kvantitative resultater kan fås ved å ta kontakt med laboratoriet. Resultatene gjelder kun for prøvene i svaret og for prøvene slik de ble mottatt. Svaret må ikke gjengis i utdrag uten skriftlig godkjennelse.

Hovedfunn i disse fiskene var betennelsesforandringer muskulatur og gjeller.

I muskulatur ble det påvist noe til sparsom fibroserende betennelse i rødt vev i alle fisk med unntak av fisk F31M2 og F35M10, mens i hvitt vev av fisk F32M7, F36M7, F32M10 og F33M10 var det også svært sparsomme forandringer med myodegenerasjon, leukocyttinfiltrasjon, fibrose og/eller blødning.

I gjeller av alle fisk ble det påvist sub-epitelial leukocyttinfiltrasjon og epitelcelleproliferasjon i en del til mange lameller, hovedsakelig i spissen. For øvrig ble det påvist få til enkelte små foci med betydelig lamellær leukocyttinfiltrasjon og epitel-/(slim)celleproliferasjon samt sammenvoksing i fisk F31M2 og F34M10, og noe diffus slimcelleproliferasjon og hypersekresjon av slim i fisk F35M2. I fisk F36M7 var det enkelte nærliggende filamenter med omfattende leukocyttinfiltrasjon, hovedsakelig i sentral venøs sinus, samt lamellær proliferasjon og en viss sammenvoksing/-klebing mellom lamellene. Forandringen var hovedsakelig lokalisert til proksimalt område, mens forandringen i to av disse filamentene spredte seg til midt-/distalt område. I denne fisken ble det også påvist ett lite fokus med epitel-/slimcelleproliferasjon samt sammenvoksing mellom lameller og blodkarskader i ulike stadier.

Ellers ble det påvist i hjerte av fisk F31M2, F32M2, F35M2, F35M7, F32M10 og F34M10 noe til sparsom fokal eller multifokal betennelse i spongiøst av ventrikkel, atrium og/eller epikard. I fisk F35M7 ble det også påvist betydelig fokal melanisering i atriet.

I lever av fisk F35M2 og F32M7 ble det påvist enkelte små betennelsesfoci.

I hud av fisk F32M7 og F33M10 ble det påvist noe fokal blødning i dermis og/eller mulig noe delvis tap av epidermis.

I pseudobrankie ble det påvist få til enkelte små foci med vevsdegenerasjon i fisk F31M2, F33M2 og F35M7, og moderat multifokal degenerasjon samt forekomst av kalkavleiring i fisk F33M7.

I fisk F32M7 ble det påvist sirkulasjonsforstyrrelse i form av blodstuvning og/eller blødning i de fleste organene.

Påvist generelt sparsom fokal/multifokal granulomatøs peritonitt rundt tarm/pankreas og/eller milt i de fleste, forenlig med vaksineinduserte skader.

Med hilsen

Jinni Gu
veterinær
e-post: jinni.gu@vetinst.no

Faktura ettersendes Nordlaks Oppdrett AS

DETTE DOKUMENTET ER ELEKTRONISK GODKJENT

Opplysninger om usikkerhet i kvantitative resultater kan fås ved å ta kontakt med laboratoriet. Resultatene gjelder kun for prøvene i svaret og for prøvene slik de ble mottatt. Svaret må ikke gjengis i utdrag uten skriftlig godkjennelse.

Veterinærinstituttet
Norwegian Veterinary Institute

Postadresse: Havnegata 4,9404 HARSTAD
Sentralbord: +47 23 21 60 00 E-post: vih@vetinst.no

Veterinærinstituttet Trondheim
v/Kristoffer Vale Nielsen

7485 TRONDHEIM

Deres ref.:Havfarmen Vår ref.: 2020-70-858/F482 Dato: 12.08.2020

Prøvesvar til innsendelse mottatt 23.07.2020

Uttaksdato: 08.07.2020
Mottatt materiale: Formalinfikserte organer (gjeller, pseudobrankie, hjerte, lever, pankreas/tarm (ikke F35M8), milt, nyre, og hud/muskulatur) fra 15 laks merket F31-F35 (M1), F31-F35 (M8) og F31-F35 (M10)
Lokalitet: 29096 GRØTTØY, HADSEL kommune
Eier: NORDLAKS OPPDRETT AS, POSTBOKS 224, 8455 STOKMARKNES
Hensikt: Forskning
Sykdomshistorie: Laks, klinisk frisk fisk, vaksinert, merd: 1 (950 g), 8 (1900 g) og 10 (2350 g), salinitet: 34 promille.
Ønsker organstatus

Sykdomsdiagnose:

Nr.	Merking	ID Nr	Sykdomsdiagnose				
			HSMB	Myositt	Parvikapsulose	PGI	Epiteliocystis
1	F31	M1	Mistanke om	Påvist	*Ikke påvist*	Påvist	*Ikke påvist*
2	F32	M1	Påvist	Påvist	*Ikke påvist*	Påvist	*Ikke påvist*
3	F33	M1	Mistanke om	Påvist	*Ikke påvist*	Påvist	*Ikke påvist*
4	F34	M1	Mistanke om	Påvist	Påvist	Påvist	*Ikke påvist*
5	F35	M1	Påvist	Påvist	Mistanke om	Påvist	*Ikke påvist*
6	F31	M8	Påvist	Påvist	Mistanke om	Påvist	Påvist (mod. mengder)
7	F32	M8	Påvist	Påvist	Påvist	Påvist	Påvist (enkelte)
8	F33	M8	Påvist	Påvist	Mistanke om	Påvist	Påvist (enkelte)
9	F34	M8	Påvist	Påvist	*Ikke påvist*	Påvist	Påvist (enkelte)
10	F35	M8	Påvist	Påvist	Mistanke om	Påvist	Påvist (enkelte)
11	F31	M10	Mistanke om	Påvist	Mistanke om	Påvist	Påvist (enkelte)
12	F32	M10	Mistanke om	Påvist	Mistanke om	Påvist	Påvist (sp. mengder)
13	F33	M10	Mistanke om	Påvist	Påvist	Påvist	Påvist (sp. mengder)
14	F34	M10	Mistanke om	Påvist	Mistanke om	Påvist	Påvist (sp. mengder)
15	F35	M10	Mistanke om	Påvist	*Ikke påvist*	Påvist	Påvist (sp. mengder)

Kommentarer: HSMB-diagnosen er stilt hovedsakelig basert på hjerteforandringene som er karakteristiske for HSMB, og utviklingsstadium av sykdommen er klassifisert som (forholdsvis) tidlig fase. De lignende kroniske forandringene i muskulatur som er påvist i alle fisk indikerer at etiologien kan være sammensatt. I de fiskene med mistanke om HSMB skyldes muskulaturforandringene trolig annen årsak enn infeksjon med PRV.

Opplysninger om usikkerhet i kvantitative resultater kan fås ved å ta kontakt med laboratoriet. Resultatene gjelder kun for prøvene i svaret og for prøvene slik de ble mottatt. Svaret må ikke gjengis i utdrag uten skriftlig godkjennelse.

Prøve(r):

Nr.	Merking	ID Nr	Materiale	Art
1	F31	1/MerdID	Formalinfikserte organer	Laks
2	F32	1/MerdID	Formalinfikserte organer	Laks
3	F33	1/MerdID	Formalinfikserte organer	Laks
4	F34	1/MerdID	Formalinfikserte organer	Laks
5	F35	1/MerdID	Formalinfikserte organer	Laks
6	F31	8/MerdID	Formalinfikserte organer	Laks
7	F32	8/MerdID	Formalinfikserte organer	Laks
8	F33	8/MerdID	Formalinfikserte organer	Laks
9	F34	8/MerdID	Formalinfikserte organer	Laks
10	F35	8/MerdID	Formalinfikserte organer	Laks
11	F31	10/MerdID	Formalinfikserte organer	Laks
12	F32	10/MerdID	Formalinfikserte organer	Laks
13	F33	10/MerdID	Formalinfikserte organer	Laks
14	F34	10/MerdID	Formalinfikserte organer	Laks
15	F35	10/MerdID	Formalinfikserte organer	Laks

Analyseresultat(er):

Histopatologi (ME01_002) (Veterinærinstituttet Harstad)

Funn: Undersøkte organer uten sikre patologiske forandringer omtales ikke

Hovedfunn i disse fiskene var betennelsesforandringer i hjerte, muskulatur, pseudobrankie og gjeller.

I hjerte ble det påvist diffus pankarditt i henholdsvis sparsom grad i fisk F35M1, F31M8 og F33M8, moderat grad i fisk F32M1, F34M8, F35M8 og uttalt grad i fisk F32M8. I øvrige fisk ble det påvist sparsom multifokal betennelse i endo-/myokard og/eller epikard. Forandringene i ventrikkelen var generelt mer alvorlig i forhold til atriet.

I rød muskel ble det påvist leukocyttinfiltrasjon, fibrose og myodegenerasjon i noe til sparsom grad i alle fisk med unntak av fisk F32M8. I fisk F32M8 var forandringen i moderat grad. I fisk F31M1, F34M1, F35M1, F33M8, M35M8, F31M10, M32F10 og F33M10 ble det også påvist kronisk betennelsesforandring i hvit muskel i generelt svært sparsom grad.

I pseudobrankie ble det påvist betennelse i henholdsvis sparsom grad i fisk F31M8, F33M8 og F31M10, moderat grade i F35M8 og F32M10 og uttalt grad i fisk F34M1, F35M1, F32M8, F33M10 og F34M10, mens det fantes enkelte parasitter med morfologi forenlig med *Parvicapsula sp.* i fisk F34M1, F32M8 og F33M10, og mulig få til enkelte *Parvicapsula* i fisk F35M1 og F34M10. I fisk F35M10 ble det påvist få foci med betennelse og/eller epitelcelledegenerasjon.

I gjeller av alle fisk ble det påvist sup-epitelial leukocyttinfiltrasjon og epitelcelleproliferasjon i mange til nesten alle lameller, hovedsakelig i spissen, mens i fisk F31-F35 (M8 og M10) ble det påvist forekomst av enkelte til moderate mengder epiteliocyster. For øvrig ble det påvist betydelig fokal granulomatøs betennelse lokalisert proksimalt i få til enkelte nærliggende filamenter i fisk F32M1 og F35M1, fokal omfattende betennelse i forbindelse forekomst av mulig planktonalge i F34M10, diffus slimcelleproliferasjon og hypersekresjon av slim i fisk F32M1 og F35M1, og enkelte små foci med proliferativ betennelse i fisk F35M8.

Ellers ble det påvist sparsom blodstuvning i nyre av fisk F34M1, moderat blødning i milt av fisk F34M8, enkelte små foci med (granulomatøs) betennelse i lever av fisk F34M8, F31M10, F32M10 og F34M10. I hud av fisk F31-F35 (M1), F32M8 og F34M10 ble det trolig påvist delvis tap av epidermis og/eller noe blodstuvning og/eller bløding i spongiøst lag av dermis.

Påvist sparsom fokal/multifokal granulomatøs peritonitt rundt tarm/pankreas og/eller milt i de fleste fisk, forenlig med vaksineinduserte skader.

Opplysninger om usikkerhet i kvantitative resultater kan fås ved å ta kontakt med laboratoriet. Resultatene gjelder kun for prøvene i svaret og for prøvene slik de ble mottatt. Svaret må ikke gjengis i utdrag uten skriftlig godkjennelse.

Med hilsen

Jinni Gu
veterinær
e-post: jinni.gu@vetinst.no

Faktura ettersendes Nordlaks Oppdrett AS

DETTE DOKUMENTET ER ELEKTRONISK GODKJENT

Opplysninger om usikkerhet i kvantitative resultater kan fås ved å ta kontakt med laboratoriet. Resultatene gjelder kun for prøvene i svaret og for prøvene slik de ble mottatt. Svaret må ikke gjengis i utdrag uten skriftlig godkjennelse.

Nordlaks Oppdrett

Lokalitet Ytre Hadseløya

Oppsummeringsrapport fiskehelse og fiskevelferd for G2019 på lokalitet Ytre Hadseløya

Åkerblå AS har hatt ansvar for helsekontroll ved lokaliteten Ytre Hadseløya fra utsett høst 2019 og frem til utslakting vår 2021.

Vedlegg 1 viser dato for gjennomførte helsekontroller etter at fisken kom ble satt ut på Ytre Hadseløya. Fiskehelsepersonell fra Åkerblå har utført månedlige helsekontroller i anlegget. I tillegg har vi deltatt i forbindelse med oppfølging av dokumentasjonsprogrammet som lokaliteten har fulgt. Åkerblå har fått tilgang til produksjonsdata fra produksjonssjef ved behov.

Helsekontroll på Havfarmen har omfattet:

- Inspeksjon av fisken i anlegget
- Lusetelling, måling av vekt og lengde, vurdering av helse og velferdsindikatorer
- Obduksjon av fisk, uttak av PCR, histologi og blodprøver som del av dokumentasjonsprogrammet og prosjektet «Biosikker rognproduksjon».
- Deltatt på opptak av dødfisk og obduksjon av dødfisk. Uttak av prøver basert på indikasjon og dødelighetstall.
- Samtale med driftspersonell om adferd, appetitt og fôring, vann og miljøforhold, driftsrutiner, håndtering, spesielle hendelser, forebyggende tiltak, smittehygiene etc.
- Oppsummerende rapport/journal tilsendt driftsleder etter ferdigstillelse.

<u>Diagnoser og dødelighetsårsaker</u>

Vedlegg 2 viser diagnoser som har blitt påvist etter at fisken ankom havfarmen. I slutten av september (uke 39) var det økning i dødeligheten i merd 2 (0,31 % uke 39). Det ble påvist PRV samt proliferativ gjellebetennelse (PGI) og epiteliocystis hos fisken i merd 2 ved hjelp av PCR-metode og histologisk analyse. Uttak av prøver fra merd 1 viste funn av PRV hos 28/30 fisk fra merd 1 (moderate virusnivåer).

Utover høsten økte dødeligheten i merd 4 og 5. Det ble ved besøk i oktober påvist hjerte og skjelettmuskelbetennelse (HSMB) med koinfeksjon med kardiomyopatisyndrom (CMS) i både merd 4 og 5. Det ble også påvist *Branchiomonas cysticola* i samtlige prøver av gjeller fra merd 4 og 5 (totalt 10 gjelleprøver sendt inn). Prøvene indikerte moderat til mye *Branchiomonas cysticola* i prøvene.

Ved besøk i november var dødeligheten forøket i merd 3,4,5 og 6. Det ble påvist PGI og HSMB i merd 3. I merd 6 ble det påvist HSMB og mistanke om CMS. Det ble også tatt ut prøver fra merd 1 i forbindelse med prosjektet Biosikker rognproduksjon, uttaket viste moderate nivåer av PRV hos 30/30 fisk.

I november-desember økte prevalensen av sårfisk i merdene. Ved besøk i desember ble det observert sårfisk i alle merdene ved inspeksjon i anlegget og under opptak av dødfisk. Det ble tatt ut bakteriologi av Nordlaks selv i desember der det ble påvist sårbakterier (Vibrio wodanis, *Tenacibaculum sp*. og *Moritella viscosa*) på fisk i merd 5. Ved besøk i desember var dødeligheten

forøket i alle merder unntatt merd 1. Ved besøk i desember var det høyest avgang i merd 5 de siste foregående fire ukene med 7,52 % avgang.

Dødeligheten har holdt seg stabil og høy i alle merdene utover i 2021, der merd 3,4 og 5 har hatt den høyeste avgangen. I januar ble det uttak igjen av PCR prøver fra merd 1, med PRV påvisning på 30/30 fisk og PMCV på 6/30 fisk uten klinikk. Ved besøk i mars var akkumulert dødelighet høyest i merd 4 og 5 (hhv. 26,9 % og 29,4 %). I mars ble det foretatt en utvidet undersøkelse av fisken i henhold til dokumentasjonsprogrammet. Det ble tatt opp 100 fisk fra alle merder. Det ble vurdert ytre velferdsskår på alle 100, og på 50 fra hver merd ble det vurdert indre velferdsskår. Fisken i merd 3, 4 og 5 hadde høyest innslag av score 2 og 3, som betyr at de hadde høyere andel kjønnsmodning, ytre skader, sår og deformiteter. Det ble utført helsekontroll i anlegget i april og mai også. Da var prøveuttak i forbindelse med dokumentasjonsprogrammet avsluttet. Ved besøk i april var det startet utslakt av fisk fra merd 4 og 5, mens det i mai var i underkant av 700 000 fisk igjen ved besøket. Dødeligheten har vedvart, også ved besøk i april og mai, og dødeligheten skyldes fortsatt CMS og sår på fisken.

Dokumentasjonsprogrammet

Åkerblå har deltatt på utførelse av deler av dokumentasjonsprogrammet. Dette har blitt utført månedlig siden utsett av fisk til Havfarmen. Det har blitt utført undersøkelser av merd 1,3 og 6 en gang i måneden. Som regel har det blitt satt av en dag til dette fra Åkerblå og uttaket har blitt samkjørt med vanlig helsekontroll, eller det er satt av en egen dag til dette. Resterende jobb har blitt gjort av internt fiskehelsepersonell hos Nordlaks. Månedlig har Åkerblå deltatt på lusetelling i tre utvalgte merder (1,3,6). I forbindelse med dette har det blitt foretatt velferdsskår(ytre) på 30 fisk. Samt registrering av vekt/lengde fra 30 fisk. Det har også blitt tatt ut prøver fra utvalgte fisk, (blod, feces, histologi) og utført gjelleskår og innvendig velferdsskår.

Lakselus

Vedlegg 3 viser gjennomsnittlige lusetall uke for uke fra uke 31 i 2020 til og med uke 13 i 2021. Lusenivåene i anlegget var lave/moderate fra uke 31 til uke 43 hvor en så en økning i fastsittende og bevegelige stadier. For å kunne gjennomføre behandling av fisken på havfarmen, er en avhengig av tom merd eller båt som kan legge til og ta laster med fisk inn i båten for behandling. På grunn av forsinkelser av brønnbåten som er spesialbygd for arbeid rundt Havfarmen, var det ingen brønnbåter med kapasitet til en slik behandling på dette tidspunktet. Fisken i anlegget ble også vurdert å være håndteringssvak. Det var på dette tidspunktet påvist sykdom i anlegget (HSMB og CMS), fisken hadde påkjente gjeller og det var høy avgang. Det ble derfor vurdert at ektobann var den mest skånsomme behandlingen for fisken i anlegget, der en kunne forvente god effekt.

Etter behandlingen var det en nedgang i nivåene av de lusestadiene som var målgruppen for behandlingen (ikke-kjønnsmodne stadier av lakselus). Total reduksjon av lus var 43,85 %, reduksjon av fastsittende 91 % og reduksjon av bevegelige stadier 33 %. Tellingene viser ikke til hvor stor andel av bevegelige som er adulte hunner, en kan dermed ikke konkludere med total effekt blant disse.

I begynnelsen var det tidkrevende å få tak i fisk til lusetellingen. Dette har gått bedre etter hvert, med bedre løsninger og utstyr, men er fortsatt mer utfordrende enn i tradisjonelle anlegg. Det har

ÅKERBLÅ

ikke blitt behandlet mot lakselus siden ektobann i november, og anlegget har ikke hatt noen tellinger over grensen i lakselusforskriften.

ÅKERBLÅ

Fiskevelferd

Fiskevelferd skal vurderes ved hvert besøk av fiskehelsetjenesten. Faktorer som inngår i vurderingen er dødelighetsnivå, diagnoser, adferd, forekomst av svimere, sår og skader, håndteringsskader og appetitt. På de første tre besøkene på anlegget har jeg vurdert velferden som god, selv om det har vært forøket dødelighet i en av merdene (merd 2). Etter besøk i oktober og november har jeg vurdert velferden som akseptabel, det var da høy dødelighet i 3/6 merder. Fra desember og frem til siste besøk i mai er velferden vurdert som nedsatt og dårlig for store deler av fisken i anlegget.

Ved siste besøk i mai er mye av fisken slaktet ut, men fortsatt forøket dødelighet og mye sårfisk på den gjenværende fisken. Vurderingene for velferd er gjort med bakgrunn i observasjoner gjort på besøkene, diagnoser som medfører sterkt nedsatt allmenntilstand, høyt dødelighetsnivå og høy andel av sårfisk og svimere i populasjonen.

Oppsummering

Fiskehelse/velferd

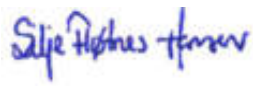
Det har vært høy avgang i store deler av populasjoner av fisken på Havfarmen. Fra slutten av oktober i 2020 så vi en økning i dødeligheten i merd 5, og etter hvert flere av merdene. Denne dødeligheten har vedvart etter hvert som fisken har blitt større. Årsakene er i hovedsak CMS, HSMB og sårproblemer nå gjennom vinteren, men også gjelleproblemer på noen fiskegrupper har ført til høy dødelighet, og nedsatt allmenntilstand. Ved de månedlige besøkene har det ved velferdsskåringene blitt registrert høyest andel av skår 2 og 3 på besøkene etter nyttår, og merd 1 og 2 har totalt sett de beste skåringene i hele perioden. Merd 1 og merd 2 skiller seg positivt ut fra de andre merdene mtp. velferd, fiskehelse og dødelighet. Disse to merdene består av en annen fiskegruppe enn de andre merdene i anlegget. de har et annet opphav og kommer fra et annet settefiskanlegg.

Biosikkerhet

Biosikkerhet i anlegget er ivaretatt på en god måte. Dødfiskopptak i hver merd gjennomføres ved hjelp av lift-up system, der fisken pumpes opp fra hver merd før den bedøves ved hjelp av elektrobedøver, og så går videre til kverning og ensilasje. Det er minimalt med trafikk til og fra anlegget. Anlegget har egen båt til transport av personell til anlegget. som ikke er i kontakt med andre lokaliteter, og har egen kai. Andre båter som ankommer anlegget, er fôrbåter og ensilasjebåter.

Sortland. 08.06.2021

Silje Fløtnes Hansen



Fiskehelsebiolog, Åkerblå AS.

Oversikt over vedlegg:

Vedlegg 1: Oversikt over besøk i anlegget.

Vedlegg 2: Oversikt over diagnoser i anlegget.

Vedlegg 3: Figur som viser luseutvikling.

ÅKERBLÅ

Vedlegg 1

Dato	Ansvarlig	Oppdrag
27.08.2020	Silje Fløtnes Hansen	Helsekontroll august. Prøveuttak dokumentasjonsprogrammet.
25.09.2020	Silje Fløtnes Hansen	Helsekontroll september. Prøveuttak dokumentasjonsprogrammet.
28.09.2020	Silje Fløtnes Hansen	Akuttbesøk september
23.10.2020	Silje Fløtnes Hansen	Prøveuttak dokumentasjonsprogram
26.10.2020	Silje Fløtnes Hansen	Helsekontroll oktober
19.11.2020	Silje Fløtnes Hansen	Prøveuttak dokumentasjonsprogrammet
23.11.2020	Silje Fløtnes Hansen	Helsekontroll november
23.12.2020	Silje Fløtnes Hansen	Helsekontroll desember. Prøveuttak dokumentasjonsprogrammet.
25.01.2021	Silje Fløtnes Hansen	Helsekontroll januar. Prøveuttak dokumentasjonsprogrammet.
11.02.2021	Silje Fløtnes Hansen	Helsekontroll februar
18.02.2021	Silje Fløtnes Hansen	Prøveuttak dokumentasjonsprogrammet
17.03.2021	Silje Fløtnes Hansen	Helsekontroll mars. Prøveuttak dokumentasjonsprogrammet.
30.04.2021	Silje Fløtnes Hansen	Helsekontroll april.
21.05.2021	Silje Fløtnes Hansen	Helsekontroll mai.

Tabell 1: Tabell 1 viser oversikt over besøk utført av Åkerblå i perioden.

Vedlegg 2

Dato	Merd	Diagnose	Metode for påvisning
28.09.2020	2	Påvist PRV på 5/5 prøver. Påvist mye til moderat mengde virus. Ct 23-28. Ikke påvist PMCV.	PCR
28.09.2020	2	Påvist epiteliocystis og PGI-forandringer på alle individer. Det er på F3 påvist hjertebetennelse.	Histologi
26.10.2020	4	Påvist CMS på 2/5 fisk, påvist HSMB på 4/5 fisk.	Histologi

ÅKERBLÅ

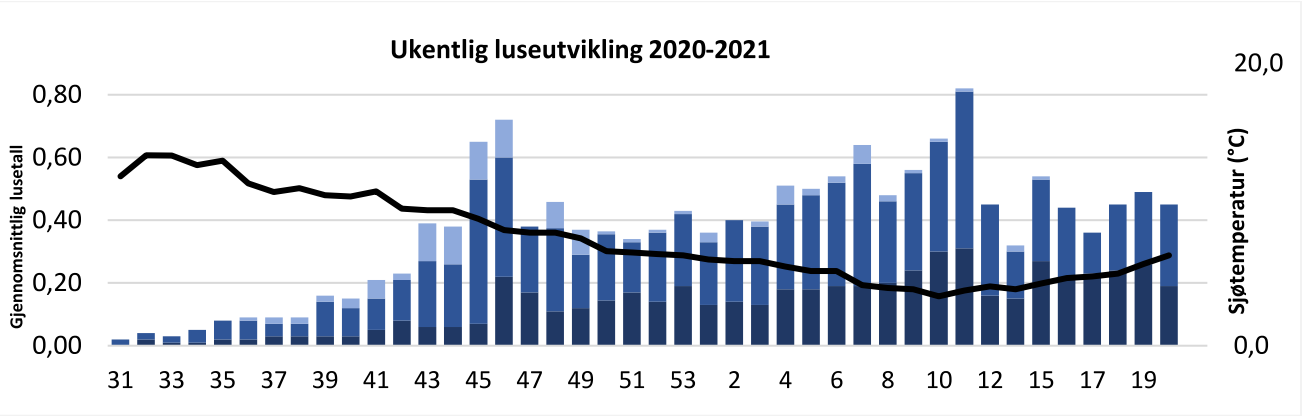
26.10.2020	5	Påvist CMS på 4/5 fisk, påvist HSMB på 5/5 fisk	Histologi
26.10.2020	4	Påvist PRV på 4/5 fisk. Påvist PMCV i 5/5.	PCR
26.10.2020	5	Påvist PRV 5/5 fisk. Påvist PMCV i 4/5.	PCR
26.10.2020	4	Påvist branchiomonas cysticola på gjeller hos alle fisk.	PCR
26.10.2020	5	Påvist branchiomonas cysticola på gjeller hos alle fisk.	PCR
19.11.2020	1	Påvist PRV i 30/30 fisk	PCR
23.11.2020	6	Påvist hjerte og skjelettmuskelbetennelse (M6F1-F4). Mistanke om CMS (M6F1-F4)	Histologi
23.11.2020	3	Påvist hjerte og skjelettmuskelbetennelse 1/5 fisk, mistanke om HSMB 2/5 fisk.	Histologi
23.11.2020	3	Påvist epiteliocystis , Proliferativ gjellebetennelse 5/5 fisk	Histologi
11.12.2020	5	Påvist Moritella viscosa, Tenacibaculum sp og Vibrio wodanis i sår og nyre hos 4/4 fisk.	Bakteriologi
11.02.2020	4	Påvist HSMB (F1-F3 og F5). Påvist CMS (F1-F5).	Histologi
11.02.2021	4	Påvist PRV i samtlige prøver. Påvist PMCV i samtlige prøver.	PCR
17.03.2021	1	Påvist PRV i 30/30 prøver. Påvist PMCV i 6/30 prøver. Ct-verdier PRV: 25-32. Ct-verdier PMCV: 19-35	PCR

Tabell 2: Tabell 2 viser oversikt over diagnoser stilt i anlegget siden fisken ble satt ut i havfarmen.

ÅKERBLÅ

Vedlegg 3

Fig 1: Figur 1 viser utviklingen av lus på Ytre Hadseløya fra uke 31 2020 til og med uke 20 2021. Figuren viser gjennomsnittlig lusetall per uke.



Adferdsregistreringer

Antall dager (13.08.20 - 21.03.21) med registrering av normal og avvikende adferd hos fisken i merdene, og antall dager med registrering av antall avvikere i ulike intervall.

ADFERD M1			AVVIKERE M1		
Verdi	Antall	Prosent	Antall avvikere	Antall dager	Prosent
Normal	175	79,2	0	87	39,4
Avvikende	43	19,5	1 – 10	93	42.1
Ikke reg.	3	1.4	11 – 20	35	15,8
			21 – 50	0	0
			> 50	0	0
			Ikke reg.	6	2,7

ADFERD M2			AVVIKERE M2		
Verdi	Antall	Prosent	Antall avvikere	Antall dager	Prose
Normal	170	76,9	0	84	38.0
Avvikende	48	21,7	1 – 10	28	12,7
Ikke reg.	3	1.4	11 – 20	55	46,6
			21 – 50	0	0
			> 50	0	0
			Ikke reg.	6	2,7

ADFERD M3			AVVIKERE M3		
Verdi	Antall	Prosent	Antall avvikere	Antall dager	Prosent
Normal	103	50,2	0	67	32,7
Avvikende	99	48,3	1 – 10	33	16,1
Ikke reg.	3	1,5	11 – 20	99	48,3
			21 – 50	0	0
			> 50	0	0
			Ikke reg.	6	2,9

ADFERD M4			AVVIKERE M4		
Verdi	Antall	Prosent	Antall avvikere	Antall dager	Prosent
Normal	98	49,7	0	47	23,9
Avvikende	96	48,7	1 – 10	45	22,8
Ikke reg.	3	1,5	11 – 20	99	50,3
			21 – 50	0	0
			> 50	0	0
			Ikke reg.	6	3,0

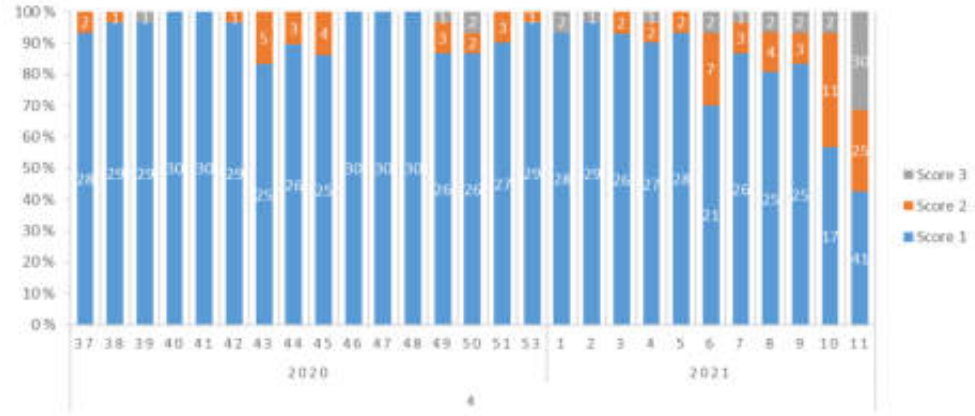
ADFERD M5			AVVIKERE M5		
Verdi	Antall	Prosent	Antall avvikere	Antall dager	Prosent
Normal	108	48,9	0	70	31,7
Avvikende	110	49,8	1 – 10	34	15,4
Ikke reg.	3	1,4	11 – 20	111	50,2
			21 – 50	0	0
			> 50	0	0
			Ikke reg.	6	2,7

ADFERD M6			AVVIKERE M6		
Verdi	Antall	Prosent	Antall avvikere	Antall dager	Prosent
Normal	203	92.3	0	65	29,4
Avvikende	14	6,4	1 – 10	124	56,1
Ikke reg.	3	1,4	11 – 20	26	11,8
			21 – 50	0	0
			> 50	0	0
			Ikke reg.	6	2,7

Velferdsregisteringer

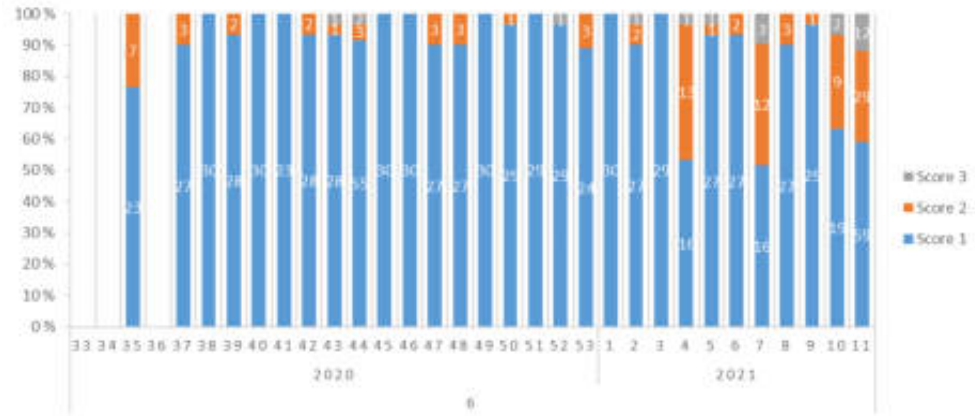
Resultat av ukentlig forenklet velferdsscoring i hver av de seks merdene, 1 - 6.

MERD 4



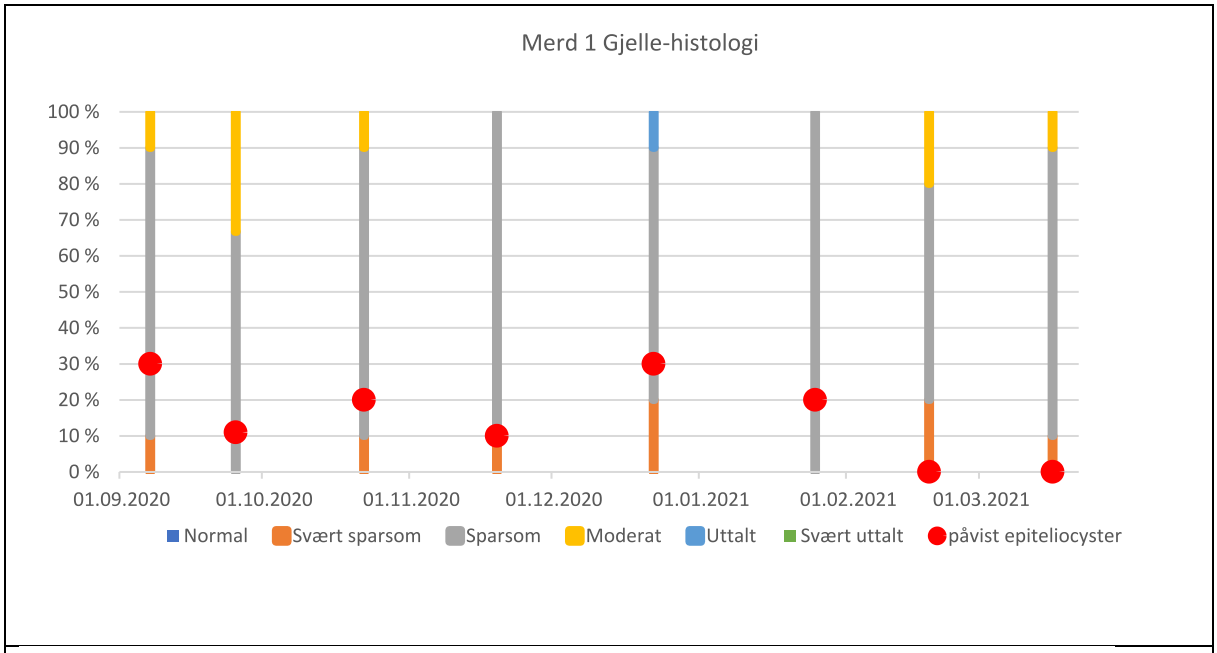
MERD 5

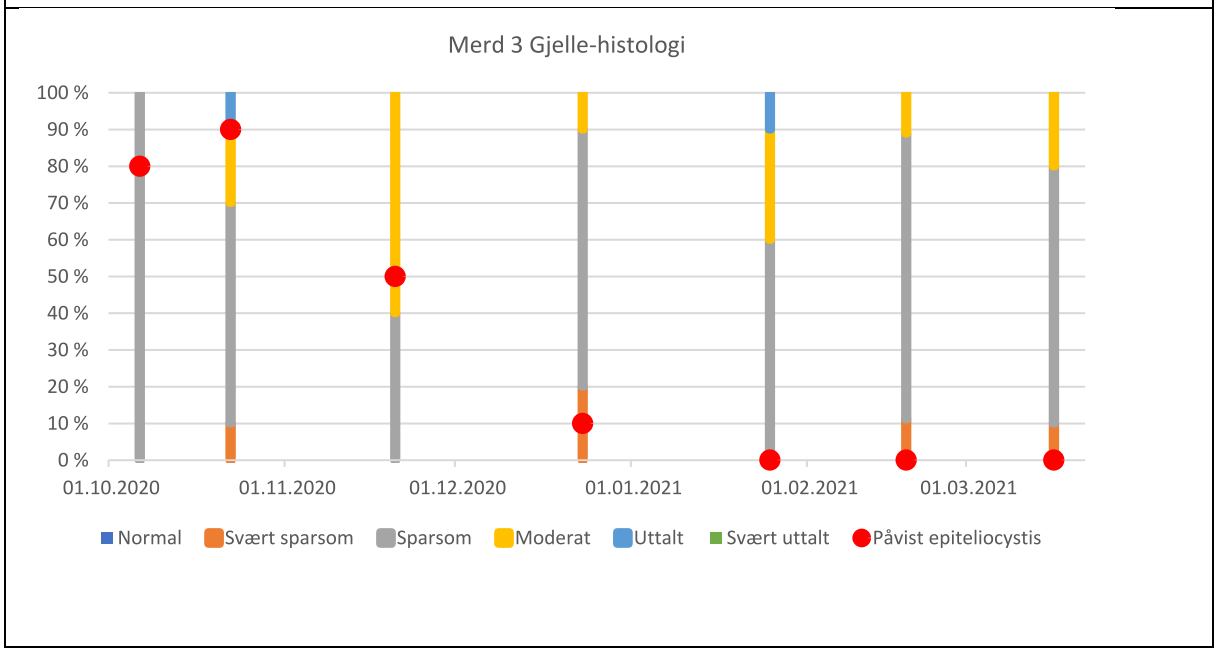
MERD 6

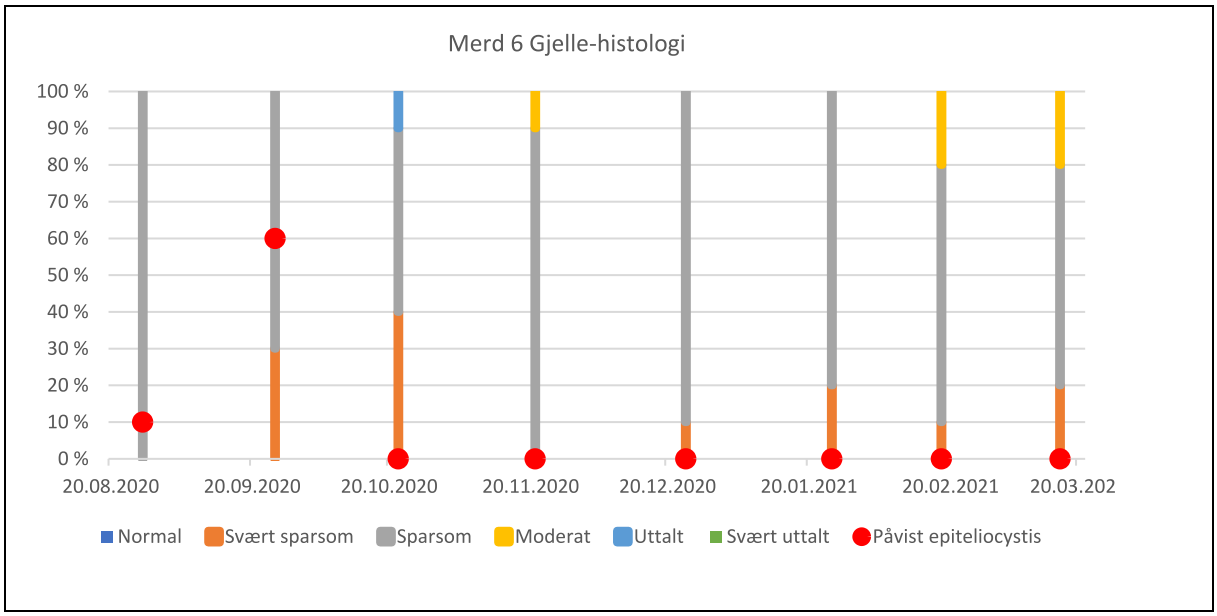


Gjellevurderinger

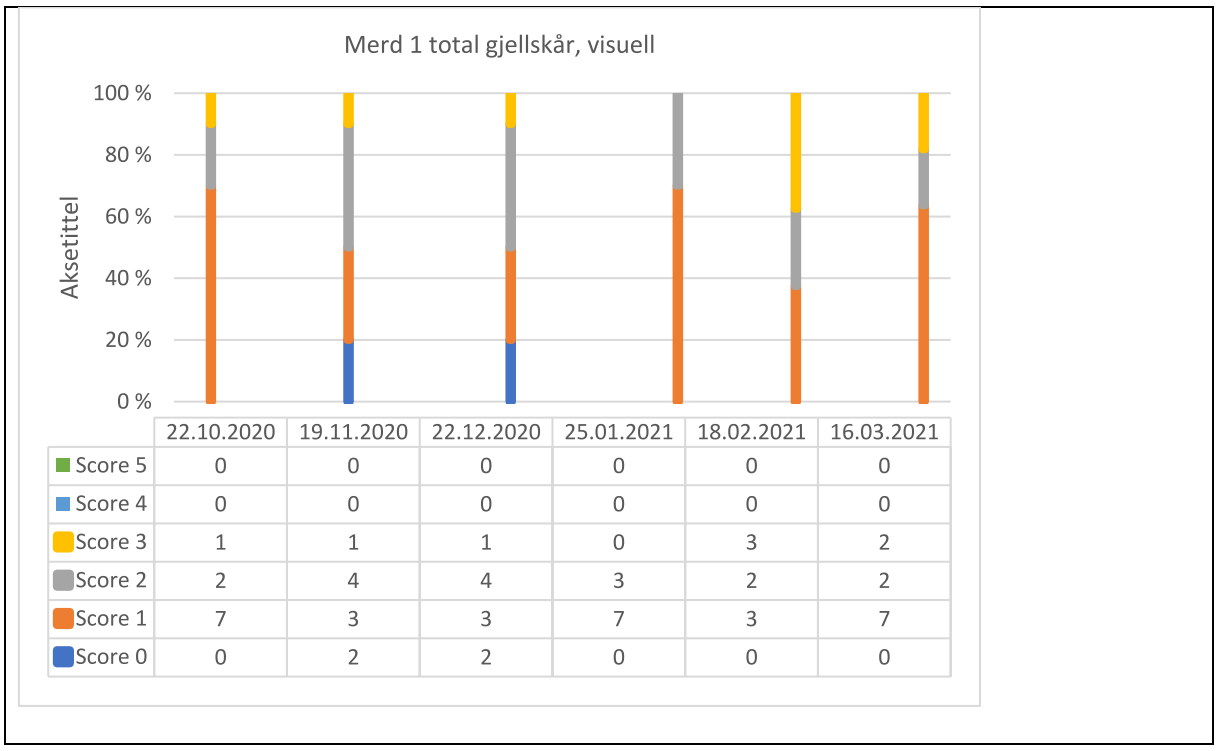
Resultat av histologisk undersøkelse av gjellepreparater fra merdene 1, 3 og 6 fra ulike prøveuttak. Patologiske forandringer graderes på en skala fra "normal" (ingen forandringer) til "Svært uttalt".



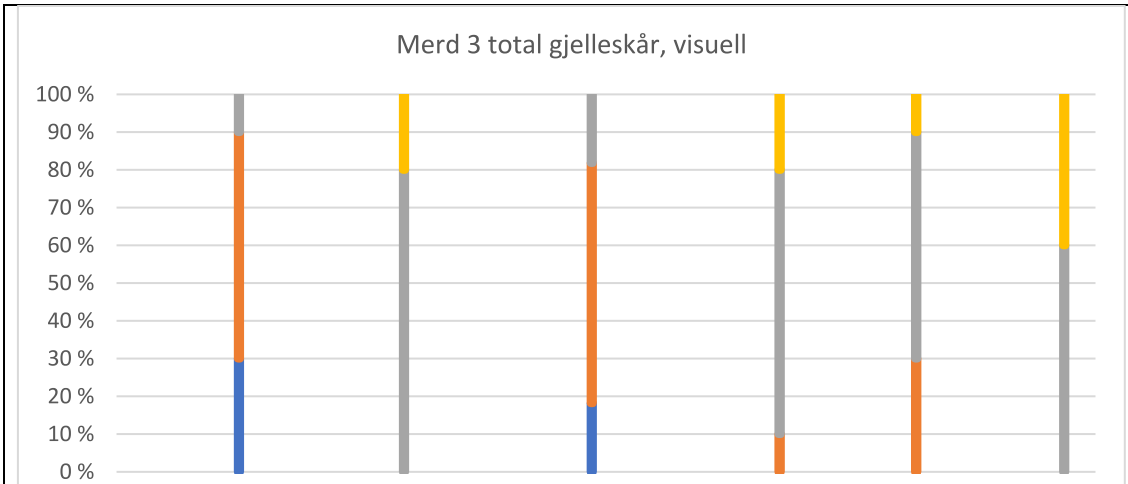




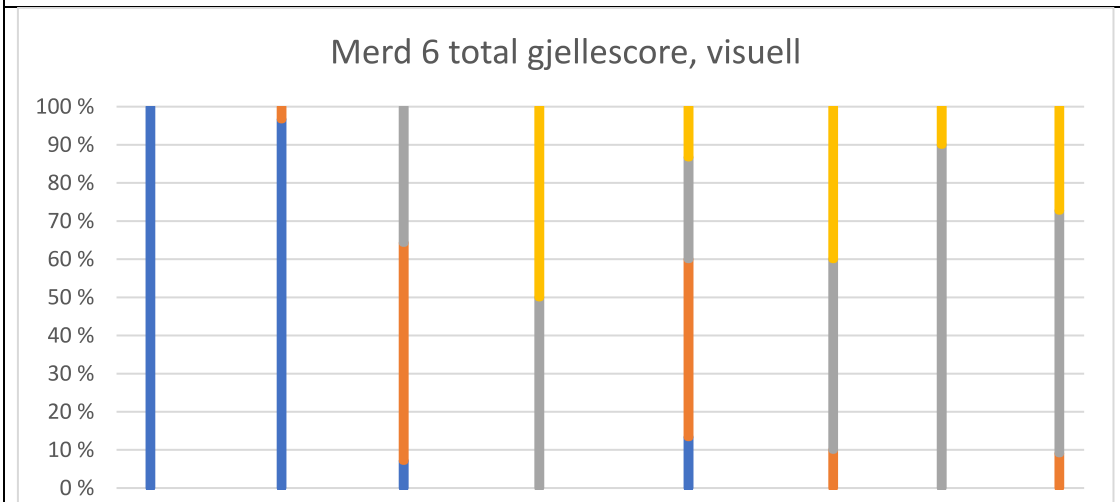
Vedlegg B. 1. Resultat av visuell vurdering av total gjellescore hos fisk fra merdene 1, 3 og 6.



	22.10.2020	19.11.2020	22.12.2020	25.01.2021	18.02.2021	16.03.2021
Score 5	0	0	0	0	0	0
Score 4	0	0	0	0	0	0
Score 3	1	1	1	0	3	2
Score 2	2	4	4	3	2	2
Score 1	7	3	3	7	3	7
Score 0	0	2	2	0	0	0



	22.10.2020	20.11.2020	23.12.2020	25.01.2021	18.02.2021	16.03.2021
Score 5	0	0	0	0	0	0
Score 4	0	0	0	0	0	0
Score 3	0	1	0	2	1	4
Score 2	1	4	2	7	6	6
Score 1	6	0	7	1	3	0
Score 0	3	0	2	0	0	0



	27.08.2020	25.09.2020	22.10.2020	21.11.2020	24.12.2020	25.01.2021	18.02.2021	16.03.2021
Score 5	0	0	0	0	0	0	0	0
Score 4	0	0	0	0	0	0	0	0
Score 3	0	0	0	5	2	4	1	3
Score 2	0	0	5	5	4	5	9	7
Score 1	0	1	8	0	7	1	0	1
Score 0	10	29	1	0	2	0	0	0

Prøver tatt i forbindelse med dokumentasjonsprogrammet

Prøver tatt i forbindelse med dokumentasjonsprogrammet.

Dato	Merd	Fisk	Prøver	Funn/diagnoser	Lab
2020.08.27	2	Frisk x 10	Histologi	Gjeller – Se kap. 3.1.1.3 Organpakke – ikke analysert	VI
			Blod	Se kap. 3.1.1.6	Atla
			Feces	Se kap. 3.1.1.6	Atla
2020.08.27	6	Frisk x 10	Histologi	Gjeller – Se kap. 3.1.1.3 Organpakke – ikke analysert	VI
			Blod	Se kap. 3.1.1.6	Atla
			Feces	Se kap. 3.1.1.6	Atla
2020.09.07	1	Frisk x 10	Histologi	Gjeller – Se kap. 3.1.1.3 Organpakke – ikke analysert	VI
			Blod	Se kap. 3.1.1.6	Atla
			Feces	Se kap. 3.1.1.6	Atla
2020.09.25	1	Frisk x 9	Histologi	Gjeller – Se kap. 3.1.1.3 Organpakke – ikke analysert	VI
			Blod	Se kap. 3.1.1.6	Atla
			Feces	Se kap. 3.1.1.6	Atla
2020.09.25	6	Frisk X 10	Histologi	Gjeller – Se kap. 3.1.1.3 Organpakke – ikke analysert	VI
			Blod	Se kap. 3.1.1.6	Atla
			Feces	Se kap. 3.1.1.6	Atla
2020.10.06	3	Frisk x 10	Histologi	Gjeller – Se kap. 3.1.1.3 Organpakke – ikke analysert	VI
			Blod	Se kap. 3.1.1.6	Atla
			Feces	Se kap. 3.1.1.6	Atla
2020.10.22	1	Frisk x 10	Histologi	Gjeller – Se kap. 3.1.1.3 Organpakke – ikke analysert	VI
			Blod	Se kap. 3.1.1.6	Atla
			Feces	Se kap. 3.1.1.6	Atla
2020.10.22	3	Frisk x 10	Histologi	Gjeller – Se kap. 3.1.1.3 Organpakke – ikke analysert	VI
			Blod	Se kap. 3.1.1.6	Atla
			Feces	Se kap. 3.1.1.6	Atla
2020.10.22	6	Frisk x 10	Histologi	Gjeller – Se kap. 3.1.1.3 Organpakke – ikke analysert	VI
			Blod	Se kap. 3.1.1.6	Atla
			Feces	Se kap. 3.1.1.6	Atla

2020.11.19	1	Frisk x 10	Histologi	Gjeller – Se kap. 3.1.1.3 Organpakke – ikke analysert	VI
			Blod	Se kap. 3.1.1.6	Atla
			Feces	Se kap. 3.1.1.6	Atla
2020.11.19	3	Frisk x 10	Histologi	Gjeller – Se kap. 3.1.1.3 Organpakke – ikke analysert	VI
			Blod	Se kap. 3.1.1.6	Atla
			Feces	Se kap. 3.1.1.6	Atla
2020.11.19	6	Frisk x 10	Histologi	Gjeller – Se kap. 3.1.1.3 Organpakke – ikke analysert	VI
			Blod	Se kap. 3.1.1.6	Atla
			Feces	Se kap. 3.1.1.6	Atla
2020.12.22	1	Frisk x 10	Histologi	Gjeller – Se kap. 3.1.1.3 Organpakke – ikke analysert	VI
			Blod	Se kap. 3.1.1.6	Atla
			Feces	Se kap. 3.1.1.6	Atla
2020.12.22	3	Frisk x 10	Histologi	Gjeller – Se kap. 3.1.1.3 Organpakke – ikke analysert	VI
			Blod	Se kap. 3.1.1.6	Atla
			Feces	Se kap. 3.1.1.6	Atla
2020.12.22	6	Frisk x 10	Histologi	Gjeller – Se kap. 3.1.1.3 Organpakke – ikke analysert	VI
			Blod	Se kap. 3.1.1.6	Atla
			Feces	Se kap. 3.1.1.6	Atla
2021.01.18	1	Frisk x 5	Histologi	Gjeller – se kap. 3.1.1.3 Organpakke: Påvist HSMB 4/5 og sparsom gjellebetennelse 4/5	VI
2021.01.25	1	Frisk x 10	Histologi	Gjeller – se kap. 3.1.1.3 Organpakke – ikke analysert	VI
			Blod	Se kap. 3.1.1.6	Atla
			Feces	Se kap. 3.1.1.6	Atla
2021.01.25	3	Frisk x 10	Histologi	Gjeller – se kap. 3.1.1.3 Organpakke – ikke analysert	VI
			Blod	Se kap. 3.1.1.6	Atla
			Feces	Se kap. 3.1.1.6	Atla
2021.01.25	6	Frisk x 10	Histologi	Gjeller – se kap. 3.1.1.3 Organpakke – ikke analysert	VI
			Blod	Se kap. 3.1.1.6	Atla
			Feces	Se kap. 3.1.1.6	Atla
2021.02.18	1	Frisk x 10	Histologi	Gjeller – se kap. 3.1.1.3 Organpakke – ikke analysert	VI
			Blod	Se kap. 3.1.1.6	Atla
			Feces	Se kap. 3.1.1.6	Atla
2021.02.18	3	Frisk x 10	Histologi	Gjeller – se kap. 3.1.1.3 Organpakke – ikke analysert	VI
			Blod	Se kap. 3.1.1.6	Atla
			Feces	Se kap. 3.1.1.6	Atla
2021.02.18	6	Frisk x 10	Histologi	Gjeller – se ka. 3.1.1.3 Organpakke – ikke analysert	VI
			Blod	Se kap. 3.1.1.6	Atla
			Feces	Se kap. 3.1.1.6	Atla

2021.03.17	1	Frisk x 10	Histologi	Gjeller – se kap. 3.1.1.3	VI
				Organpakke, se under	
			Blod	Se kap. 3.1.1.6	Atla
			Feces	Se kap. 3.1.1.6	Atla
2021.03.16	3	Frisk x 10	Histologi	Gjeller – se kap. 3.1.1.3	VI
				Organpakke, se under	VI
			Blod	Se kap. 3.1.1.6	Atla
			Feces	Se kap. 3.1.1.6	Atla
2021.03.15	6	Frisk x 10	Histologi	Gjeller – se kap. 3.1.1.3	VI
				Organpakke, se under	VI
			Blod	Se kap. 3.1.1.6	Atla
			Feces	Se kap. 3.1.1.6	Atla
2021.03.17	2	Frisk x 5	Histologi	Organpakke, se under	VI
2021.03.16	4	Frisk x 5	Histologi	Organpakke, se under	VI
2021.03.15	5	Frisk x 5	Histologi	Organpakke, se under	VI

For histologisk vurdering av prøvene som ble tatt ved sluttuttaket i uke 11 (15. – 17.03.2021) var hovedfunnene hjertesykdom (CMS og HSMB. Mulig koinfeksjon enkelte individer) i samtlige merder. Noen individer kunne ikke vurderes grunnet mangel av atrium i innsendt materiale. Ellers var det gjort funn av påkjente gjeller, med gjellebetennelse, epiteliocyster og *Ichthyobodo* sp. (costia) hos flere individer. Nedenfor resultatene fra Veterinærinstituttet presentert i en tabell. Videreformidling med tillatelse fra Veterinærinsituttet i Harstad.

Nr.	Merd/individ nr.	Funn	
1	Merd 1 (F1)	Sparsom	Gjellebetennelse (branchitis)
1	Merd 1 (F1)	Påvist	Hjerte- og skjelettmuskelbetennelse (HSMB)
2	Merd 1 (F2)	Sparsom	Gjellebetennelse (branchitis)
2	Merd 1 (F2)	Påvist	Hjerte- og skjelettmuskelbetennelse (HSMB)
3	Merd 1 (F3)	Sparsom	Gjellebetennelse (branchitis)
3	Merd 1 (F3)	Påvist	Hjerte- og skjelettmuskelbetennelse (HSMB)
4	Merd 1 (F4)	Sparsom	Gjellebetennelse (branchitis)
4-5	Merd 1 (F4, F5)	Påvist	Hjerte- og skjelettmuskelbetennelse (HSMB)
6	Merd 2 (F1)	Mistanke om	Hjerte- og skjelettmuskelbetennelse (HSMB)
7	Merd 2 (F2)	Sparsom	Gjellebetennelse (branchitis)
7	Merd 2 (F2)	Mistanke om	Hjerte- og skjelettmuskelbetennelse (HSMB)
8	Merd 2 (F3)	Sparsom	Gjellebetennelse (branchitis)
8	Merd 2 (F3)	Mistanke om	Hjerte- og skjelettmuskelbetennelse (HSMB)
9	Merd 2 (F4)	Sparsom	Gjellebetennelse (branchitis)
9	Merd 2 (F4)	Mistanke om	Hjerte- og skjelettmuskelbetennelse (HSMB)
10	Merd 2 (F5)	Sparsom	Gjellebetennelse (branchitis)

Nr.	Merd/individ nr.	Funn	
10	Merd 2 (F6)	Påvist	Hjerte- og skjelettmuskelbetennelse (HSMB)
11	Merd 3 (F1)	Sparsom	Gjellebetennelse (branchitis)
11	Merd 3 (F1)	Mistanke om	Kardiomyopatisyndrom (CMS, hjertesprekk) hos fisk
12	Merd 3 (F2)	Sparsom	Gjellebetennelse (branchitis)
12	Merd 3 (F2)	Mistanke om	Hjerte- og skjelettmuskelbetennelse (HSMB)
13	Merd 3 (F3)	Sparsom	Gjellebetennelse (branchitis)
13	Merd 3 (F3)	Påvist	Hjerte- og skjelettmuskelbetennelse (HSMB)
14	Merd 3 (F4)	Påvist	Gjellebetennelse (branchitis)
14	Merd 3 (F4)	Påvist	Hjerte- og skjelettmuskelbetennelse (HSMB)
14	Merd 3 (F4)	Mistanke om	Koinfeksjon med kardiomyopatisyndrom (CMS, hjertesprekk) hos fisk
15	Merd 3 (F5)	Påvist	Epiteliocyster
15	Merd 3 (F5)	Påvist	Gjellebetennelse (branchitis)
15	Merd 3 (F5)	Påvist	Hjerte- og skjelettmuskelbetennelse (HSMB)
15	Merd 3 (F5)	Sparsom	Kalkavleiring, pseudobrankie
16	Merd 4 (F1)	Sparsom	Enteritt, nekrotiserende, ulcerøs
16	Merd 4 (F1)	Påvist	Gjellebetennelse (branchitis)
16	Merd 4 (F1)	Påvist	Koinfeksjon med hjerte- og skjelettmuskelbetennelse (HSMB)
16	Merd 4 (F1)	Påvist	Kardiomyopatisyndrom (CMS, hjertesprekk) hos fisk
17	Merd 4 (F2)	Sparsom	Gjellebetennelse (branchitis)
17	Merd 4 (F2)	Mistanke om	Hjerte- og skjelettmuskelbetennelse (HSMB)
18	Merd 4 (F3)	Påvist	Hjerte- og skjelettmuskelbetennelse (HSMB)
19	Merd 4 (F4)	Påvist	Epiteliocyster
19	Merd 4 (F4)	Sparsom	Gjellebetennelse (branchitis)
19-20	Merd 4 (F4, F5)	Påvist	Hjerte- og skjelettmuskelbetennelse (HSMB)
21	Merd 5 (F1)	Påvist	Hjerte- og skjelettmuskelbetennelse (HSMB)
21	Merd 5 (F1)	Påvist	*Ichthyobodo* sp.
22	Merd 5 (F2)	Sparsom	Gjellebetennelse (branchitis)
23	Merd 5 (F3)	Påvist	Epiteliocyster

Nr.	Merd/individ nr.	Funn	
23	Merd 5 (F3)	Påvist	Gjellebetennelse (branchitis)
23	Merd 5 (F3)	Påvist	Hjerte- og skjelettmuskelbetennelse (HSMB)
24	Merd 5 (F4)	Påvist	Gjellebetennelse (branchitis)
24	Merd 5 (F4)	Påvist	Hjerte- og skjelettmuskelbetennelse (HSMB)
24	Merd 5 (F4)	Påvist	*Ichthyobodo* sp.
24	Merd 5 (F4)	Sparsom	Kalkavleiring, pseudobrankie
25	Merd 5 (F5)	Påvist	Epiteliocyster
25	Merd 5 (F5)	Påvist	Gjellebetennelse (branchitis)
25	Merd 5 (F5)	Påvist	Hjerte- og skjelettmuskelbetennelse (HSMB)
25	Merd 5 (F5)	Påvist	*Ichthyobodo* sp.
26	Merd 6 (F1)	Sparsom	Gjellebetennelse (branchitis)
26	Merd 6 (F1)	Sparsom	Hepatitt, subakutt
26	Merd 6 (F1)	Mistanke om	Hjerte- og skjelettmuskelbetennelse (HSMB)
26	Merd 6 (F1)	Påvist	*Ichthyobodo* sp.
27	Merd 6 (F2)	Sparsom	Gjellebetennelse (branchitis)
27	Merd 6 (F2)	Påvist	Hjerte- og skjelettmuskelbetennelse (HSMB)
28	Merd 6 (F3)	Påvist	Gjellebetennelse (branchitis)
28	Merd 6 (F3)	Påvist	Hjerte- og skjelettmuskelbetennelse (HSMB)
29	Merd 6 (F4)	Sparsom	Gjellebetennelse (branchitis)
29	Merd 6 (F4)	Påvist	Hjerte- og skjelettmuskelbetennelse (HSMB)
29	Merd 6 (F4)	Sparsom	Kalkavleiring, pseudobrankie
30	Merd 6 (F5)	Sparsom	Gjellebetennelse (branchitis)
30	Merd 6 (F5)	Mistanke om	Hjerte- og skjelettmuskelbetennelse (HSMB)
30	Merd 6 (F5)	Påvist	*Ichthyobodo* sp.
30	Merd 6 (F5)	Sparsom	Splenitt, granulomatøs, granulom

Prøvesvar

Prøveuttak for diagnostikk, funn/diagnoser og ansvarlig laboratorie.

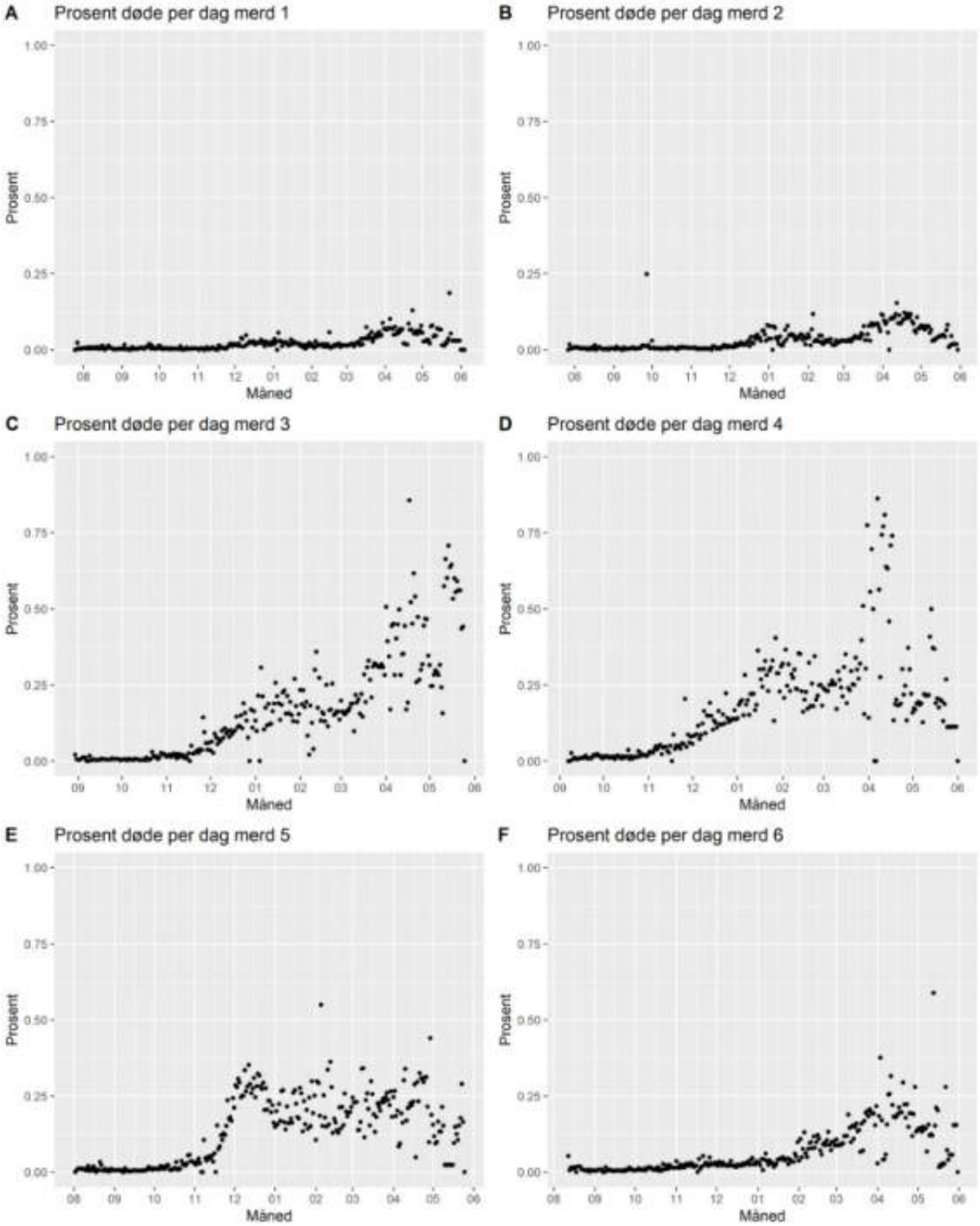
Dato uttak	Merd	Fisk	Prøver	Funn/diagnoser	Lab
2020.09.28 (Prøvesvar feilmerket 25/9)	2	Død x 5	Histologi	Påvist PGI og episteliocystis IHK for ILA – neg.	VI
2020.09.28 (Prøvesvar feilmerket 25/9)	2	Død x 5	PCR	PRV 5/5 pos (CT 23-28, mye til moderat) PMCV 0/5 pos	VI
2020.10.26	4	Død x 5	Histologi	HSMB (4/5) og med koinfeksjon CMS (2/5) + epiteliocyster	VI
2020.10.26	5	Død x 5	Histologi	HSMB (5/5) og med koinfeksjon CMS (4/5) + epiteliocyster	VI
2020.10.26	4	Død x 5	PCR	PRV 5/5 pos (Mye virus i 2/5, moderat i 3/5) PMCV 5/5 pos (Mye virus i 4/5, lite i 1/5) B. cysticola 5/5 pos (mod til mye) Alle (gjeller) neg for *Desmozoon lepeoptherii*, *Paramoeba perurans* og pox	VI
2020.10.26	5	Død x 5	PCR	PRV 5/5 pos (mye virus i 2/5, mod i 3/5) PMCV 4/5 pos (mye virus I 3/5, lite i 1/5) B. cysticola 5/5 pos (mod til mye). Alle (gjeller) neg for Desmozoon lepeoptherii, Paramoeba perurans og pox	VI
2020.11.23	6	Død x 4	Histologi	Påvist HSMB 4/4, Mistanke om CMS (4/4) Hepatitt (4/4)	VI
2020.11.23	6	Død x 4	PCR (gj.+hj.)	PRV: 4/4 pos (moderat mengde virus) PMCV: 4/4 pos (mye virus) B. cysticola: 3/4 pos (lite til mod) Alle (gjeller) neg for Desmozoon lepeoptherii, Paramoeba perurans og pox	VI
2020.11.23	3	Død x 5	Histologi	Påvist epiteliocystis og PGI 5/5. Påvist HSMB 1/5, mistanke om HSMB 2/5 Hepatitt (3/5)	VI
2020.11.23	3	Død x 5	PCR(gj+hj)	ILAV: 0/1 pos PRV: 5/5 pos (mod. til mye virus) PMCV: 1/5 pos (lite virus) B. cysticola: 5/5 pos (mod til mye) SGPV: 2/5 pos (mod til mye virus) Ikke påvist D. lepeoptherii eller P. peruans.	VI
2020.12.11	5	4	Bakteriologi	Påvist M. viscosa, Tenacibaculum sp. Og V. wodanis.	VI
2021.02.11	4	Død x 5	Histologi	Påvist HSMB 4/5, mistanke om HSMB 1/5 Påvist CMS (5/5) Sparsom PGI 3/5 Hepatitt – mistanke om infeksjon med microsporidier 2/5	VI
2021.02.11	4	Død x 5	PCR	PRV 5/5 pos (mod mengde virus) PMCV 5/5 pos (mye virus 4/5, lite virus 1/5)	VI

Prøveuttak for screening (PCR), resultatet av undersøkelsene og ansvarlig laboratorium.

Uttaksdato	Merd	Fisk	Prøver	Funn/diagnoser	Lab
2020.09.25	1	Frisk x 30	PCR (gjelle og hjerte)	ILAV 0/30 pos PRV 28/28 pos (CT 23-31) PMCV 0/28 pos	Blue Analytics AS
2020.11.19	1	Frisk x 30	PCR(gjelle og hjerte)	ILAV 0/30 pos PRV 30/30 pos (CT 25-30) PMCV 1/30 pos (CT 34)	Blue Analytics AS
2021.01.25	1	Frisk x 30	PCR (gjelle og hjerte	ILAV: 0/30 pos PRV: 30/30 pos (CT 24-30) PMCV: 5/30 pos (CT 22-37)	Blue Analytics AS
2021.03.17 ?	1	Frisk x 30	PCR (Gjelle og hjerte	ILAV: 0/28 pos PRV: 30/30 pos (CT 24-34) PMCV: 6/30 pos (CT 19-36)	Blue Analytics AS
2020.08.31	1, 2, 3, 5	Død x 20	PCR	PD-prøver: 0/20 pos	Fish Vet Group
2020.09.11	1, 2	Død x 23	PCR	PD-prøver: 0/23 pos	Fish Vet Group
2020.10.03	2, 4	Død x 21	PCR	PD-prøver: 0/21 pos	Fish Vet Group
2020.11.03	2, 4	Død x 21	PCR	PD-prøver: 0/21 pos	Fish Vet Group
2020.12.02	?	Død x 20	PCR	PD-prøver: 0/20 pos	Pharmaq Analytiq
2021.01.13	?	Død x 20	PCR	PD-prøver: 0/20 pos	Pharmaq Analytiq
2021.02.11	3, 4, 5, 6	Død x 20	PCR	PD-prøver: 0/20 pos	Patogen
2021.03.11	2, 4	Død x 21	PCR	PD-prøver: 0/21 pos	Fish Vet Group
2021.04.13	5	Død x 12	PCR	PD-prøver: 0/12 pos	Pharmaq Analytiq
2021.05.31	6	Død x 20	PCR	PD-prøver: 0/20 pos	Pharmaq Analytiq

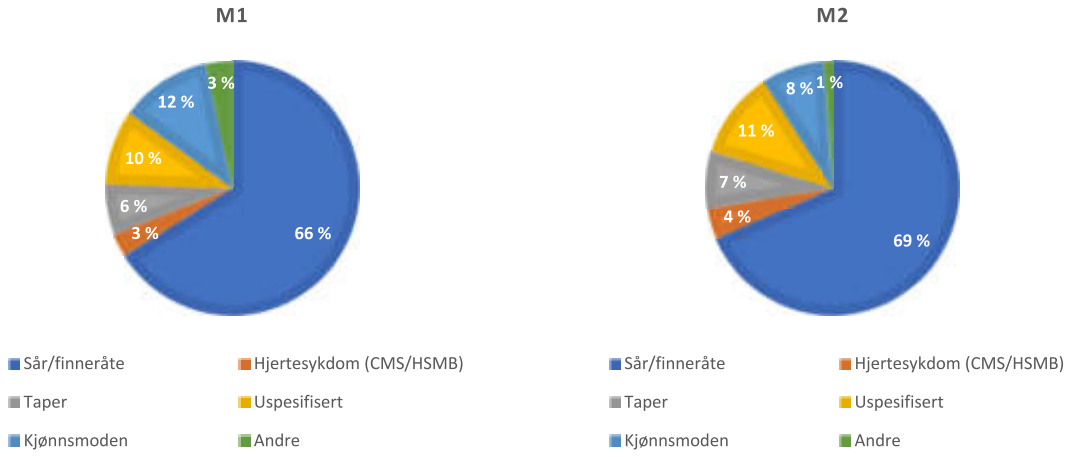
Dødelighetsplot

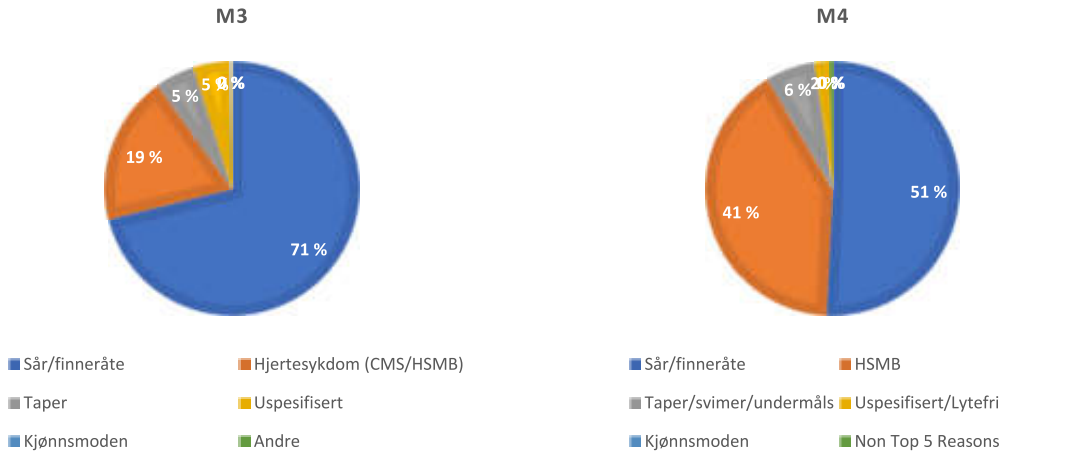
Plot av daglig dødelighet (%) per merd.

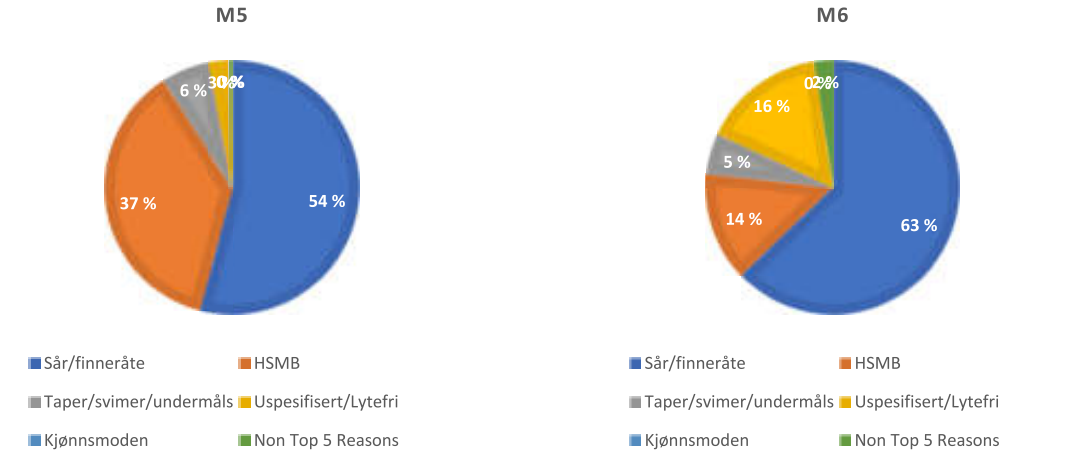


Dødelighetskategorier

Resultat av dødfiskkategorisering per merd for perioden utsett til slakt i havfarmen.

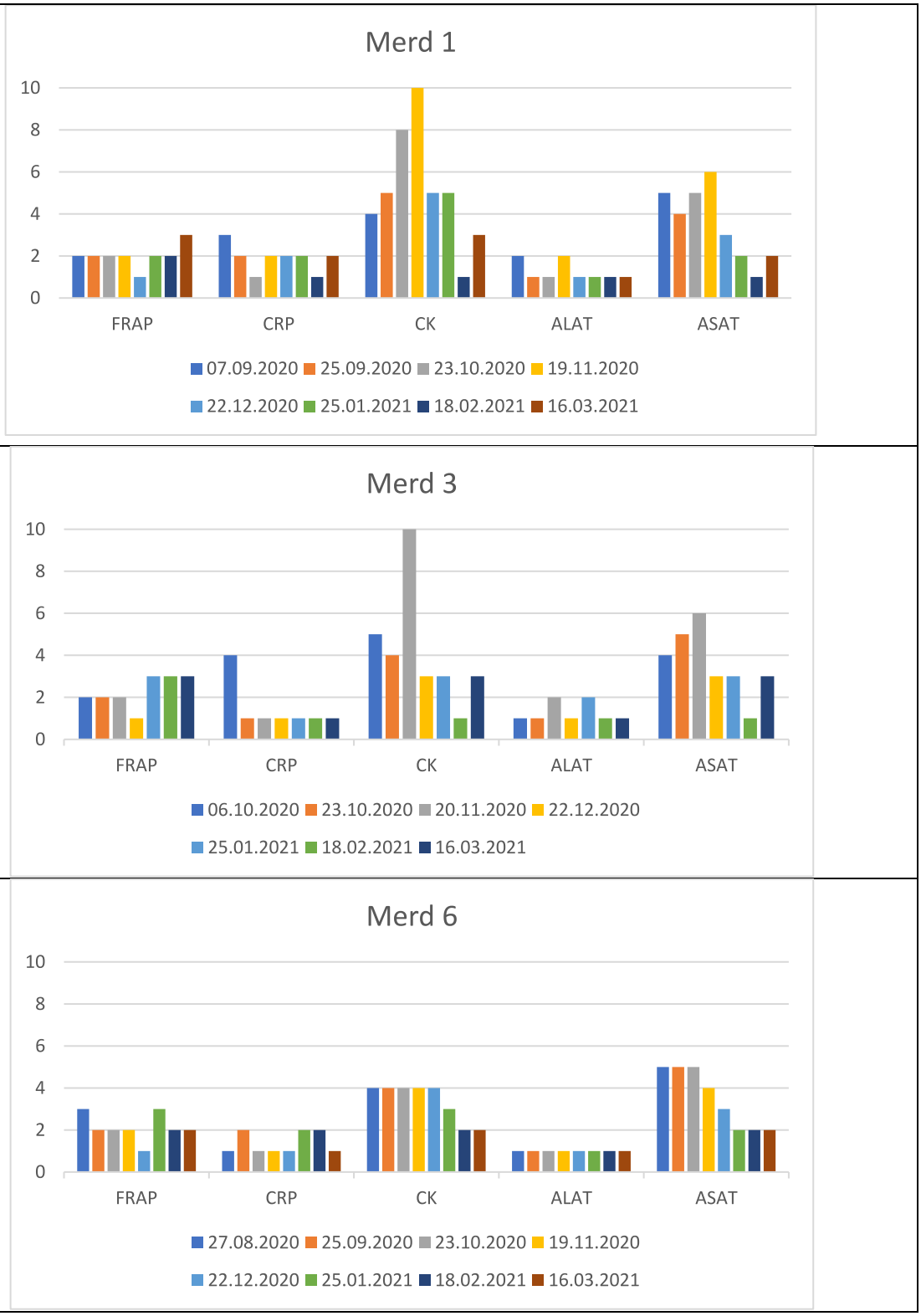






Resultater blodkjemi

Resultater av blodanalyser (Atla) for faktorene FRAP, CRP, CK, ALAT og ASAT. Resultatene er gjennomsnittsverdier av blodprøver fra 10 fisk og oppgis per merd og per prøveuttak.



Figurer, tabeller og eksklusjonskriterier oksygendata

Eksklusjonskriterier for oksygendata:

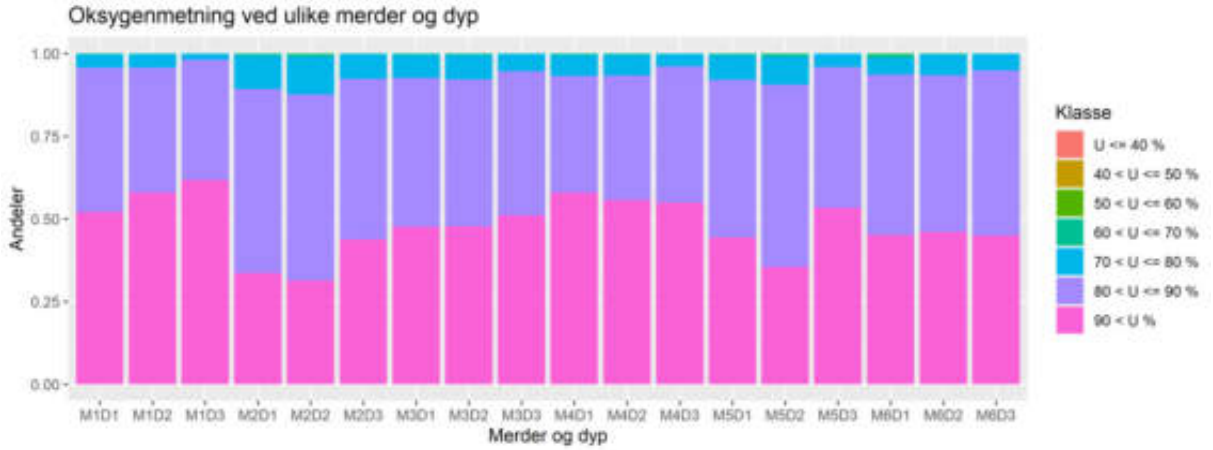
- Data fra 18.11.20 og 19.11.20 er ekskludert grunnet urealistiske målinger. Samtlige verdier under 20 % og over 130 % er ekskludert da de vurderes som feilmålinger.

Frekvens av målte oksygenverdier (% metning) i ulike intervall. Data fra tre sensorer i hver av seks merder (totalt 18 sensorer). Datagrunnlaget er en måling fra hver sensor hvert 30. minutt i perioden 4. august 2020 til 30. mai 2021.

Intervall oksygenmetning	Antall (n)
U <= 40 %	7
40 < U <= 50 %	10
50 < U <= 60 %	67
60 < U <= 70 %	1346
70 < U <= 80 %	17139
80 < U <= 90 %	107067
90 < U %	54947
Totalt antall	180583

Intervall oksygenmetning	Antall (n)
U <= 40 %	22
40 < U <= 50 %	29
50 < U <= 60 %	85
60 < U <= 70 %	1356
70 < U <= 80 %	17306
80 < U <= 90 %	112753
90 < U %	108862
Totalt antall	240413

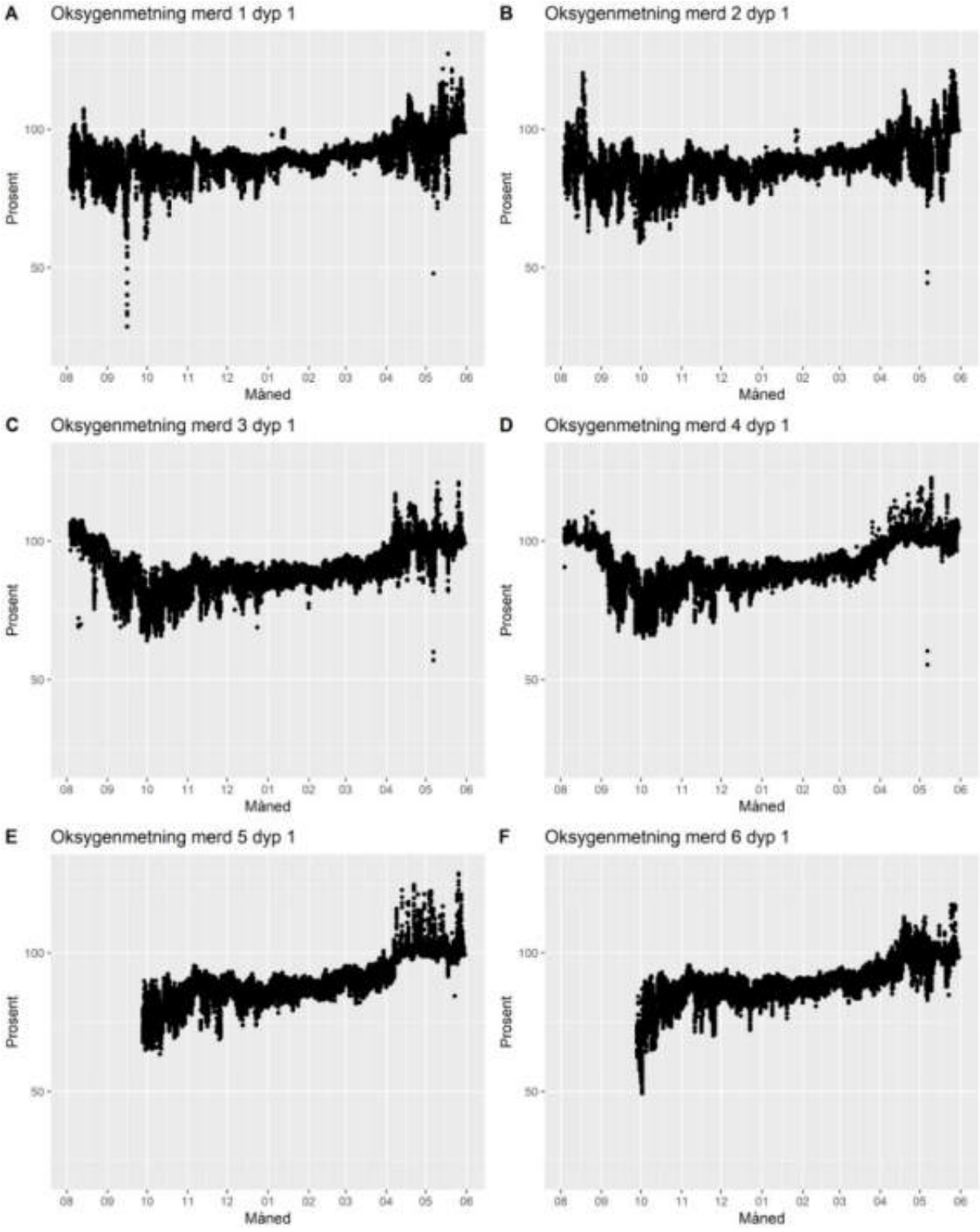
Andelsplott av målte oksygenverdier (% metning) fra tre fastmonterte sensorer (D1 = 5 m, D2 = 15 m og D3 = 35 m) i hver av merdene 1 til 6. Datagrunnlaget er en måling fra hver sensor hvert 30. minutt i perioden 4. august 2020 til 30. mai 2021.



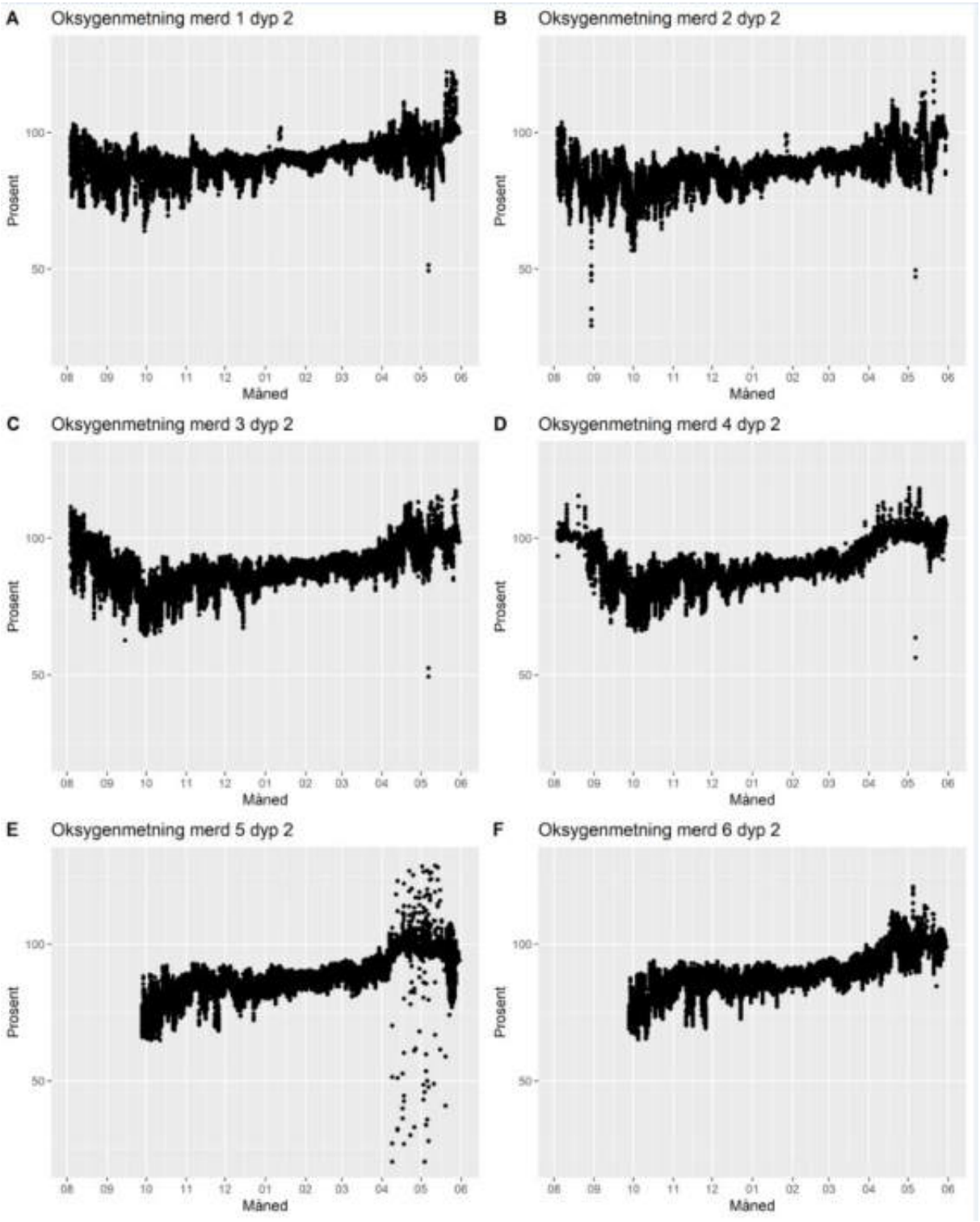
Gjennomsnittlig oksygenmetning (%), standardavvik og median for tre sensorer i hver av seks merder. Datagrunnlaget (n) er én måling fra hver sensor hvert 30. minutt i perioden 4. august 2020 til 30. mai 2021.

Plassering oksygenmåler	Antall (n)	Gjennomsnitt	Standardavvik	Median
M1D1	14243	90,05	6,29	89,97
M1D2	14242	90,32	5,92	90,56
M1D3	14243	91,54	5,99	90,95
	Gjennomsnitt	90,63		
M2D1	14240	87,51	7,04	87,71
M2D2	14240	86,88	6,98	87,44
M2D3	14240	89,07	7,15	88,9
	Gjennomsnitt	87,82		
M3D1	14277	90,13	7,87	89,2
M3D2	14277	89,42	7,38	89,32
M3D3	14277	90,47	7,11	89,77
	Gjennomsnitt	90,01		
M4D1	14277	91,53	8,22	90,68
M4D2	14277	91,19	8,00	90,3
M4D3	13752	91,47	7,24	90,24
	Gjennomsnitt	91,40		
M5D1	11646	89,75	8,20	88,67
M5D2	11598	87,83	7,65	87,53
M5D3	11646	90,58	6,40	90,06
	Gjennomsnitt	89,39		
M6D1	11646	89,33	7,54	89,02
M6D2	11646	89,57	7,17	89,07
M6D3	11646	89,98	7,04	88,91
	Gjennomsnitt	89,63		

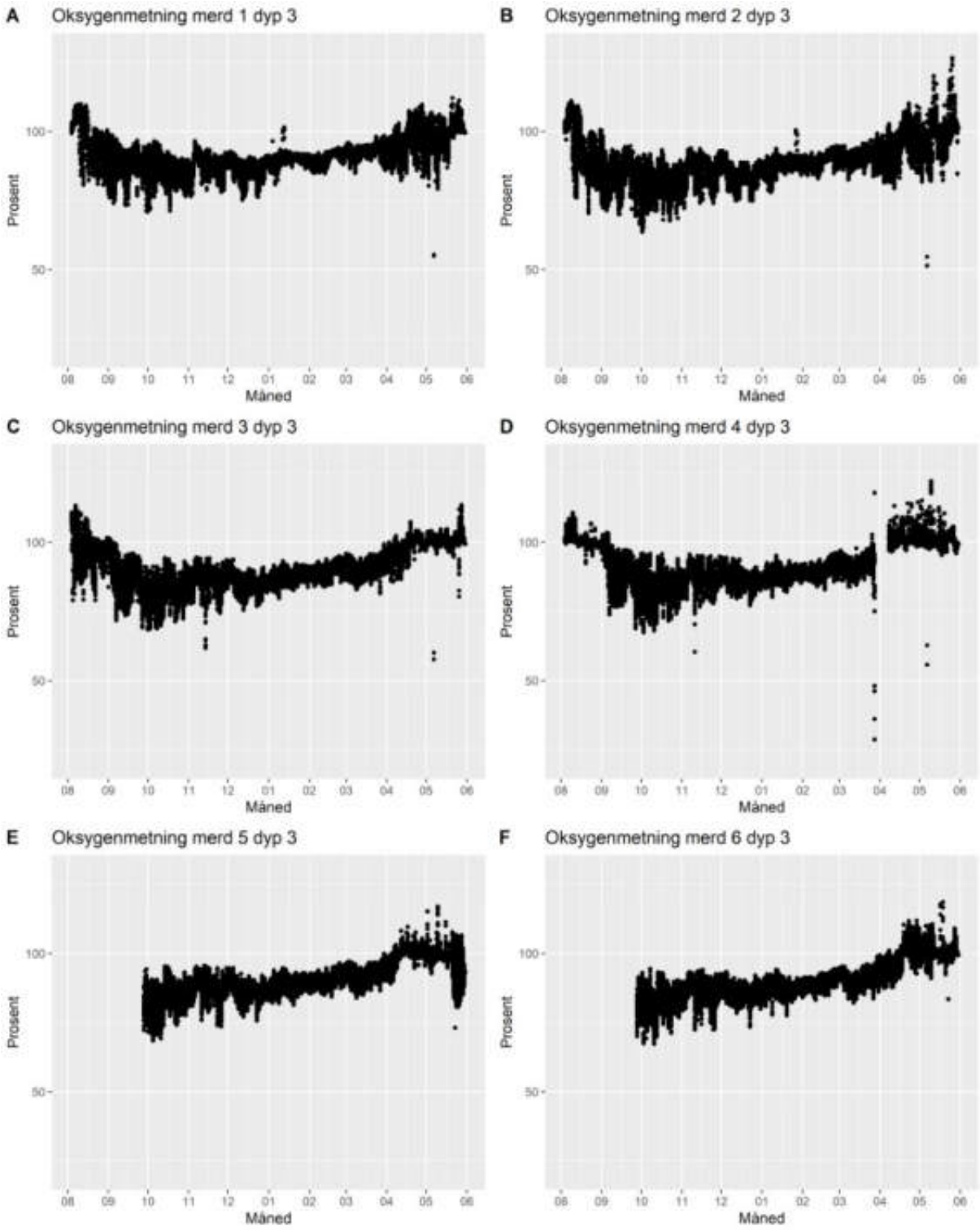
Plot av oksygenmetning (%), én måling hvert 30. minutt fra 4 august 2020 til 30. mai 2021, fra sensor på 5 meters dyp i hver av merdene 1 - 6.



Plot av oksygenmetning (%), én måling hvert 30. minutt fra 4 august 2020 til 30. mai 2021, fra sensor på 15 meters dyp i hver av merdene 1 - 6.



Plot av oksygenmetning (%), én måling hvert 30. minutt fra 4 august 2020 til 30. mai 2021, fra sensor på 35 meters dyp i hver av merdene 1 - 6.

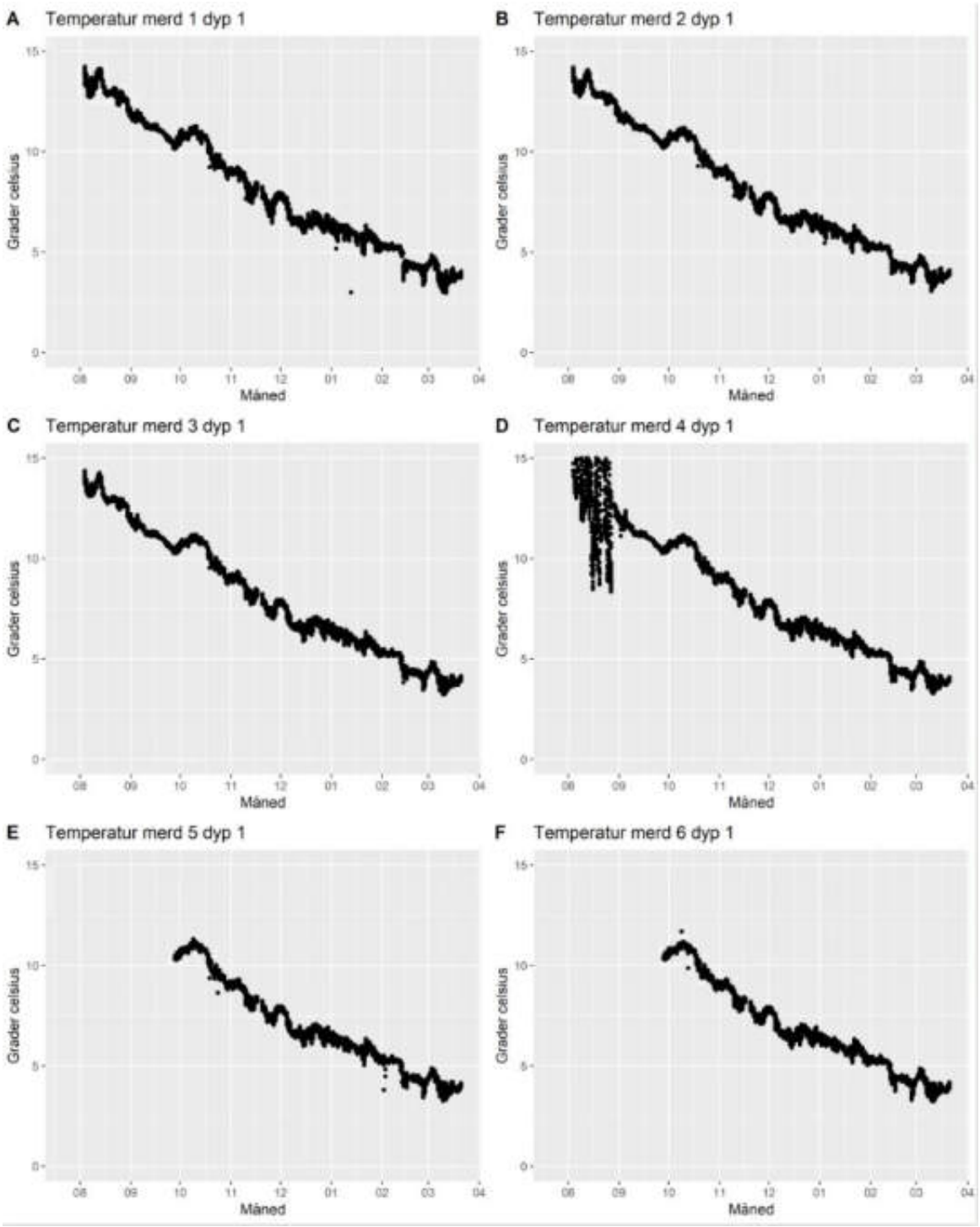


Figurer og eksklusjonskriterier temperaturdata

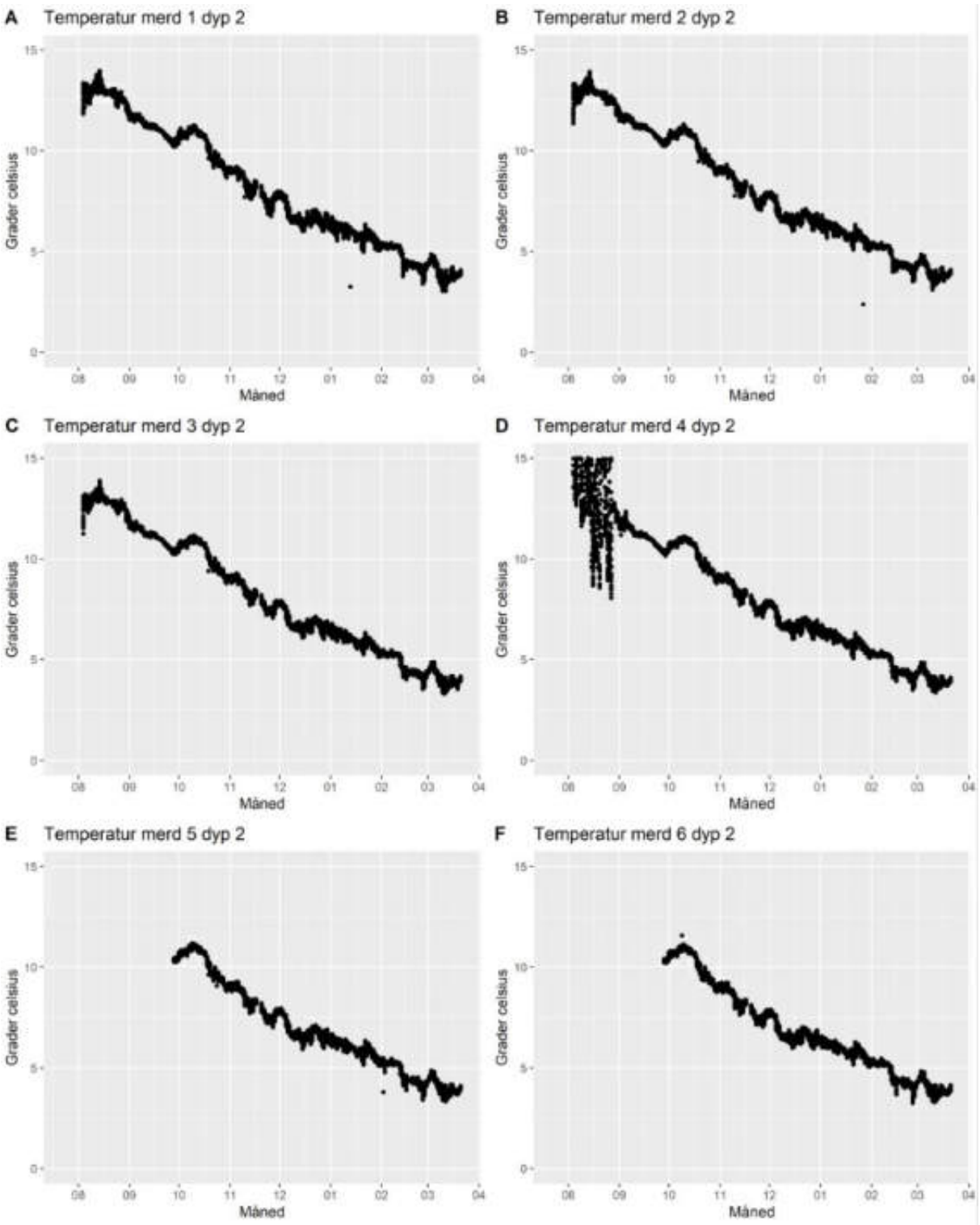
Eksklusjonskriterier temperaturdata:

- Data fra 18.11.2020 og 19.11.2020 ekskluderes da disse har urealistiske data.
- Måleverdier under 2 og over 20 grader ekskluderes da disse ansees for feilmålinger

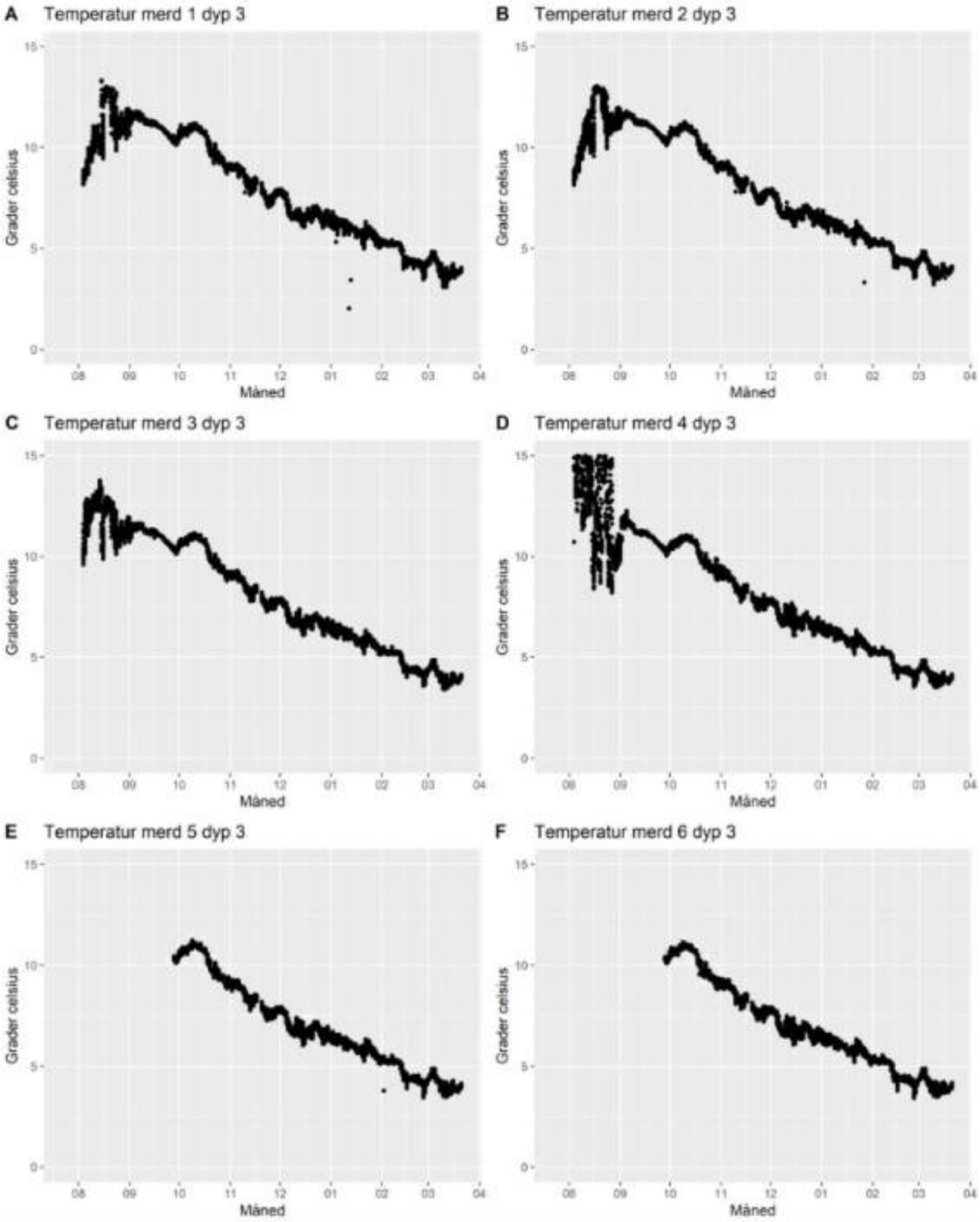
Plot av temperatur (°C), én måling hvert 30. minutt fra 4 august 2020 til 21. mars 2021, fra sensor på 5 meters dyp i hver av merdene 1 - 6.



Plot av temperatur (°C), én måling hvert 30. minutt fra 4 august 2020 til 21. mars 2021, fra sensor på 15 meters dyp i hver av merdene 1 - 6.



Plot av temperatur (°C), én måling hvert 30. minutt fra 4 august 2020 til 21. mars 2021, fra sensor på 35 meters dyp i hver av merdene 1 - 6.

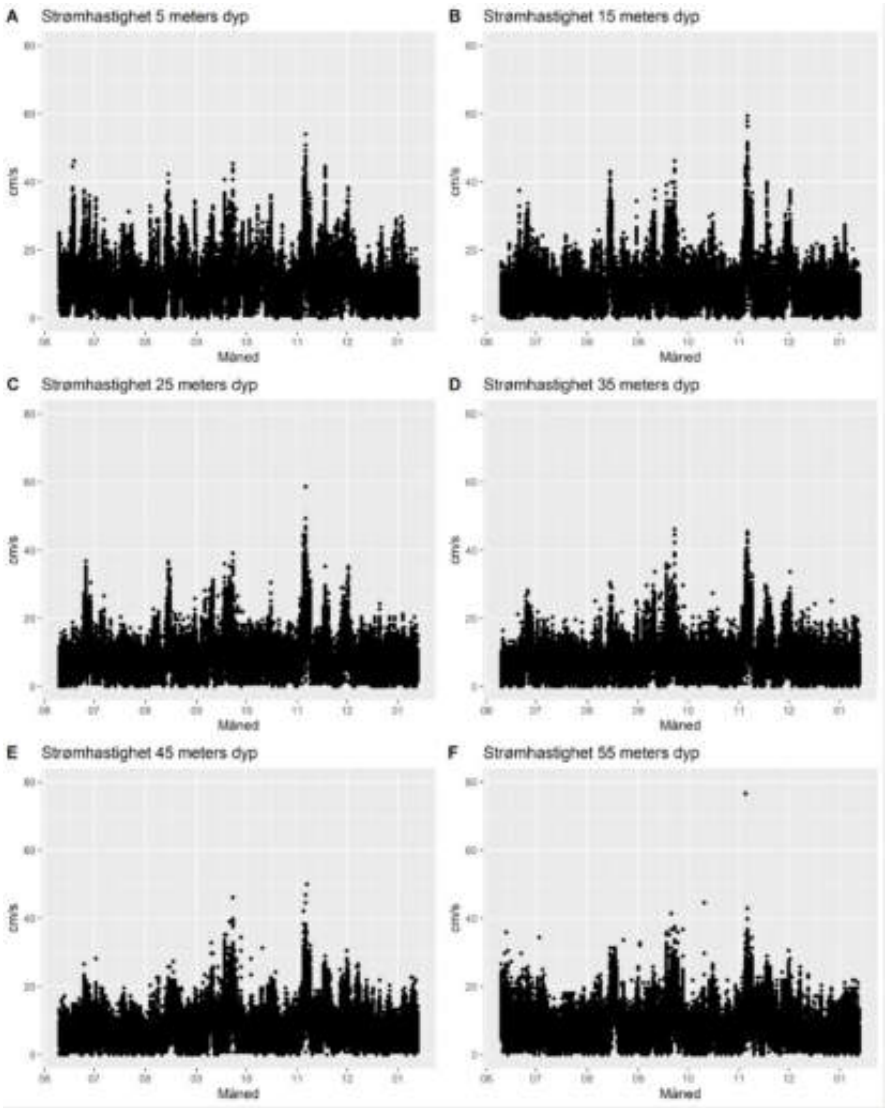


Strømhastighet

Frekvens av målt strømhastighet (cm/sek.) i ulike intervall. Dessuten gjennomsnitt, standardavvik, median, min. og maks. av målingene i hvert intervall. Datagrunnlaget er målinger hver 10. minutt i perioden 10. juni 2020 til 13. januar 2021 på dyp fra 3 til 61 m (hver andre meter).

	n	mean	sd	median	min	max
60 < U cm/s	8	73,73	13,21	70,70	60,94	96,09
50 < U <= 60 cm/s	51	53,85	2,50	53,13	50,78	59,38
40 < U <= 50 cm/s	652	43,61	2,46	42,97	40,63	50,00
20 < U <= 40 cm/s	43114	24,48	4,08	23,44	20,31	39,84
10 < U <= 20 cm/s	282073	13,28	2,65	12,50	10,16	19,53
5 < U <= 10 cm/s	354392	7,31	1,32	7,03	5,47	9,38
U <= 5 cm/s	257480	3,21	1,23	3,13	0,00	4,69

Målt strømhastighet (cm/sek) hvert 10. minutt på 6 utvalgte dyp (5, 15, 25, 35, 45 og 55 m) i perioden 10. juni 2020 til 13. januar 2021.



CTD-målinger

Eksklusjonskriterier for CTD-måleserier

- Usannsynlig serie
- Ukjent målepunkt, lokasjon

Eksklusjonskriterier for CTD-datapunkt

- Usannsynlige måleverdier
- Ukjent målepunkt, lokasjon
- Avvik i oksygenverdier i luft før måleserien større enn 100 % +/- 5 %.

Gjennomsnittsverdier og spredning (minimum og maksimum) for temperatur, oksygen og saltholdighet hentet fra CTD-måleserier. Data fra 6 merder og 3 dyp fra perioden 25. september 2020 til 21. mars 2021.

Merd	**Dyp, m**	**Datapkt., n**	**Temperatur, ˚C**			**Oksygen, % metning**			**Saltholdighet, ‰**		
			Snitt	min	max	Snitt	min	max	Snitt	min	max
1	5	31	9,09	3,82	11,26	90,8	78,5	97,3	33,07	32,47	33,59
	15	31	9,11	3,82	11,22	89,7	77,3	97,9	33,12	32,46	33,59
	35	31	9,11	3,83	11,20	87,9	72,8	98,2	33,18	32,47	33,58
2	5	33	8,84	3,82	11,20	84,3	69,8	94,2	33,17	32,81	33,60
	15	33	8,83	3,82	11,20	84,4	69,3	93,5	33,18	32,63	33,60
	35	33	8,83	3,82	11,18	84,9	68,7	94,1	33,23	32,81	33,60
3	5	34	8,84	3,82	11,15	84,5	71,4	94,3	33,15	32,46	33,62
	15	34	8,84	3,81	11,13	84,7	72,4	95,1	33,18	32,54	33,61
	35	34	8,85	3,82	11,09	85,6	73,6	94,8	33,23	32,63	33,61
4	5	34	8,84	3,82	11,13	84,0	70,0	95,4	33,18	32,77	33,62
	15	34	8,84	3,81	11,12	84,3	70,4	96,6	33,20	32,78	33,61
	35	34	8,84	3,81	11,13	85,6	73,4	96,7	33,24	32,83	33,62
5	5	34	8,85	3,81	11,13	83,5	71,6	95,4	33,17	32,77	33,61
	15	33	8,79	3,81	11,16	84,3	73,2	95,7	33,20	32,74	33,61
	35	35	8,89	3,81	11,11	85,6	73,2	95,9	33,24	32,76	33,61
6	5	34	8,84	3,80	11,15	84,5	70,6	96,6	33,18	32,77	33,60
	15	34	8,83	3,80	11,12	85,0	72,6	97,0	33,19	32,77	33,60
	35	34	8,84	3,80	11,13	86,4	75,3	97,8	33,24	32,80	33,60

Gjennomførte CTD-måleserier i perioden 25. september 2020 til 21. mars 2021. Vurdering av linjediagram av måleverdier av temperatur, oksygenmetning og saltholdighet fra maksimalt dyp til overflaten.

Dato	Merd	Tidspkt start (dypeste pkt)	Max dyp	Vurdering linjediagram	Merknader
25.09.2020	1	15:11:39	38,88	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
25.09.2020	2	15:18:16	42,00	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
25.09.2020	3	15:25:40	42,38	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
25.09.2020	4	15:31:38	40,25	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
25.09.2020	5	15:38:26	40,27	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
25.09.2020	6	15:46:12	39,68	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
26.09.2020	1	15:46:10	39,58	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
26.09.2020	2	15:53:49	39,21	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
26.09.2020	3	16:01:28	40,26	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
26.09.2020	4	16:07:46	38,77	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
26.09.2020	5	16:14:41	41,41	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
26.09.2020	6	16:20:42	40,15	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
27.09.2020	1	14:17:03	37,1	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
27.09.2020	2	14:22:56	39,12	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
27.09.2020	3	14:29:09	40,55	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
27.09.2020	4	14:34:04	39,61	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
27.09.2020	5	14:39:08	42,25	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
27.09.2020	6	14:46:41	42,68	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
28.09.2020	1	15:49:04	37,68	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
28.09.2020	2	15:54:15	44,19	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
28.09.2020	3	15:59:12	40,23	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
28.09.2020	4	16:14:08	42,05	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
28.09.2020	5	16:19:42	43,07	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
28.09.2020	6	16:24:34	42,93	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
29.09.2020	1	11:57:14	38,08	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
29.09.2020	2	12:05:50	43,06	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
29.09.2020	3	12:14:41	40,87	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
29.09.2020	4	12:24:37	41,86	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
29.09.2020	5	12:33:37	42,18	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
29.09.2020	6	12:43:59	39,95	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
30.09.2020	1	13:04:45	40,97	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
30.09.2020	2	13:10:28	43,9	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
30.09.2020	3	13:16:44	40,68	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
30.09.2020	4	13:21:11	44,67	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
30.09.2020	5	13:26:23	38,72	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
30.09.2020	6	13:30:27	43,19	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
02.10.2020	1	10:26:10	43,81	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
02.10.2020	2	10:30:56	42,71	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
02.10.2020	3	14:04:53	42,1	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
02.10.2020	4	14:09:40	40,54	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
02.10.2020	5	14:15:02	40,46	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	

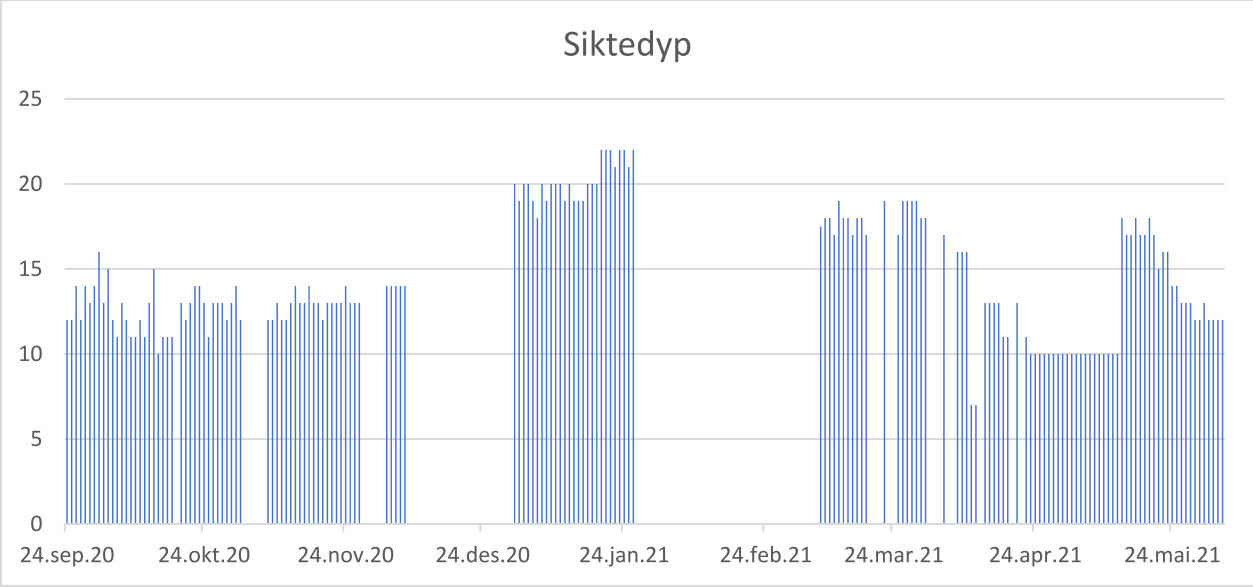
02.10.2020	6	14:20:10	41,76	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
03.10.2020	1	15:10:52	39,83	Jevnt stigende oksygen mot overflaten, ellers lite variasjon.	
03.10.2020	2	15:15:56	44,07	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
03.10.2020	3	15:22:07	41,71	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
03.10.2020	4	15:26:44	40,26	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
03.10.2020	5	15:32:18	44,46	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
03.10.2020	6	15:37:18	39,44	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
04.10.2020	1	14:47:26	42,86	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
04.10.2020	2	14:52:15	42,02	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
04.10.2020	3	14:57:37	37,53	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
04.10.2020	4	15:04:21	41,57	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
04.10.2020	5	15:10:00	41,33	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
04.10.2020	6	15:14:27	38,27	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
05.10.2020	1	16:32:09	43,14	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
05.10.2020	2	16:36:23	42,27	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
05.10.2020	3	16:41:14	41,92	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
05.10.2020	4	16:45:25	44,1	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
05.10.2020	5	16:49:52	40,62	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
05.10.2020	6	16:53:53	41,26	Høyest oksygen på ca. 35 m, jevnt fallende mot overflaten. Ellers lite variasjon.	
06.10.2020	1	12:49:54	43,17	Jevnt stigende oksygen mot overflaten, ellers lite variasjon.	
06.10.2020	2	12:54:35	43,15	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
06.10.2020	3	13:00:19	41,88	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	Litt lave oksygennivå i luft før serie
06.10.2020	4	13:05:00	39,55	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	Litt lave oksygennivå i luft før serie
06.10.2020	5	13:09:51	42,66	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	Litt lave oksygennivå i luft før serie
06.10.2020	6	13:14:43	42,02	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	Litt lave oksygennivå i luft før serie
07.10.2020	1	15:41:25	40,37	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	Litt lave oksygennivå i luft før serie
07.10.2020	2	15:47:16	43,34	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
07.10.2020	3	15:52:47	41,2	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	Litt lave oksygennivå i luft før serie
07.10.2020	4	15:57:02	40,22	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	Litt lave oksygennivå i luft før serie
07.10.2020	5	16:01:33	40,08	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	Litt lave oksygennivå i luft før serie
07.10.2020	6	16:06:09	39,08	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	Litt lave oksygennivå i luft før serie
08.10.2020	1	12:55:00	36,25	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	Litt lave oksygennivå i luft før serie
08.10.2020	2	12:59:28	36,43	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
08.10.2020	3	13:05:35	36,71	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	Litt lave oksygennivå i luft før serie
08.10.2020	4	13:10:19	32,33	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	Litt lave oksygennivå i luft før serie
08.10.2020	5	13:14:39	33,71	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	Litt lave oksygennivå i luft før serie
08.10.2020	6	13:19:28	33,14	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	Litt lave oksygennivå i luft før serie
09.10.2020	1	12:28:23	37,62	Høye oksygenverdier, jevne kurver	Høye oksygennivå i luft før serie
09.10.2020	2	12:51:16	38,52	Høye oksygenverdier, jevne kurver	Høye oksygennivå i luft før serie

09.10.2020	3	13:01:18	36,51	Høye oksygenverdier, jevne kurver	Høye oksygennivå i luft før serie
09.10.2020	4	15:20:41	36,5	Høye oksygenverdier, jevne kurver	Høye oksygennivå i luft før serie
09.10.2020	5	15:42:06	33,12	Høye oksygenverdier, jevne kurver	Høye oksygennivå i luft før serie
09.10.2020	6	15:49:13	36,53	Høye oksygenverdier, jevne kurver	Høye oksygennivå i luft før serie
10.10.2020	1	12:10:46	40,36	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
10.10.2020	1	18:25:22	35,76	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
10.10.2020	2	12:14:52	38,17	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
10.10.2020	2	18:29:18	47,27	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
10.10.2020	3	12:19:13	40,29	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
10.10.2020	3	18:34:13	39,19	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
10.10.2020	4	12:23:22	39,34	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
10.10.2020	4	18:38:14	45,07	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
10.10.2020	5	12:27:49	43,07	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
10.10.2020	5	18:42:49	38,1	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
10.10.2020	6	12:32:14	40,7	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
10.10.2020	6	18:47:22	40,46	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
11.10.2020	1	13:07:01	41,37	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
11.10.2020	2	13:10:57	39,68	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
11.10.2020	3	13:15:09	40,83	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
11.10.2020	4	13:19:02	45,9	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
11.10.2020	5	13:23:51	42,46	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
11.10.2020	6	13:27:52	43,53	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
13.10.2020	1	10:02:50	38,14	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
13.10.2020	2	10:07:18	38,78	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
13.10.2020	3	10:11:50	39,13	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
13.10.2020	4	10:15:50	38,02	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
13.10.2020	5	10:20:10	36,78	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
13.10.2020	6	10:24:06	36,54	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
14.10.2020	1	15:01:10	42,49	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
14.10.2020	2	15:07:08	44,36	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
14.10.2020	3	15:13:25	43,25	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
14.10.2020	4	15:18:34	44,03	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
14.10.2020	5	15:24:48	43,44	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
14.10.2020	6	15:30:39	48,13	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
15.10.2020	1	15:02:17	42,35	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
15.10.2020	2	15:06:36	44,37	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
15.10.2020	3	15:11:37	42,35	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
15.10.2020	4	15:15:44	42,82	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
15.10.2020	5	15:20:37	37,08	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
15.10.2020	6	15:24:35	42,08	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
16.10.2020	1	13:31:07	39,09	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
16.10.2020	2	13:35:52	39,65	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
16.10.2020	3	13:40:21	38,16	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
16.10.2020	4	13:44:17	39,49	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	

16.10.2020	5	13:51:22	41,03	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
16.10.2020	6	13:55:19	36,56	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
17.10.2020	1	13:25:40	38,14	Jevnt stigende oksygen mot overflaten, ellers lite variasjon.	
17.10.2020	2	13:29:44	36,28	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
17.10.2020	3	13:34:29	40,13	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
17.10.2020	4	13:38:27	37,5	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
17.10.2020	5	13:44:29	33,97	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
17.10.2020	6	13:48:33	41,55	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
26.10.2020	1	08:52:23	42,83	Jevnt stigende oksygen mot overflaten, ellers lite variasjon.	Litt høye oksygennivå i luft før serie
26.10.2020	2	09:01:19	46,01	Jevnt stigende oksygen mot overflaten, ellers lite variasjon.	Litt høye oksygennivå i luft før serie
26.10.2020	3	09:10:21	44,86	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
26.10.2020	4	09:19:31	46,09	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
26.10.2020	5	09:27:22	42,67	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
26.10.2020	6	09:33:47	40,11	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
16.12.2020	1	07:12:07	48,4	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
16.12.2020	2	07:18:17	46,54	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
16.12.2020	3	07:25:46	47,06	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
16.12.2020	4	07:33:34	44,41	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
16.12.2020	5	07:39:55	46,96	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
16.12.2020	6	07:46:04	43,75	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
29.12.2020	1	11:01:15	47,53	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
29.12.2020	2	11:09:03	44,55	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
29.12.2020	3	11:14:39	46,39	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
29.12.2020	4	11:21:07	44,8	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
29.12.2020	5	11:27:23	45,52	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
29.12.2020	6	11:33:44	44,32	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
01.01.2021	1	12:40:16	43,3	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
01.01.2021	3	12:54:42	43,33	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
01.01.2021	4	13:32:07	45,33	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
01.01.2021	5	13:52:33	49,09	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
01.01.2021	6	14:00:25	45,08	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
02.01.2021	1	16:33:53	33,21	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
02.01.2021	2	17:03:43	46,42	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
02.01.2021	3	17:09:19	44,69	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
02.01.2021	4	17:15:23	45,71	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
02.01.2021	5	17:21:33	42,96	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
02.01.2021	6	17:28:13	44,88	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
08.01.2021	1	08:33:02	44,44	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
08.01.2021	2	08:40:11	45,02	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
08.01.2021	3	08:46:57	45,91	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
08.01.2021	4	08:52:26	43,49	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
08.01.2021	5	08:59:46	44,68	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
08.01.2021	6	09:05:06	42,65	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
15.01.2021	1	07:54:38	45,29	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	

15.01.2021	2	07:59:47	47,14	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
15.01.2021	3	08:05:46	45,98	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
15.01.2021	4	08:14:03	44,73	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
15.01.2021	5	08:19:35	44,8	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
15.01.2021	6	08:24:48	43,66	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
20.01.2021	1	12:28:34	45,95	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
20.01.2021	2	12:34:29	46,18	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
20.01.2021	3	12:40:34	47,32	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
20.01.2021	4	12:46:49	45,88	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
20.01.2021	5	12:52:43	45,79	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
20.01.2021	6	12:58:17	46,02	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
14.02.2021	1	11:07:15	45,14	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	Litt lave oksygennivå i luft før serie
14.02.2021	2	11:12:15	42,78	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
14.02.2021	3	11:41:41	41	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
14.02.2021	4	11:46:23	40,74	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
14.02.2021	5	12:31:20	41,77	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
14.02.2021	6	12:35:47	43,63	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
19.02.2021	1	15:42:32	41,62	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
19.02.2021	2	15:47:10	42,74	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
19.02.2021	3	15:52:47	48,62	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
19.02.2021	4	15:58:49	42,91	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
19.02.2021	5	16:04:39	45,2	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
19.02.2021	6	16:09:28	43,82	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
04.03.2021	1	10:35:38	46,36	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	Litt lave oksygennivå i luft før serie
04.03.2021	2	10:41:21	44,48	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
04.03.2021	3	10:47:19	44,72	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
04.03.2021	4	10:51:29	43,77	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
04.03.2021	5	10:57:13	43,04	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
04.03.2021	6	11:02:03	43,23	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
12.03.2021	1	16:30:23	43,26	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
12.03.2021	2	16:36:15	46,03	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
12.03.2021	3	16:42:27	41,7	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
12.03.2021	4	16:49:00	41,23	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
12.03.2021	5	16:56:07	43,11	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
12.03.2021	6	17:01:37	42,21	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
19.03.2021	1	15:32:48	41,19	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
19.03.2021	2	15:37:51	42,92	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
19.03.2021	3	15:42:27	45,9	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
19.03.2021	4	15:46:30	42,13	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
19.03.2021	5	15:51:26	43,18	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	
19.03.2021	6	15:58:08	40,95	Jevne kurver, lite variasjon med dyp	

Siktedyp



Resultat av siktmålingene utført i løpet av perioden. Dager med tilsynelatende 0 meters sikt er dager hvor det ikke er utført målinger, enten på grunn av dårlig vær, eller på grunn av at siktmåling ikke har vært nødvendig (i henhold til dokumentasjonsprogrammet).

Kvalitetsprøver tatt i forbindelse med slakt

AKVA GROUP

CERTIFICATE OF ANALYSIS

Date of sampling:	19.01.2021	**Photobox number:**	pf-01-003
Location:	NO Ytre Hadseløy	**Licence number:**	pf2-111001
Company:	Nordlaks	**Method:**	Image Analysis
Fishgroup:	Salmon	**Material:**	Atlantic Salmon
Net pen:	1	**Picture name:**	--
	--	**Certificate num:**	1613038276

Fish number	Body weight (kg)	Slaughter weight (kg)	Length (cm)	Slaughter yield (%)	Cond. factor Body	Cond. factor Slaughter	Visual colour (NQC) cf. SalmoFan	Pigment (NQC) (mg/kg)	Fat (NQC) (%)
1	5.74	4.77	73.0	83.1	1.48	1.23	23.9	4.6	15.8
2	5.27	4.38	72.5	83.1	1.38	1.15	25.5	5.6	16.4
3	5.71	4.74	74.2	83.0	1.40	1.16	26.3	6.5	17.8
4	5.66	4.70	72.4	83.0	1.49	1.24	24.9	5.6	19.7
5	5.67	4.71	74.1	83.1	1.39	1.16	24.9	5.7	14.9
6	5.33	4.43	76.6	83.1	1.19	0.99	24.7	5.4	20.4
7	5.91	4.91	74.2	83.1	1.45	1.20	25.0	6.0	15.7
8	5.24	4.35	72.7	83.0	1.36	1.13	25.5	5.8	14.2
9	5.48	4.55	72.9	83.0	1.41	1.17	25.5	5.9	17.4
10	5.86	4.87	75.0	83.1	1.39	1.15	26.2	6.7	17.4
Average	5.59	4.64	73.8	83.1	1.39	1.16	25.2	5.8	17.0
Std.dev	0.24	0.20	1.3	-	0.08	0.07	0.7	0.6	2.0

Method and accuracy:

Colour analysis:	Image analysis calibrated towards a panel. MSE = 0.2 SalmoFan units based on group level.
Pigment analysis:	Image analysis calibrated towards astaxanthin-level from HPLC. MSE = 0.2 mg based on group level.
Fat analysis:	Image analysis calibrated towards NS9402. MSE = 0.6% based on group level.

Place:	Trondheim, Norway	**AKVA group Software AS**
Date:	2021-02-11	Phone: +47 73842820

AKVA GROUP
CERTIFICATE OF ANALYSIS

Date of sampling:	01.02.2021	**Photobox number:**	pf-01-003
Location:	NO Ytre Hadseløy	**Licence number:**	pf2-111001
Company:	Nordlaks	**Method:**	Image Analysis
Fishgroup:	Salmon	**Material:**	Atlantic Salmon
Net pen:	2	**Picture name:**	--
	--	**Certificate num:**	1613038313

Fish number	Body weight (kg)	Slaughter weight (kg)	Length (cm)	Slaughter yield (%)	Cond. factor Body	Cond. factor Slaughter	Visual colour (NQC) cf. SalmoFan	Pigment (NQC) (mg/kg)	Fat (NQC) (%)
1	5.26	4.37	70.3	83.1	1.51	1.26	26.2	6.5	17.4
2	5.38	4.47	71.1	83.1	1.50	1.24	24.1	5.1	15.2
3	5.78	4.80	73.9	83.0	1.43	1.19	25.2	5.9	15.5
4	5.36	4.45	73.5	83.0	1.35	1.12	25.0	5.8	18.0
5	5.18	4.30	70.9	83.0	1.45	1.21	24.4	5.3	16.6
6	5.68	4.72	73.7	83.1	1.42	1.18	24.7	5.6	17.0
7	5.67	4.71	72.9	83.1	1.46	1.22	24.7	5.6	16.8
8	5.33	4.43	71.6	83.1	1.45	1.21	25.6	6.2	17.4
9	5.24	4.35	71.5	83.0	1.43	1.19	25.4	6.0	16.5
10	5.67	4.71	71.0	83.1	1.58	1.32	26.0	6.6	14.7
Average	5.46	4.53	72.0	83.1	1.46	1.21	25.1	5.9	16.5
Std.dev	0.22	0.18	1.3	-	0.06	0.05	0.7	0.5	1.1

Method and accuracy:

Colour analysis: Image analysis calibrated towards a panel. MSE = 0.2 SalmoFan units based on group level.

Pigment analysis: Image analysis calibrated towards astaxanthin-level from HPLC. MSE = 0.2 mg based on group level.

Fat analysis: Image analysis calibrated towards NS9402. MSE = 0.6% based on group level.

Place: Trondheim, Norway
Date: 2021-02-11

AKVA group Software AS
Phone: +47 73842820

AKVA GROUP
CERTIFICATE OF ANALYSIS

Date of sampling:	12.05.2021	**Photobox number:**	pf-01-003
Location:	Ytre Hadseløya	**Licence number:**	pf2-111001
Company:	Nordlaks	**Method:**	Image Analysis
Fishgroup:	Salmon	**Material:**	Atlantic Salmon
Net pen:	2	**Picture name:**	--
	--	**Certificate num:**	1620902730

Fish number	Body weight (kg)	Slaughter weight (kg)	Length (cm)	Slaughter yield (%)	Cond. factor Body	Cond. factor Slaughter	Visual colour (NQC) cf. SalmoFan	Pigment (NQC) (mg/kg)	Fat (NQC) (%)
1	4.40	3.66	68.5	83.2	1.37	1.14	26.1	6.4	13.7
2	3.84	3.19	64.0	83.1	1.46	1.22	25.2	5.7	16.1
3	4.50	3.74	69.0	83.1	1.37	1.14	26.6	6.8	12.7
4	3.93	3.27	65.5	83.2	1.40	1.16	27.4	7.3	12.9
5	4.69	3.90	67.5	83.2	1.52	1.27	25.9	6.4	15.2
6	4.40	3.66	68.5	83.2	1.37	1.14	26.3	6.6	16.7
7	3.84	3.19	64.0	83.1	1.46	1.22	26.2	6.4	17.1
8	4.50	3.74	69.0	83.1	1.37	1.14	26.2	6.6	17.9
9	3.93	3.27	65.5	83.2	1.40	1.16	27.1	7.0	12.9
10	4.69	3.90	67.5	83.2	1.52	1.27	25.3	5.8	15.4
Average	4.27	3.55	66.9	83.1	1.43	1.19	26.2	6.5	15.1
Std.dev	0.35	0.29	2.0	0.1	0.06	0.05	0.7	0.5	1.9

Method and accuracy:

Colour analysis:	Image analysis calibrated towards a panel. MSE = 0.2 SalmoFan units based on group level.
Pigment analysis:	Image analysis calibrated towards astaxanthin-level from HPLC. MSE = 0.2 mg based on group level.
Fat analysis:	Image analysis calibrated towards NS9402. MSE = 0.6% based on group level.

Place:	Trondheim, Norway	**AKVA group Software AS**
Date:	2021-05-13	Phone: +47 73842820

AKVA GROUP
CERTIFICATE OF ANALYSIS

Date of sampling:	14.05.2021	**Photobox number:**	pf-01-003
Location:	Ytre Hadseløya	**Licence number:**	pf2-111001
Company:	Nordlaks	**Method:**	Image Analysis
Fishgroup:	Salmon	**Material:**	Atlantic Salmon
Net pen:	Merd 6	**Picture name:**	--
	--	**Certificate num:**	1620985525

Fish number	Body weight (kg)	Slaughter weight (kg)	Length (cm)	Slaughter yield (%)	Cond. factor Body	Cond. factor Slaughter	Visual colour (NQC) cf. SalmoFan	Pigment (NQC) (mg/kg)	Fat (NQC) (%)
1	5.00	4.16	70.0	83.2	1.46	1.21	26.6	6.6	20.1
2	4.04	3.36	67.0	83.2	1.34	1.12	25.5	6.1	17.8
3	4.10	3.41	67.0	83.2	1.36	1.13	25.3	5.9	16.1
4	3.95	3.28	66.0	83.0	1.37	1.14	23.9	4.7	18.4
5	4.07	3.38	67.5	83.0	1.32	1.10	25.5	5.7	16.7
6	5.00	4.16	70.0	83.2	1.46	1.21	26.8	6.8	18.7
7	4.04	3.36	67.0	83.2	1.34	1.12	25.1	5.8	17.6
8	4.10	3.41	67.0	83.2	1.36	1.13	25.6	6.2	15.5
9	3.95	3.28	66.0	83.0	1.37	1.14	23.7	4.7	19.9
10	4.07	3.38	67.5	83.0	1.32	1.10	25.5	5.9	17.4
Average	4.23	3.52	67.5	83.1	1.37	1.14	25.4	5.8	17.8
Std.dev	0.41	0.34	1.4	0.1	0.05	0.04	1.0	0.7	1.5

Method and accuracy:

Colour analysis: Image analysis calibrated towards a panel. MSE = 0.2 SalmoFan units based on group level.

Pigment analysis: Image analysis calibrated towards astaxanthin-level from HPLC. MSE = 0.2 mg based on group level.

Fat analysis: Image analysis calibrated towards NS9402. MSE = 0.6% based on group level.

Place: Trondheim, Norway
Date: 2021-05-14

AKVA group Software AS
Phone: +47 73842820

AKVA GROUP
CERTIFICATE OF ANALYSIS

Date of sampling:	19.05.2021	**Photobox number:**	pf-01-003
Location:	Ytre Hadseløya	**Licence number:**	pf2-111001
Company:	Nordlaks	**Method:**	Image Analysis
Fishgroup:	Salmon	**Material:**	Atlantic Salmon
Net pen:	merd 1.	**Picture name:**	--
	--	**Certificate num:**	1621425938

Fish number	Body weight (kg)	Slaughter weight (kg)	Length (cm)	Slaughter yield (%)	Cond. factor Body	Cond. factor Slaughter	Visual colour (NQC) cf. SalmoFan	Pigment (NQC) (mg/kg)	Fat (NQC) (%)
1	5.07	4.21	71.0	83.0	1.42	1.18	25.7	6.3	18.9
2	4.94	4.10	75.0	83.0	1.17	0.97	26.4	6.5	19.9
3	5.60	4.65	75.0	83.0	1.33	1.10	25.7	6.1	23.5
4	5.70	4.74	75.0	83.2	1.35	1.12	25.7	5.9	20.5
5	5.60	4.68	73.5	83.6	1.41	1.18	24.8	5.3	20.5
6	5.07	4.21	71.0	83.0	1.42	1.18	25.7	6.1	20.4
7	4.94	4.10	75.0	83.0	1.17	0.97	26.0	6.5	21.2
8	5.60	4.65	75.0	83.0	1.33	1.10	25.5	5.8	24.1
9	5.70	4.74	74.0	83.2	1.41	1.17	25.2	5.6	20.9
10	5.60	4.68	73.5	83.6	1.41	1.18	24.2	5.1	19.9
Average	5.38	4.48	73.8	83.2	1.34	1.12	25.5	5.9	21.0
Std.dev	0.33	0.28	1.6	0.2	0.10	0.08	0.6	0.5	1.6

Method and accuracy:

Colour analysis:	Image analysis calibrated towards a panel. MSE = 0.2 SalmoFan units based on group level.
Pigment analysis:	Image analysis calibrated towards astaxanthin-level from HPLC. MSE = 0.2 mg based on group level.
Fat analysis:	Image analysis calibrated towards NS9402. MSE = 0.6% based on group level.

Place:	Trondheim, Norway
Date:	2021-05-19
Version:	31a / 2.3.1.0

AKVA group Software AS
Phone: +47 73842820
Fax: +47 73842801
photofish@akvagroup.com

AKVA GROUP
CERTIFICATE OF ANALYSIS

Date of sampling:	25.05.2021	**Photobox number:**	pf-01-003
Location:	Ytre Hadseløya	**Licence number:**	pf2-111001
Company:	Nordlaks	**Method:**	Image Analysis
Fishgroup:	Salmon	**Material:**	Atlantic Salmon
Net pen:	5	**Picture name:**	--
	--	**Certificate num:**	1621943463

Fish number	Body weight (kg)	Slaughter weight (kg)	Length (cm)	Slaughter yield (%)	Cond. factor Body	Cond. factor Slaughter	Visual colour (NQC) cf. SalmoFan	Pigment (NQC) (mg/kg)	Fat (NQC) (%)
1	3.97	3.30	67.5	83.1	1.29	1.07	27.7	7.6	14.7
2	4.22	3.51	68.0	83.2	1.34	1.12	26.3	6.7	16.7
3	4.70	3.92	71.5	83.4	1.29	1.07	26.4	6.9	16.3
4	3.85	3.20	66.5	83.1	1.31	1.09	26.4	6.6	17.0
5	4.50	3.74	71.5	83.1	1.23	1.02	26.9	7.1	13.3
6	3.97	3.30	67.5	83.1	1.29	1.07	27.4	7.3	17.3
7	4.22	3.51	68.0	83.2	1.34	1.12	26.6	6.6	16.2
8	4.70	3.92	71.5	83.4	1.29	1.07	25.7	6.4	18.4
9	3.85	3.20	66.5	83.1	1.31	1.09	26.3	6.9	18.5
10	4.50	3.74	71.5	83.1	1.23	1.02	26.6	7.1	16.9
Average	4.25	3.53	69.0	83.2	1.29	1.07	26.6	6.9	16.5
Std.dev	0.33	0.28	2.2	0.1	0.04	0.03	0.6	0.4	1.6

Method and accuracy:

Colour analysis: Image analysis calibrated towards a panel. MSE = 0.2 SalmoFan units based on group level.

Pigment analysis: Image analysis calibrated towards astaxanthin-level from HPLC. MSE = 0.2 mg based on group level.

Fat analysis: Image analysis calibrated towards NS9402. MSE = 0.6% based on group level.

Place: Trondheim, Norway
Date: 2021-05-25

Version: 31a / 2.3.1.0

AKVA group Software AS
Phone: +47 73842820
Fax: +47 73842801
photofish@akvagroup.com

AKVA GROUP
CERTIFICATE OF ANALYSIS

Date of sampling: 28.05.2021
Location: Ytre Hadseløya
Company: Nordlaks
Fishgroup: Salmon
Net pen: merd 6
--

Photobox number: pf-01-003
Licence number: pf2-111001
Method: Image Analysis
Material: Atlantic Salmon
Picture name: --
Certificate num: 1622192857

Fish number	Body weight (kg)	Slaughter weight (kg)	Length (cm)	Slaughter yield (%)	Cond. factor Body	Cond. factor Slaughter	Visual colour (NQC) cf. SalmoFan	Pigment (NQC) (mg/kg)	Fat (NQC) (%)
1	4.62	3.84	70.0	83.1	1.35	1.12	25.4	5.8	17.6
2	4.25	3.53	68.0	83.1	1.35	1.12	25.0	5.7	19.3
3	4.69	3.90	68.5	83.2	1.46	1.21	25.6	6.2	21.9
4	4.60	3.82	69.0	83.0	1.40	1.16	26.4	6.7	19.5
5	4.51	3.75	68.5	83.1	1.40	1.17	25.5	6.1	20.2
6	4.62	3.84	70.0	83.1	1.35	1.12	25.4	5.9	17.3
7	4.25	3.53	68.0	83.1	1.35	1.12	25.1	5.6	20.4
8	4.69	3.90	68.5	83.2	1.46	1.21	26.0	6.3	21.1
9	4.60	3.82	69.0	83.0	1.40	1.16	26.8	6.9	20.5
10	4.51	3.75	68.5	83.1	1.40	1.17	25.1	5.9	20.8
Average	4.53	3.77	68.8	83.1	1.39	1.16	25.7	6.1	19.9
Std.dev	0.16	0.14	0.7	-	0.04	0.04	0.6	0.4	1.5

Method and accuracy:

Colour analysis: Image analysis calibrated towards a panel. MSE = 0.2 SalmoFan units based on group level.
Pigment analysis: Image analysis calibrated towards astaxanthin-level from HPLC. MSE = 0.2 mg based on group level.
Fat analysis: Image analysis calibrated towards NS9402. MSE = 0.6% based on group level.

Place: Trondheim, Norway
Date: 2021-05-28

Version: 31a / 2.3.1.0

AKVA group Software AS
Phone: +47 73842820
Fax: +47 73842801
photofish@akvagroup.com

AKVA GROUP
CERTIFICATE OF ANALYSIS

Date of sampling:	03.06.2021	**Photobox number:**	pf-01-003
Location:	Ytre Hadseløy	**Licence number:**	pf2-111001
Company:	Nordlaks	**Method:**	Image Analysis
Fishgroup:	Salmon	**Material:**	Atlantic Salmon
Net pen:	4	**Picture name:**	--
	--	**Certificate num:**	1622704129

Fish number	Body weight (kg)	Slaughter weight (kg)	Length (cm)	Slaughter yield (%)	Cond. factor Body	Cond. factor Slaughter	Visual colour (NQC) cf. SalmoFan	Pigment (NQC) (mg/kg)	Fat (NQC) (%)
1	4.19	3.48	66.5	83.1	1.42	1.18	25.8	6.2	14.6
2	3.97	3.30	68.0	83.1	1.26	1.05	25.1	5.5	14.3
3	3.91	3.25	67.5	83.1	1.27	1.06	26.6	6.8	15.7
4	3.25	2.70	66.0	83.1	1.13	0.94	26.3	6.7	16.3
5	3.55	2.95	65.5	83.1	1.26	1.05	26.1	6.5	15.0
6	4.19	3.48	66.5	83.1	1.42	1.18	25.8	6.4	15.3
7	3.97	3.30	68.0	83.1	1.26	1.05	24.4	5.2	15.8
8	3.91	3.25	67.5	83.1	1.27	1.06	26.0	6.5	16.9
9	3.25	2.70	66.0	83.1	1.13	0.94	25.7	6.4	17.4
10	3.55	2.95	65.5	83.1	1.26	1.05	26.3	6.6	15.0
Average	3.77	3.14	66.7	83.1	1.27	1.06	25.8	6.3	15.6
Std.dev	0.35	0.29	1.0	-	0.10	0.08	0.6	0.5	1.0

Method and accuracy:

Colour analysis: Image analysis calibrated towards a panel. MSE = 0.2 SalmoFan units based on group level.

Pigment analysis: Image analysis calibrated towards astaxanthin-level from HPLC. MSE = 0.2 mg based on group level.

Fat analysis: Image analysis calibrated towards NS9402. MSE = 0.6% based on group level.

Place: Trondheim, Norway
Date: 2021-06-03

Version: 31a / 2.3.1.0

AKVA group Software AS
Phone: +47 73842820
Fax: +47 73842801
photofish@akvagroup.com

Vedlegg C

Nordlaks Havfarm 1

Teknisk Prestasjon - Arbeidspakke 3

Referring to convention of Paris, March 20, 1983, for the “Protection of Industrial Property”, we emphasise that technical drawings, models, specifications, etc. belong to the designing firm and cannot be made public, copied or otherwise used without the written consent from NSK Ship Design.

Document no: 3417-100-005 Havfarm 1 Teknisk Prestasjon Arbeidspakke 3

Rev	Beskrivelse	Dato/sign.	Sjekket	Godkjent
01	Utgitt for dokumentasjon for Fiskeridirektoratet	05.03.2021/SSS&LA	TT	HÅ
02	Utgitt for dokumentasjon for Fiskeridirektoratet	09.04.2021/SSS&LA	TT	HÅ

Innhold

1 Introduksjon 4

2 Sammendrag 5

2.1 Strukturrespons 5

2.2 Hydrodynamisk respons 5

2.3 Intern bølgeheving 6

2.4 Baugretning 6

2.5 Måledata og instrumenter 6

2.5.1 Bølger..... 6

2.5.2 Vind 6

2.5.3 Strøm 7

2.5.4 Strukturelle dynamiske deformasjoner 7

2.5.5 Skipsbevegelser (MGC) 7

2.5.6 Intern bølgeheving ..... 7 3 Forkortelser 8

4 Strukturrespons 9

4.1 Måledata 9

4.1.1 Bølger..... 9

4.1.2 Globale Deformasjoner 9

4.2 Analysemodeller 10

4.2.1 FE-modell 10

4.2.2 Hydrodynamisk modell 11

4.3 Utvalgte stormer 12

4.4 Analyseprosedyre 13

4.4.1 Responsspektrum fra målinger 13

4.4.2 Responsspektrum fra FE-modell 14
4.5 Resultater 14
4.5.1 Sammenlikning av resonansperioder 14
4.5.2 Sammenlikning av responsspektra 16
4.6 Sammendrag og drøfting av resultatene 19
5 Hydrodynamikk – Global respons, intern bølgeheving og baugretning relativt til værforhold 21
5.1 Måledata og behandling av disse 21
5.1.1 Bølger..... 21
5.1.2 Vind 22
5.1.3 Strøm 23
5.1.4 Skipsbevegelser (MGC) 23
5.1.5 Intern bølgeheving 23
5.2 Global respons 25
5.2.1 Metodikk 25
5.2.2 Resultater 26
5.2.3 Sammenligning med numeriske beregninger/modelltester 28
5.2.4 Vurderinger 31
5.3 Intern bølgeheving 32
5.3.1 Metodikk 32
5.3.2 Resultater 32
5.3.3 Sammenligning med numeriske beregninger/modelltester 33
5.3.4 Vurderinger 34
5.4 Baugretning relativt til bølger, vind og strøm 35
5.4.1 Metodikk 35
5.4.2 Resultater 35
5.4.3 Sammenligning med numeriske beregninger/modelltester 37
5.4.4 Vurderinger 38

5.5 Sammendrag og drøfting av resultatene ..... 40 6 Referanser 41

7 Appendix A 42

7.1 Bølge- og Responsspektra 42

7.1.1 Storm 1 42

7.1.2 Storm 2 44

7.1.3 Storm 3 46

1 Introduksjon

Nordlaks Oppdrett AS sitt prosjekt Havfarm 1 har vært i operasjon en vintersesong. I løpet av denne perioden har fullskala målinger blitt utført ombord på havfarmen. Man har målt responsen til havfarmen og miljølastene som forårsaker disse responsene.

I denne rapporten utføres en fullskala validering av datamodellene brukt i design av havfarmen. Fullskala validering utføres ved at datamodellene beregner en teoretisk respons for gitte miljølaster. Den utregnede responsen sammenlignes med den (faktisk) målte fullskala responsen for de samme miljølastene.

Denne rapporten inneholder fullskala verifikasjon av følgende datamodeller brukt i design av havfarmen:

- Elementmetode- /strukturmodellen
- Hydrodynamisk respons-modell

Strukturmodellen er verifisert ved å sammenlikne beregnet respons med målte strukturdeformasjoner (strukturrespons), mens den hydrodynamiske modellen er verifisert ved å sammenlikne beregnet respons med havfarmens målte bevegelseskarakteristikker (global respons), intern bølgeheving og baugretning relativ til miljølaster.

Havfarmen har implementert et strukturovervåkningssystem, som verifisering gjennom arbeidet som er dokumentert i denne rapporten og gjennom det etablerte Risk Based Inspection (RBI) programmet, over tid vil gi informasjon om brukt levetid gjennom operasjon og med det også hvor mye av designlevetiden som forventes å gjenstå.

Denne rapporten er utarbeidet av NSK Ship Design som har hatt ansvar for design av havfarmen med bidrag fra 7Waves AS, som har utført strukturelle analyser for havfarmen og har bidratt med kapittel 4; Strukturrespons og Multiconsult AS, som har utført en rekke hydrodynamiske analyser for NSK Ship Design ifm design av havfarmen, har bidratt med kapittel 5; Hydrodynamikk.

2 Sammendrag

2.1 Strukturrespons

En fullskala validering av konstruksjonens strukturelle egenperioder og deformasjoner er gjort for havfarmen.

De estimerte strukturelle egenperiodene i torsjon, vertikalbøy og horisontalbøy viser god overenstemmelse med observerte fullskala egenperioder. Estimerte egenperioder er større enn de observerte, og dette er konservativt med tanke på dimensjonering av strukturen. Forskjellen i torsjon og vertikalbøy er mindre enn 10% dersom man korrigerer for ulik dypgang i beregningene og målingene. Større forskjeller i horisontalbøy skyldes usikkerhet i beregning av tilleggsmassen i svai.

Responsspektra i torsjon, horisontalbøy og vertikalbøy er estimert for tre stormer. De estimerte responsspektrene beskriver formen på de observerte responsspektrene på en tilfredsstillende måte, selv om noen topper under- eller overestimeres. Som forventet er det to hovedgrunner til underestimering av responsspektra:

- Dynamiske egensvingninger er ikke med i modellen
- Ulineære skrogformeffekter er ikke med i modellen

Disse to effektene er hensyntatt i design av havfarmen. Dynamiske egensvingninger er viktig i utmatting og er inkludert i design gjennom dynamiske amplifikasjonsfaktorer med tilhørende sykluskorreksjoner. Ulineære skrogformeffekter er viktig i ekstrembelastninger og er inkludert i design gjennom et konstantledd for å øke fartøyets globale laster.

Andre grunner til under- og overestimering av responsspektrene kan skyldes:

- Usikkerhet i målingene. Dette gjelder målinger av miljølaster som bølger, samt målinger av skrogdeformasjoner.
- Usikkerhet i beregning av tilleggsmasse.
- Koblingseffekter mellom eksitasjonsmodene som ikke fanges opp av analysemodellen.

Resultatene fra strukturresponsevalueringene viser at det er tilfredsstillende konservatisme/sikkerhetsmarginer i designet av havfarmen både med hensyn til maksimal strukturell kapasitet og utmatting.

2.2 Hydrodynamisk respons

RAOer (transferfunksjoner) for bevegelser i hiv, rull og stamp er beregnet fra måledataene og sammenlignet med numeriske beregninger og modellforsøk.

Sammenligningen viser trender som går igjen både i beregninger og målinger, men generelt er bevegelsene mindre i virkeligheten enn i beregningene og modelltestene. Grunnet effekten av bølgespredning er det relativt lite forskjell mellom de forskjellige bølgeretningene i virkeligheten. Turret-fortøyningen påvirker sannsynligvis responsen, i hvert fall i hiv og stamp. Det kan også være at det er noe høyere dempenivå på skipet i virkeligheten. Lite bølgeenergi over 16-17s gjør også RAOene ved høye bølgeperioder noe usikre.

Uavhengig av hva årsaken til forskjellene er, så viser resultatene at de beregnede RAOene som er brukt som designgrunnlag for havfarmen er konservative.

2.3 Intern bølgeheving

RAO'er for intern bølgeheving er beregnet fra måledataene og sammenlignet med RAOer fra den numeriske modellen.

Generelt er det en reduksjon i bølgeheving i virkeligheten sammenlignet med beregningene for perioder under 12 sekunder og som for bevegelsene antyder dette at de numeriske modellene er konservative.

2.4 Baugretning

Den relative retningen på skipets baug i forhold til miljøkomponentene fra måledataene er sammenlignet med beregninger.

Retningsanalysen viser de samme overordnede trendene i virkeligheten som i beregningene, men det er likevel en del mindre forskjeller. Det mest påfallende funnet er at det i virkeligheten er veldig lite korrelasjon mellom strøm og skipets retning for relative retninger opp til 20-30 grader.

2.5 Måledata og instrumenter

Tidlig i konseptfasen ble Akvaplan Niva engasjert for å bistå med måling av miljødata som bølger, strøm, vind, temperatur og salinitet. Dette var for å innhente nødvendig data for lokalitetsavhengig design og dimensjonering av konstruksjonen. Dataene fra det som senere i denne rapporten omtales som Akvaplan Niva' målebøye er brukt til design, dimensjonering, planlegging av marine operasjoner ved installasjon samt til verifikasjon i løpet av første produksjonssyklus.

2.5.1 Bølger

Bølgedata stammer fra Akvaplan Niva sin måle-bøye og er registret 1 gang i timen. Bøyen er en Seawatch Midi 185 utstyrt med en Wavesence bølgesensor, en Aquadrop Profiler strømmåler og en vindsensor ved 2m høyde. Bølgene er målt med en frekvens på 2Hz over 17 minutter, som gir 2048 målepunkter. I analyser av relativ retning mellom bølger og skipet er tidsserier med Hs, Tp og bølgenes hovedkompassretning benyttet. I analysene av skipets bevegelser og interne bølgeheving er tidsserie av kompassretning benyttet i kombinasjon med numeriske bølgespektre.

I det følgende er det benyttet data fra tidsrommet 1. september 2020 til og med 12. januar 2021, da alle relevante data foreligger samtidig i disse knapt fire og en halv månedene.

2.5.2 Vind

Vinddata stammer fra Akvaplan Niva-bøya. Vinden er målt i 2m høyde, med en midlingstid på 10 minutter og måleintervall på 1 time. Vinden er kontrollert mot målinger fra nærliggende værstasjon i Bø og den målte vindstyrken er vurdert som realistisk. Det ble derimot oppdaget at vindretningen i måledataene er dreid 120 grader, og retningen måtte derfor korrigeres i ettertid.

2.5.3 Strøm

Strømdata stammer fra Akvaplan Niva-bøye. Strømdataene er kvalitetssikret etter instrumentprodusentenes anbefaling. Strømmen er målt hvert 10. min med en midlingstid på 120s.

Strømmen er oppgitt med styrke og retning for flere nivåer nedover i vannsøylen med intervall på 2 meter. I de følgende sammenligningene er det benyttet en gjennomsnittlig strømverdi basert på alle strømdata mellom overflaten og 35m dyp.

2.5.4 Strukturelle dynamiske deformasjoner

Deformasjonsmodene har kontinuerlig blitt målt av SAP med Global Navigation Satellite Systems (GNSS) sensorer. Systemet er levert av Kongsberg Seatex AS og måler forskyvninger med kvadratisk gjennomsnitt mindre enn 8mm i horisontalplanet og 16mm i vertikalplanet. Systemet leverer data på 4Hz og bruker Real Time Kinematic (RTK) teknologi for å bedre nøyaktigheten på systemet sammenlignet med individuelle GNSS sensorer.

2.5.5 Skipsbevegelser (MGC)

Skipets bevegelser i hiv, rull og stamp i tillegg til kompassretning er hentet ut fra SAP-systemet med frekvens på 10Hz og stammer fra skipets bevegelsessensor (MGC).

2.5.6 Intern bølgeheving

Intern bølgeheving er i likhet med MGC-data hentet ut fra SAP. Dataene stammer fra en Miros Rangefinder bølgeradar med frekvens på 10Hz.

3 Forkortelser

Tabell 3-1 Forkortelser

Forkortelse	Forklaring
A22	Tilleggsmasse i svai
D	Dypgang
FE	Finite Element
GNSS	Global Navigation Satellite System
Hs	Signifikant bølgehøyde
MGC	Skipets bevegelsessensor (Motion sensor and Gyro Compass)
RAO	Transferfunksjon (Response Amplitude Operator)
RTK	Real Time Kinematic
T	Periode
Tn	Egenperiode

Tp	Topperiode
UTC	Koordinert universelltid (Coordinated Universal Time)

4 Strukturrespons

Fullskala validering av strukturrespons er utført ved å sammenligne måledata av globale deformasjoner med beregnede deformasjoner for 3 ulike stormer. Resultatene og fremgangsmåten for denne sammenligningsstudien er presentert i dette kapitlet.

4.1 Måledata

4.1.1 Bølger

Bølgedata stammer fra Akvaplan Niva-bøyen nevnt i punkt 2.5.1.

Bølgebøyen beregner retningsspekter i 36 retninger mellom [0°,360°) med 10° inkrement og for 87 frekvenser mellom [0.04Hz, 0.90Hz] med 0.01Hz inkrement.

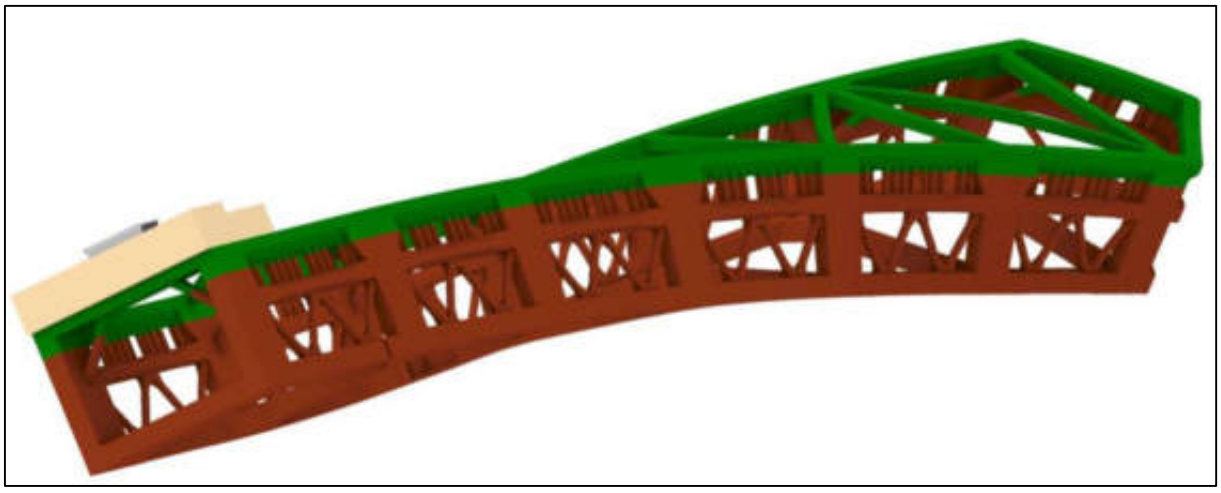
Retningsspektra for 3 utvalgte stormer er brukt i fullskala validering av strukturresponsen.

4.1.2 Globale Deformasjoner

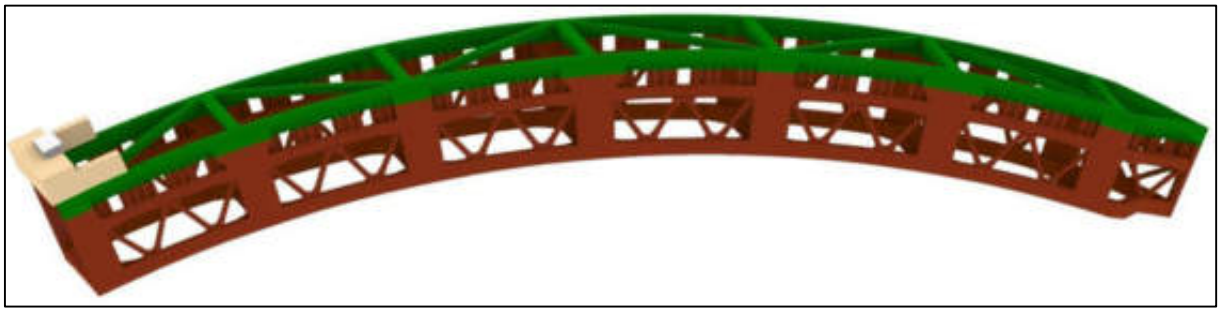
De tre første deformasjonsmodene til Havfarm er:

- Torsjon
- Vertikalbøy
- Horisontalbøy

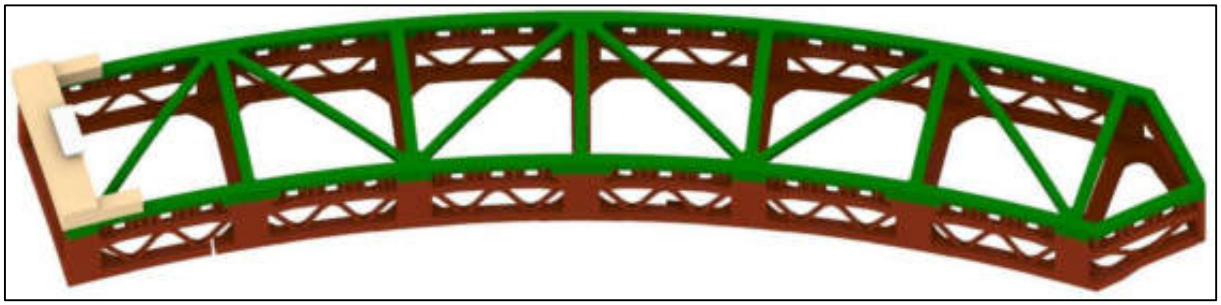
Disse deformasjonsmodene har kontinuerlig blitt målt av SAP med Global Navigation Satellite Systems (GNSS) sensorer. De tre målte deformasjonene er visualisert i Figur 4-1, Figur 4-2 og Figur 4-3.



Figur 4-1 Torsjon



Figur 4-2 Vertikalbøy



Figur 4-3 Horisontalbøy

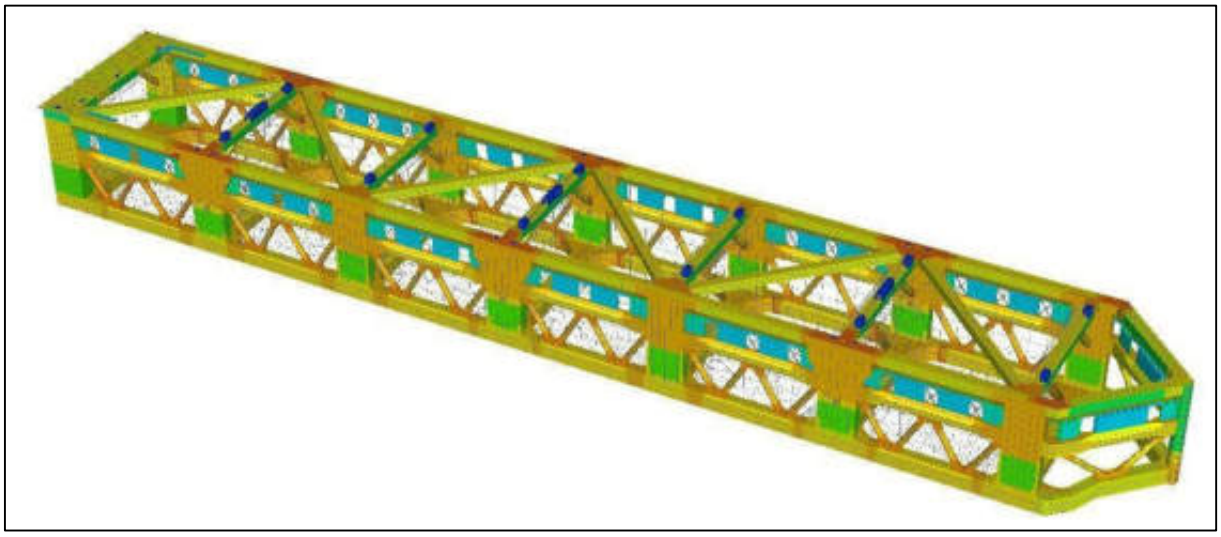
4.2 Analysemodeller

For å beregne strukturresponsen er det brukt to typer analysemodeller, en hydrodynamisk modell for å beregne laster på strukturen og en struktur FE-modell for å beregne den strukturelle responsen.

4.2.1 FE-modell

Elementmetodemodellen (FE-modellen) består av skall- og bjelkeelementer satt sammen for å beskrive den faktiske globale stivheten til Havfarm. Noen forenklinger har vært nødvendig for å redusere antall elementer i analysen og dermed redusere kjøretiden til modellen. Disse forenklingene er gjort med minst mulig påvirkning på vekt og global stivhet.

Et bilde av FE-modellen er vist i Figur 4-4.

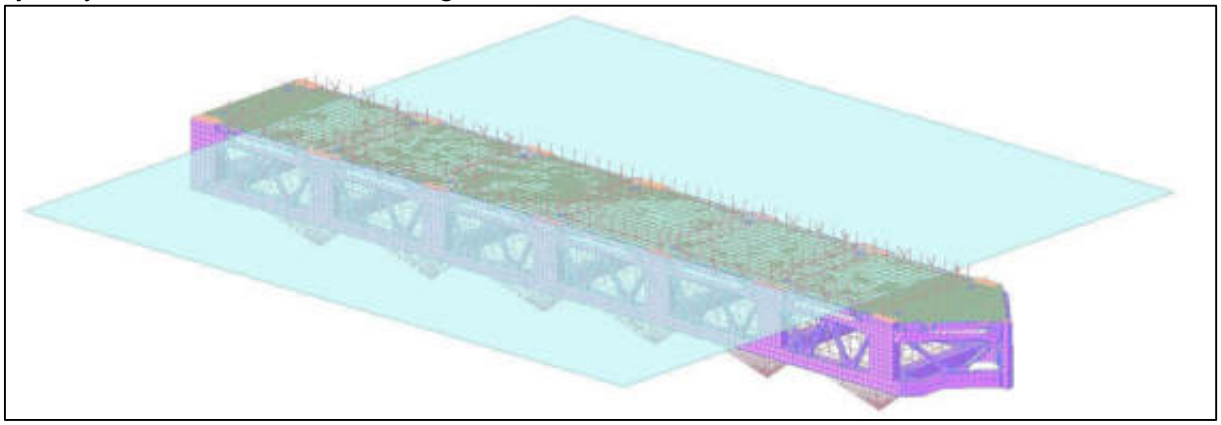


Figur 4-4 Strukturell FE-modell der fargene viser ulike platefelt.

Grensebetingelser er innført i modellen for å oppnå statisk likevekt i beregningene. Det er viktig at grensebetingelsene ikke innfører tvangsmoder, altså gjør at modellen deformeres på en ufysisk måte. Derfor har fjærer blitt montert i søylene med total vertikalstivhet lik vannplanstivheten, mens stivheten i x- og y-retning er 10% av stivheten til vannlinjearealet. Fjærene er fri til å bevege seg i de tre rotasjonsfrihetsgradene.

4.2.2 Hydrodynamisk modell

Den hydrodynamiske modellen består av en panelmodell som brukes for å løse hastighetspotensialet, en Morisonmodell for å få med bidraget fra hydrodynamisk demping, og en massemodell som representerer havfarmens massefordeling inkludert tankfyllinger. Den hydrodynamiske modellen er vist i Figur 4-5.



Figur 4-5 Hydrodynamisk modell

En hydrodynamisk kjøring for 28.0m dypgang er utført. Beregnede karakteristikker for denne dypgangen er oppgitt i Tabell 4-1.

Tabell 4-1 Beregnede karakteristikker for dypgang D=28.0m

Dimension	Value
Dypgang, D	28.0 m
Volumdeplasement	6.48E04 m^3
Massedeplasement i metriske tonn	6.64E04 MT
Langskips metasenter	187.2 m
Tverrskips metasenter	7.3 m
Vannlineareal	9.2E02 m^2
Langskips tyngdepunkt (fra midtskipet)	3.6 m
Transvers tyngdepunkt (fra senterlinjen)	0.0 m
Vertikalt tyngdepunkt (fra kjølen)	13.5 m
Langskips oppdriftssenter (fra midtskipet)	3.6 m
Tverrskips oppdriftssenter (fra senterlinjen)	0.0 m
Vertikalt oppdriftssenter (fra kjølen)	10.5 m

4.3 Utvalgte stormer

Det er ønskelig å studere den strukturelle responsen i ekstremværsituasjoner. Totalt tre stormer er derfor blitt analysert. Egenskapene til disse stormene er oppsummert i Tabell 4-2. Signifikant bølgehøyde (Hs) og fartøyets dypgang (D) er plottet mellom 15-09 til 15-11 2020 i Figur 4-6, der også de tre utvalgte stormene er indikert med gule linjer.

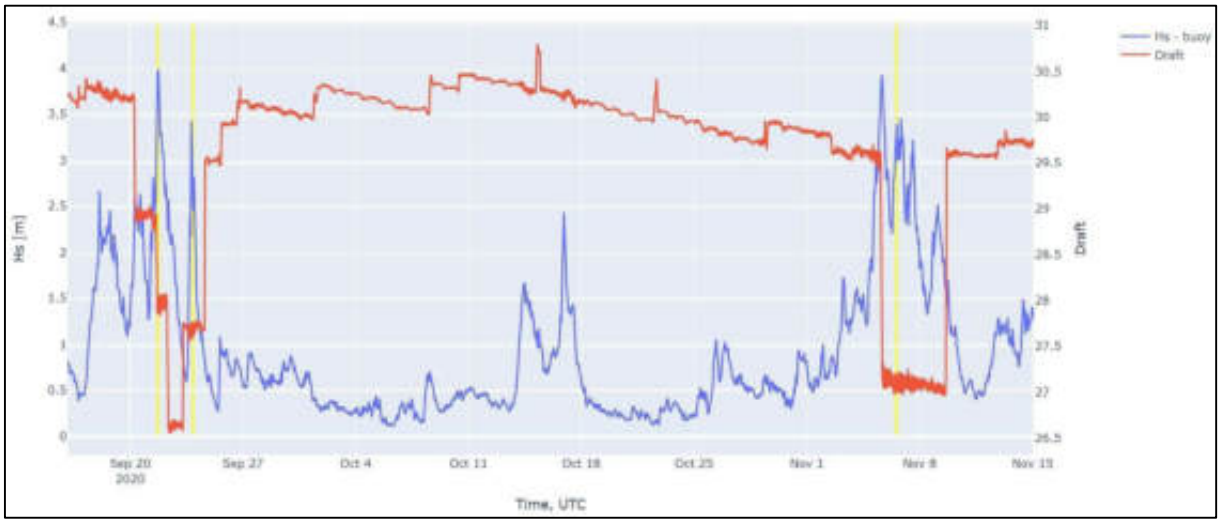
I utgangspunktet er stormer med høyest mulig Hs valgt, men unntak er gjort der dypgangen og retningen på havfarmen endres raskt. Standard 3-timers sjøtilstander er analysert der dette er mulig. Varigheten på Storm 2 er redusert fordi retningen på havfarmen kun er stabil innenfor én time.

Tabell 4-2 Utvalgte stormer

Egenskaper	Storm 1	Storm 2	Storm 3
Dato	2020-09-21	2020-09-23	2020-11-06
Starttid, UTC	16:00	19:00	12:00
Varighet [timer]	3.0	1.0*	3.0
Gjennomsnittlig Hs [m]	4.0	3.4	3.3
Gjennomsnittlig dypgang, D [m]	28.0	27.7	27.1

Gjennomsnittlig retning til magnetisk nordpol [deg]	260	260	270
Relativ retning mellom Havfarm & bølger [deg]	-10	-10	-10

*Retningen til havfarmen kun stabil innenfor én time



Figur 4-6 Hs og D [m] i tidsrommet 15-09 til 15-11 2020. Storm 1, 2 and 3 er vist med gule linjer

4.4 Analyseprosedyre

4.4.1 Responsspektrum fra målinger

Tidsserier av målte deformasjoner er filtrert slik at man unngår målestøy utenfor frekvensbåndet av interesse. Det filtrerte signalet er konvertert til frekvensplanet ved å bruke Welch's metode (Welch, 1967). Welch's metode beregner spektraltettheten ved å dele data inn i overlappende segmenter, beregne et modifisert periodogram for hvert segment og ta gjennomsnittet av alle periodogrammene.

4.4.2 Responsspektrum fra FE-modell

En hydrodynamisk analyse med lastoverføring er gjennomført for følgende kombinasjoner av bølgeperioder og bølgeretninger:

- 36 retninger mellom 0-360 grader med 10 graders inkrement
- 27 perioder mellom 1.67-25s

FE-modellen med de hydrodynamiske lastene er løst kvasistatisk. Fra den kvasistatiske løsningen er det mulig å beregne transferfunksjoner for torsjon, horisontalbøy og vertikalbøy. Disse transferfunksjonene kan kombineres med gjennomsnittsbølgespekteret for hver enkelt storm og dermed beregne stormens responsspekter gitt ved:

$$\square(\square) = \quad S(f)\,|\square(\square)|$$

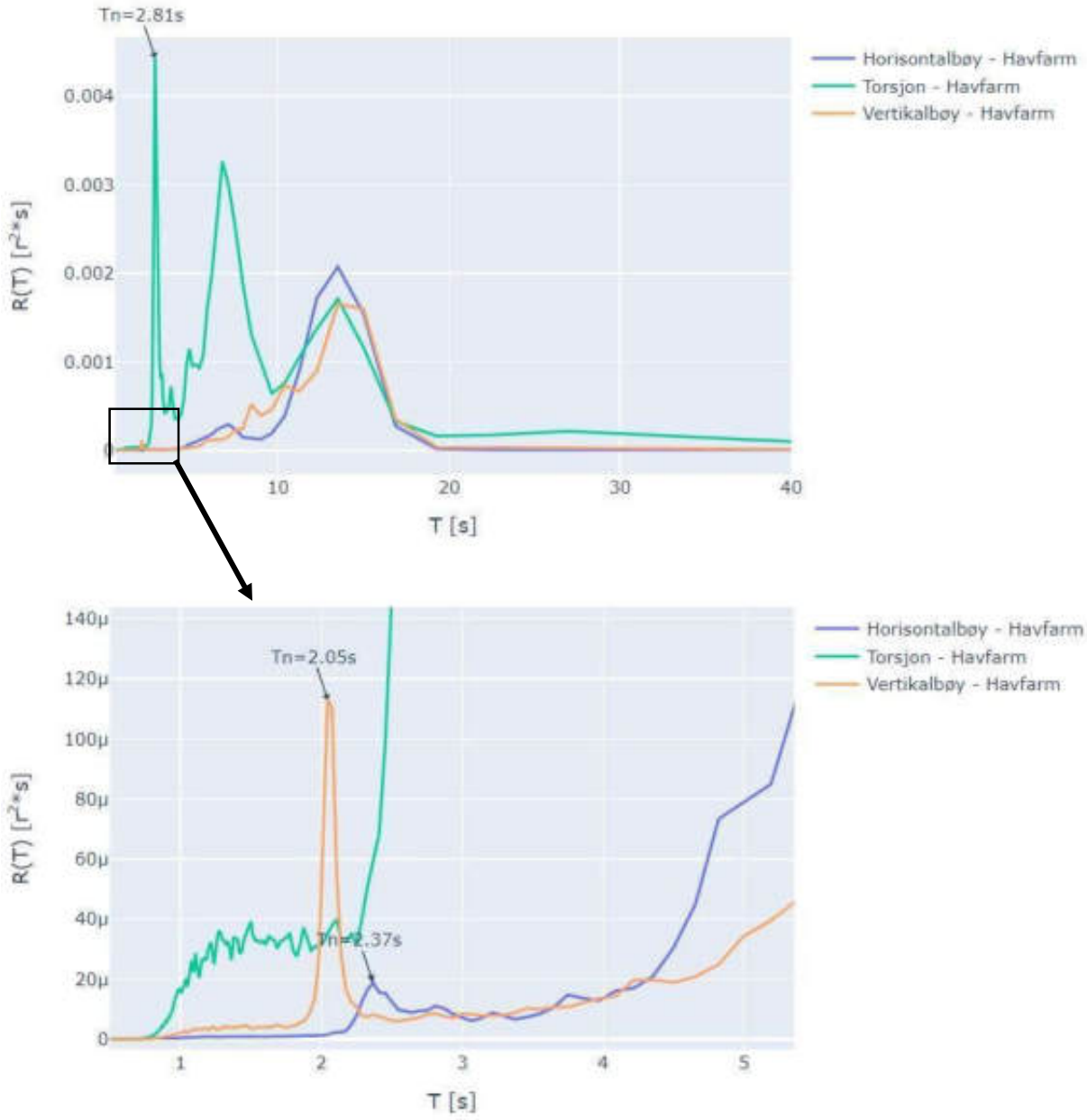
Der □(□) er det totale responsspekteret i stormen, S(f) er stormens gjennomsnittsbølgespekter i retning i og |□(□)| er transferfunksjonen for en av de tre deformasjonsmodene.

4.5 Resultater

4.5.1 Sammenlikning av resonansperioder

De strukturelle egenperiodene til havfarmen er synlig i responsspektrene fra de fullskala deformasjonsmålingene. Disse egenperiodene er vist med svarte piler i Figur 4-7 for storm 1. De observerte egenperiodene er tilnærmet lik på tvers av de tre stormene. Det vil si at den observerte egenperioden i f.eks. torsjon er lik i storm 1, 2 og 3.

Toppene i spektraene mellom T=2-3s skyldes at skrogbjelken svinger i sin egenperiode når den utsettes for bølgelaster, og hver topp sammenfaller med egenfrekvensen i torsjon, vertikalbøy eller horisontalbøy. Disse egensvingningene er et kjent fenomen innen skipsfart og inntreffer gjerne for store skip i små eller moderate sjøtilstander og kalles «springing» på engelsk.



Figur 4-7 Observerte strukturelle egenperioder til Havfarm i torsjon, vertikalbøy og horisontalbøy. Målingene er fra storm 1.

Ved design av havfarmen ble de strukturelle egenperiodene, inkludert effekt av tilleggsmasse, for de tre første svingemodene estimert i to lastkondisjoner (D=30.7m and D=25.7m). For å estimere den våte egenperioden ble massen skalert over hele FE-modellen til riktig totalvekt og tyngdepunkt.

En sammenligning mellom de estimerte og observerte strukturelle egenperiodene er oppsummert i Tabell 4-3.

Tabell 4-3 Estimerte og observerte strukturelle egenperioder i sekunder

	Estimert [s]		Observert [s]	Forskjell i %, (Estimert/Observert)-1	
Modes	D=30.7m	D=25.7m	D=28.0m	(D=30.7/D=28.0)-1	(D=25.7/D=28.0)-1

Torsjon	3.22	2.93	2.81	15%	4%
Vertikalbøy	2.28	2.10	2.05	11%	2%
Horisontalbøy	3.02	2.62	2.37	27%	11%

De estimerte strukturelle egenperiodene er 2-27% større enn de observert egenperiodene, noe som er konservativt. Den faktiske dypgangen (D=28.0) ligger mellom designdypgangene på D=30.7m og D=25.7m. Forskjellen i torsjon og vertikalbøy er mindre enn 10% dersom man korrigerer for ulik dypgang i beregningene og målingene. Større forskjeller i horisontalbøy skyldes at tilleggsmassen i svai, A22, er betydelig i forhold til havfarmens massedeplasement for perioder mellom 2-2.5s (7Waves, 2018). Det er derfor viktig å beregne A22 nøyaktig for å kunne beregne egenperioden i horisontalbøy mer presist. Dessverre er det vanskelig å beregne A22 nøyaktig når den endres brått mellom 0-10s.

Ulikheter mellom estimerte og observerte strukturelle egenperioder kan også skyldes at programvaren gjør følgende antakelser:

- Effekten av overflatebølger er neglisjerbar.
- Overflaten av konstruksjonen er jevn uten skarpe kanter.

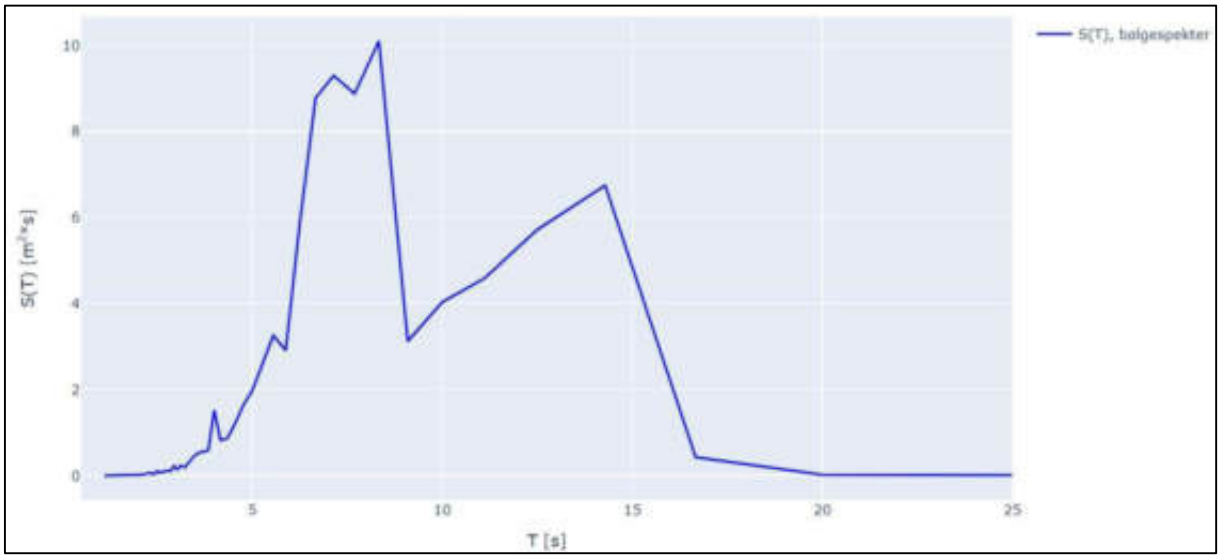
Effekt av egensvingninger er hensyntatt i utmattingsberegningene i design av havfarmen gjennom dynamiske amplifikasjonsfaktorer med tilhørende sykluskorreksjoner.

4.5.2 Sammenlikning av responsspektra

I dette delkapittelet skal de estimerte og observerte responsspektrene i torsjon, vertikalbøy og horisontalbøy sammenliknes kvalitativt. Bølge- og responsspektra for alle de tre stormene er lagt i Appendix A.

Bølgespekter

Bølgespekteret for storm 1 er vist i Figur 4-8. Storm 1 består egentlig av 3 individuelle punktspekter (et punktspekter for hver time). Gjennomsnittet av disse 3 bølgespektrene er plottet i figuren under.



Figur 4-8 Bølgespekter i storm 1.

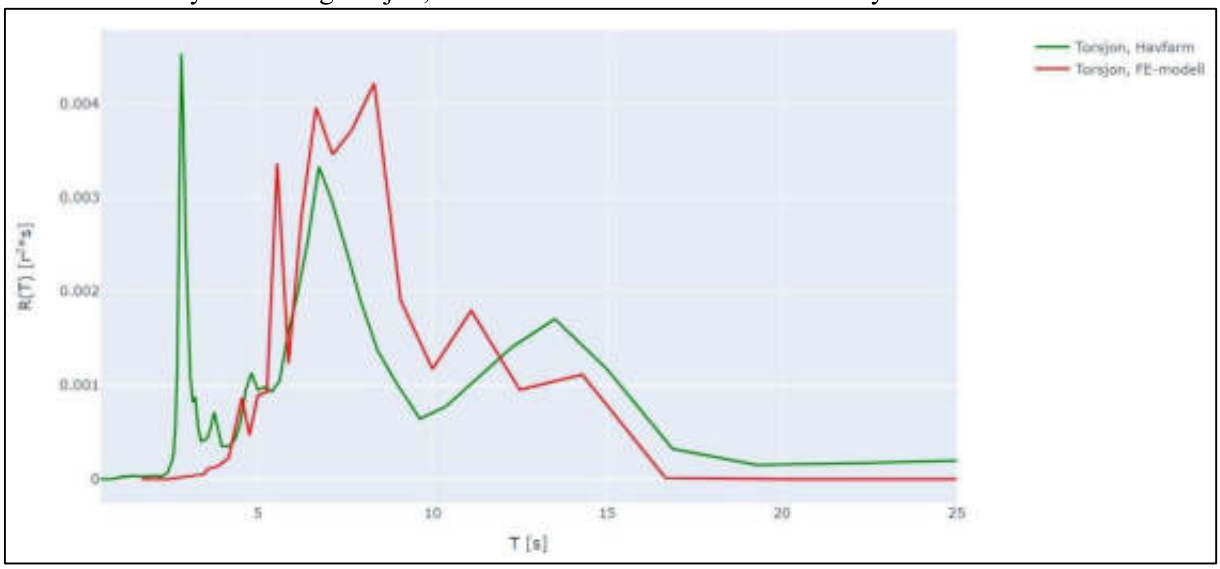
Torsjon

Det estimerte og observerte responsspektrumet i torsjon er plottet i Figur 4-9 for storm 1. Det estimerte responsspekteret er konservativt beregnet rundt bølgeperioder på 7-11s.

Egensvingninger på 2.81 sekunder er ikke replikert av modellen fordi en kvasi-statisk analyse er kjørt. Dette er som forventet.

Det observerte responsspekteret har en topp rundt T=13.5s som ikke er fanget opp av modellen. Den samme toppen finnes i bølgespekteret, se Figur 4-8.

At toppen rundt T=13.5s ikke fanges opp av modellen kan være forårsaket av koblingseffekter mellom den vertikale bøyemoden og torsjon, eller ulineære effekter som ikke hensyntas i modellen.

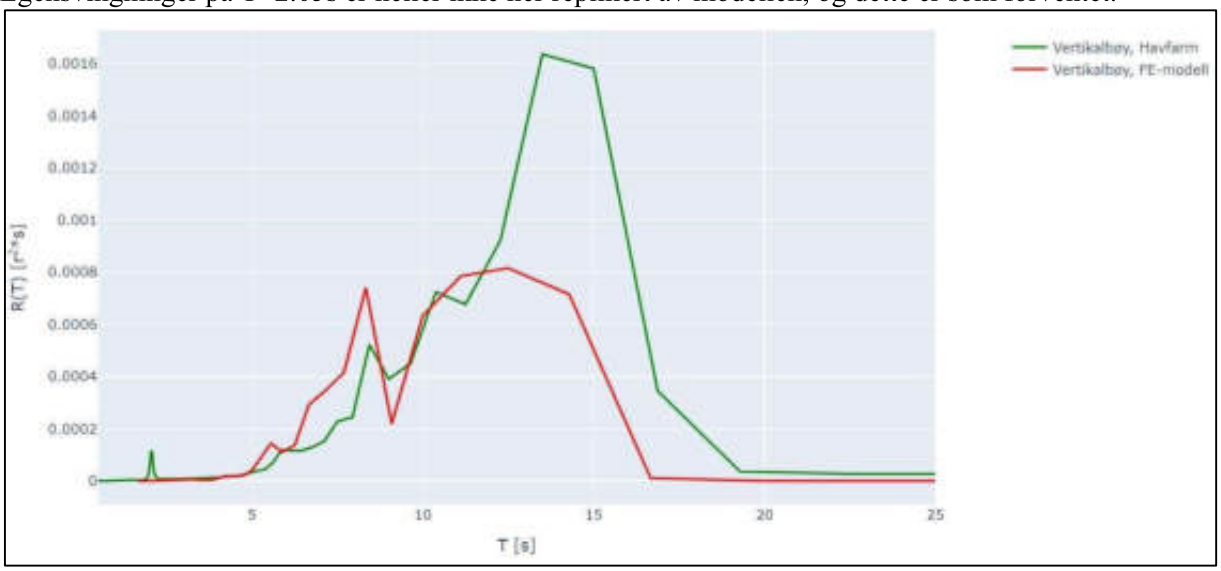


Figur 4-9 Estimert og observert responsspektra i torsjon for storm 1.

Vertikalbøy

Det estimerte og observerte responsspektrumet i vertikalbøy er plottet i Figur 4-10 for storm 1. Det estimerte responsspekteret fanger opp toppen i nærheten av 13.5sekunder, men gir et ikkekonservativt resultat. Denne under-estimeringen skyldes ulineære skrogformeffekter som ikke er med i FE-modellen, og dette er som forventet. Ulineære skrogformeffekter er utslagsgivende når skroget utsettes for ekstrembelastninger. Derfor er denne effekten inkludert i design gjennom et konstantledd (definert i samarbeid DNVGL) for å øke fartøyets globale laster.

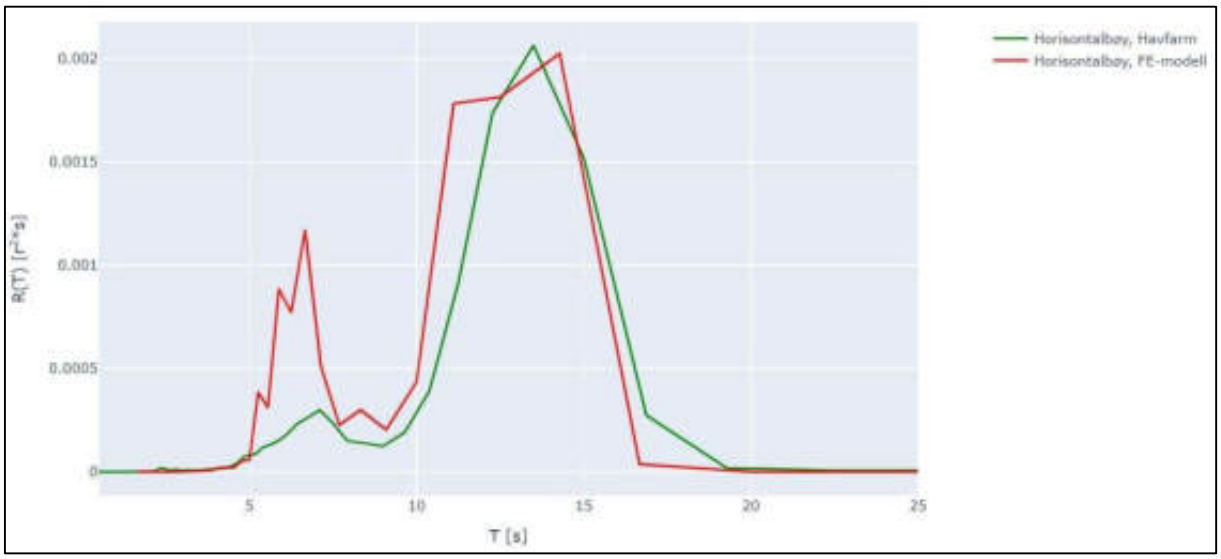
Egensvingninger på T=2.05s er heller ikke her replikert av modellen, og dette er som forventet.



Figur 4-10 Estimert og observert responsspektra i vertikalbøy for storm 1.

Horisontalbøy

Det estimerte og observerte responsspekteret for horisontalbøy er plottet i Figur 4-11 for storm 1. Det estimerte responsspekteret treffer godt med toppen rundt 13.5s, mens toppen rundt 7.0s blir konservativt beregnet.



Figur 4-11 Estimert og observert responsspektra i horisontalbøy for storm 1.

4.6 Sammendrag og drøfting av resultatene

De estimerte strukturelle egenperiodene i torsjon, vertikalbøy og horisontalbøy viser god overenstemmelse med observerte fullskala egenperioder. Estimerte egenperioder er større enn de observerte, og dette er konservativt. Forskjellen i torsjon og vertikalbøy er mindre enn 10% dersom man korrigerer for ulik dypgang i beregningene og målingene, mens forskjellen i horisontalbøy blir omtrent 20% etter den samme dypgangskorreksjonen. Større forskjeller i horisontalbøy skyldes usikkerhet i beregning av tilleggsmassen i svai. Ulikheter mellom estimerte og observerte egenperioder kan også skyldes (ugyldige) antakelser i programvaren som neglisjerbar effekt av bølger og antatt jevn våt overflate på konstruksjonen uten skarpe kanter.

Responsspektra i torsjon, horisontalbøy og vertikalbøy er estimert for tre stormer. De estimerte responsspektrene beskriver formen på de observerte responsspektrene på en tilfredsstillende måte, selv om noen topper under- eller overestimeres. Som forventet er det to hovedgrunner til underestimering av responsspektra:

- Dynamiske egensvingninger er ikke med i modellen
- Ulineære skrogformeffekter er ikke med i modellen

Disse to effektene er hensyntatt i design av havfarmen. Dynamiske egensvingninger er viktig i utmatting og er inkludert i design gjennom dynamiske amplifikasjonsfaktorer med tilhørende sykluskorreksjoner. Ulineære skrogformeffekter er viktig i ekstrembelastninger og er inkludert i design gjennom et konstantledd for å øke fartøyets globale laster.

Andre grunner til under- og overestimering av responsspektrene kan skyldes:

- Usikkerhet i målinger av miljølaster som bølger. Bølgene er målt med en bølgebøye som måler bølgene på et målepunkt. Det faktiske bølgespekteret havfarmen «ser» avviker noe fra dette ene målepunktet, og gjelder spesielt for retningsspektrene til bølgene. Responsen til havfarmen er sensitiv for bølgeretningen og små avvik i retningsspektrene for bølgene vil derfor kunne gi store utslag i responsen.
- Usikkerhet i målinger av skrogdeformasjoner. Skrogdeformasjonene måles med kvadratisk gjennomsnitt mindre enn 8mm i horisontalplanet og 16mm i vertikalplanet.
- Usikkerhet i beregning av tilleggsmasse. Beregningene av tilleggsmasse antar neglisjerbar effekt av bølger og jevn våt overflate på konstruksjonen.
- Koblingseffekter mellom eksitasjonsmodene som ikke fanges opp av analysemodellen. Denne koblingseffekten kan spesielt sees mellom torsjon og vertikalbøy, og skyldes (antakelig) ulineære skrogformeffekter.

Resultatene fra strukturresponsevalueringene viser at det er tilfredsstillende konservatisme/sikkerhetsmarginer i designet av havfarmen både med hensyn til maksimal strukturell kapasitet og utmatting. De forskjellene som er funnet er som forventet og hensyntatt i designet av havfarmen.

5 Hydrodynamikk – Global respons, intern bølgeheving og baugretning relativt til værforhold

I denne seksjonen beskrives sammenligning av hydrodynamiske måledata og numeriske beregninger som er utført i prosjektering og designfasen av prosjektet. De numeriske beregningene baserer seg på modellene som ble benyttet i seneste revisjon av hydrodynamikk-rapporteten (Multiconsult, 23.10.2018) og som er validert gjennom modellforsøk som ble gjennomført hos SINTEF 2018 og sammenlignet i korrelasjonsrapporter. (Multiconsult, 31.07.2018).

5.1 Måledata og behandling av disse

Måledata kommer fra to kilder; SAP og en bøye håndtert av Akvaplan Niva som beskrevet i avsnitt 2.5. I det følgende er det benyttet data fra tidsrommet 1. september 2020 til og med 12. januar 2021, da alle relevante data foreligger samtidig i disse knapt fire og en halv månedene.

5.1.1 Bølger

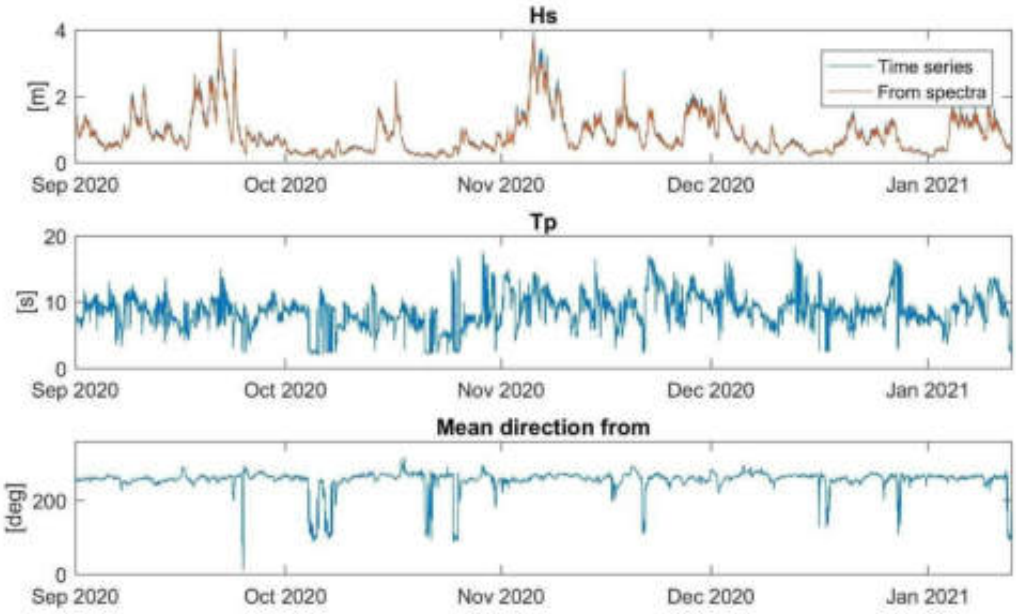
Bølgedata stammer fra Akvaplan Niva-bøya. I analyser av relativ retning mellom bølger og skipet er tidsserier med Hs, Tp og bølgenes hovedkompassretning benyttet. I analysene av skipets bevegelser og interne bølgeheving er tidsserie av kompassretning benyttet i kombinasjon med numeriske bølgespektre.

Bølger på lokaliteten har ofte en grad av retningsspredning, men de følgende sammenligningene er forenklet ved å anta at all bølgeenergi kommer fra samme retning (den oppgitte gjennomsnittsretningen). Dette er en forenkling som i noen grad kan påvirke sammenligningen, se diskusjon i kapittel 5.2.4.

Figur 5-1 viser signifikant bølgehøyde (Hs), total topperiode (Tp) og hovedretning i tidsrommet. Det er oppgitt både tilsendt tidsserie for Hs og beregnet Hs basert på de oppgitte bølgespektrene. Merk at det er forskjell på oppgitt og beregnet Hs.

Det er også viktig å merke seg at det bare er oppgitt en total/kombinert Tp for hvert tidspunkt. På plasseringen til Havfarm består bølgeforholdene ofte av en kombinasjon av vindgenererte bølger (med lave perioder) og dønninger (med høye perioder). En total Tp-verdi vil ikke kunne beskrive slike tilstander på en god måte da man bare får informasjon om den mest dominerende bølgekomponenten, mens det like gjerne kan være den andre komponenten som har mest betydning for skipets respons.

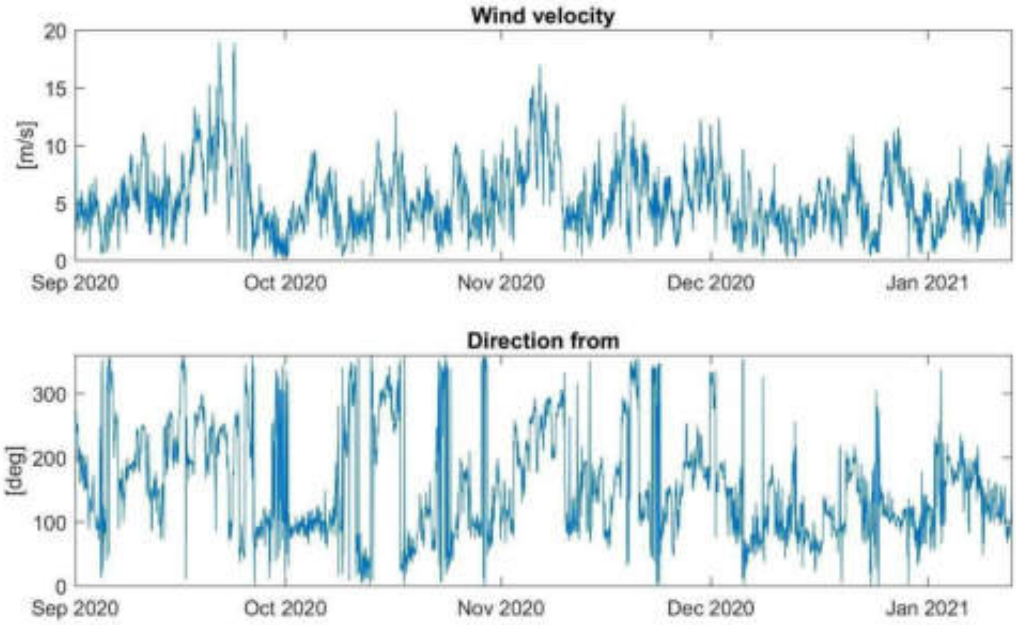
Bølgespektrene har noe grovere oppløsning på periode-aksen for høyere perioder (over 10 sekunder), men oppløsningen er antatt å være tilstrekkelig for dette formålet.



Figur 5-1 – Hs, Tp og hovedretning, kompassretning FRA, på bølger. Merk at det er en liten forskjell på Hs direkte fra tidsserie og estimert fra bølgespektre.

5.1.2 Vind

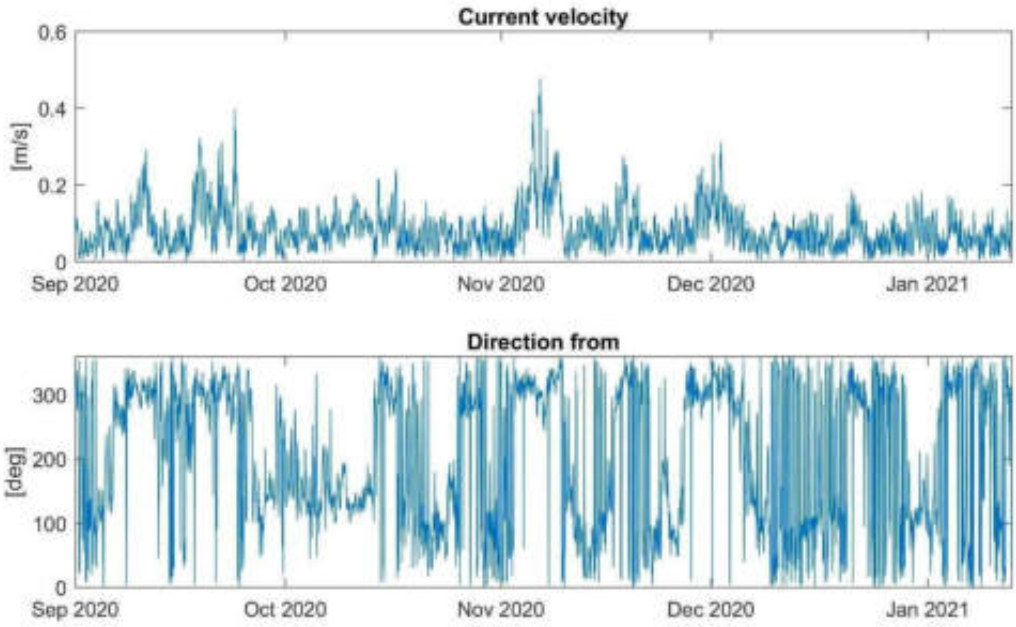
Vinddata stammer fra Akvaplan Niva-bøya. Vinden er kontrollert mot målinger fra nærliggende værstasjon i Bø og den målte vindstyrken er vurdert som realistisk. Det ble derimot oppdaget at vindretningen i måledataene er dreid 120 grader, og retningen måtte derfor korrigeres i ettertid.



Figur 5-2 – Vindstyrke og vindretning (2m høyde og 10min midlingstid), kompassretning FRA.

5.1.3 Strøm

Strømdata stammer fra Akvaplan Niva-bøye. I de følgende sammenligningene er det benyttet en gjennomsnittlig strømverdi basert på alle strømdata mellom overflaten og 35m dyp.



Figur 5-3 – Vertikalmiddel (0-35m dyp) av strømstyrke og strømretning, kompassretning FRA. Merk at retningen er definert på samme måte som bølger og vind.

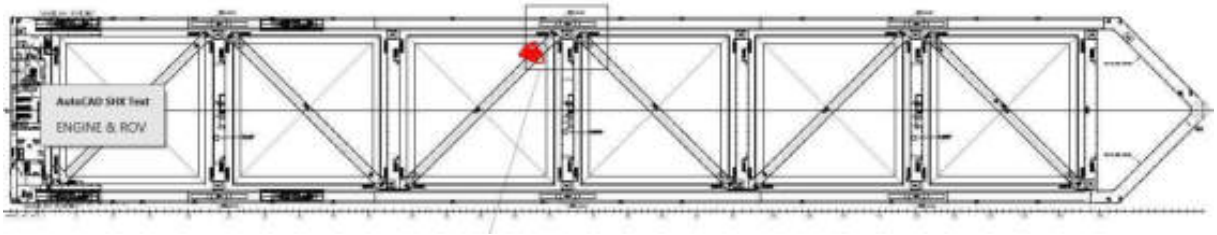
5.1.4 Skipsbevegelser (MGC)

Skipets bevegelser i hiv, rull og stamp i tillegg til kompassretning er hentet ut fra SAP-systemet med frekvens på 10Hz og stammer fra skipets bevegelsessensor (MGC). Enheten er plassert i skipets baug over fortøynings-turret. De tre rotasjonsfrihetsgradene (rull, stamp og retning) påvirkes ikke av plasseringen, men hivbevegelsen er spesifikk for hvert punkt på skipet og kan derfor ikke direkte sammenlignes med numeriske data (som vanligvis er beregnet midt på skipet) uten å transponere disse.

To hiv-signal ble overlevert; «heave» og «heave delayed». «Heave delayed» ble opplyst å være etterbehandlet og noe mer nøyaktig enn «heave» som er det rene målesignalet. «Heave delayed» hadde derimot en feil i tidsvektoren, og derfor ble «heave»-signalet benyttet videre i studien. Forskjellen mellom de to signalene ble vurdert som ubetydelig for denne studiens formål.

5.1.5 Intern bølgeheving

Intern bølgeheving er i likhet med MGC-data hentet ut fra SAP. Dataene stammer fra en Miros Rangefinder bølgeradar med frekvens på 10Hz. Plasseringen på skipet er antydet i Figur 5-4.



Figur 5-4 – Omtrentlig plassering av Rangefinder for måling av intern bølgeheving

5.2 Global respons

I dette avsnittet vurderes og analyseres de faktiske opplevde og målte responsene for havfarmen og det estimeres Response Amplitude Operators (RAO) for de opplevde bevegelsene for havfarmen. Dette sammenlignes med de numeriske RAO'ene som er brukt tidligere samt modelltest for å verifisere likheten mellom disse for å validere konservatismen i de numeriske modellene som er brukt i design og engineering.

5.2.1 Metodikk

Global respons er sammenlignet ved å estimere RAOer (transferfunksjoner) for bevegelser i hiv, rull og stamp og sammenligne dem med de numeriske modellene. Dette gjøres i følgende steg, for hver av de tre frihetsgradene:

1. For hver time beregnes et responsspekter R for skipets bevegelser ved hjelp av Fouriertransformasjon
2. RAO (transferfunksjon) beregnes fra responsspekteret (R) og bølgespektret (S) med følgende sammenheng:

$$\square\square\square(\square) = \sqrt{\frac{\square(\square)}{\square(\square)}}$$

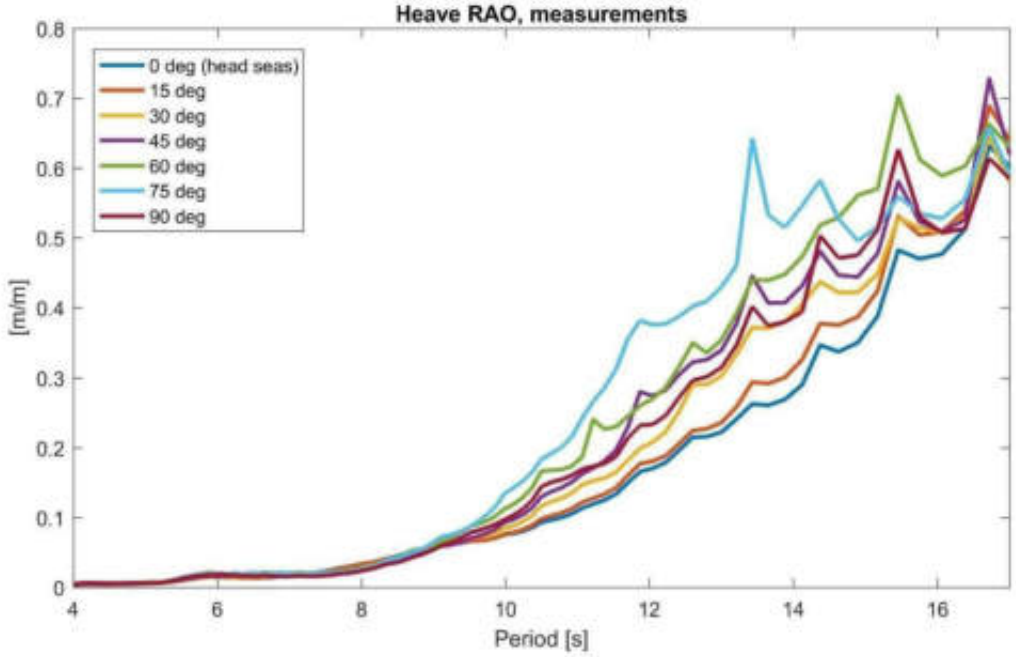
3. Alle beregnede RAOer sorteres avhengig av relativ hovedretning mellom skip og bølger på det aktuelle tidspunktet med intervall på 15 grader. Det vil si at dersom relativ retning er mindre enn 7.5 grader sorteres RAOen under 0 grader, dersom relativ retning er mellom 7.5 og 22.5 grader sorteres den under 15 grader osv.
4. Til slutt lages det en gjennomsnittlig RAO for hver retning (0, 15, 30 grader osv.) som kan sammenlignes med den numeriske modellen.

Den fysiske betydningen til bølgespektre og responsspektre er at de viser energifordelingen av hhv. bølger og respons mot periode (eller frekvens). I ligningen ovenfor deles responsspekter på bølgespekter og ved perioder/frekvenser hvor det er lite/ingen energi og spekterverdiene derfor blir tilnærmet null, kan resultatet i praksis bli hva som helst (et veldig lite tall deles på et annet veldig lite tall). Derfor er det viktig å kun bruke de delene av spektrene som inneholder en viss mengde energi. I disse analysene er perioder hvor bølgespekterenergien er større enn 0.1% av den maksimale energitoppen i spekteret benyttet.

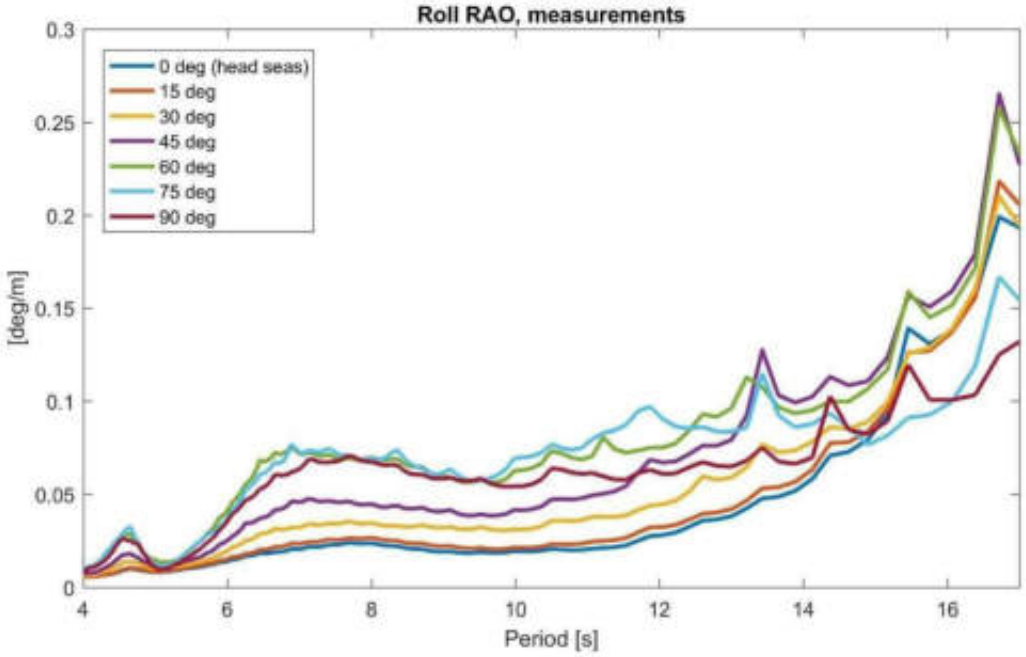
5.2.2 Resultater

De følgende plottene viser gjennomsnittlige RAOer for hiv, rull og stamp fra måledataene. Periodeaksen er kuttet på 17s i alle plottene. Det er veldig lite bølgeenergi over 17s, og de resulterende RAOene blir derfor upålitelige over dette nivået.

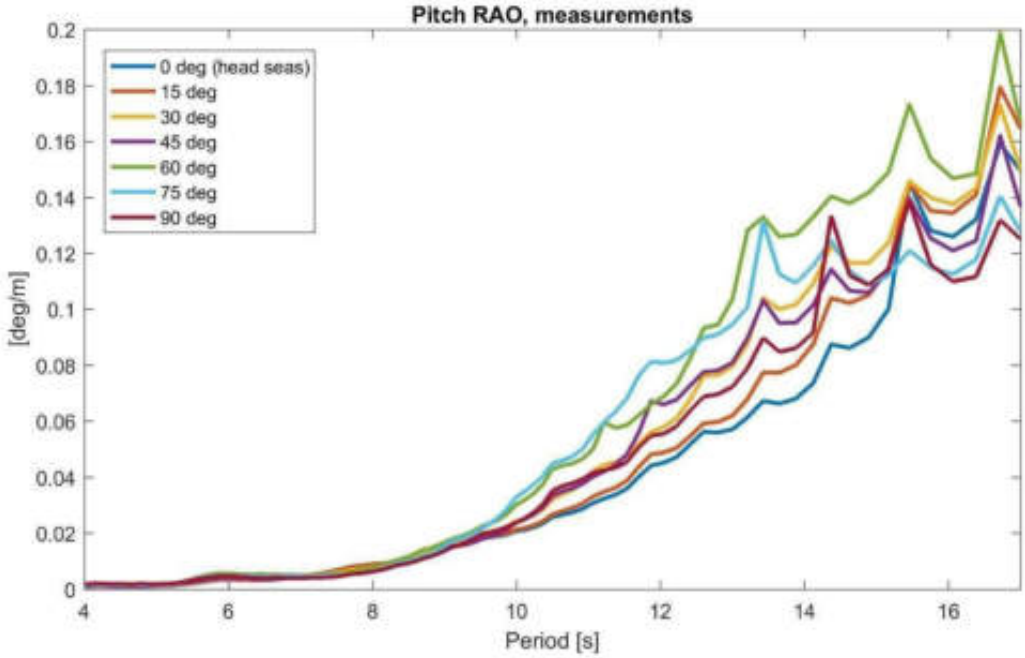
De små lokale toppene i RAOene over 10s sammenfaller i hovedsak med perioder hvor bølgespektrene er evaluert og gjør at kurvene blir noe mindre glatte for de høyeste periodene, uten at det har særlig betydning for resultatet.



Figur 5-5 – Beregnede RAOer for hiv-bevegelse fra måledata.



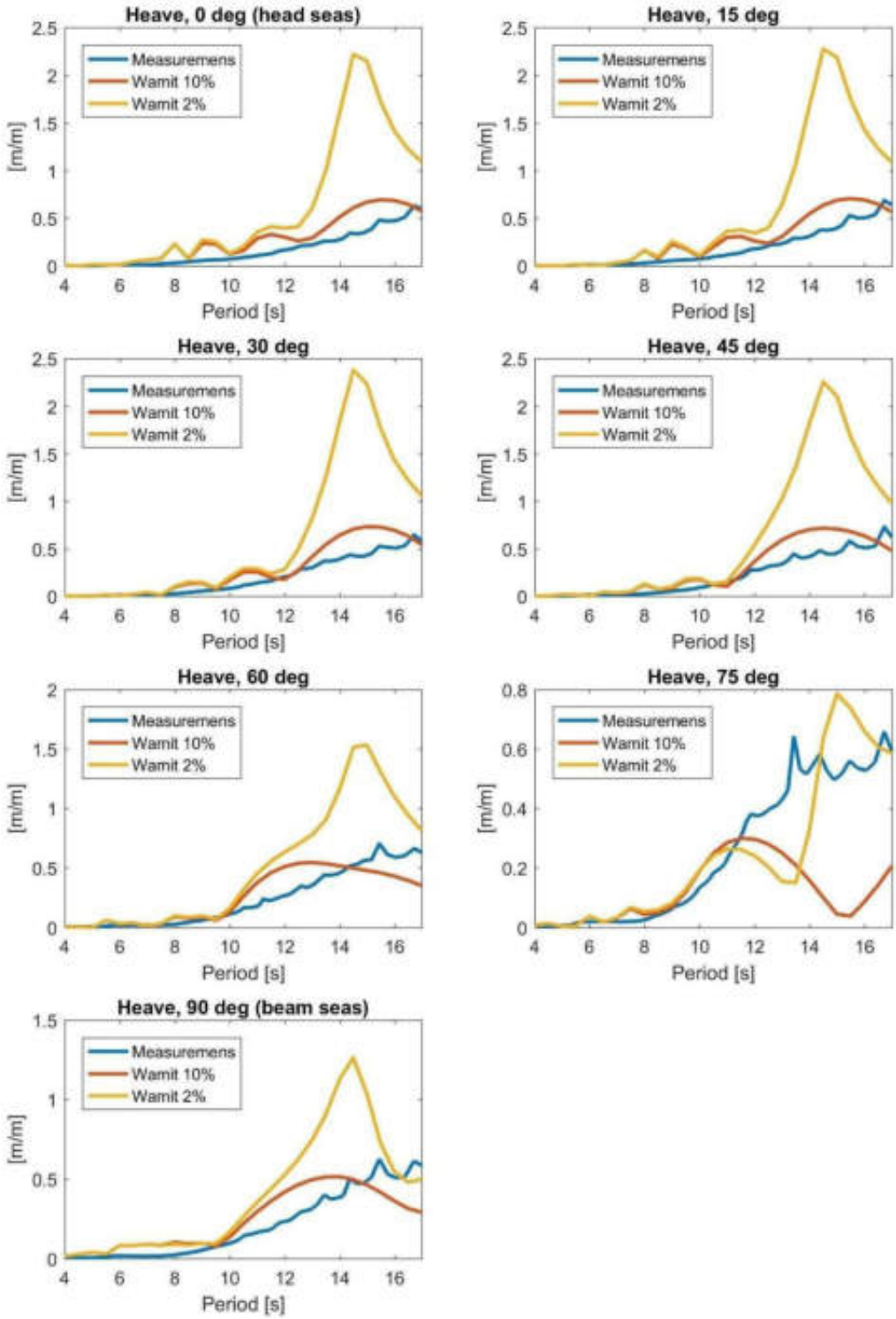
Figur 5-6 – Beregnede RAOer for rull-bevegelse fra måledata.



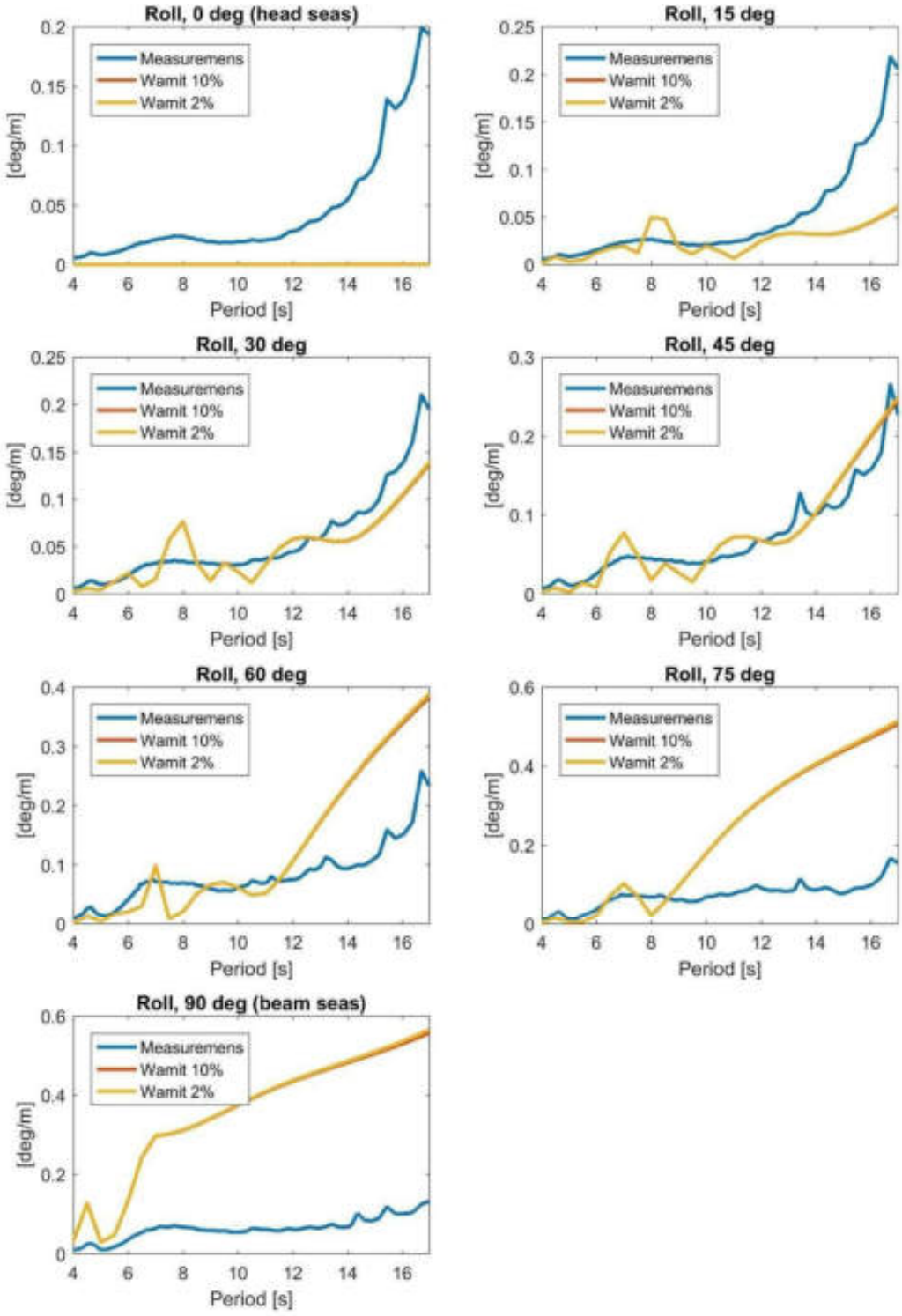
Figur 5-7 - Beregnede RAOer for stamp-bevegelse fra måledata.

5.2.3 Sammenligning med numeriske beregninger/modelltester

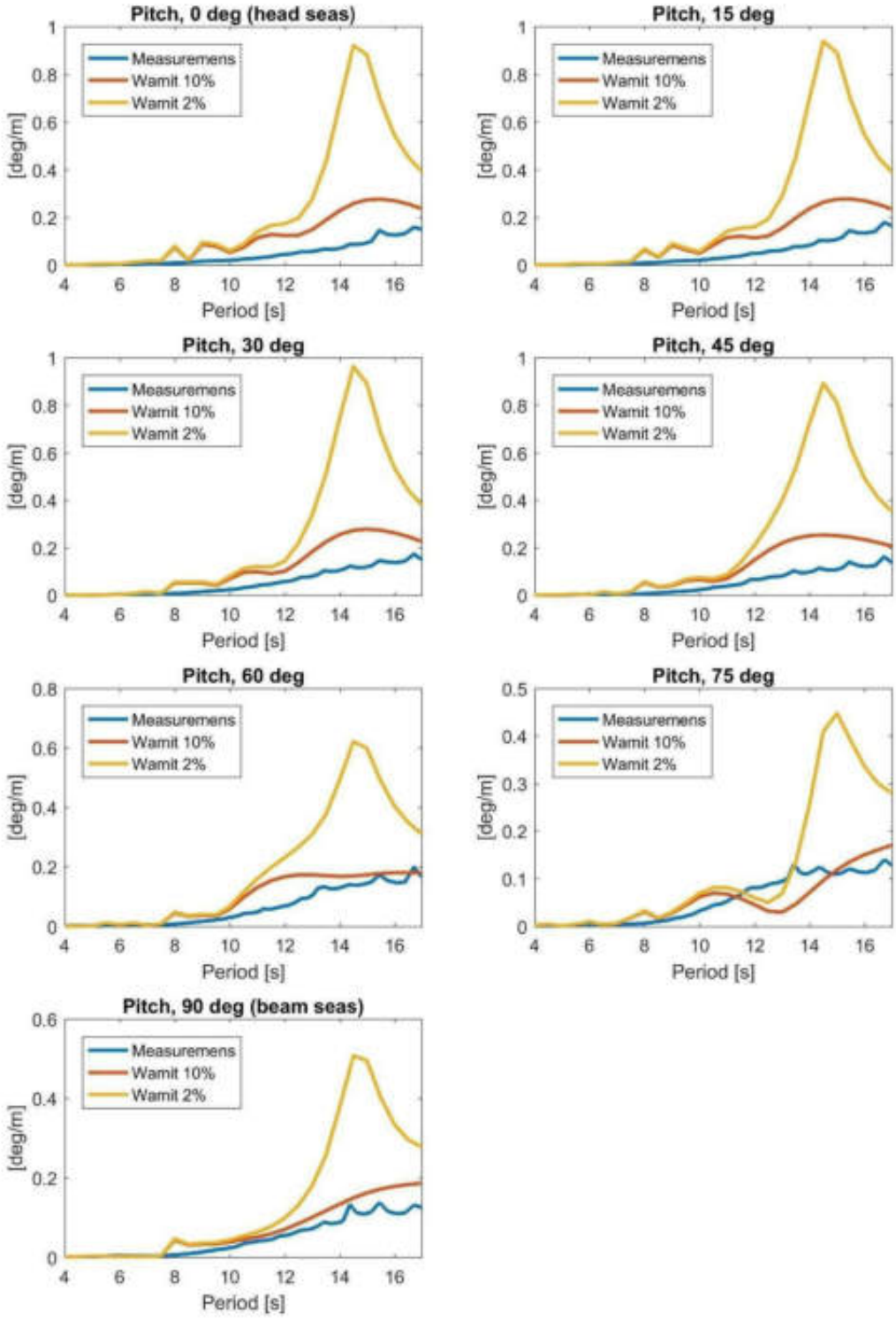
De følgende plottene viser målt RAO for hiv, rull og stamp sammenlignet med numeriske beregninger i Wamit. I Wamit-plottene er det lagt inn to nivåer med ekstra demping, angitt som prosent av kritisk demping.



Figur 5-8 – Beregnede RAOer i hiv fra måledata sammenlignet med tilsvarende RAOer fra Wamit med 2% og 10% kritisk demping



Figur 5-9 – Beregnede RAOer i rull fra måledata sammenlignet med tilsvarende RAOer fra Wamit med 2% og 10% kritisk demping. Merk at det er større forskjell mellom retningene i Wamit enn i måledataene.



Figur 5-10 – Beregnede RAOer i stamp fra måledata sammenlignet med tilsvarende RAOer fra Wamit med 2% og 10% kritisk demping. Merk at det er større forskjell mellom retningene i Wamit enn i måledataene.

5.2.4 Vurderinger

Denne metoden for å sammenligne respons har en stor ulempe i det at den stiller relativt høye krav til rådataene, ettersom Fourier-transformasjonen er sensitiv til kvaliteten på disse. I dette tilfellet er kvaliteten på dataene fra MGCen god og de beregnede responsspektrene er dermed vurdert som tilstrekkelig nøyaktige. De tilhørende bølgespektrene har noe lavere oppløsning, men kvaliteten er vurdert som tilstrekkelig.

RAOene fra måledataene viser i stor grad de samme trendene som de numeriske beregningene, men de vitner om en tilsynelatende større grad av demping i systemet. Den hydrodynamiske dempingen på Havfarm er i stor grad ikke-lineær og skyldes viskøse effekter. Disse finnes ikke i Wamit, men kan legges til manuelt som prosent av kritisk demping. Modelltestene bekreftet at rundt 2% av kritisk demping var et nivå som ga rimelig godt samsvar mellom numeriske beregninger og testene. Ved første øyekast kan derimot måledataene antyde at 10% kan være et mer passende nivå for de fleste responsene. Det vil i så fall bety at det er store viskøse dempeeffekter i virkeligheten som ikke ble funnet i modelltestene, men på grunn av Reynoldsskalering er det egentlig mer naturlig å tro at det heller ville vært lavere demping i virkeligheten (siden både not og slanke strukturelementer med sirkulære tverrsnitt forventes å ha høyere hydrodynamisk drag i modellskala).

Det er trolig at følgende årsaker kan ha vel så stor betydning for forskjellene:

- I de numeriske beregningene og til en stor grad i modellforsøkene er det ingen spredning i bølgene, mens i virkeligheten er de fordelt over flere retninger. Det medfører at det er mindre forskjell mellom de forskjellige hovedretningene i virkeligheten enn det er i beregningene og at responsen blir mer «glattet ut» over alle retninger.
- De numeriske modellene gjelder for en fritt flytende Havfarm, mens den i virkeligheten er forankret i turret. Dette har effekt på stivhet og kanskje også demping av hiv- og stampbevegelse, men trolig i mindre grad for rull. I fortøyningsanalysen av Havfarm er effekten fra turret automatisk inkludert, som følge av at analysen er kjørt i tidsdomene i Orcaflex. Formålet med denne analysen var å beregne fortøyningskreftene, og de endrede bevegelsene som følge av forankringen ble derfor ikke studert eksplisitt.

Uavhengig av hva årsaken til forskjellene er, så viser resultatene at de beregnede RAOene som er brukt som designgrunnlag for Havfarm er konservative.

5.3 Intern bølgeheving

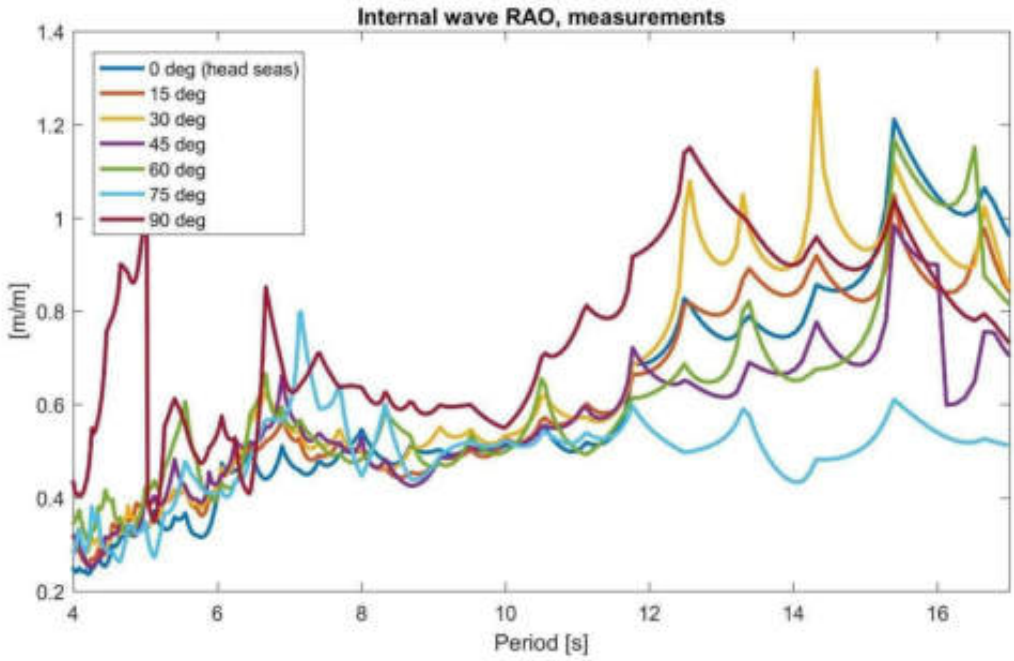
I dette avsnittet vurderes og analyseres de faktiske opplevde og målte bølgehevinger inne i havfarmen og sammenlignes med de innkommende bølgene utenfor havfarmen for å vurdere faktisk demping av bølgene når disse passerer strukturen. Dette har vært et vesentlig vanskelighetsmoment mht dimensjonering og verifikasjon av enkelte strukturelementer.

5.3.1 Metodikk

Intern bølgeheving er analysert på tilsvarende måte som skipets bevegelser i hiv, rull og stamp. Se kapittel 5.2.1 for beskrivelse.

5.3.2 Resultater

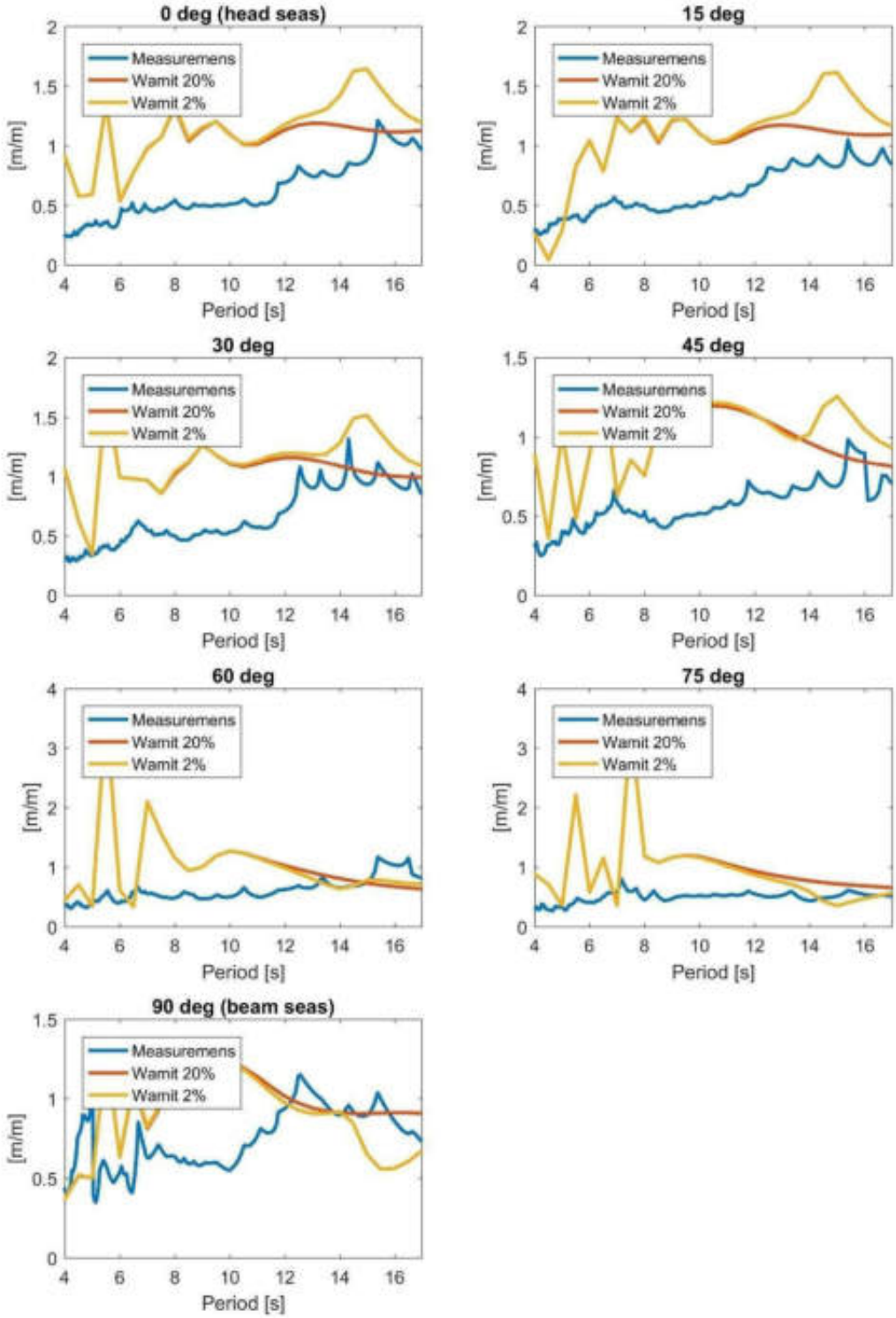
Plottet nedenfor viser gjennomsnittlig RAO for intern bølgeheving fra måledataene. Som for RAOene for skipets bevegelser er periodeaksen kuttet på 17s. De små lokale toppene i RAOene over 10s sammenfaller i hovedsak med perioder hvor bølgespektrene er evaluert og gjør at kurvene blir noe mindre glatte for de høyeste periodene, uten at det har særlig betydning for resultatet.



Figur 5-11 - Beregnede RAOer for intern bølgeheving fra måledata.

5.3.3 Sammenligning med numeriske beregninger/modelltester

De følgende plottene viser RAO for intern bølgeheving sammenlignet med numeriske beregninger i Wamit. I Wamit-plottene er det lagt inn to nivåer med ekstra demping, angitt som prosent av kritisk demping.



Figur 5-12 – Beregnede RAOer for intern bølgeheving fra måledata sammenlignet med tilsvarende RAOer fra Wamit med 2% og 10% kritisk demping. Merk at det generelt er større forskjell i responsen mellom hver bølgeretning i Wamit enn i måledataene.

5.3.4 Vurderinger

Som for bevegelses-RAOene er det mindre variasjon i bølgeheving mellom de forskjellige retningene i virkeligheten enn i den numeriske modellen. Dette skyldes antagelig også her at responsen i virkeligheten er en sum av flere retningskomponenter. Dette kan nok også forklare at de relativt store svingningene i Wamit-RAOene under 8s jevnes ut i virkeligheten.

Generelt er det en betydelig forskjell i bølgeheving i Wamit og i målingene for perioder under 12 sekunder. Dette er et periodeområde hvor bølgespektrene har tilstrekkelig energi og god oppløsning, så det er grunn til å tro at RAOene viser reelle trender. Bølgespredning og påvirkning av fortøyning kan kanskje ikke forklare denne forskjellen helt, og det kan derfor virke som at bølgehevingen er bedre dempet ut i virkeligheten enn i de numeriske modellene og i modelltestene, noe som i liket med bevegelses-RAOene tyder på at beregningene er konservative. Det er derimot vanskelig å peke på årsaker til denne forskjellen, og det er heller ingen garanti for at man hadde sett den samme trenden hadde man målt bølgeheving på andre steder.

5.4 Baugretning relativt til bølger, vind og strøm

I dette avsnittet er effektiviteten av å ha en svaifortøyning vurdert mht om havfarmen vil følge retningen av miljølastene helt eller delvis. Dette vil sammenlignes med numeriske beregninger for å vurdere gyldigheten av disse spesielt mht. faktiske førtøyningslaster og spredningsareal for havfarmen.

5.4.1 Metodikk

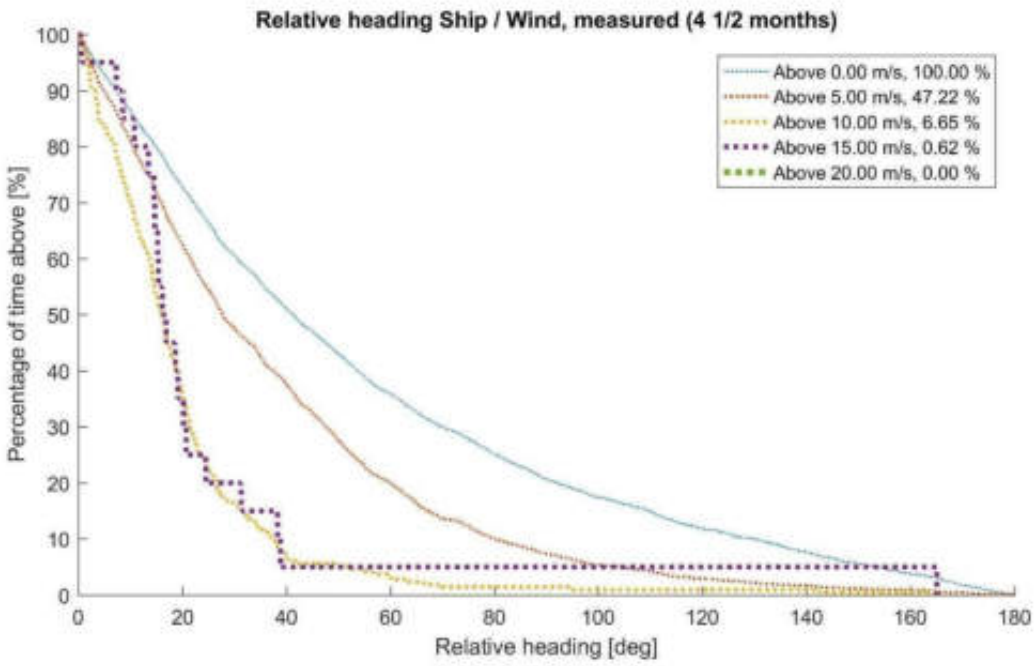
Hver hele time er det regnet ut relativ retning mellom:

- Skip (retningen baugen peker mot) og bølger (retningen bølger kommer fra). En relativ retning på 0 grader betyr at bølgene treffer skipet rett forfra.
- Skip (retningen baugen peker mot) og vind (retningen vinden kommer fra). En relativ retning på 0 grader betyr at vinden treffer skipet rett forfra.
- Skip (retningen baugen peker mot) og strøm (retningen strømmen kommer fra, dvs. samme definisjon som bølger og vind men motsatt av typisk maritim definisjon av strøm). En relativ retning på 0 grader betyr at strømmen treffer skipet rett forfra.

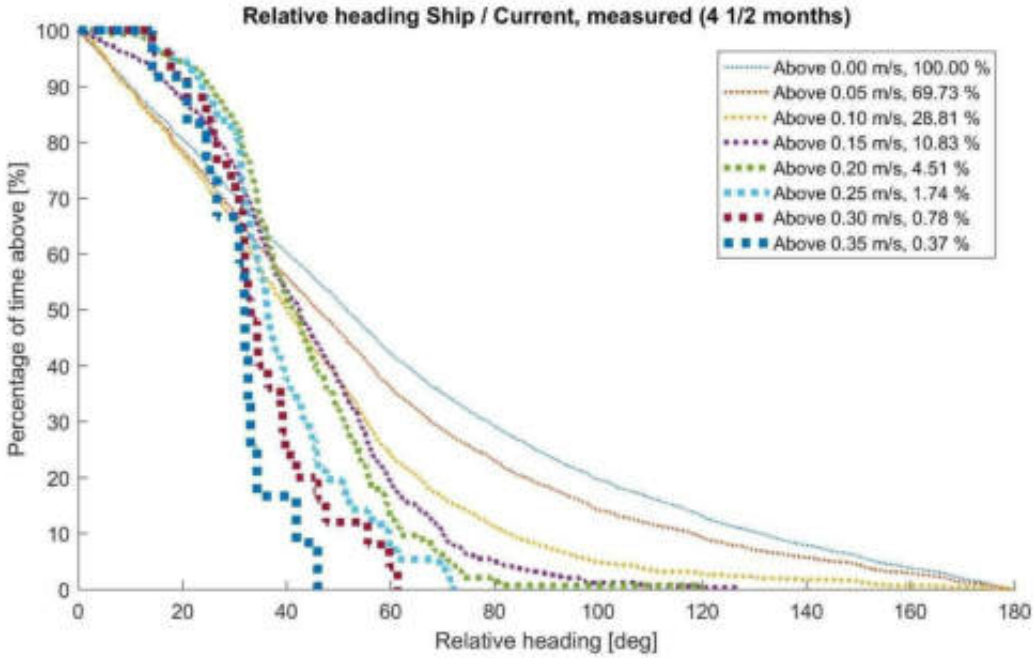
Hvert målepunkt er sortert på forskjellige styrkenivå, Hs for bølger og hastighet for vind og strøm. Til slutt er resultatene plottet opp på tilsvarende måte som analysen i hydrodynamikk-rapporten (Multiconsult, 23.10.2018) for enklest mulig sammenligning.

5.4.2 Resultater

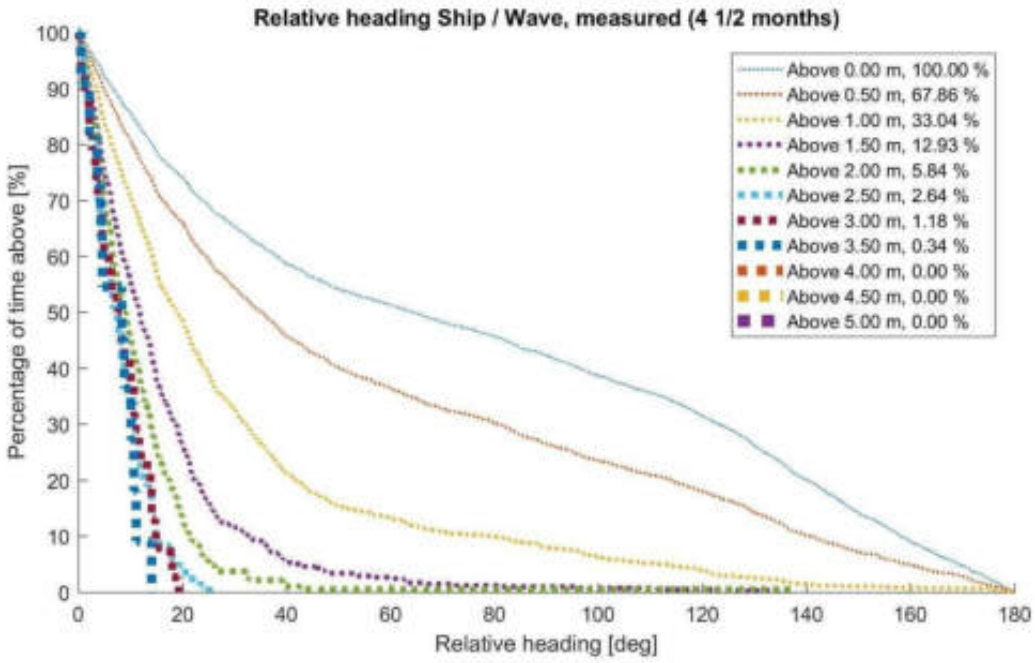
De følgende figurene viser resultatene for bølger, vind og strøm. Figurene krever noe innsats for å sette seg inn i. Se forklaringer i figurtekstene, med eksempler.



Figur 5-13 – Relativ retning mellom skipet og vind. Hver kurve tilsvarer forskjellige nivåer av vindstyrke og viser hvor stor andel av tiden (%) den relative retningen er større enn gitt retning. En bratt kurve antyder en sterkere retningsavhengighet enn en slak kurve. Det vil alltid være 100% sannsynlighet for at retningen er 0 eller større, og 0% sannsynlighet for at retningen er mer enn 180 grader. En hakket kurve betyr at det er få måledata for dette nivået. Figuren viser f.eks. at dersom vindhastigheten er over 10 m/s (gul linje) er det ca 5% sannsynlighet for at den relative retningen mellom skipet og vind er høyere enn 40 grader.



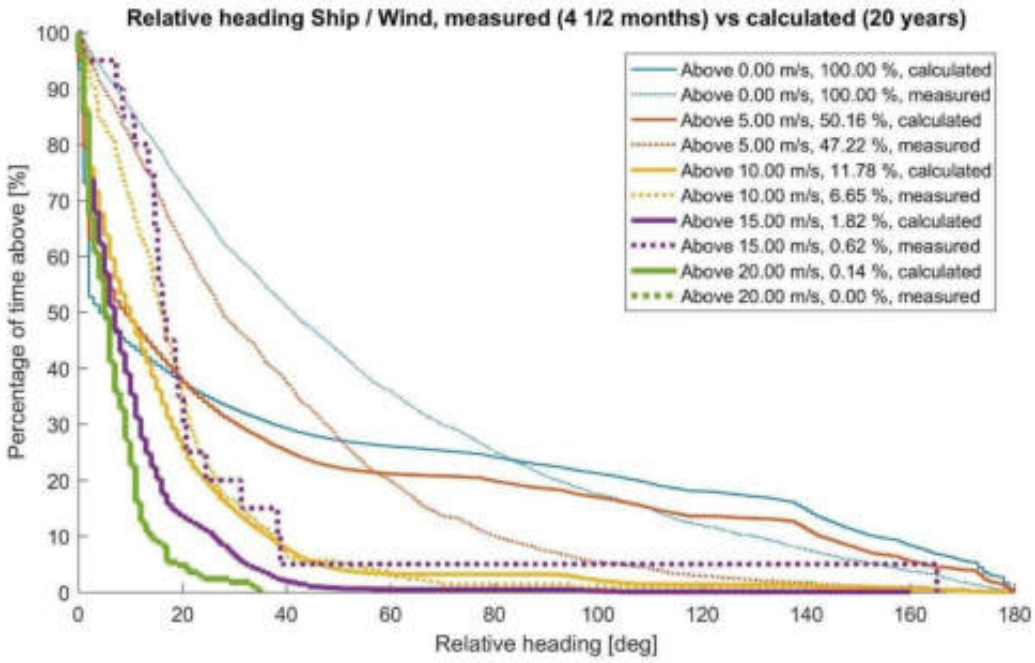
Figur 5-14 – Relativ retning mellom skipet og strøm. Hver kurve tilsvarer forskjellige nivåer av strømstyrke og viser hvor stor andel av tiden (%) den relative retningen er større enn gitt retning. En bratt kurve antyder en sterkere retningsavhengighet enn en slak kurve. Det vil alltid være 100% sannsynlighet for at retningen er 0 eller større, og 0% sannsynlighet for at retningen er mer enn 180 grader. En hakket kurve betyr at det er få måledata for dette nivået. Figuren viser f.eks. at dersom strømhastigheten er over 20 cm/s (grønn linje) er det ca 20% sannsynlighet for at den relative retningen mellom skipet og vind er høyere enn 60 grader.



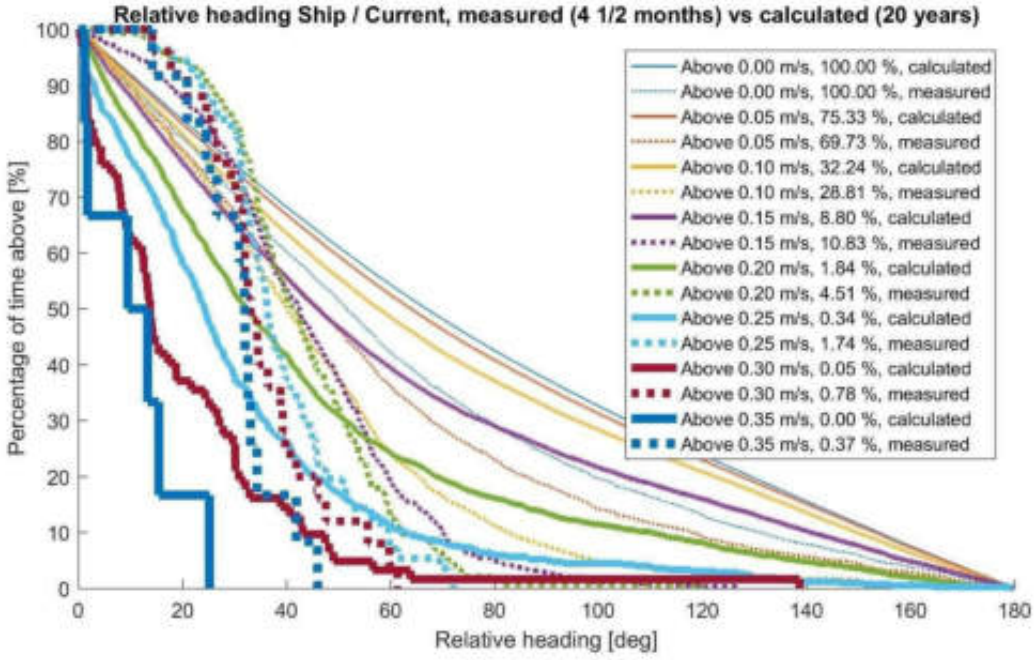
Figur 5-15 – Relativ retning mellom skipet og bølger. Hver kurve tilsvarer forskjellige nivåer av bølgehøyde og viser hvor stor andel av tiden (%) den relative retningen er større enn gitt retning. En bratt kurve antyder en sterkere retningsavhengighet enn en slak kurve. Det vil alltid være 100% sannsynlighet for at retningen er 0 eller større, og 0% sannsynlighet for at retningen er mer enn 180 grader. En hakket kurve betyr at det er få måledata for dette nivået. Figuren viser f.eks. at dersom Hs er over 1.5m (lilla linje) er det ca 20% sannsynlighet for at den relative retningen mellom skipet og vind er høyere enn 25 grader.

5.4.3 Sammenligning med numeriske beregninger/modelltester

De to følgende figurene viser retningskorrelasjon mellom skipet og vind og strøm, både basert på måledata og numeriske beregninger. For bølger finnes det ikke en tilsvarende direkte sammenligning ettersom beregningene baserte seg på to separate bølgekomponenter (vindgenererte bølger og dønninger) mens måledataene bare inneholder total bølgetilstand.



Figur 5-16 – Relativ retning mellom skipet og vind, sammenlignet mellom beregninger (heltrukne linjer) og måledata (stiplede linjer)



Figur 5-17 – Relativ retning mellom skipet og strøm, sammenlignet mellom beregninger (heltrukne linjer) og måledata (stiplede linjer)

5.4.4 Vurderinger

Både måledata og de numeriske beregningene viser at det er en korrelasjon mellom skipets retning og retning på de tre miljøkomponentene, og korrelasjonen øker med økende Hs, vindstyrke og strømstyrke. På et mer detaljert nivå er det derimot enkelte tydelige forskjeller (mulige forklaringer listes lenger nede):

- På vindfiguren er det mindre korrelasjon i virkeligheten enn i beregningene for lave vindhastigheter. Ved vindhastigheter over 10m/s er det derimot bedre samsvar mellom virkelighet og beregninger.
- På strømfigurene ser man at i virkeligheten vil ikke skipet orientere seg i særlig grad etter strømmen før den relative retningen blir større enn 20-30 grader. Dette fenomenet går igjen uavhengig av strømstyrke og er en markant forskjell fra de numeriske beregningene. Over dette nivået er det derimot lignende trender.
- Selv om bølgeavhengighet ikke er direkte sammenlignet ser man at det er en relativt sterk korrelasjon mellom skip og total bølgetilstand i virkeligheten og skip og dønning og skip og vindbølger i de numeriske beregningene (Multiconsult, 23.10.2018).

De overordnede trendene går altså igjen både i måledata og numeriske beregninger. Forskjellene man ser på et litt mer detaljert nivå kan skyldes følgende:

- I virkeligheten vil skipets treghet ha stor betydning for retningsorienteringen. Dette ble ikke tatt hensyn til i beregningene av skipets orientering, da dette ville gjort omfanget av studien langt større. Det kan tenkes at spesielt for strøm, som delvis består av en tidevannskomponent som snur retning fire ganger hvert døgn, kan dette ha stor betydning.

- Den observerte manglende korrelasjonen for strøm med relativ retning under 20-30 grader kan også skyldes et lavere gir-moment fra strøm opp til disse vinklene enn beregnet. Det er derimot ikke klart hvorfor dette skulle være annerledes i virkeligheten sammenlignet med modelltester.
- De numeriske beregningene baserte seg på en enkel metodikk hvor et omtrentlig dreiemoment fra bølger, vind og strøm ble minimert for å finne likevekt (Multiconsult, 23.10.2018) og er derfor ikke forventet å være helt presise på detaljnivå.
- De numeriske beregningene benyttet seg av kunstig genererte tidsserier for miljøkomponentene. Dersom det i virkeligheten er annerledes korrelasjon mellom bølger, vind og strøm seg imellom (uavhengig av skipet), vil dette også gå igjen i korrelasjon mellom skip og miljø.

5.5 Sammendrag og drøfting av resultatene

Sammenligningen av bevegelsene til Havfarm viser trender som går igjen både i beregninger og målinger, men det er også enkelte betydelige forskjeller. Grunnet effekten av bølgespredning er det relativt lite forskjell mellom de forskjellige bølgeretningene i virkeligheten. Turret-fortøyningen påvirker sannsynligvis responsen, i hvert fall i hiv og stamp. Det kan også være at det er noe høyere dempenivå på skipet i virkeligheten. Lite bølgeenergi over 16-17s gjør også RAOene ved høye bølgeperioder noe usikre.

Bølgehevings-RAOene viser mange av de samme usikkerhetene som bevegelsene. I tillegg er det en forskjell ved perioder under 12s som antyder at interne bølger dempes bedre i virkeligheten enn i numeriske beregninger og modellforsøk.

Retningsanalysen viser de samme overordnede trendene i virkeligheten som i beregningene, men det er likevel en del mindre forskjeller. På grunn av den forenklede beregningsmetoden som ble brukt er det ikke så overraskende at det er enkelte ulikheter. Det mest påfallende funnet er at det i virkeligheten er veldig lite korrelasjon mellom strøm og skipets retning for relative retninger opp til 20-30 grader.

Uansett hva forskjellene mellom beregninger/modelltester og fullskala målinger skyldes, så antyder denne studien at skipets bevegelser og interne bølgeheving trolig er noe mildere i virkeligheten enn hva som er designet for, i hvert fall ikke høyere. Retningsanalysen har heller ikke identifisert noen urovekkende effekter sammenlignet med designgrunnlaget.

6 Referanser

7Waves. (2018). 3417-200-027_12 Modal Analysis Report.

Multiconsult. (23.10.2018). 3417-200-206_02 Havfarm 1 – Global response analysis.

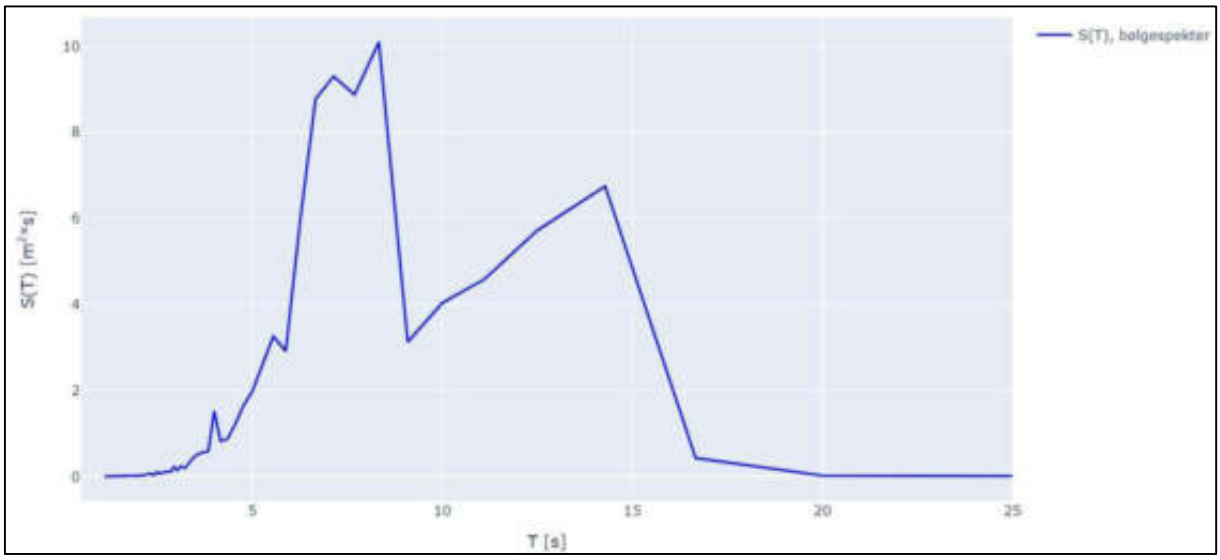
Multiconsult. (31.07.2018). 3417-200-208_02 Havfarm 1 – Model test correlation report.

Welch, P. (1967). The use of the fast Fourier transform for the estimation of power spectra: A method based on time averaging over short, modified periodograms, IEEE Trans. Audio Electroacoust. vol. 15, pp. 70-73.

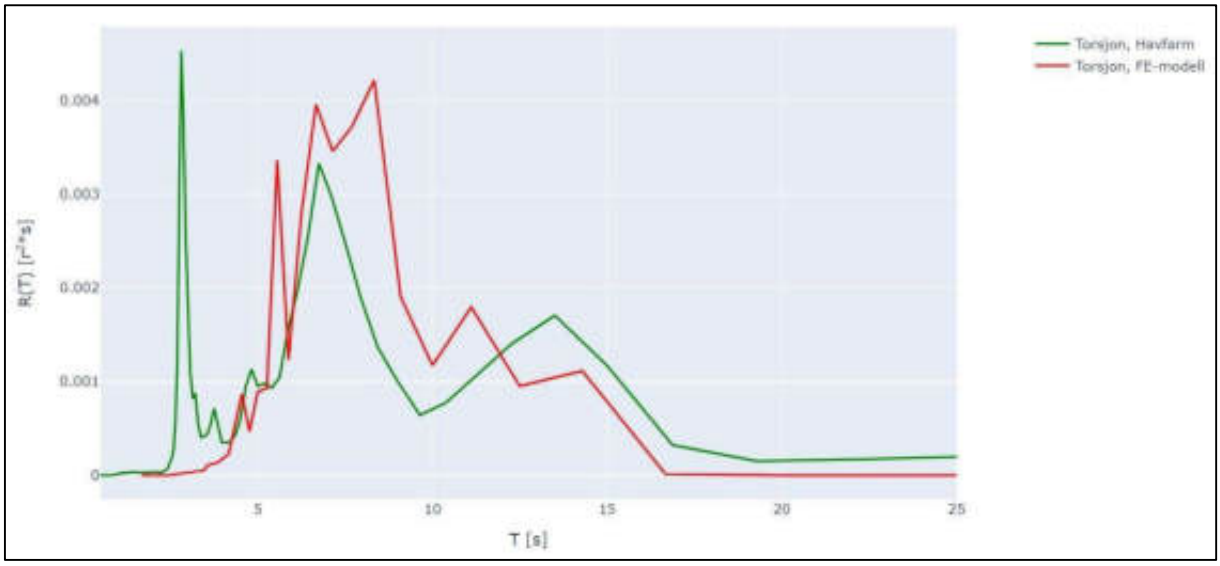
7 Appendix A

7.1 Bølge- og Responsspektra

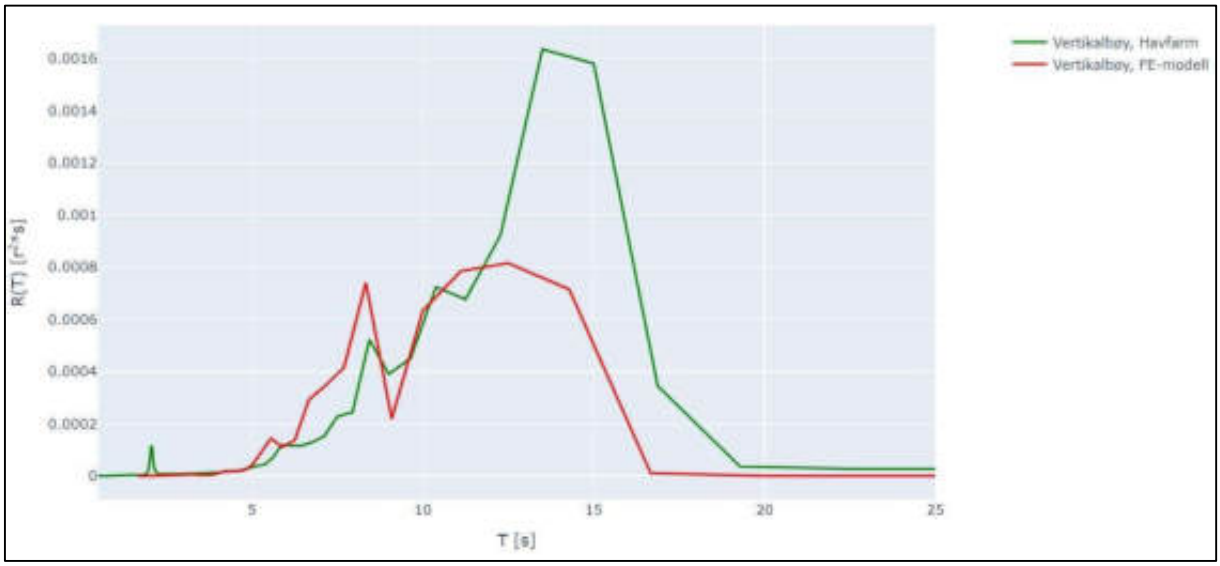
7.1.1 Storm 1



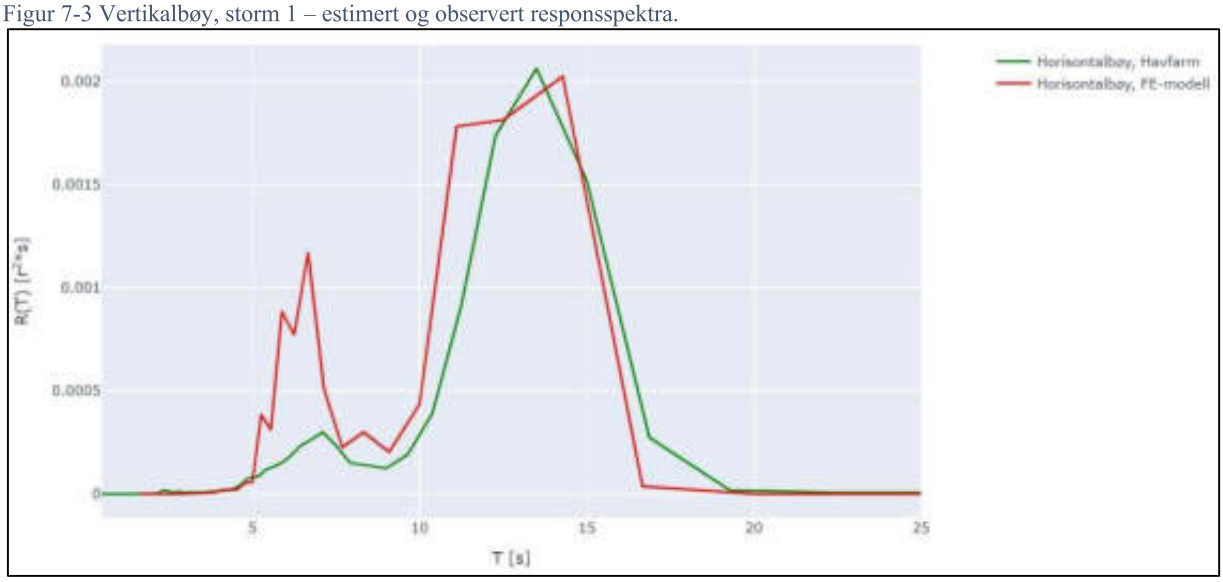
Figur 7-1 Bølgespekter i storm 1.



Figur 7-2 Torsjon, storm 1 – estimert og observert responsspektra.

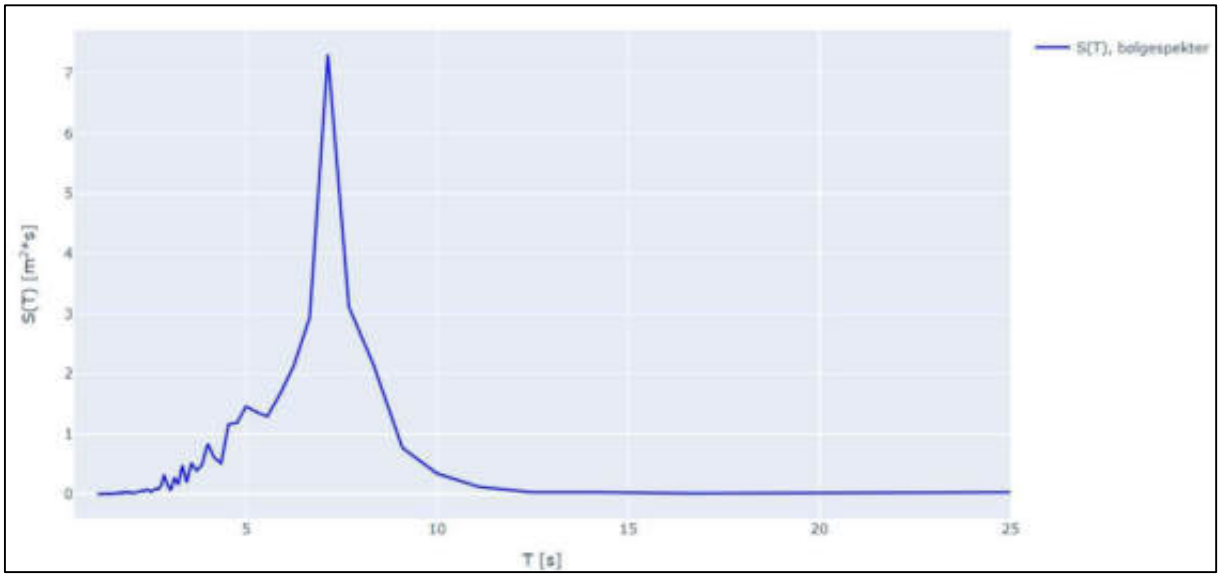


Figur 7-3 Vertikalbøy, storm 1 – estimert og observert responsspektra.

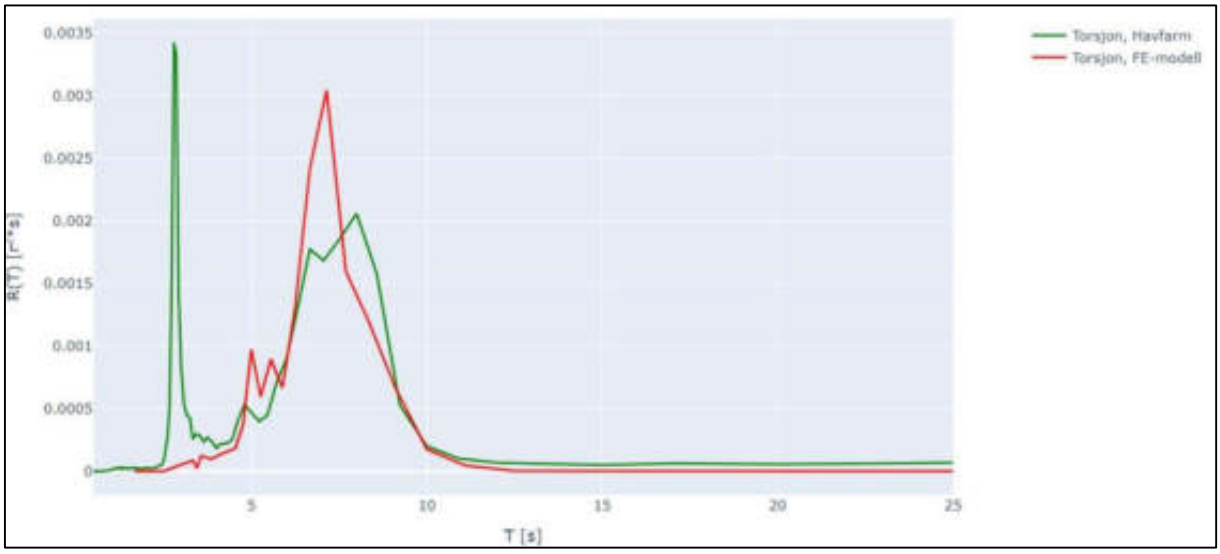


Figur 7-4 Horisontalbøy, storm 1 – estimert og observert responsspektra.

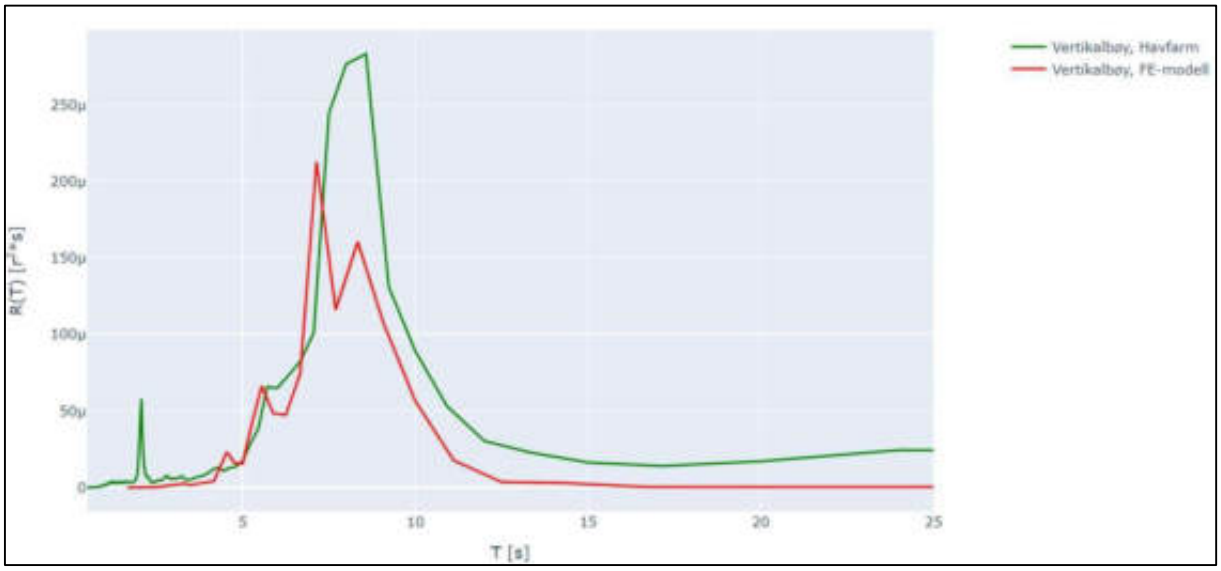
7.1.2 Storm 2



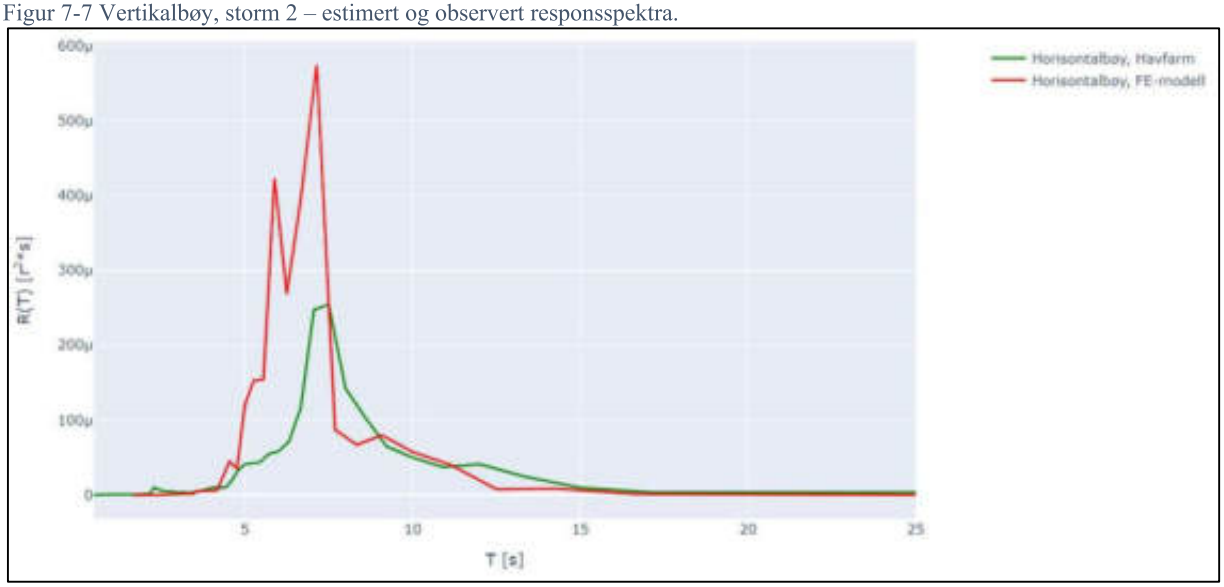
Figur 7-5 Bølgespekter i storm 2.



Figur 7-6 Torsjon, storm 2 – estimert og observert responsspektra.

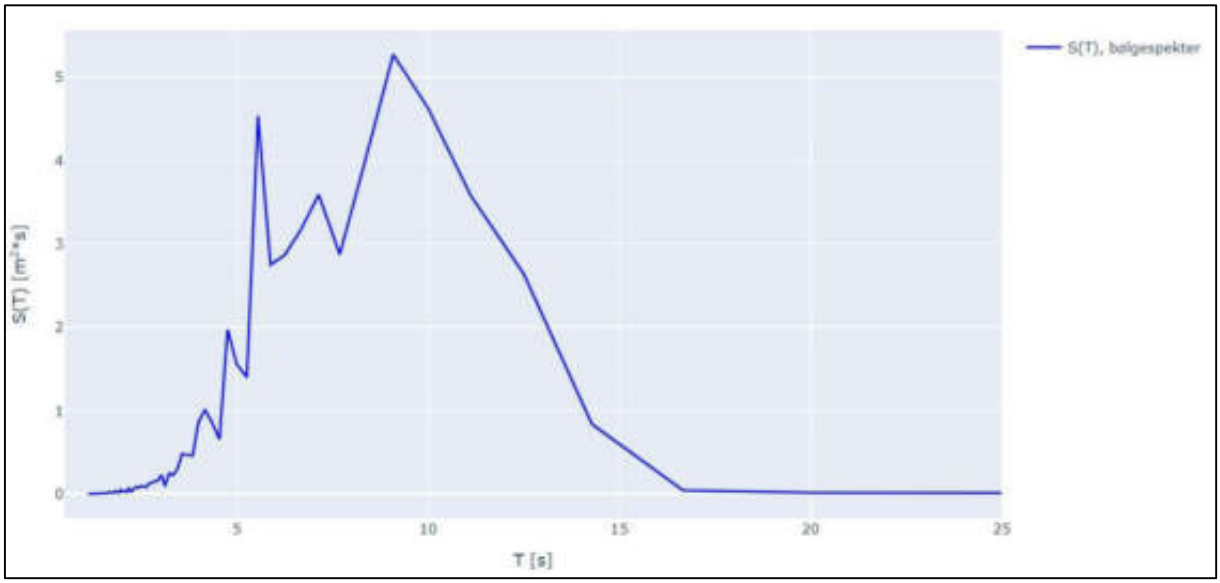


Figur 7-7 Vertikalbøy, storm 2 – estimert og observert responsspektra.

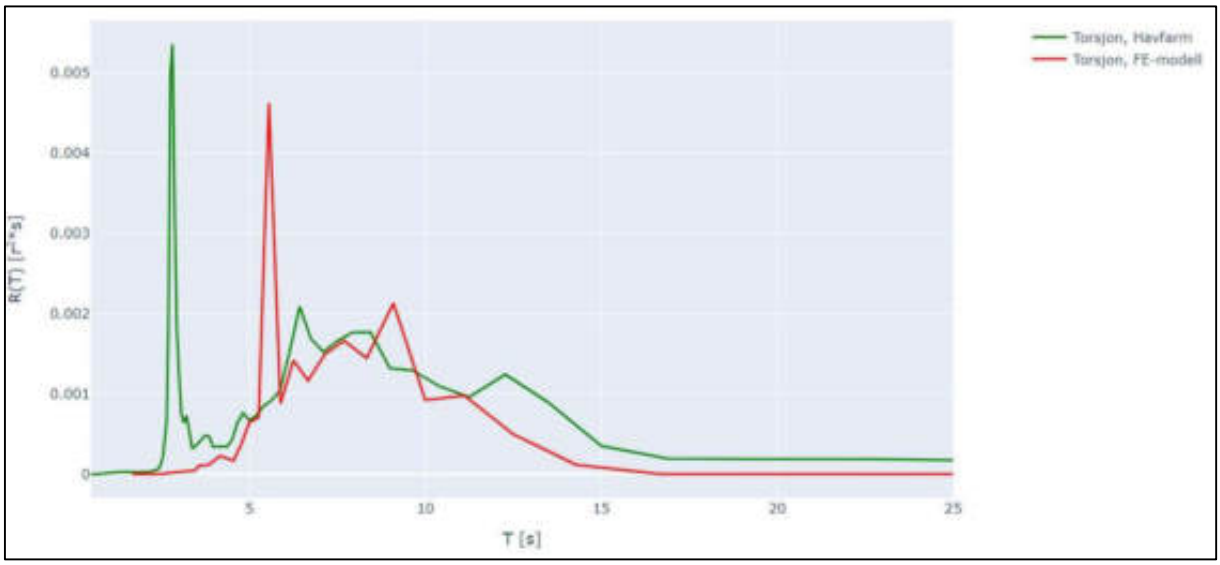


Figur 7-8 Horisontalbøy, storm 2 – estimert og observert responsspektra.

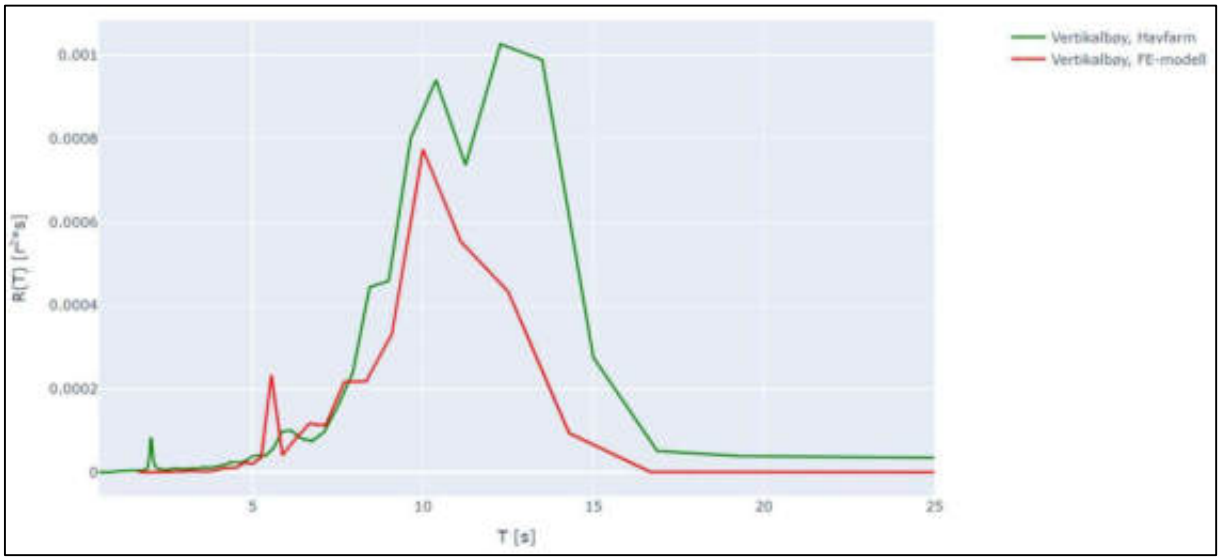
7.1.3 Storm 3



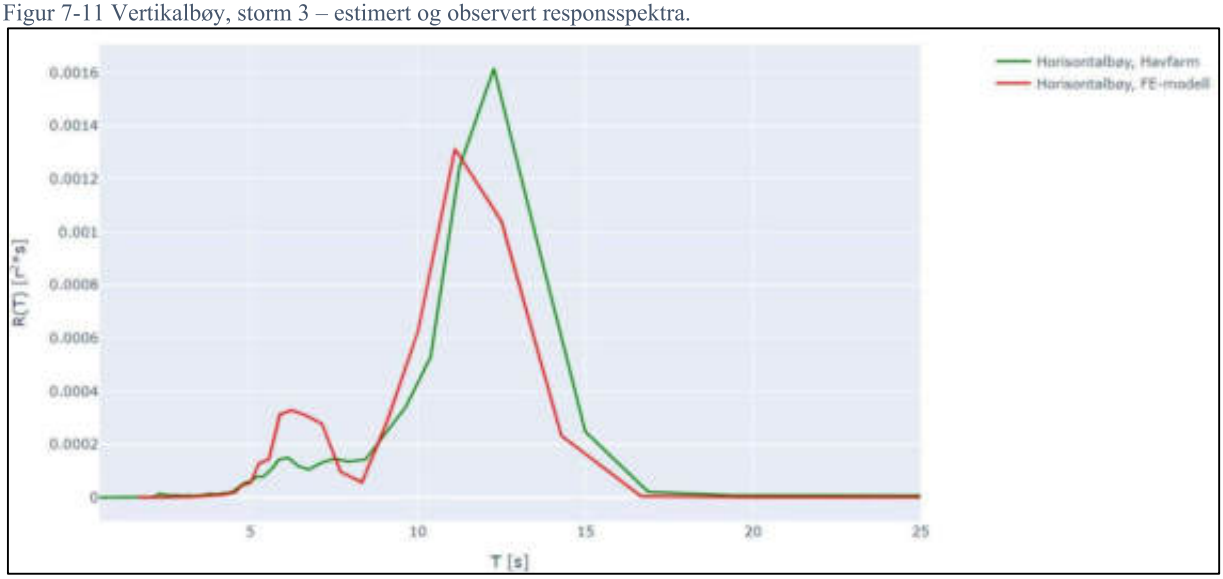
Figur 7-9 Bølgespekter i storm 3.



Figur 7-10 Torsjon, storm 3 – estimert og observert responsspektra.



Figur 7-11 Vertikalbøy, storm 3 – estimert og observert responsspektra.



Figur 7-12 Horisontalbøy, storm 3 – estimert og observert responsspektra.

722 – Havfarm 1 – Structural Monitoring – Validation Report

Client

Nordlaks Oppdrett AS

Document number:

2616

Contract no.: Quote 841_R07

Revision	Date	Description	Prepared by	Approved by
1	29.03.2021	Issued for review	Thomas B. Johnsen	Øystein Stranden

SUMMARY

The overall strategy for the Hull Monitoring System has been to represent the global motion of the Havfarm 1 structure. Based on findings, the global variation in deformations gives the highest contributions to Fatigue Damage in the focused areas in the structure.

Through the validation of the developed Hull Monitoring System for Havfarm 1, the capabilities of the system to predict Fatigue Damage at POIs has been assessed.

Three independent studies have been conducted. A study of static response with concentrated loads has been performed where responses from equivalent simulation methods, applied by 7Waves and SAP respectively, has been compared. The study shows that the output stresses from selected structural Points of Interest (POI) in the Hull Monitoring System are satisfactory when exerted to such loading conditions.

A study of dynamic response has been conducted to compare the responses from 7Waves' design simulation with the responses produced by the hull monitoring system.
This study indicates that stresses caused by local forces and higher order geometric shapes will not be captured by the Hull Monitoring System. This is as expected due to the relatively low number of sensors utilized for input, and their ability to capture only the main global mode shapes of the vessel. However, the global deformation shapes considered to be crucial for the long-term structural utilization are captured sufficiently with the current version of the HMS.

A validation of the Hull monitoring System output against physical measurements from strain gauges installed onboard Havfarm 1 has been performed.
The predicted virtual strain responses show better predictions for normal to harsh weather conditions and are less accurate for calmer weather conditions.

In conclusion, the validation of the Hull Monitoring System is showing that the monitoring system is capturing the most important responses for fatigue assessment, according to the overall strategy. From the dynamic study we observe that the response from local wave loads is deviating between the Hull Monitoring System and the Design Models. However, local effects appear to be contributing to fatigue at a lower degree than global responses. This indicates that the Hull Monitoring System captures the most important loading acting on the hull, and that the Hull Monitoring System will provide important information to Nordlaks with respect to structural utilization in the focused point in the structure.

Improvements to the Hull Monitoring System are possible and an overview is given in this report, but cost-effectiveness should be evaluated as part of this.

CONTENTS

SUMMARY **2**

1 INTRODUCTION **4**

1.1 PREVIOUS WORK AND WORK PACKAGES 4

2 THE MONITORING SYSTEM **5**

2.1 AVAILABLE FUNCTIONALITY 5
2.2 USER INTERFACE 6
2.3 SENSORS, DATA RECEPTION AND INGESTION 6
2.4 THE HULL MONITORING SYSTEM 6

3 VALIDATION RESULTS 9

3.1 STATIC STUDY AGAINST 7WAVES DESIGN MODELS (TOPIC 1) 9
3.2 DYNAMIC STUDY AGAINST 7WAVES DESIGN MODELS 12
3.3 COMPARISON OF RESULTS FROM PHYSICAL STRAIN GAUGES (HBM) AND VIRTUAL STRAIN GAUGES (OUTPUT FROM HAVFARM HMS) 13

4 CONCLUSION 15

5 IMPROVEMENTS 16

REFERENCES 17

Abbreviation list

HMS	Hull Monitoring System
RBI	Risk Based Inspection
RBI-Tag	Structural area identified by RBI analysis - to be monitored
FE	Finite Element
DT	Digital Twin
PEI	Predictive Engineering Insight (part of SAP Intelligent Asset Management portfolio)
POI	Point Of Interest – equals to RBI-TAG implemented in Cloud FE-models on Havfarm HMS
UI	User Interface (related to the monitoring system)
WBS	Work Breakdown Structure
WP	Work Package

1 INTRODUCTION

Havfarm 1 is a concept for farming salmon in aquaculture sites not accessible for the traditional net-pen fish farms with todays' equipment and technologies. The deployment areas for Havfarm 1 will be characterized by complex wind patterns, sea currents and wave conditions while at same time will provide good fish welfare and production conditions. In November 2017, Nordlaks received development licenses for the construction of Havfarm 1.

The Havfarm 1 vessel is equipped with sensors allowing real-time structural monitoring and giving input to the Risk Based Inspection (RBI) and maintenance system.

This work is done as part of a contract between SAP Norway and Nordlaks, hereafter referred to as Customer, to develop a real-time structural monitoring system.

The current scope of work is defined by WP7 described in Quote 841_R07 and Quote 841 Havfarm_Strukturmonitorering_Options No1_R1 and focus the validation of the monitoring system resulting from the previous work packages.

This report will briefly describe the monitoring system before focusing on the validation of the Hull Monitoring System.

1.1 Previous work and work packages

The results from previous work done through WP1-WP4 is described in documents listed in Table 1. Work within WP5 and WP6 are completed without reporting and WP7 is documented by this report.

Table 1 – Delivered documents WP1-WP4

Document	Incl. in delivery
2615_Havfarm-1_Structural Monitoring_WP4 Summary_R1	18.06.2019
841 Havfarm_strukturmonitorering_R07	16.06.2019
2613_Havfarm-1_Structural_Monitoring	20.12.2018
Havfarm 1 – Structural Monitoring – Sensor Specification	20.12.2018
Havfarm 1 – Structural Monitoring – Supplier List	20.12.2018
841 Havfarm_strukturmonitorering_R06	06.02.2019
Havfarm 1 – Structural Monitoring – Simple Spec. of Sensor Interface	15.11.2018

The Work Packages included in the development of the Hull Monitoring System:

WP1 – Project Management and QA
WP2 – Structural Assessment
WP3 – Sensor Assessment
WP4 – Verification of Sensor System Configuration
WP5 – Digital Twin and UI Integration, RBI (tags) integration
WP6 – Implementation (Cloud)
WP7 – Verification and start-Up (Validation)

The work part of WP7 is documented by a report and technical documents. These documents are part of a delivery package. Documents included in package is listed in Table 2.

Table 2 – Documents part of deliverable for WP7

Document	Incl. in delivery
2616_Havfarm-1_Structural Monitoring_Validation Report_R01	29.03.2021
PD-226_Static Comparison HMS to Design Models_R01	24.03.2021
PD-155_Dynamic Comparison HMS to Design Models_R01	26.03.2021
PD-360 HBM strain data assessment_R01	26.03.2021

2 THE MONITORING SYSTEM

The monitoring system made for Havfarm 1 is receiving sensor data from multiple sensors onboard the vessel. These data are sent to SAP Predictive Engineering Insights in real-time so that the data either can be visualized as timeseries or be input to further analysis with designated output that can be monitored via the User Interface.

2.1 AVAILABLE FUNCTIONALITY

The monitoring system has functionality allowing for monitoring of two focus areas listed below. The primary functionality lies within the Hull Monitoring System which has been focused since WP1 listed in 2.1.2. Nordlaks has requested for other functionalities listed in 2.1.1. In addition there are functionalities for thresholding and alerting (2.1.3) and for investigation quality of sensor data from the GNSS system (2.1.4).

2.1.1 Monitoring of parameters describing environmental loads and operations

- Significant Wave Height, Wave Direction and Wave Period
- Draught, Air Gap
- Current speed and direction
- Feed Release Monitoring (amount of feed distributed over the operational area)

2.1.2 Monitoring of parameters of structural importance (Hull Monitoring System)

- Rigid Body Motions measured in the Turret (Heave, Pitch, Roll and Heading)
- Global Hull Deformations (Horizontal and Vertical Bending, Torsion)
- Fatigue (Probability of Failure) calculated for designated locations in the structure
- Angle measurements on mooring lines

2.1.3 Threshold and alerting

There has been set up thresholds and alerts for some of the measured/calculated quantities available in the monitoring system. If thresholds are exceeded, alerts will be available in the alerting pane in the monitoring system giving information on how much the threshold was exceeded and when. Following functionalities are defined with thresholds and alerts:

- Global Hull Deformations (Bending, Torsion)
- Angle measurements on mooring lines

2.1.4 Investigating if sensor input is trustworthy

The main sensor system for giving input to the Hull Monitoring System is the GNSS system. The system comes with data channels allowing for diagnosis of signal quality.
These channels can be accessed from the monitoring system and should be assessed before acting on readings from the system.
The GNSS system is ensuring input to the following main functionalities within the monitoring system:

- Global Hull Deformations (Horizontal and Vertical Bending, Torsion)
- Fatigue (Probability of Failure) calculated for designated locations in the structure

Diagnosis data is used within the Hull Monitoring System to exclude data from Fatigue Damage calculations if input data from the GNSS system is reported to be poor by the systems indicators.

2.2 USER INTERFACE

The User Interface can be accessed by Nordlaks and any other external party that is given access to it.

On the "landing page" when accessing the User Interface, two tiles are relevant:

- Early Warnings
- Product Monitoring

Early Warnings will give an overview of alerts when thresholds are exceeded while the Product Monitoring will allow the user to see and evaluate available timeseries related to the different functionalities.

The information accessible in the product monitoring is clustered in different canvases where each canvas retains a specific focus. The set-up of the canvas is done primarily by SAP as a proposal and may be reorganized as desired by the users.

2.3 SENSORS, DATA RECEPTION AND INGESTION

The sensors giving data to the monitoring system is sent to a designated Virtual Machine on a server onboard Havfarm 1. The Virtual Machine has software that is made by SAP on behalf of Nordlaks that will send or stream data to SAP IoT. SAP IoT in turn sends the data to SAP PEI for processing and visualization.

2.4 THE HULL MONITORING SYSTEM

The HMS is a tool that allows Nordlaks to better focus the maintenance based on input from virtual sensors made available by the Digital Twin of the Havfarm 1 structure.

The Hull Monitoring system consists of the following functionalities:

- Monitoring Global Hull Deformations (Horizontal and Vertical Bending, Torsion)
- Monitoring Fatigue (Probability of Failure) calculated for designated locations in the structure

Input sensor data is streamed to the HMS. Input data origins from the GNSS system which records the relative motion of each GNSS sensor at 4 Hz relative to the reference sensor in the Turret, and an MGC also mounted in the Turret that is reading Heave, Pitch, Roll and Heading provided at 20 Hz. The sensor system is supplied by Kongsberg Seatex As. Figure 1 shows the locations of the sensors used for the HMS.

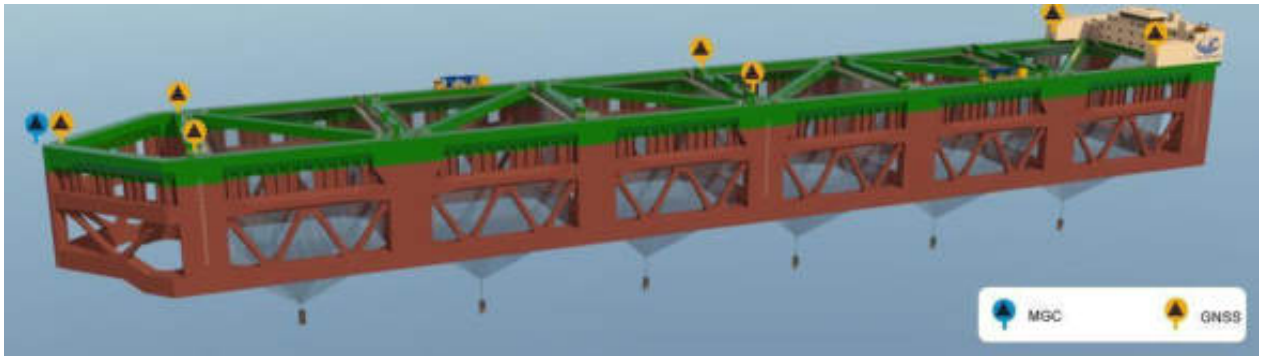


Figure 1 – Overview of locations for GNSS and MGC sensor onboard Havfarm 1

Monitoring of global hull deformations is made possible by using relative displacements from the GNSS sensors. The relative displacements are transferred to a designated reference system that allows for calculating the key quantities of deformation in the middle of the structure (Horizontal and Vertical Bending) and the longitudinal twisting of the structure (Torsion).

Monitoring the "structural usage", or more technically correct Fatigue Damage of designated locations in the structure (POIs) is made possible by using the logged relative movement from the GNSS sensors as input that actuates a Finite Element model of Havfarm 1 (Digital Twin) which is running in real-time on cloud.

The designated areas in the structure that are monitored are called Points of Interest (POI).

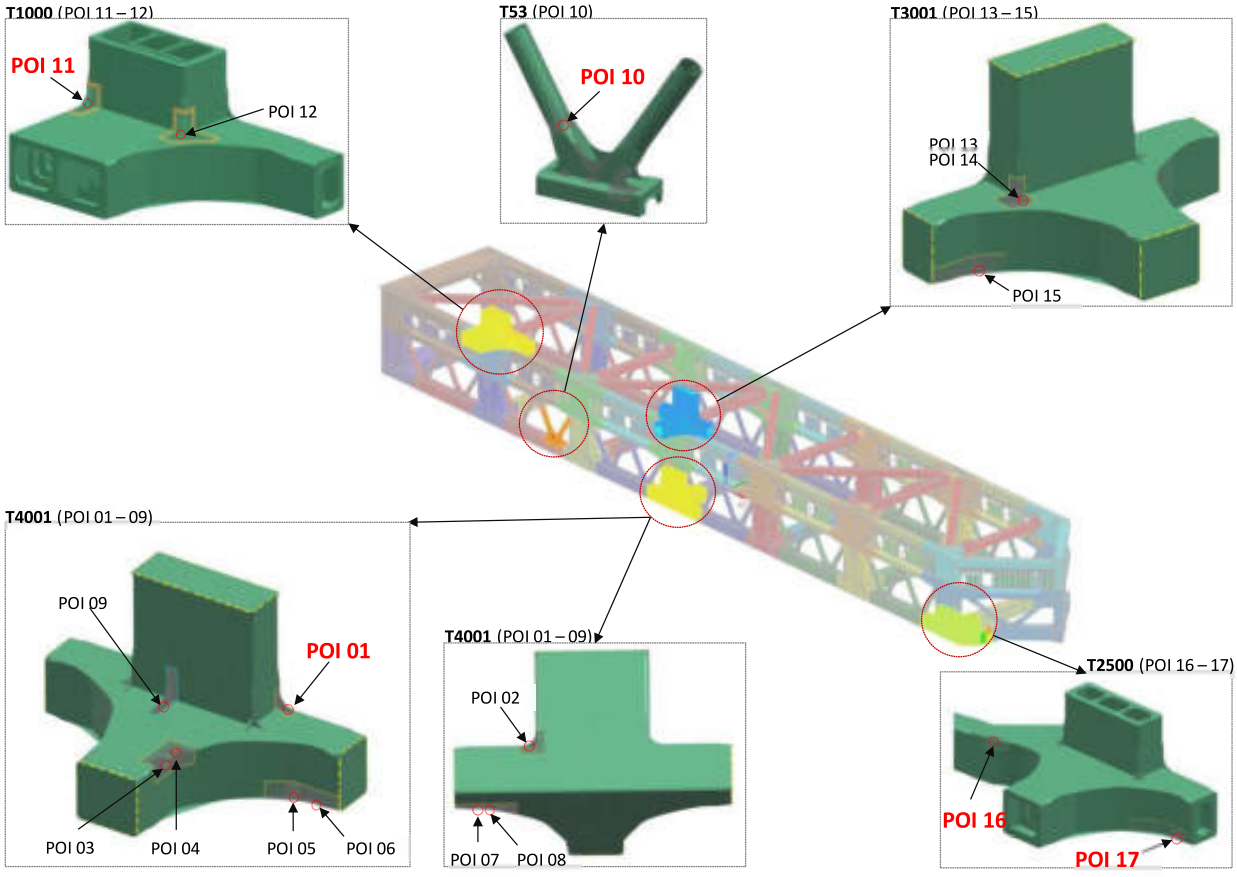
The hull monitoring system is developed to predict Fatigue Damage in POIs. A prerequisite for proper predictions is that the FE-model within the HMS represents the physical properties of the structure.

2.4.1 FE-MODELS, AND STRUCTURAL POINTS OF INTEREST FOCUSED IN HMS

The Digital Twin (Finite Element Model running on cloud) was made by converting the Design Models used by 7Waves to a Nastran format which can be run within the FEDEM environment (SAP software).
The DT is actuated by means of physical movement logged by the GNSS sensors at any given time.
The DT contains a Global model which is actuated by sensor data, and several sub-models which are more detailed. In some locations there are two levels of sub-models. The Submodels are actuated by the level of model above (Global model or a higher-level sub-model). A POI is a local area of a sub-model were stresses are extracted. The stresses in a POI varies as the sub-model moves due to physical movement imposed on the Global FE-model.

A total of 17 POIs have been selected for monitoring in the HMS, and stress variations due to global movements are logged for each of the POIs (fig).

The selection of which POIs to include is done by 7Waves with input from the RBI-Report created by Maintech AS.



2.4.2 CONCEPT FOR MONITORING FATIGUE DAMAGE

The Fatigue Damage parameter is a measurement of "Probability of failure" and is a theoretical measure that is found by calculating the accumulated damage from stress amplitudes and number of stress cycles in a certain location of a structure.

For the HMS, stresses are logged for each POI and the damage each stress cycle causes, is calculated. The damage calculated in a POI can then be summarized over a desired timeframe to obtain the resulting fatigue damage for the stresses observed in the same timeframe.

In the HMS, the methods for calculating damage in a POI is corresponding to the methods used by 7Waves in the design studies.

3 VALIDATION RESULTS

The validation for the HMS Cloud system can be divided in two topics.

Topic 1 – Validation against Design Models:
Two separate studies are made for validation purposes, one static study documented in [1] and one dynamic study documented in [2]. Both studies aim at comparing output results from the HMS towards the Design Models used in the design phase of Havfarm 1.
7Waves has performed the Design Model analysis and provided the input data for comparison with HMS model output for both studies.
The Design Models have been analyzed using SESAM (DNV GL). The corresponding FE-models in the HMS are analyzed using FEDEM (part of SAP).
The choice of using five POIs for these studies was done as an agreement between SAP and 7Waves, as using all 17 POIs would have increased the scope significantly.

Topic 2 – Validation against physical measurements:
The validation of output from the HMS models against physical measurements is documented in [3]. Physical measurements are provided by strain gauges and accelerometers installed by HBK Norway (HBM) which is the supplier of sensors and system for logging data.
The measurement equipment was installed in august 2020 and provides several months of logging data. The location of the installed sensors was chosen so that they would capture global vessel deformations. The location was also chosen based on a desire to obtain loggingdata not too much influenced by complex loading and complex stress.

3.1 STATIC STUDY AGAINST 7WAVES DESIGN MODELS (Topic 1)

This study [1] has been performed to verify output at POIs from the FE-models on cloud given a relatively simple setup were three different static load cases were analyzed while recording the corresponding stress at five different POIs. The stresses were then compared to output from the same POIs originating from the analysis of the Design Models.

3.1.1 Method

SAP and 7Waves made a set-up of the FE-models with similar boundary conditions and loading conditions in two different FE-simulation systems, FEDEM and SESAM respectively.
The load cases reflect three global mode-shapes: Vertical Bending, Horizontal Bending and Global Torsion. Detailed description and results are available in [1].

The stresses at each of the POIs were extracted from the models within the HMS for all load cases and compared with the goal of obtaining a good match towards results from the Design Models provided by 7Waves.

The element stresses in the POIs were extracted from top- and bottom surface of the shell elements.

The element formulation used within SESAM is 8-noded shell (parabolic formulation) while the element formulation used in the FEDEM-model is 4-noded shell (Linear Formulation). In general, it is expected that 8-noded shell elements will represent local effects and gradients better than a 4-noded element.

When comparing stresses between SESAM (Design Models) and FEDEM (Models within HMS) it was necessary to calculate the average stress from the element nodes (8- and 4 nodes respectively).

The routines for transferring deformations from Global-level to Sub-model level in Sesam is not known, while in FEDEM this is handled by using a 3-DOF transfer of deformations, excluding the rotational degrees of freedom.

3.1.2 Results

Table 4 show the results after comparing the average stress output from HMS and the Design Models from each POI and load case. Results are shown in percentage. Positive results indicate that the result from the Design Model is higher than for the models within HMS.

Table 3 contain a color coding that gives specific information on the results and other effects observed.

Table 3 - Explanations to results

(OK)	**Element stress deviates less than ±15%**
(<10)	**Absolute stress level is less than 10 Mpa**
(D+2)	**Ratio between largest stress range and average stress is more than 200% (inside element)**
(D+2/<10)	**Both (<10) and (D+2) criteria fulfilled**
	None of the above

Table 4 - Results

Deviation Upper surface

Location	LC1		LC2		LC3	
	Max. Princ.	Min. Princ.	Max. Princ.	Min. Princ.	Max. Princ.	Min. Princ.
POI1	12% (OK)	-4% (OK)	-16% (D+2)	6% (OK)	9% (OK)	-49% (D+2/<10)
POI10	-3% (OK)	2% (OK)	-19%	-17%	0% (OK)	-4% (OK)
POI11	-1% (OK)	8% (OK)	-2% (OK)	7% (OK)	-10% (OK)	-7% (OK)
POI16	-40% (<10)	-67% (D+2/<10)	-67% (D+2)	3% (OK)	-58% (D+2)	3% (OK)
POI17	-32% (<10)	-3% (OK)	-12% (OK)	-3% (OK)	11% (OK)	1% (OK)

Deviation Lower surface

Location	LC1		LC2		LC3	
	Max. Princ.	Min. Princ.	Max. Princ.	Min. Princ.	Max. Princ.	Min. Princ.
POI1	7% (OK)	-25% (D+2)	-12% (OK)	3% (OK)	7% (OK)	16% (D+2)
POI10	0% (OK)	3% (OK)	-19%	-23%	2% (OK)	0% (OK)
POI11	138% (D+2/<10)	10% (OK)	26%	7% (OK)	-10% (OK)	-128% (D+2)
POI16	-72% (<10)	-26% (D+2/<10)	-36% (D+2)	-15% (OK)	-22% (D+2)	-13% (OK)
POI17	-141% (D+2/<10)	-6% (OK)	-10% (OK)	-3% (OK)	-12% (OK)	2% (OK)

3.1.3 Assessments

As a rule of thumb, when comparing results, deviations in the range ±15% can be expected and assessed to be within acceptable margin.

The results show that there are differences exceeding ±15% between stress output from POIs from the HMS and the Design Models.

Some of the deviations (highlighted in Blue and Magenta) are stress values which are initially very low, small deviations in stress between the Design Model and the HMS will give a relatively high reported deviation in percentage, while the resulting deviation in stress contribution when assessing fatigue damage will be insignificant.

The element mesh in the models is in some areas quite course and the average stresses may vary considerably within an element. It is observed that the ratio between the largest stress range and the average stress within an element is exceeding 200% (highlighted in Orange). Deviations found in the results are as expected since the element formulation used in SESAM (8-noded shell) will capture and handle stress gradients differently than the elements used in FEDEM (4-noded elements).

Results from POI10 and POI11 are exceeding the ±15% rule of thumb for load case 2. Here we observe deviations in the range between -19% to 26%. A good explanation for these deviations is not found.

3.1.4 Conclusion

From this study we conclude that the finite element mesh model representation used in the hull monitoring system is adequate and fit for purpose.

3.2 DYNAMIC STUDY AGAINST 7WAVES DESIGN MODELS

This study [3] has been performed to verify output at five POIs from the FE-models on cloud using a set of dynamic load cases. The stresses were then compared to output from the same POIs originating from the analysis of the Design Models.

3.2.1 Method

Nodal displacement outputs from the design model analysis are used as input to run the digital twin, in that sense the design model is simulating the physical structure with the nodal displacements at the sensor locations as sensors. Inputs to the digital twin simulations are provided by 7 waves. The same FE-model (DT) is used for this study as for the Static Study [1]. The comparison is made for five selected POIs and 9 load cases, each consisting of a static (ballast) loading condition in combination with a dynamic load case (design wave). The stress results from the design model analyses were transformed into a similar format as the results provided by the HMS system (signed absolute maximum principal stress) for the sake of comparison.

3.2.2 Results

Please refer to the study [2] for results.

3.2.3 Assessment

In general, the comparison reveals good to medium match for the mean stress levels, indicating that the monitoring system can capture the global shapes resulting due to the static (ballasting) loading conditions. The stress amplitudes in the dynamic part of the results seems to match best for the design wave yielding a more global deformation shape than for the design wave yielding a more complex deformation shape. This is in line with the expectations. It is expected that the deviations observed in the Static Study, chapter 3.1 will probably have an effect on this study as well.
The design wave analysis is based on idealized and conservative representation of the wave loading over time. This should be kept in mind when interpreting the deviations between the HMS and the design analysis.

3.2.4 Conclusion

The findings from this study indicate that stresses arising from local forces and higher order geometric shapes will not be captured sufficiently by the Hull Monitoring System. This is as expected due to the relatively low number of sensors utilized for input, and their ability to capture only the main global mode shapes of the vessel. However, the global deformation shapes considered to be crucial for the long-term structural utilization are captured sufficiently with the current version of the HMS.

3.3 COMPARISON OF RESULTS FROM PHYSICAL STRAIN GAUGES AGAINST VIRTUAL STRAIN GAUGES (TOPIC 2)

The purpose of this study [3] has been to compare physical measurements, primarily strain gauges to output from the HMS (virtual Strain). The strain gauges were located as shown in Figure 2. Data from the physical sensors were logged and stored onboard Havfarm 1 and made available for downloading.
Virtual sensors were placed at the same locations on the Global Model representing the vessel within the HMS.

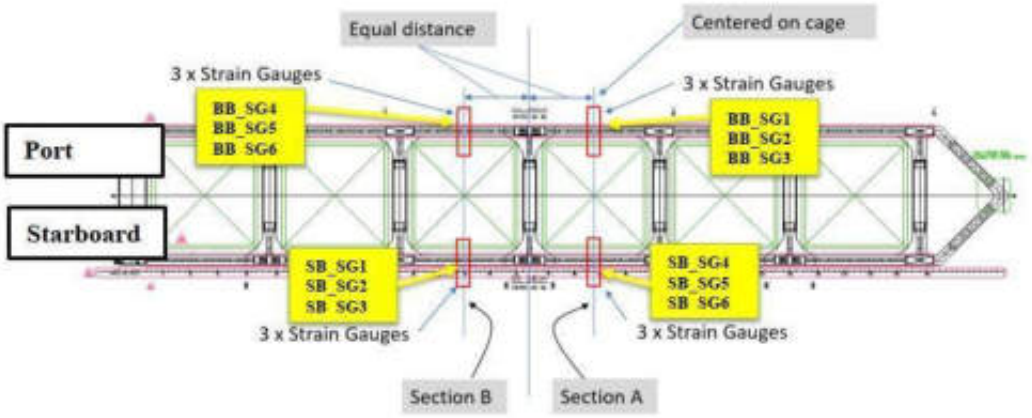


Figure 3 Overview of the instrumented sections of Havfarm1.

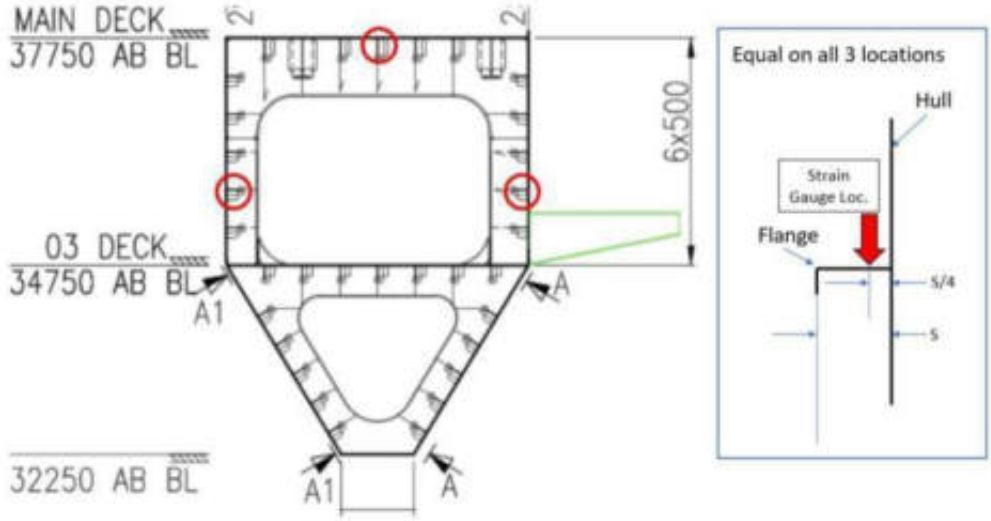


Figure 2 – Overview, locations of strain gauges.

3.3.1 Method

As part of the study, data from the strain gauges was downloaded from Havfarm for four periods spanning from October 2020 to December 2020. Three of the time periods was of short duration, while the fourth had a duration of one week.

The choice of periods to focus was based on weather conditions and stress output from POIs, so that both harsh, normal, and calm weather situations could be analyzed. These datasets were then compared to the datasets with virtual strain measurements originating from the HMS from the same periods.

Several methods were used to create statistics from the datasets for comparison. Fast Fourier Transform (FFT) was used to capture and compare the frequency content from the strain gauges and the output strains from the HMS. Rainflow Counting was used for strain cycle counting to provide input to simplified fatigue evaluations.

3.3.2 Results

Please refer to the study [3] for results.

3.3.3 Assessment

The results from the comparison of physical strain versus strain-output from the HMS is showing that there are deviations between the relative damage calculated with data from the two systems, and that the statistic measurements are somewhat different.

Comparing FFT-plots from the virtual and physical sensors, one can see that there is generally a fair agreement in frequency content from the physical versus the virtual measurements obtained from the HMS.

The observed differences are as expected, since the sensor system (GNSS) captures the global deformations in the structure (Vertical Bending, Horizontal Bending and Longitudinal Torsion) which is used as input to the HMS, while the strain gauges capture strains caused by both global effects and local effects. Local effects may occur when the MRSU is passing, from wave loads, from forces induced by the net pens, slamming loads from waves on lice skirts and so on.

Comparing the output from the HMS to the physical sensors, indications are that there is a better fit between the HMS and physical measurements in harsh weather conditions. This in turn indicates that global deformations captured by the HMS are dominating in such weather conditions.

There are some minor uncertainties with regards to the quality of physical data used in the study. It was observed that the time synchronization could be a bit off at times, and that data was missing for short intervals within the datasets.
Another uncertainty is the accuracy level of the Global Model within the HMS from which the virtual strains are extracted compared to the physical structure. Uncertainties lies within how well the Global Model represents the As Built structure, where deviance in material thickness, position of internal stiffeners as well as the exact location of physical versus virtual sensors may play a role.
The uncertainties discussed are not easily quantified, and some differences must be expected due to these aspects.

3.3.4 Conclusion

Findings are that the Hull Monitoring System performs best in normal to harsh weather conditions. Based on the above findings we conclude that the global motion responses predictions are fit for the purpose.

4 Conclusion

The validation of the Hull Monitoring System is showing that the overall strategy for the monitoring system is met by capturing the most important responses for fatigue assessment.

Observations shows that the response from local wave loads are not well represented by the Hull Monitoring System. However, local effects appear to be contributing to fatigue at a lower degree than global responses.

It is also observed that global deformation shapes considered to be crucial for the long-term structural utilization are captured sufficiently with the current version of the HMS.

The main conclusions are that the Hull Monitoring System captures the most important loading acting on the hull, and that the Hull Monitoring System will provide important information to Nordlaks with respect to structural behavior and utilization in the focused point in the structure.

5 IMPROVEMENTS

During WP5-WP7 and as part of the validation phase of the Hull Monitoring System for Nordlaks Havfarm 1, some areas of improvement are found and listed below. The fact that there are ways of improving the HMS does not mean that the current solution is inadequate but focuses on enhancements that will improve the HMS.
The benefits of improvements listed are not quantified yet, and cost-effectiveness should be evaluated as part of the considerations before starting assessment of improvement work. It is not believed that improvements will change any conclusions given.

5.1.1 Hardware related

- Move existing GNSS sensors to obtain better fit with higher order deformations in areas.
- Add more or other sensors to the structure to "observe" higher order deformations in areas.

5.1.2 Software and data processing

- Filtering of noise from sensordata from GNSS sensors used as input to the HMS.
- Further studies of physical measurements to better understand the real behavior of
- Havfarm 1 and improve methods within the HMS.

5.1.3 Method Digital Twin

- Develop further methodology for actuating the DT with a mode-based approach involving higher order mode shapes.
- Append fatigue damage from local wave effects that is driven by wave conditions or wave radar input, not physical sensors.
- Investigate benefits of using 8-noded elements instead of 4-noded elements in the HMS.

6 References

[1] SAP, "PD-226_Static Comparison HMS to Design Models_R01," 2021.
[2] SAP, "PD-155_Dynamic Comparison HMS to Design Models_R01," 2021.
[3] SAP, PD-360_HBM Strain Data Assessment_R01, 2021.

www.sap.com/contactsap

© 2018 SAP SE or an SAP affiliate company. All rights reserved.
No part of this publication may be reproduced or transmitted in any form or for any purpose without the express permission of SAP SE or an SAP affiliate company.

The information contained herein may be changed without prior notice. Some software products marketed by SAP SE and its distributors contain proprietary software components of other software vendors. National product specifications may vary.

These materials are provided by SAP SE or an SAP affiliate company for informational purposes only, without representation or warranty of any kind, and SAP or its affiliated companies shall not be liable for errors or omissions with respect to the materials. The only warranties for SAP or SAP affiliate company products and services are those that are set forth in the express warranty statements accompanying such products and services, if any. Nothing herein should be construed as constituting an additional warranty.

In particular, SAP SE or its affiliated companies have no obligation to pursue any course of business outlined in this document or any related presentation, or to develop or release any functionality mentioned therein. This document, or any related presentation, and SAP SE's or its affiliated companies' strategy and possible future developments, products, and/or platform directions and functionality are all subject to change and may be changed by SAP SE or its affiliated companies at any time for any reason without notice. The information in this document is not a commitment, promise, or legal obligation to deliver any material, code, or functionality. All forward-looking statements are subject to various risks and uncertainties that could cause actual results to differ materially from expectations. Readers are cautioned not to place undue reliance on these forward-looking statements, and they should not be relied upon in making purchasing decisions.

SAP and other SAP products and services mentioned herein as well as their respective logos are trademarks or registered trademarks of SAP SE (or an SAP affiliate company) in Germany and other countries. All other product and service names mentioned are the trademarks of their respective companies. See www.sap.com/copyright for additional trademark information and notices.

THE BEST RUN SAP

Stress Comparison – Static Load Cases

7 Waves vs. SAP

Havfarm 1

Document.:	Stress comparison – Static LCs – 7 Waves vs. SAP - Havfarm 1	Date:	24.03.2021
By:	Kristian Sætertrø	Rev:	01

THE BEST RUN SAP

REVISION CHANGELOG

Rev.	Date	Description
01	24.03.2021	First issue

1 Table of Contents

1. INTRODUCTION 3
1.1 Reference coordinate system 3
1.2 Structural support points 3
2 LOAD CASES 3
2.1 Boundary conditions and loads (LC1) 4
2.2 Boundary conditions and loads (LC2) 4
2.3 Boundary conditions and loads (LC3) 4
3 POINTS OF INTEREST 5
4 RESULTS 6
4.1 POI 1 6
4.1.1 POI 1 – Mesh 6
4.1.2 POI 1 – Stress results 6
4.1.3 POI 1 – Stress plots 7
4.2 POI 10 9
4.2.1 POI 10 – Mesh 9
4.2.2 POI 10 – Stress results 9
4.2.3 POI 10 – Stress plots 10
4.3 POI 11 12
4.3.1 POI 11 – Mesh 12
4.3.2 POI 11 – Stress results 12
4.3.3 POI 11 – Stress plots 13
4.4 POI 16 15
4.4.1 POI 16 – Mesh 15
4.4.2 POI 16 – Stress results 15
4.4.3 POI 16 – Stress plots 16
4.5 POI 17 18
4.5.1 POI 17 – Mesh 18
4.5.2 POI 17 – Stress results 18
4.5.3 POI 17 – Stress plots 19
4.6 Level 1 – Submodel – Stress plot comparison 21
4.7 7 Waves – Element stress results 24
4.8 Overall result comparison, tabular format 25
5 DISCUSSION 25
6 CONCLUSION 27
7 SAP CONTACT DETAILS 27

1. INTRODUCTION

As part of the finite element model check/verification of the Havfarm structure, a comparison between stress results between 7 Waves (using SESAM software) and SAP (using Fedem Simulation Software) for a set of 3 specified load cases has been performed.

1.1 Reference coordinate system

All coordinates in this document are related to a global right hand coordinate system where positive X has direction from rear to front of the vessel, positive Z is vertical upward.

1.2 Structural support points

The points shown below (12x) is used for applying constraints and loads to the Havfarm model for the 3 load cases that is emulated in the static comparison.

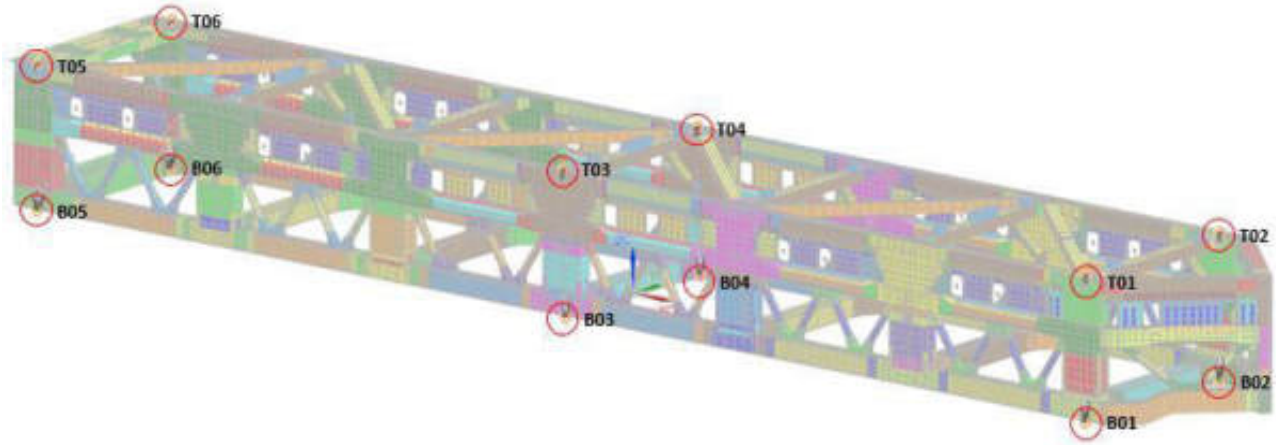
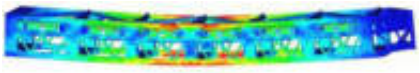


Figure 1 - Finite element interface points on the Havfarm structure shown by red circles

2 LOAD CASES

Three load cases (vertical bending, horizontal bending, and torsional twisting condition) are used to cover the three main global mode-shapes for of the structure.

LC 1
Vertical Bending



LC 2
Horizontal Bending

LC 3
Torsional Twist

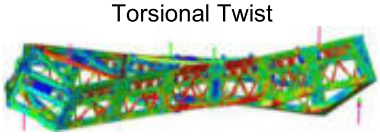


Figure 2 – Load case overview

2.1 Boundary conditions and loads (LC1)

Table 1 - Boundary conditions and loading for load case 1

Inter-face point	Constraints						Loads [N] / [Nm]					
	Tx	Ty	Tz	Rx	Ry	Rz	Tx	Ty	Tz	Rx	Ry	Rz
T01	Free	Free	Free	na	na	na	na	na	na	na	na	na
T02	Free	Free	Free	na	na	na	na	na	na	na	na	na
T03	Free	Free	Free	na	na	na	na	na	-2.85e7	na	na	na
T04	Free	Free	Free	na	na	na	na	na	-2.85e7	na	na	na
T05	Free	Free	Free	na	na	na	na	na	na	na	na	na
T06	Free	Free	Free	na	na	na	na	na	na	na	na	na
B01	Free	Free	Fix	na	na	na	na	na	na	na	na	na
B02	Free	Fix	Fix	na	na	na	na	na	na	na	na	na
B03	Free	Free	Free	na	na	na	na	na	na	na	na	na
B04	Free	Free	Free	na	na	na	na	na	na	na	na	na
B05	Fix	Free	Fix	na	na	na	na	na	na	na	na	na
B06	Fix	Fix	Fix	na	na	na	na	na	na	na	na	na

2.2 Boundary conditions and loads (LC2)

Table 2 - Boundary conditions and loading for load case 2

Inter-face point	Constraints						Loads [N] / [Nm]					
	Tx	Ty	Tz	Rx	Ry	Rz	Tx	Ty	Tz	Rx	Ry	Rz
T01	Free	Free	Free	na	na	na	na	na	na	na	na	na
T02	Free	Fix	Fix	na	na	na	na	na	na	na	na	na
T03	Free	Free	Free	na	na	na	na	5.6e7	na	na	na	na
T04	Free	Free	Free	na	na	na	na	na	na	na	na	na
T05	Free	Free	Free	na	na	na	na	na	na	na	na	na
T06	Free	Fix	Fix	na	na	na	na	na	na	na	na	na
B01	Free	Free	Free	na	na	na	na	na	na	na	na	na
B02	Free	Fix	Free	na	na	na	na	na	na	na	na	na
B03	Free	Free	Free	na	na	na	na	5.6e7	na	na	na	na
B04	Free	Free	Free	na	na	na	na	na	na	na	na	na
B05	Free	Free	Free	na	na	na	na	na	na	na	na	na
B06	Fix	Fix	Free	na	na	na	na	na	na	na	na	na

2.3 Boundary conditions and loads (LC3)

Table 3 - Boundary conditions and loading for load case #3

Inter-face point	Constraints						Loads [N] / [Nm]					
	Tx	Ty	Tz	Rx	Ry	Rz	Tx	Ty	Tz	Rx	Ry	Rz
T01	Free	Free	Free	na	na	na	na	na	3.3e7	na	na	na
T02	Free	Free	Free	na	na	na	na	na	-3.3e7	na	na	na
T03	Fix	Fix	Fix	na	na	na	na	na	na	na	na	na
T04	Fix	Fix	Fix	na	na	na	na	na	na	na	na	na
T05	Free	Free	Free	na	na	na	na	na	-3.3e7	na	na	na
T06	Free	Free	Free	na	na	na	na	na	3.3e7	na	na	na
B01	Free	Free	Free	na	na	na	na	na	3.3e7	na	na	na
B02	Free	Free	Free	na	na	na	na	na	-3.3e7	na	na	na
B03	Fix	Fix	Fix	na	na	na	na	na	na	na	na	na
B04	Fix	Fix	Fix	na	na	na	na	na	na	na	na	na
B05	Free	Free	Free	na	na	na	na	na	-3.3e7	na	na	na
B06	Free	Free	Free	na	na	na	na	na	3.3e7	na	na	na

3 POINTS OF INTEREST

The different points of interest on the structure is seen in the figure below, in this study the following POIs are included:

- **POI 01**
- **POI 10**
- **POI 11**
- **POI 16**
- **POI 17**

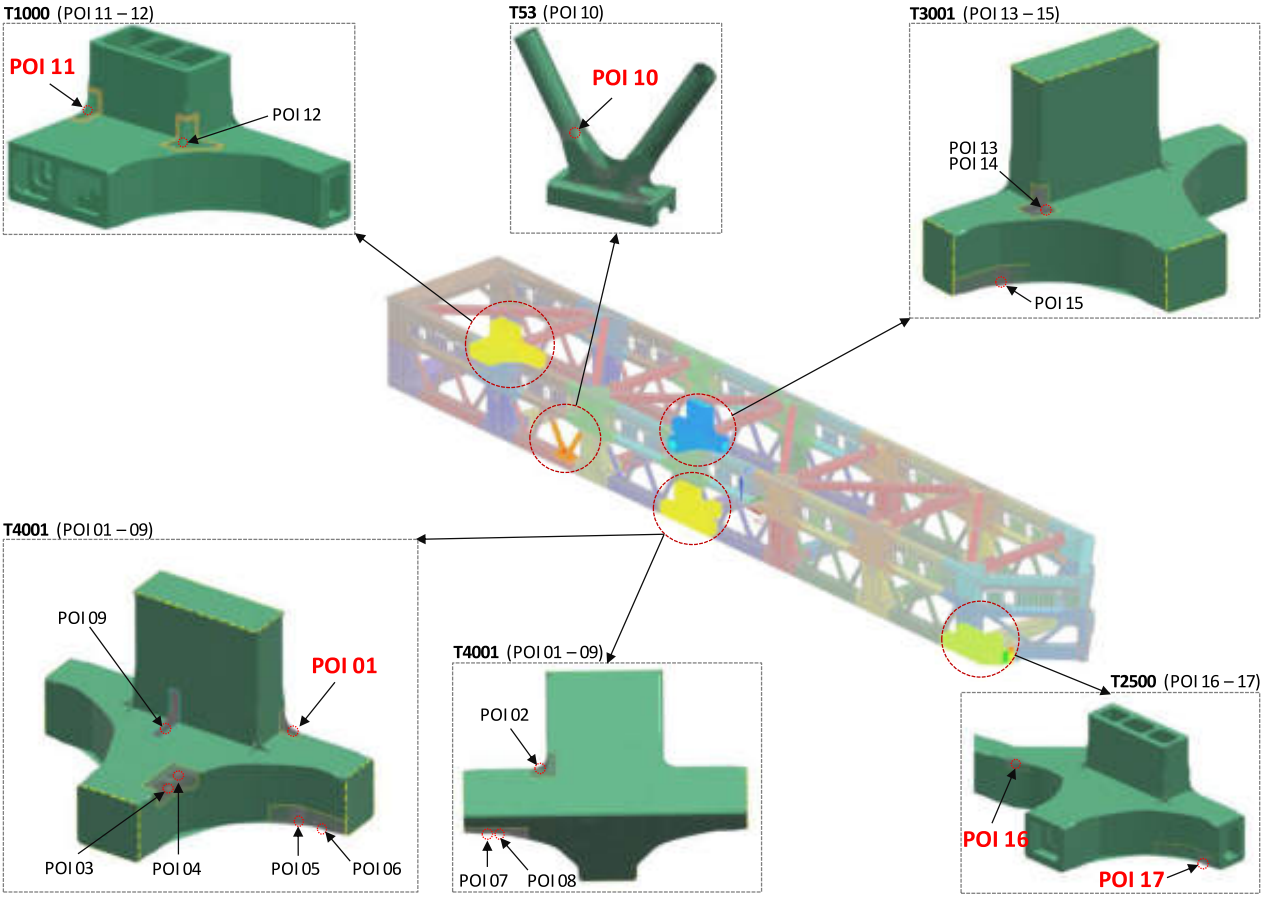


Figure 3 – The points studies in this report is denoted in red in the figure

4 RESULTS

Results for each point of interest are presented in the following sub-chapters.

4.1 POI 1

4.1.1 POI 1 – Mesh

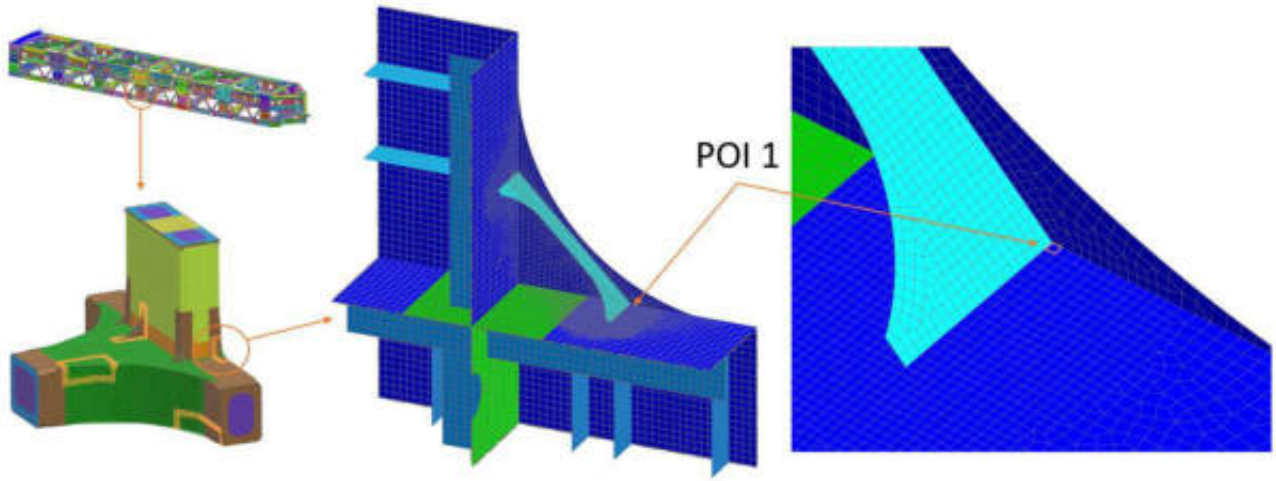


Figure 4 – POI 1 – Finite element mesh

4.1.2 POI 1 – Stress results

Table 4 – Stress comparison between 7 Waves and SAP analysis models

Load Case / Stress location		POI 1 Principal stresses [MPa]							
		Max Princ.				*Min Princ.*			
		***7W** average*	***SAP** average*	*Diff Abs.*	*Diff. Ratio*	***7W** average*	***SAP** average*	*Diff Abs.*	*Diff. Ratio*
LC 1	Top surface	140.0	123.6	-16.4	88 %	-19.8	-20.6	-0.7	104 %
	Bottom surface	101.4	93.9	-7.5	93 %	21.9	27.3	5.4	125 %
LC2	Top surface	17.0	19.9	2.8	116 %	-276.3	-260.2	16.0	94 %
	Bottom surface	-43.0	-48.1	-5.1	112 %	-170.0	-164.1	5.9	97 %
LC3	Top surface	211.3	191.3	-20.0	91 %	-5.0	-7.5	-2.5	149 %
	Bottom surface	127.6	118.1	-9.5	93 %	15.8	13.3	-2.5	84 %

4.1.3 POI 1 – Stress plots

4.1.3.1 POI 1 – LC 1 – VonMises Stress

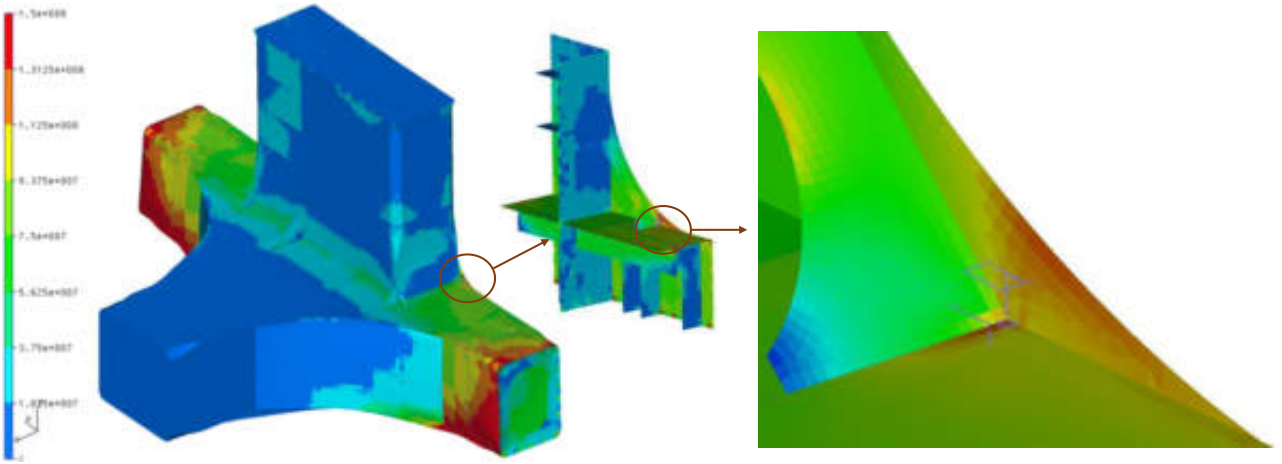


Figure 5 – POI 1 – LC1 – VonMises Stress (Scale: 0-150 MPa)

4.1.3.2 POI1 – LC 2 – VonMises Stress

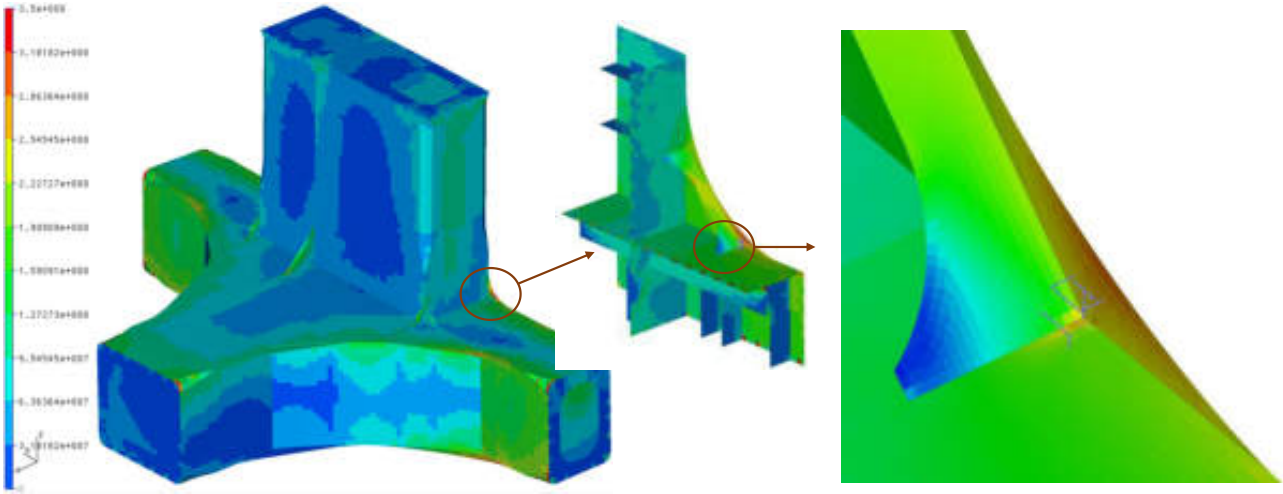


Figure 6 – POI 1 – LC1 – VonMises Stress (Scale: 0-350 MPa)

4.1.3.3 POI1 – LC 3 – VonMises Stress

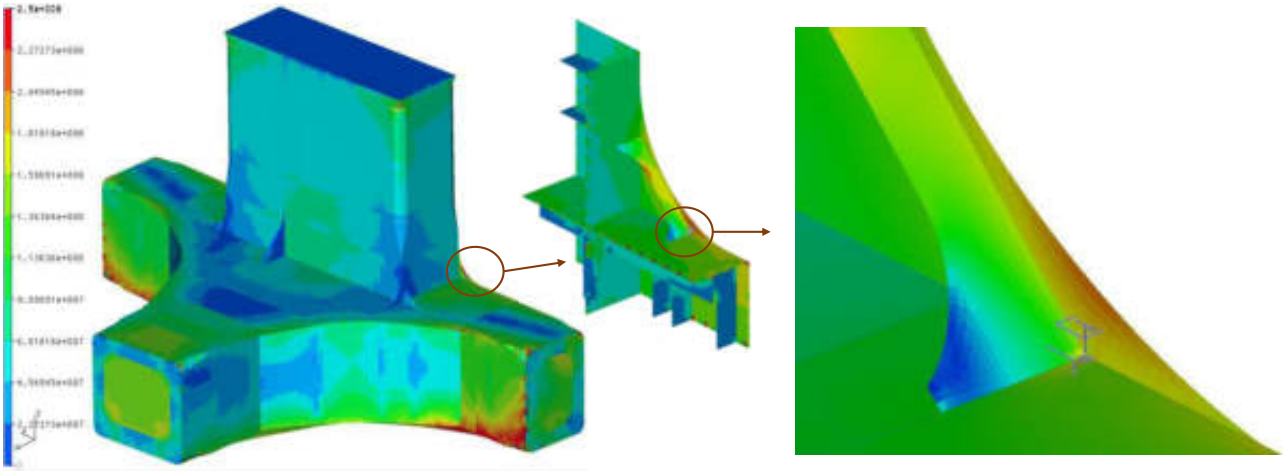


Figure 7 – POI 1 – LC3 – VonMises Stress (Scale: 0-250 MPa)

4.1.3.4 POI1 – LC 1 – Max Principal Stress – Upper Surface – 7 Waves (Sesam) vs SAP

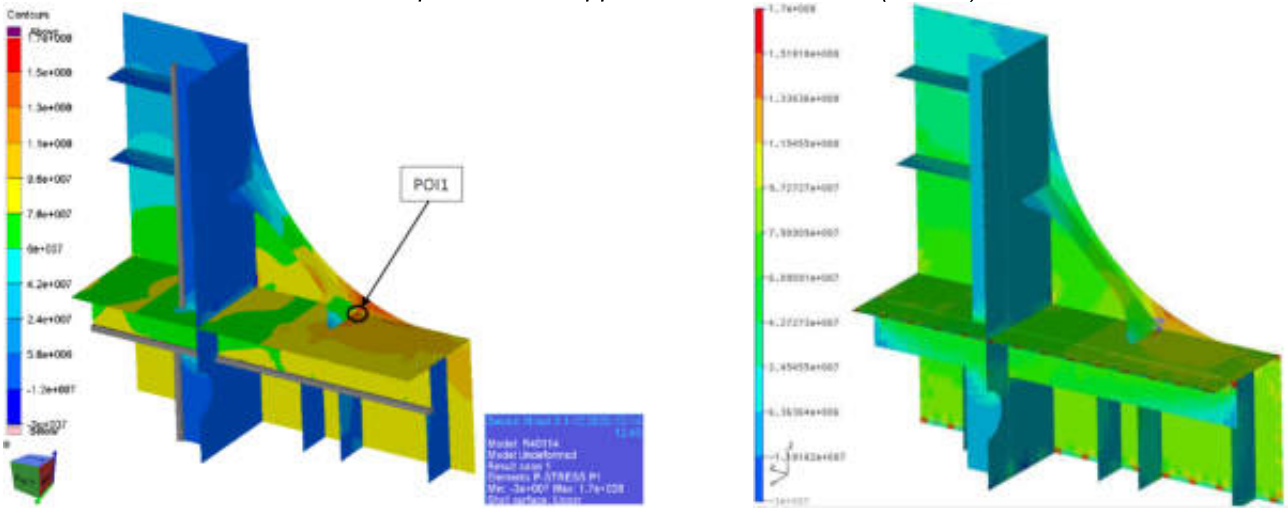


Figure 8 – POI 1 – LC1 – Max Principal Stress – Upper Surface (Scale: -30 -> 170 MPa)

4.1.3.5 POI1 – LC 2 – Max Principal Stress – Upper Surface – 7 Waves (Sesam) vs SAP

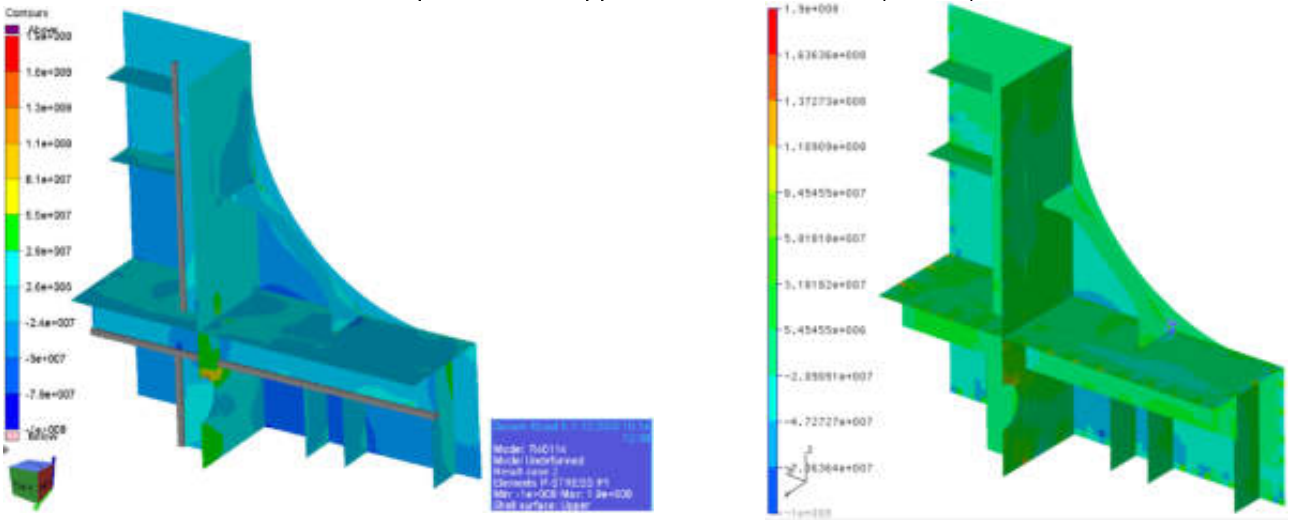


Figure 9 – POI 1 – LC2 – Max Principal Stress – Upper Surface (Scale: -100 -> 190 MPa)

4.1.3.6 POI1 – LC 3 – Max Principal Stress – Upper Surface – 7 Waves (Sesam) vs SAP

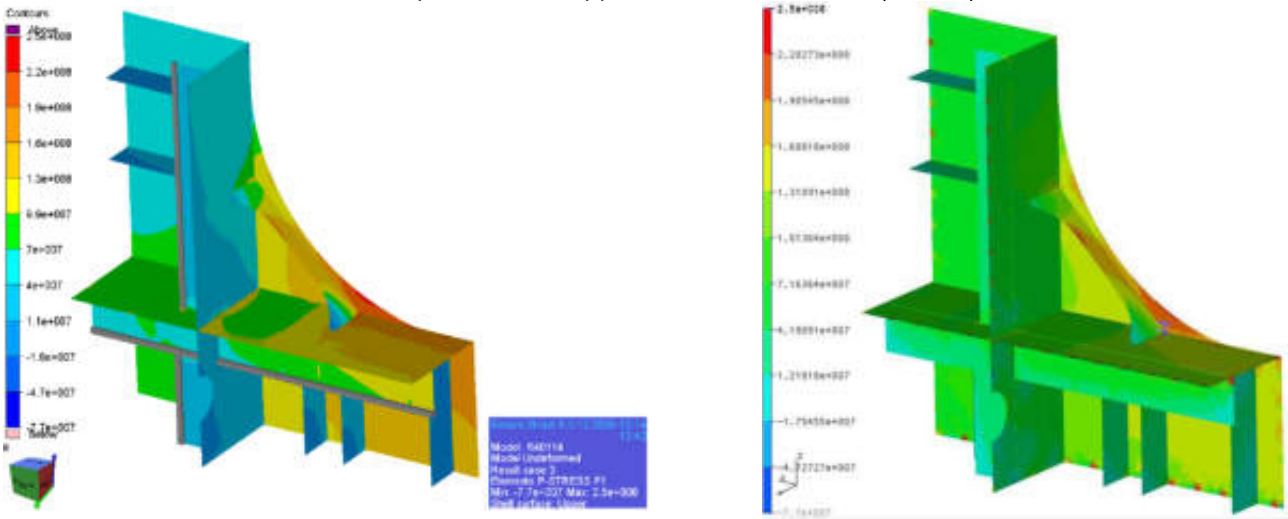


Figure 10 – POI 1 – LC3 – Max Principal Stress – Upper Surface (Scale: -77 -> 250 MPa)

4.2 POI 10

4.2.1 POI 10 – Mesh

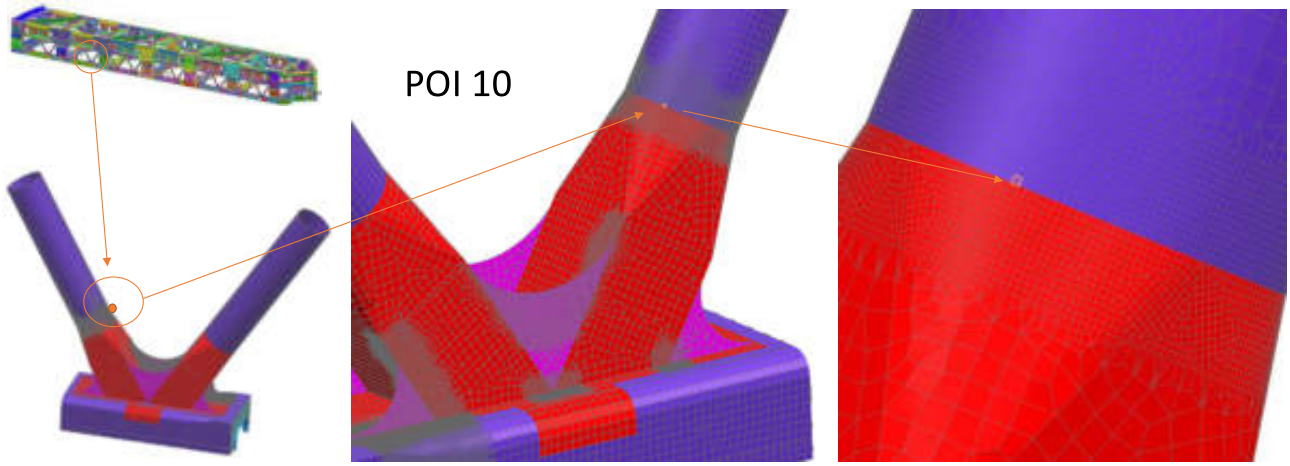


Figure 11 – POI 10 – Finite element mesh

4.2.2 POI 10 – Stress results

Table 5 – Stress comparison between 7 Waves and SAP analysis models

Load Case / Stress location		POI 10							
		Principal stresses [MPa]							
		Max Princ.				*Min Princ.*			
		***7W** average*	***SAP** average*	*Diff Abs.*	*Diff. Ratio*	***7W** average*	***SAP** average*	*Diff Abs.*	*Diff. Ratio*
LC 1	Top surface	231.3	238.4	7.2	103 %	126.3	123.9	-2.4	98 %
	Bottom surface	-71.6	-71.5	0.1	100 %	-89.5	-87.0	2.5	97 %
LC2	Top surface	123.8	147.1	23.4	119 %	71.4	83.5	12.2	117 %
	Bottom surface	-56.0	-66.4	-10.4	119 %	-67.0	-82.1	-15.1	123 %
LC3	Top surface	-343.8	-344.5	-0.8	100 %	-625.0	-648.4	-23.4	104 %
	Bottom surface	256.3	252.2	-4.0	98 %	222.5	222.4	-0.1	100 %

4.2.3 POI 10 – Stress plots

4.2.3.1 POI 10 – LC 1 – VonMises Stress

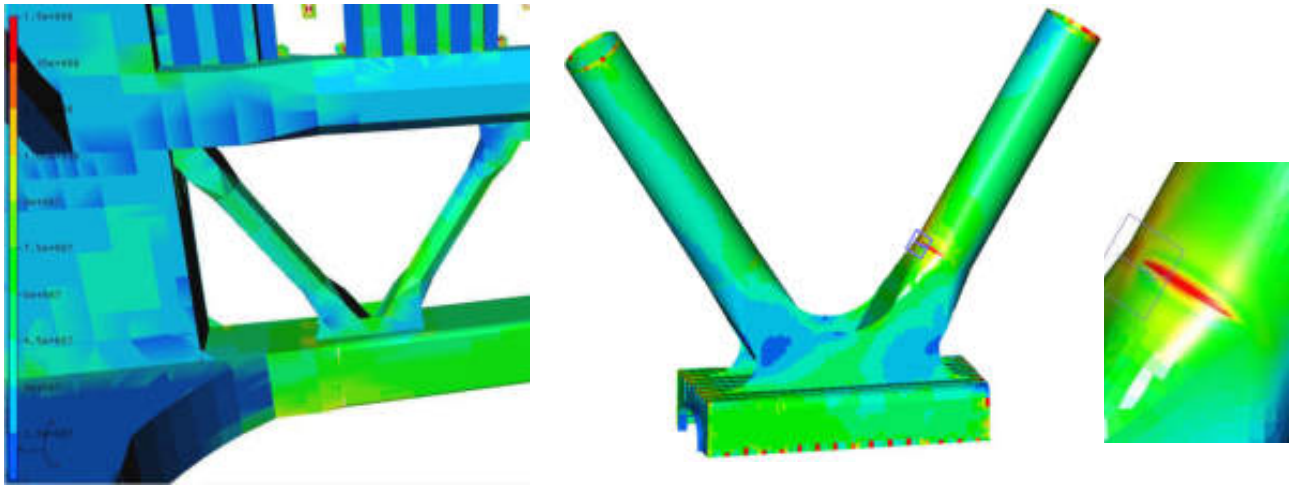


Figure 12 – POI 10 – LC1 – VonMises Stress (Scale: 0-150 MPa)

4.2.3.2 POI 10 – LC 2 – VonMises Stress

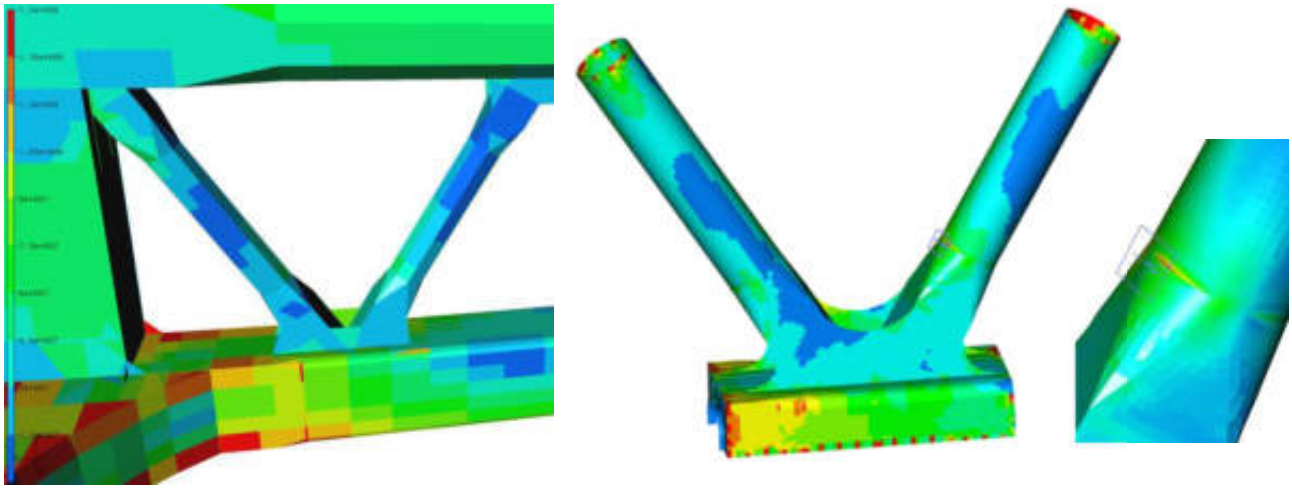


Figure 13 – POI 10 – LC1 – VonMises Stress (Scale: 0-150 MPa)

4.2.3.3 POI 10 – LC 3 – VonMises Stress

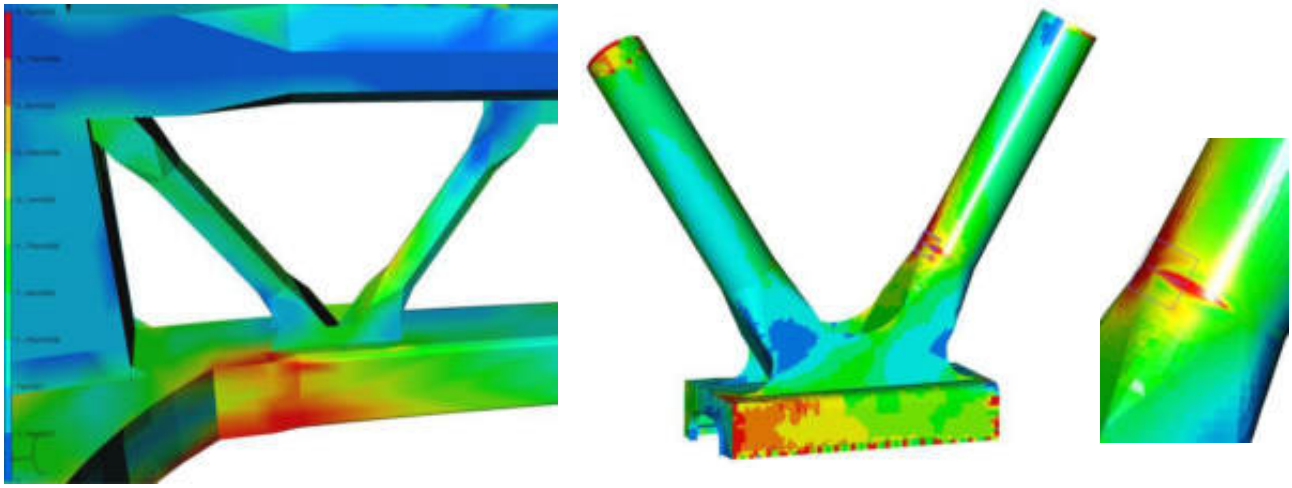


Figure 14 – POI 10 – LC3 – VonMises Stress (Scale: 0-350 MPa)

4.2.3.4 POI10 – LC 1 – Max Principal Stress – Upper Surface – 7 Waves (Sesam) vs SAP

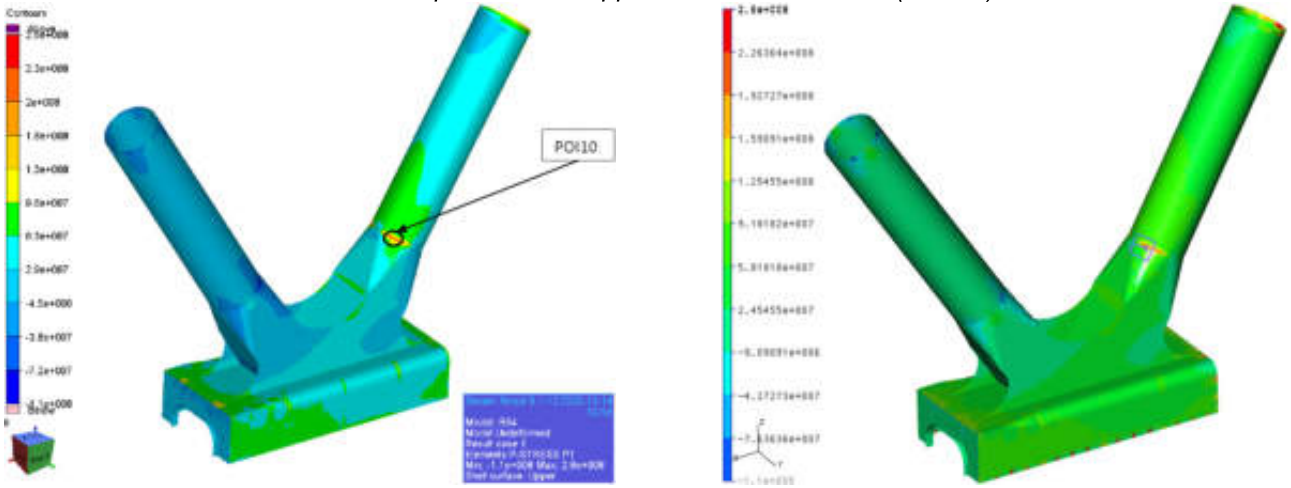


Figure 15 – POI 10 – LC1 – Max Principal Stress – Upper Surface (Scale: -110 -> 260 MPa)

4.2.3.5 POI10 – LC 2 – Max Principal Stress – Upper Surface – 7 Waves (Sesam) vs SAP

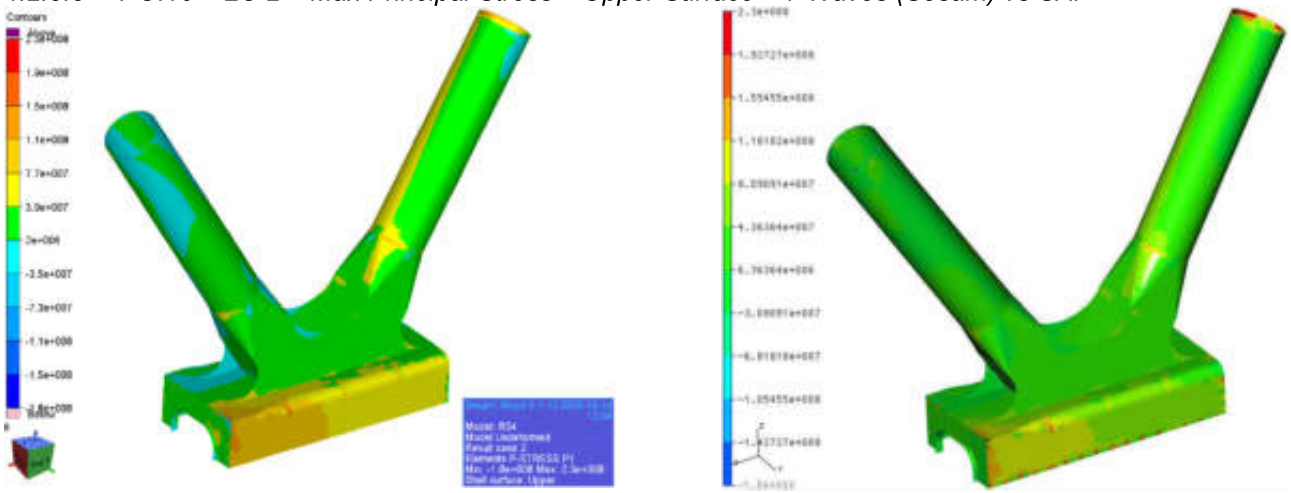


Figure 16 – POI 10 – LC2 – Max Principal Stress – Upper Surface (Scale: -180 -> 230 MPa)

4.2.3.6 POI10 – LC 3 – Max Principal Stress – Upper Surface – 7 Waves (Sesam) vs SAP

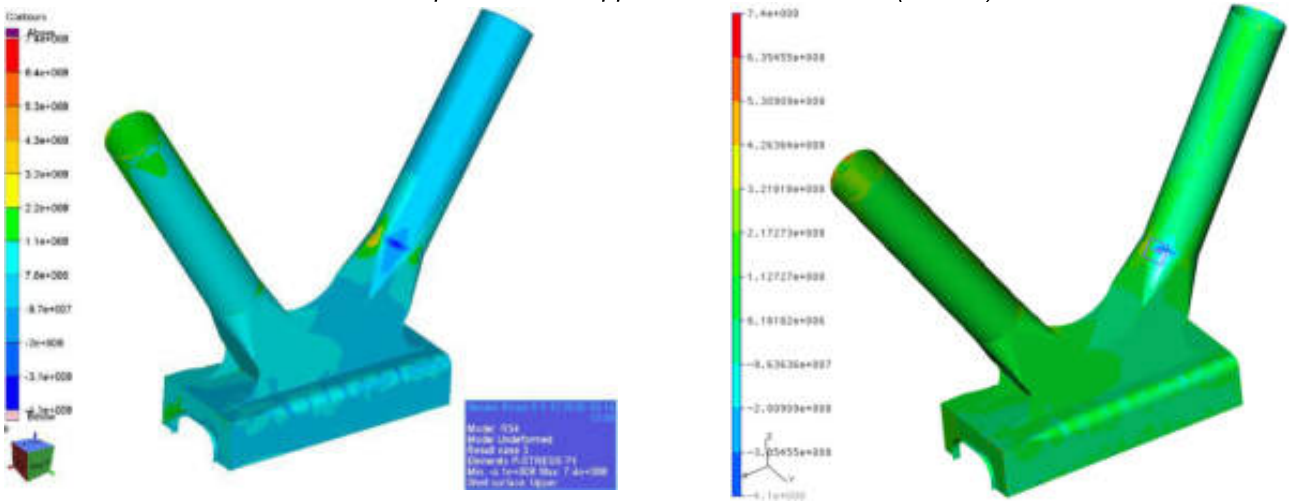


Figure 17 – POI 10 – LC3 – Max Principal Stress – Upper Surface (Scale: -410 -> 740 MPa)

4.3 POI 11

4.3.1 POI 11 – Mesh

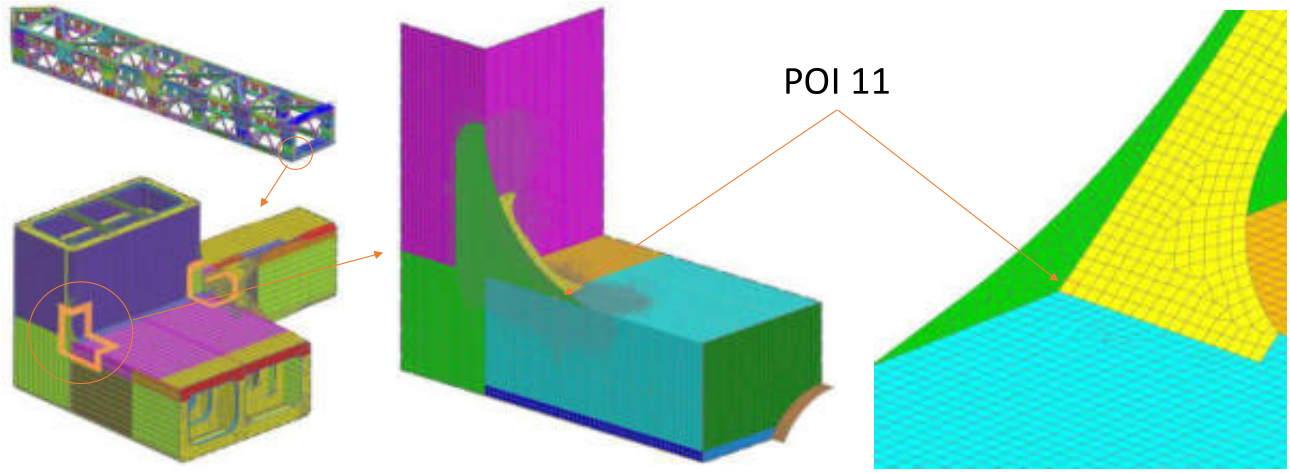


Figure 18 – POI 11– Finite element mesh

4.3.2 POI 11 – Stress results

Table 6 – Stress comparison between 7 Waves and SAP analysis models

Load Case / Stress location		POI 11 Principal stresses [MPa]							
		Max Princ.				*Min Princ.*			
		***7W** average*	***SAP** average*	*Diff Abs.*	*Diff. Ratio*	***7W** average*	***SAP** average*	*Diff Abs.*	*Diff. Ratio*
LC 1	Top surface	-0.7	-0.7	0.0	101 %	-5.7	-5.2	0.5	92 %
	Bottom surface	0.2	-0.1	-0.3	-38 %	-4.3	-3.8	0.4	90 %
LC2	Top surface	-9.2	-9.4	-0.2	102 %	-72.5	-67.1	5.4	93 %
	Bottom surface	15.9	11.7	-4.2	74 %	-44.9	-41.7	3.2	93 %
LC3	Top surface	681.3	751.8	70.6	110 %	-5.4	-5.7	-0.4	107 %
	Bottom surface	431.3	474.8	43.5	110 %	45.8	104.6	58.8	228 %

4.3.3 POI 11 – Stress plots

4.3.3.1 POI 11 – LC 1 – VonMises Stress

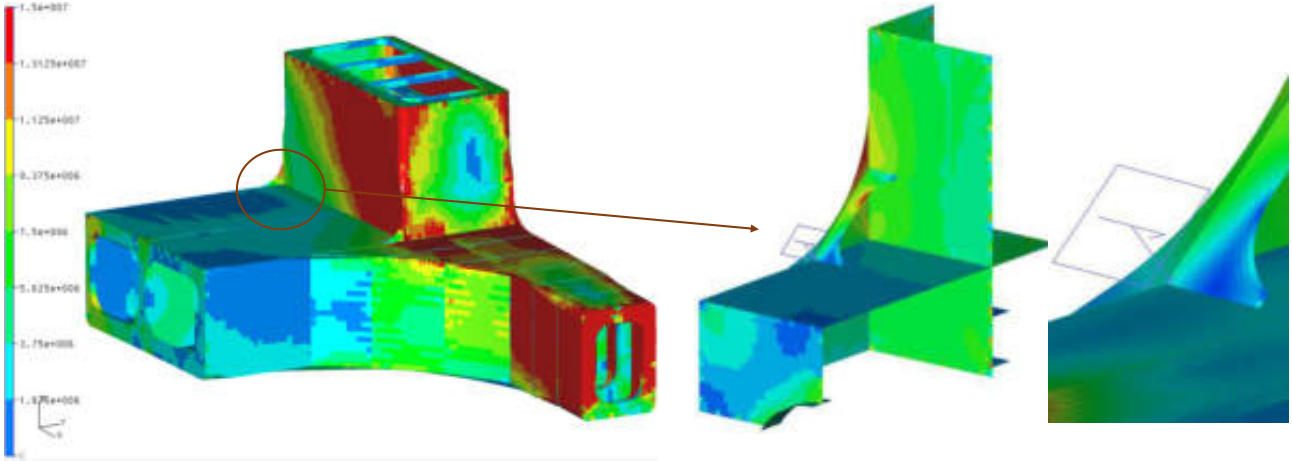


Figure 19 – POI 11 – LC1 – VonMises Stress (Scale: 0-15 MPa)

4.3.3.2 POI 11 – LC 2 – VonMises Stress

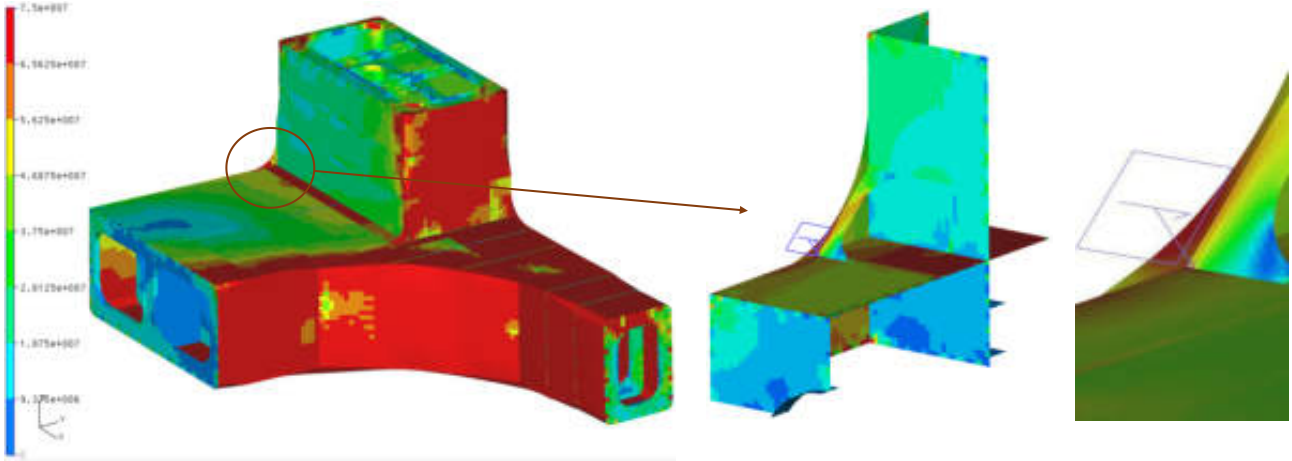


Figure 20 – POI 11 – LC1 – VonMises Stress (Scale: 0-75 MPa)

4.3.3.3 POI 11 – LC 3 – VonMises Stress

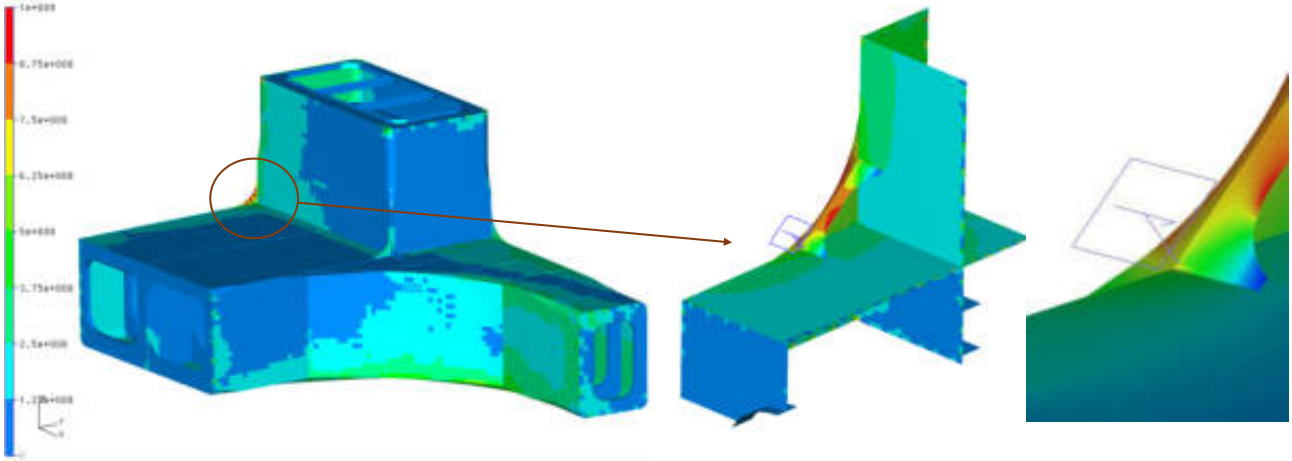


Figure 21 – POI 11 – LC3 – VonMises Stress (Scale: 0-1000MPa)

4.3.3.4 POI11 – LC 1 – Max Principal Stress – Upper Surface – 7 Waves (Sesam) vs SAP

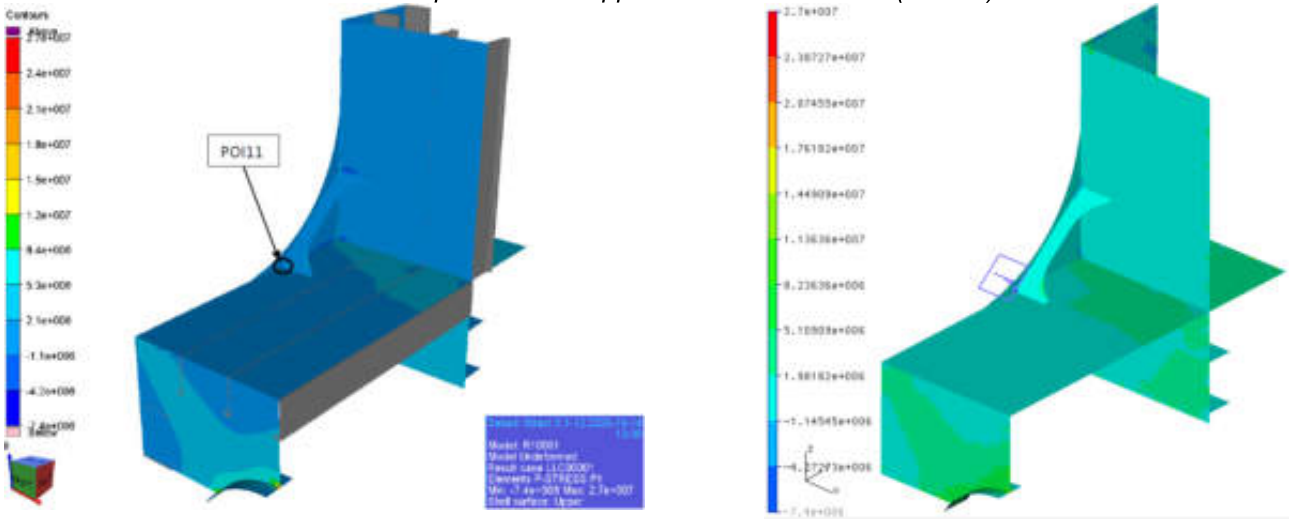


Figure 22 – POI 11 – LC1 – Max Principal Stress – Upper Surface (Scale: -7.4 -> 27 MPa)

4.3.3.5 POI11 – LC 2 – Max Principal Stress – Upper Surface – 7 Waves (Sesam) vs SAP

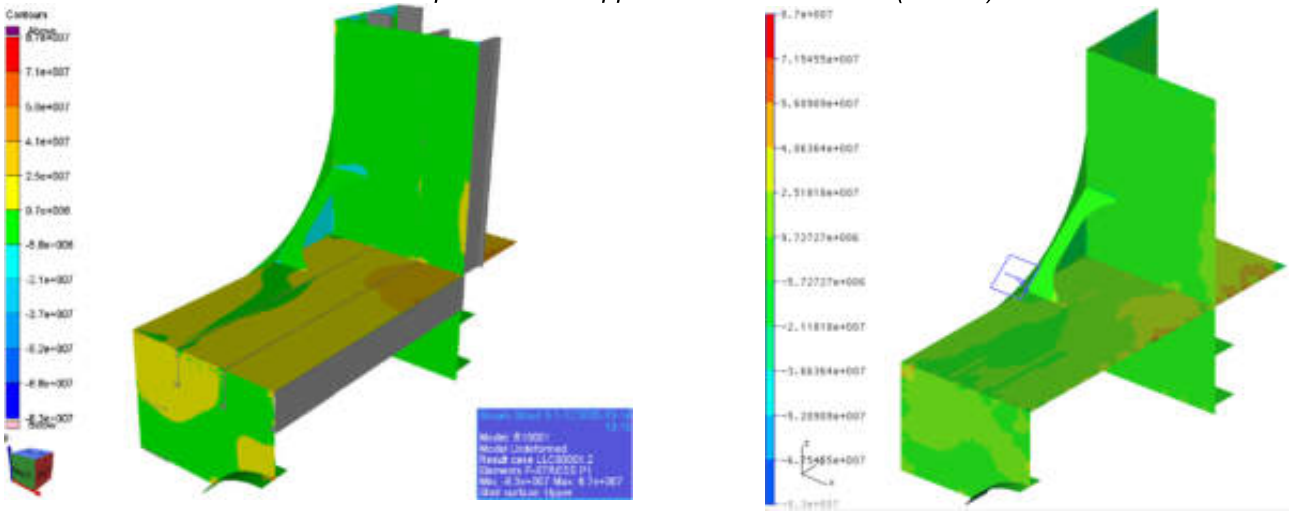


Figure 23 – POI 11 – LC2 – Max Principal Stress – Upper Surface (Scale: -83 -> 87 MPa)

4.3.3.6 POI11 – LC 3 – Max Principal Stress – Upper Surface – 7 Waves (Sesam) vs SAP

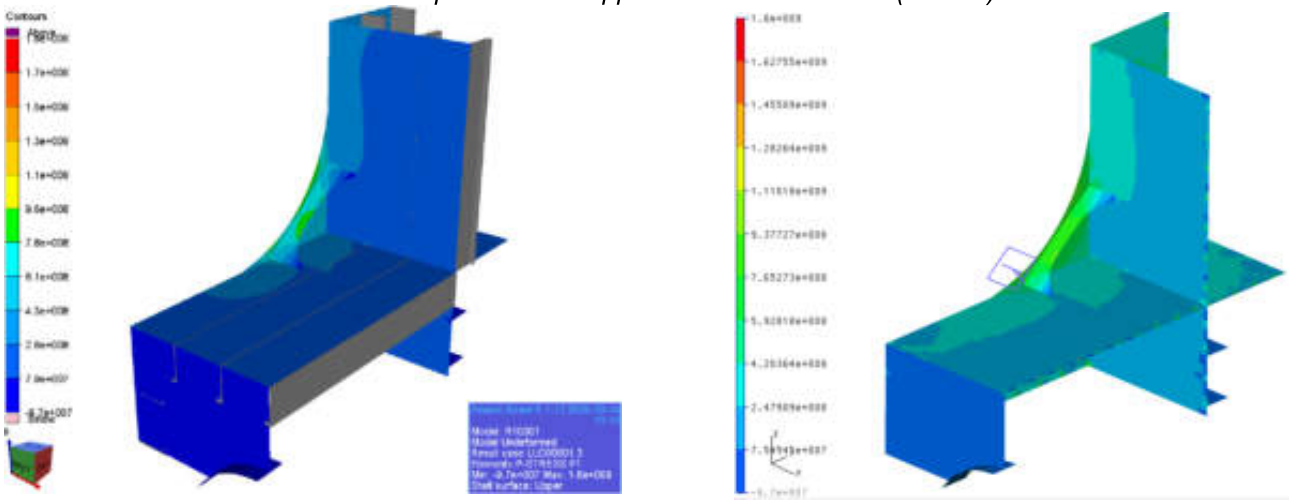


Figure 24 – POI 11 – LC3 – Max Principal Stress – Upper Surface (Scale: -97 -> 1800 MPa)

4.4 POI 16

4.4.1 POI 16 – Mesh

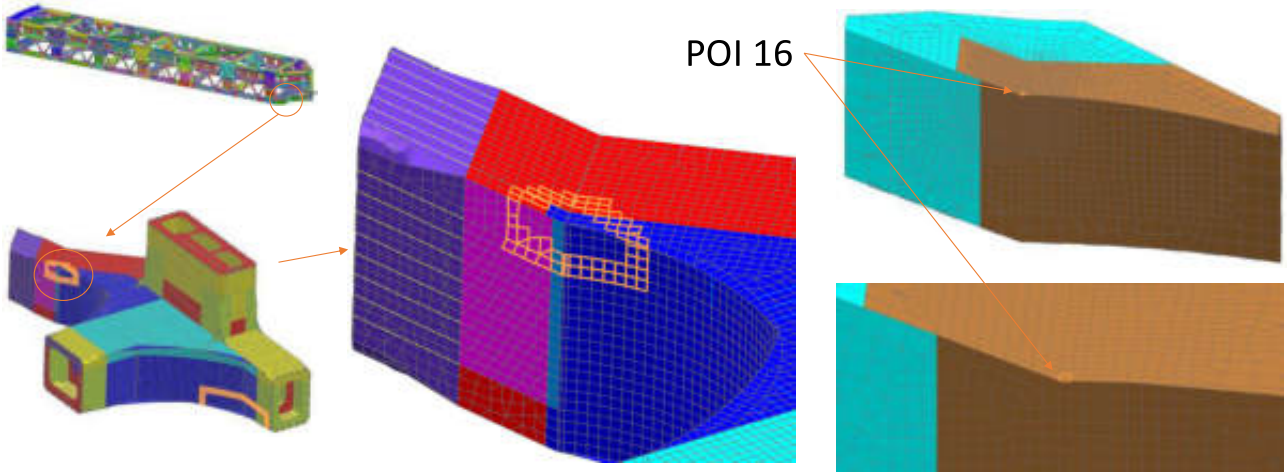


Figure 25 – POI 16 – Finite element mesh

4.4.2 POI 16 – Stress results

Table 7 – Stress comparison between 7 Waves and SAP analysis models

Load Case / Stress location		POI 16 Principal stresses [MPa]							
		Max Princ.				*Min Princ.*			
		***7W** average*	***SAP** average*	*Diff Abs.*	*Diff. Ratio*	***7W** average*	***SAP** average*	*Diff Abs.*	*Diff. Ratio*
LC 1	Top surface	8.8	12.3	3.5	140 %	-0.8	-1.4	-0.6	167 %
	Bottom surface	4.8	8.2	3.5	172 %	1.4	1.7	0.3	126 %
LC2	Top surface	12.1	20.3	8.2	167 %	-202.5	-195.6	6.9	97 %
	Bottom surface	-18.5	-25.1	-6.6	136 %	-88.5	-101.4	-12.9	115 %
LC3	Top surface	44.4	70.2	25.8	158 %	-698.8	-674.4	24.4	97 %
	Bottom surface	-70.1	-85.6	-15.5	122 %	-320.8	-361.6	-40.8	113 %

4.4.3 POI 16 – Stress plots

4.4.3.1 POI 16 – LC 1 – VonMises Stress

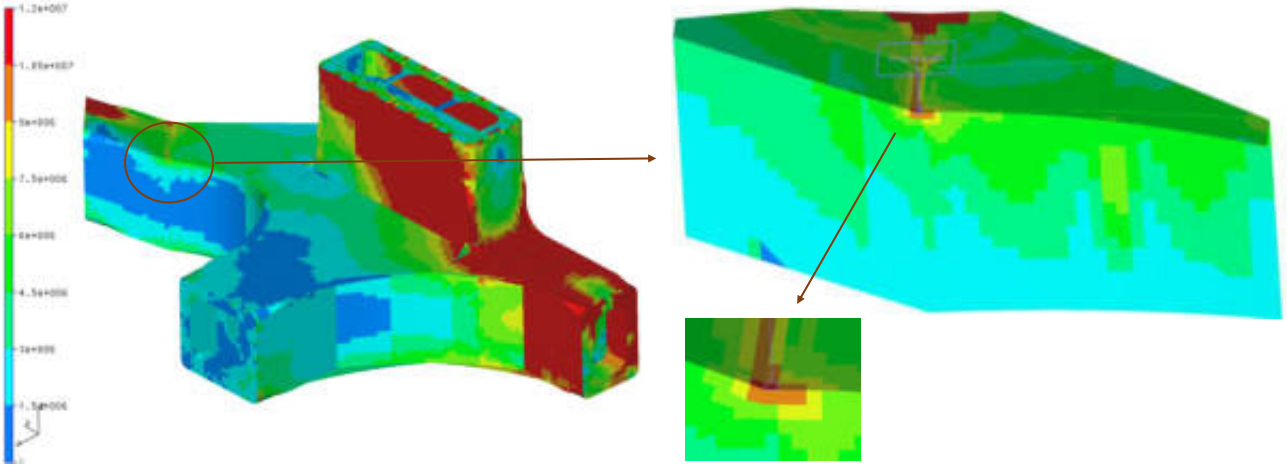


Figure 26 – POI 16 – LC1 – VonMises Stress (Scale: 0-12 MPa)

4.4.3.2 POI 16 – LC 2 – VonMises Stress

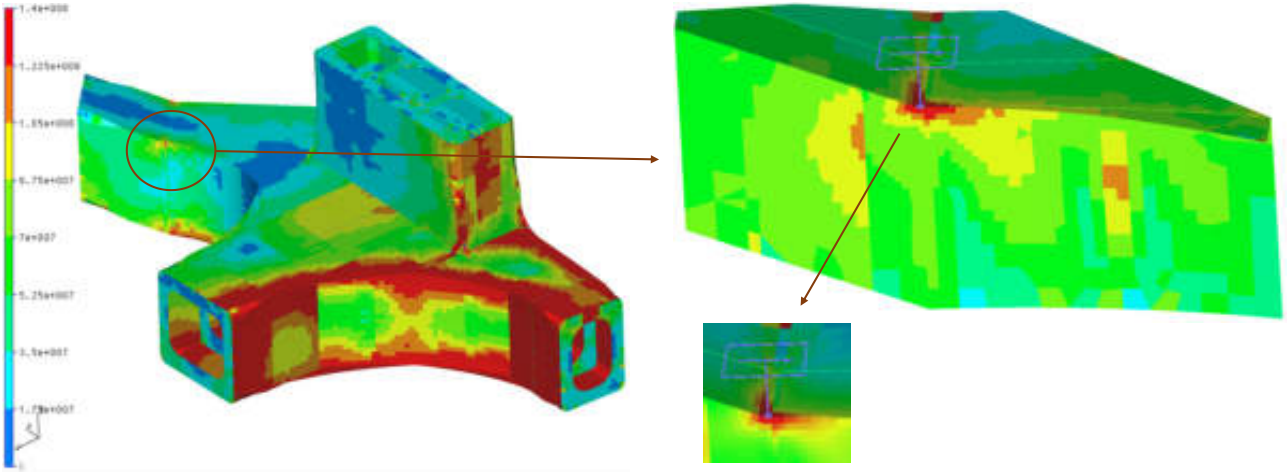


Figure 27 – POI 16 – LC1 – VonMises Stress (Scale: 0-140 MPa)

4.4.3.3 POI 16 – LC 3 – VonMises Stress

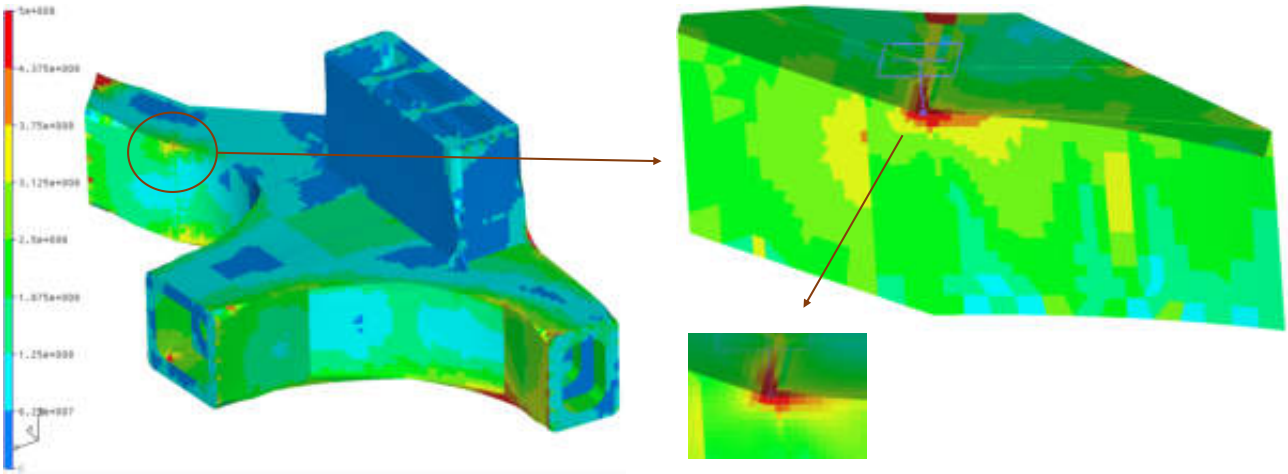


Figure 28 – POI 16 – LC3 – VonMises Stress (Scale: 0-500MPa)

4.4.3.4 POI16 – LC 1 – Max Principal Stress – Upper Surface – 7 Waves (Sesam) vs SAP

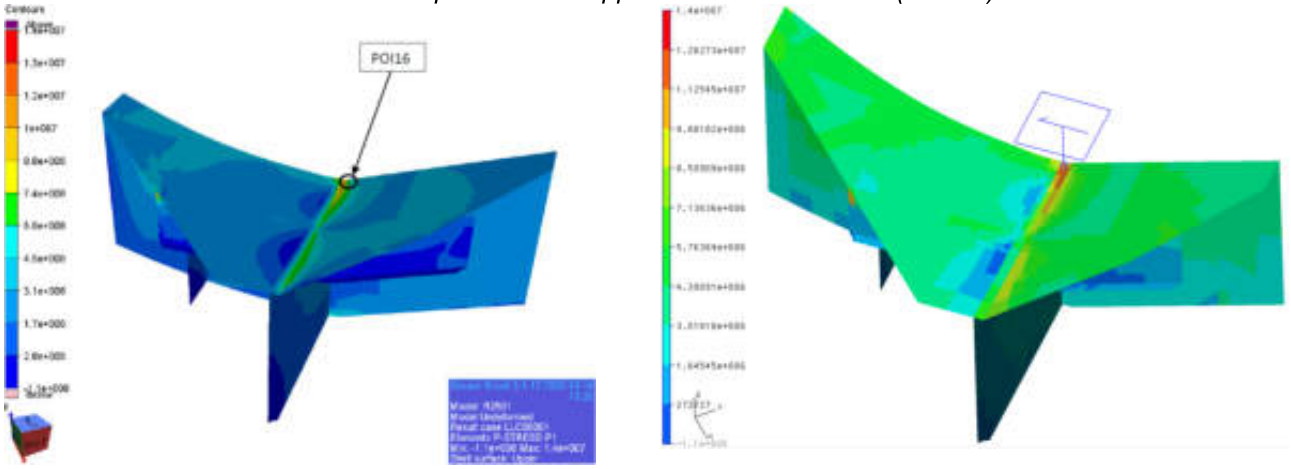


Figure 29 – POI 16 – LC1 – Max Principal Stress – Upper Surface (Scale: -1.1 -> 14 MPa)

4.4.3.5 POI16 – LC 2 – Max Principal Stress – Upper Surface – 7 Waves (Sesam) vs SAP

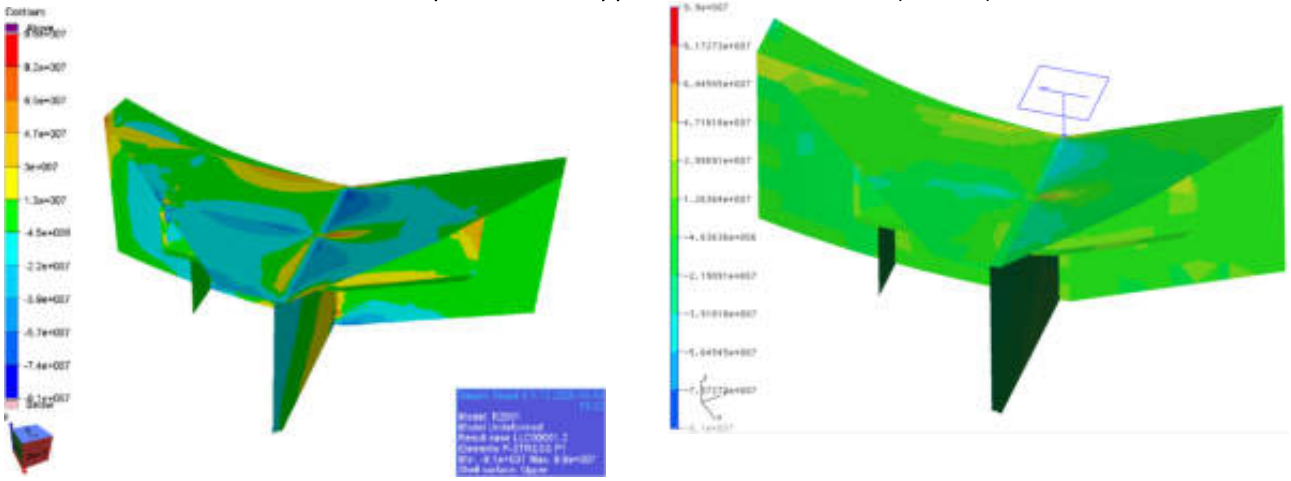


Figure 30 – POI 16 – LC2 – Max Principal Stress – Upper Surface (Scale: -91 -> 99 MPa)

4.4.3.6 POI16 – LC 3 – Max Principal Stress – Upper Surface – 7 Waves (Sesam) vs SAP

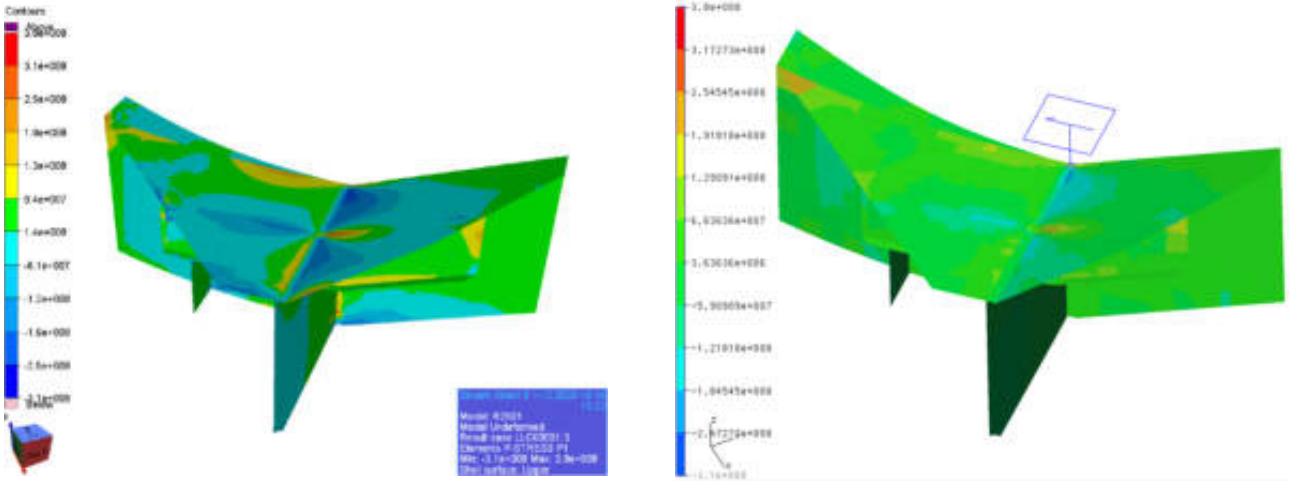


Figure 31 – POI 16 – LC3 – Max Principal Stress – Upper Surface (Scale: -310 -> 380 MPa)

4.5 POI 17

4.5.1 POI 17 – Mesh

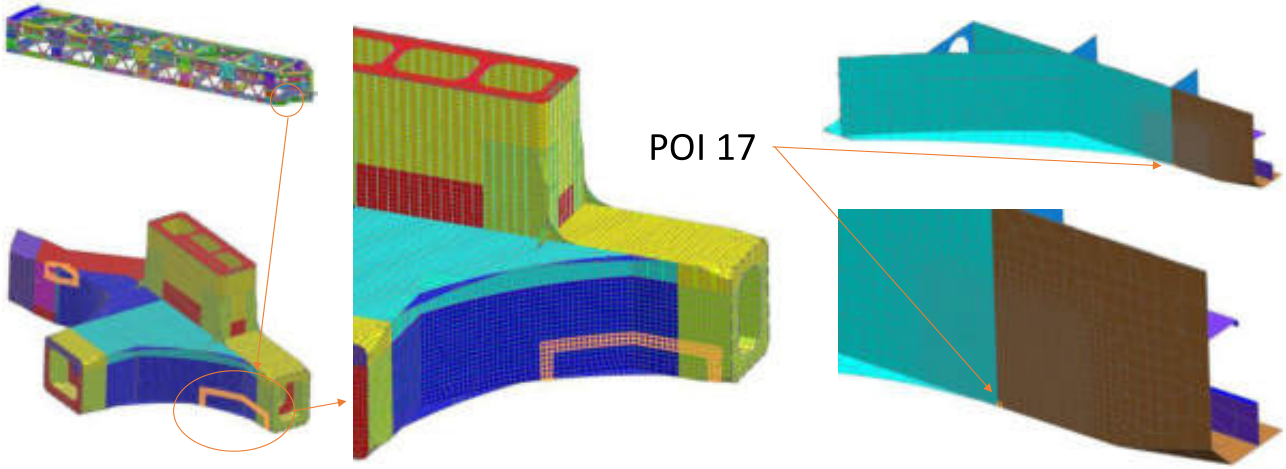


Figure 32 – POI 17 – Finite element mesh

4.5.2 POI 17 – Stress results

Table 8 – Stress comparison between 7 Waves and SAP analysis models

Load Case / Stress location		POI 17 Principal stresses [MPa]							
		Max Princ.				*Min Princ.*			
		7W average	*SAP average*	*Diff Abs.*	*Diff. Ratio*	*7W average*	*SAP average*	*Diff Abs.*	*Diff. Ratio*
LC 1	Top surface	2.0	2.6	0.6	132 %	-8.4	-8.7	-0.3	103 %
	Bottom surface	0.4	1.0	0.6	241 %	-8.5	-9.0	-0.5	106 %
LC2	Top surface	10.1	11.3	1.2	112 %	-300.0	-309.1	-9.1	103 %
	Bottom surface	-36.1	-39.6	-3.5	110 %	-252.5	-260.4	-7.9	103 %
LC3	Top surface	21.5	19.1	-2.4	89 %	-586.3	-578.2	8.0	99 %
	Bottom surface	-83.4	-93.8	-10.4	112 %	-491.3	-483.4	7.8	98 %

4.5.3 POI 17 – Stress plots

4.5.3.1 POI 17 – LC 1 – VonMises Stress

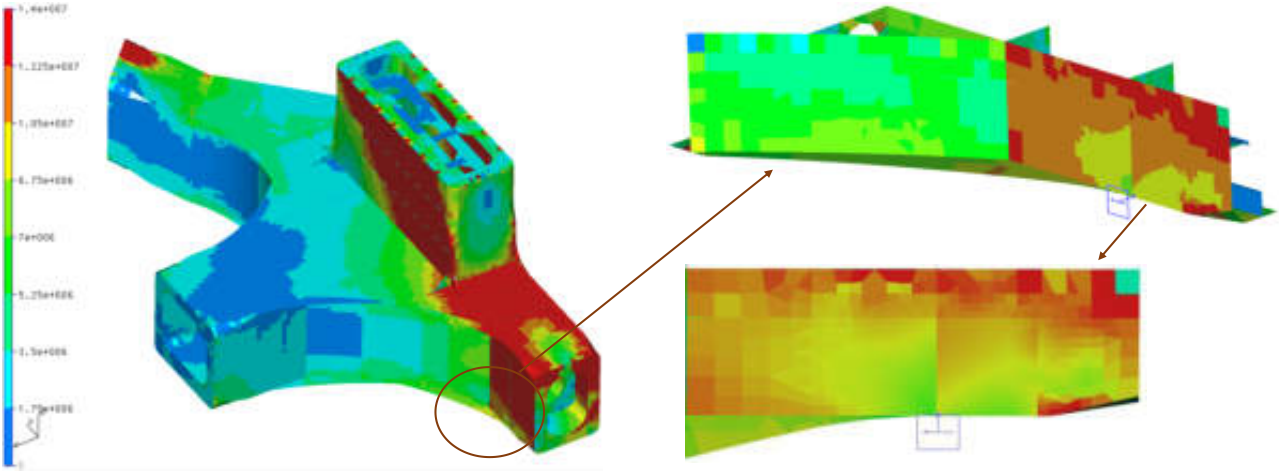


Figure 33 – POI 17 – LC1 – VonMises Stress (Scale: 0-14 MPa)

4.5.3.2 POI 17 – LC 2 – VonMises Stress

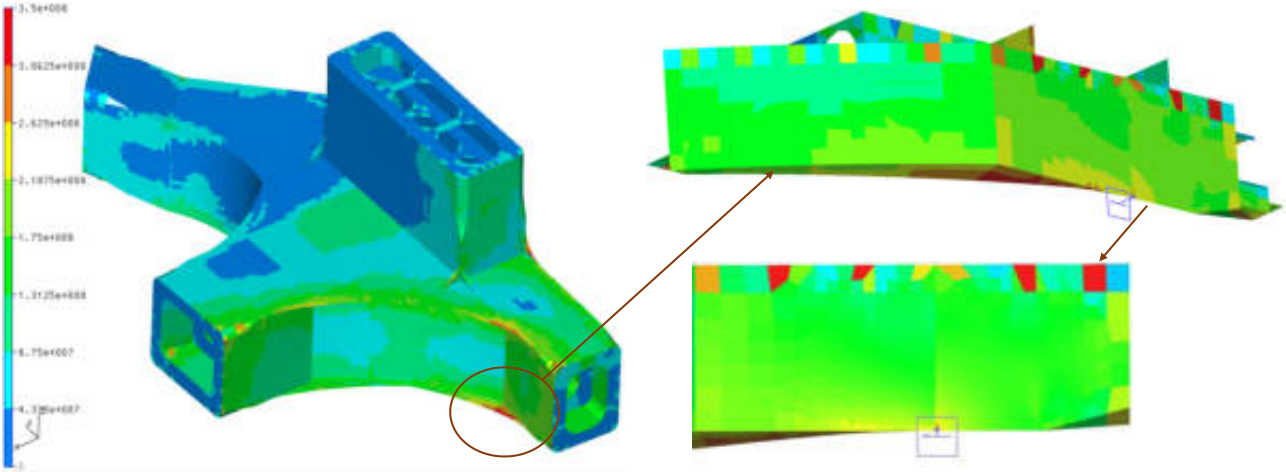


Figure 34 – POI 17 – LC1 – VonMises Stress (Scale: 0-350 MPa)

4.5.3.3 POI 17 – LC 3 – VonMises Stress

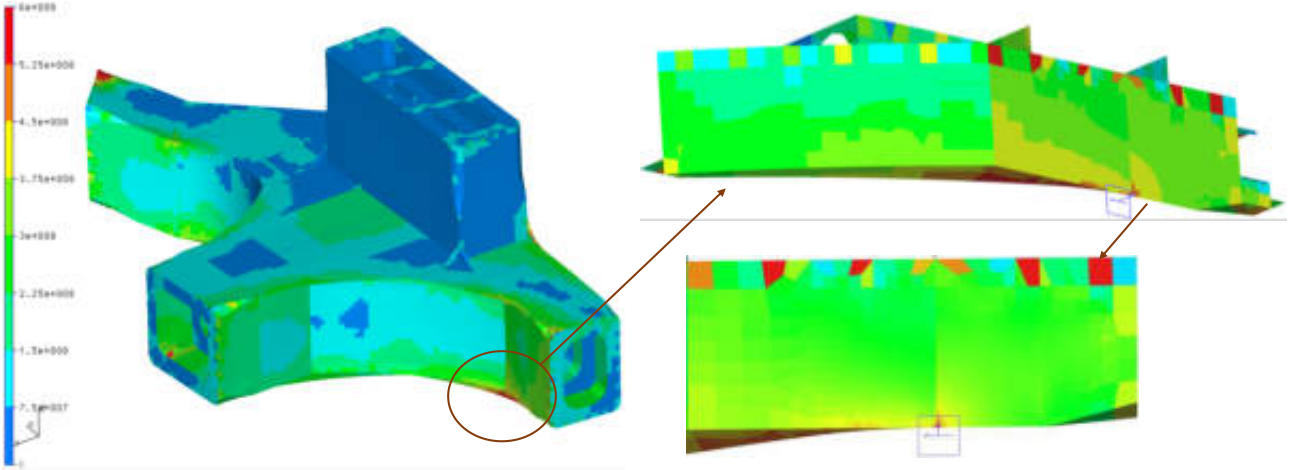


Figure 35 – POI 17 – LC3 – VonMises Stress (Scale: 0-600MPa)

4.5.3.4 POI17 – LC 1 – Max Principal Stress – Upper Surface – 7 Waves (Sesam) vs SAP

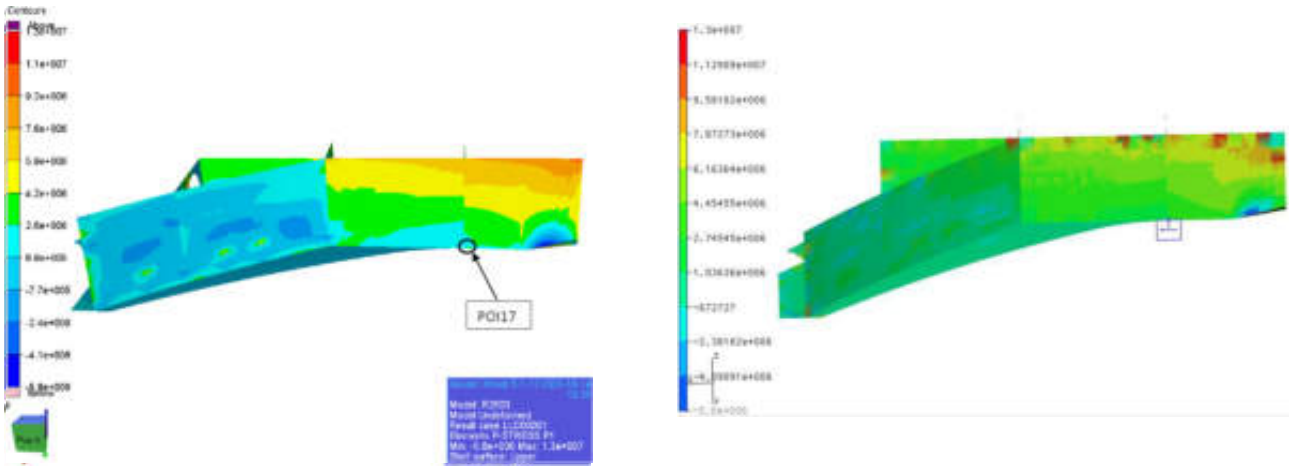


Figure 36 – POI 17 – LC1 – Max Principal Stress – Upper Surface (Scale: -5.8 -> 13 MPa)

4.5.3.5 POI17 – LC 2 – Max Principal Stress – Upper Surface – 7 Waves (Sesam) vs SAP

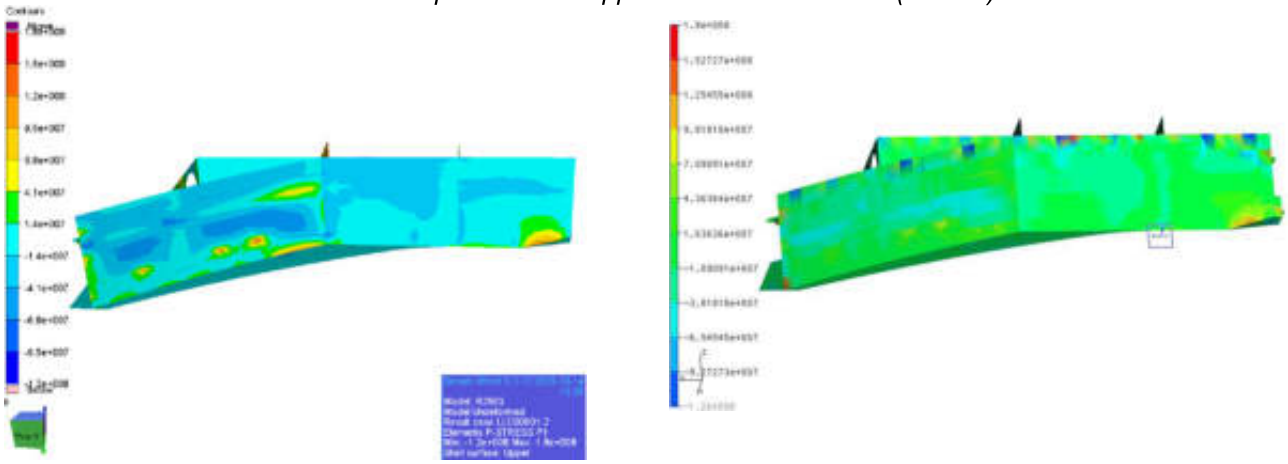


Figure 37 – POI 17 – LC2 – Max Principal Stress – Upper Surface (Scale: -120 -> 180 MPa)

4.5.3.6 POI17 – LC 3 – Max Principal Stress – Upper Surface – 7 Waves (Sesam) vs SAP

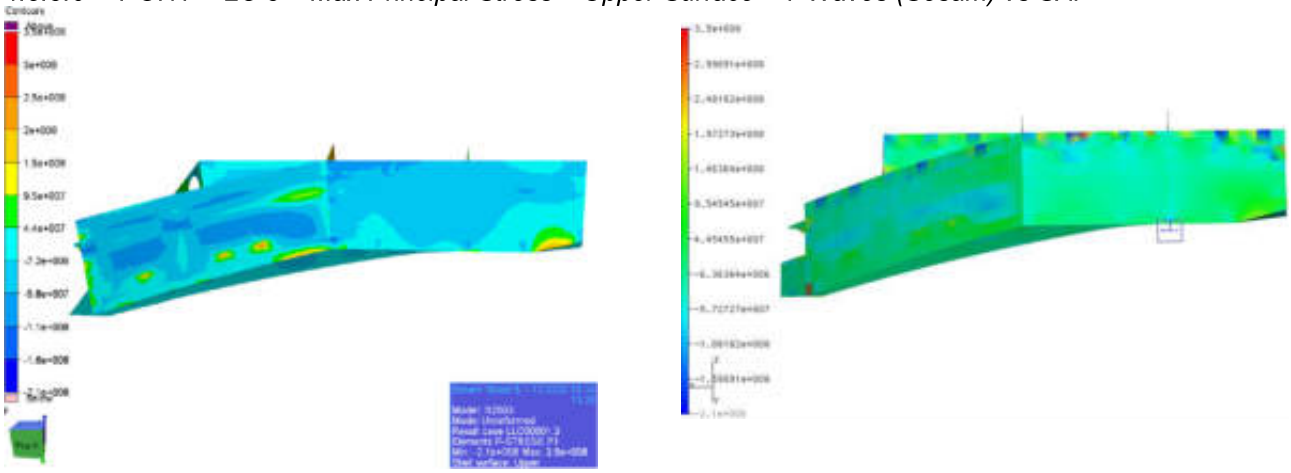
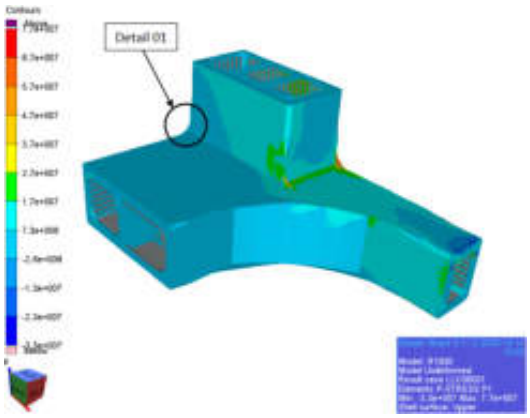


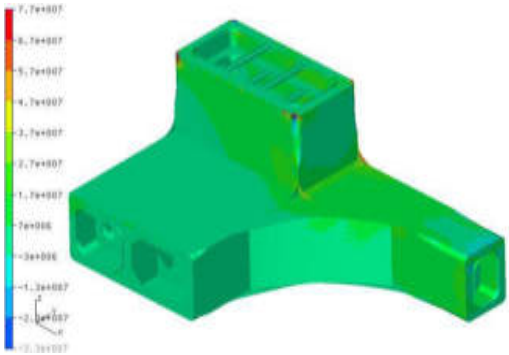
Figure 38 – POI 17 – LC3 – Max Principal Stress – Upper Surface (Scale: -210 -> 350 MPa)

4.6 Level 1 – Submodel – Stress plot comparison

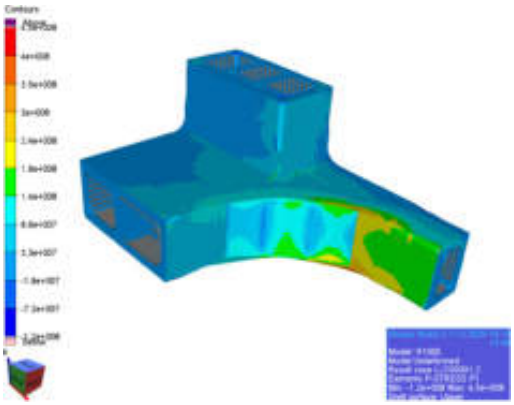
The plots in this chapter is for visual comparison only. Color scales deviates so can't be compared directly.

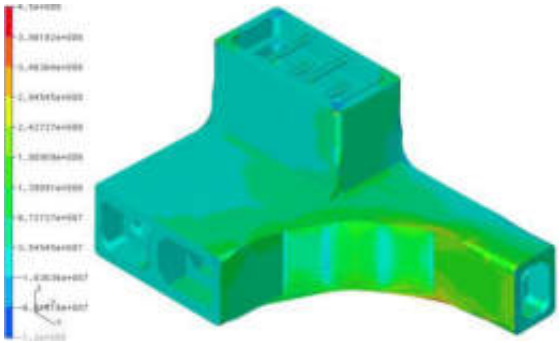
Lev 1 Sub Models – T1000 – LC1



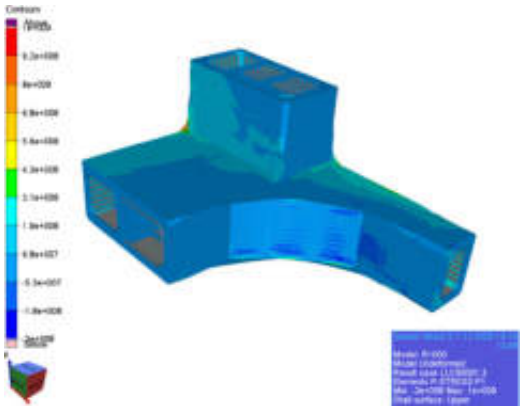


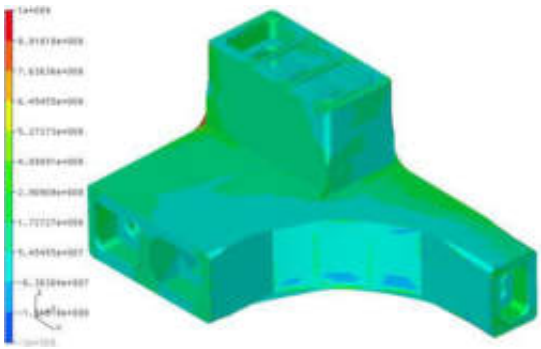
Lev 1 Sub Models – T1000 – LC2



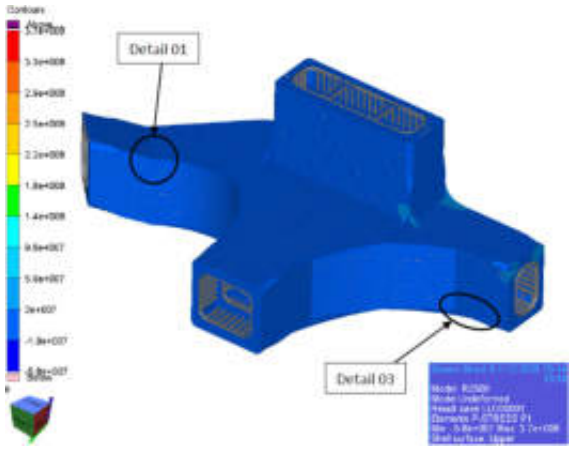


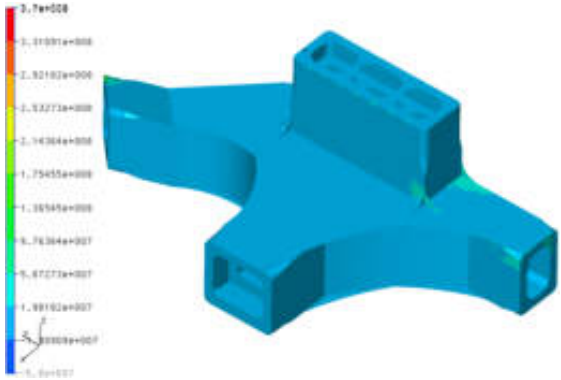
Lev 1 Sub Models – T1000 – LC3



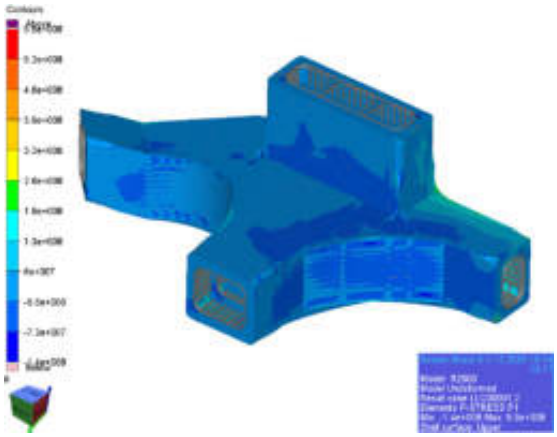


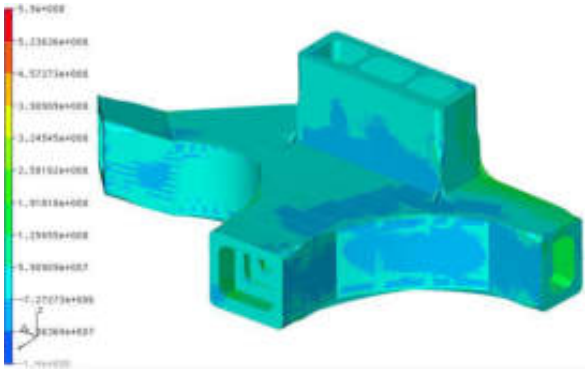
Lev 1 Sub Models – T2500 – LC1



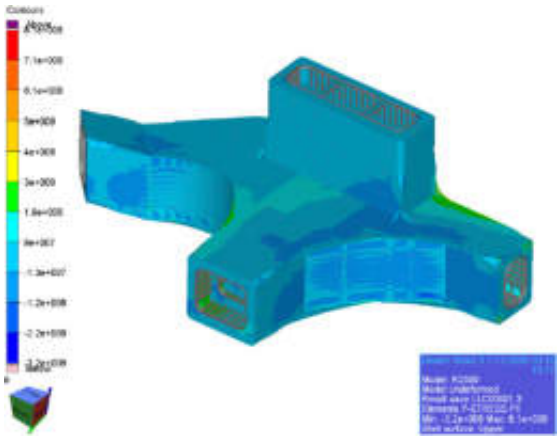


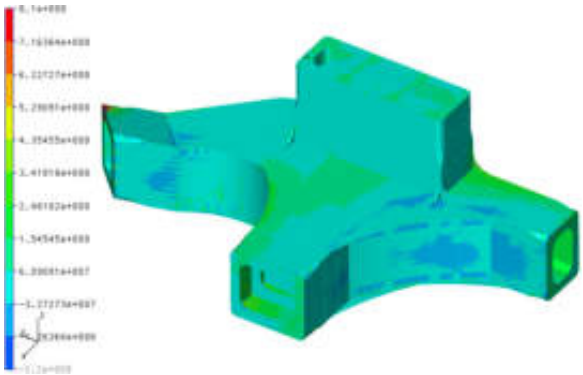
Lev 1 Sub Models – T2500 – LC2



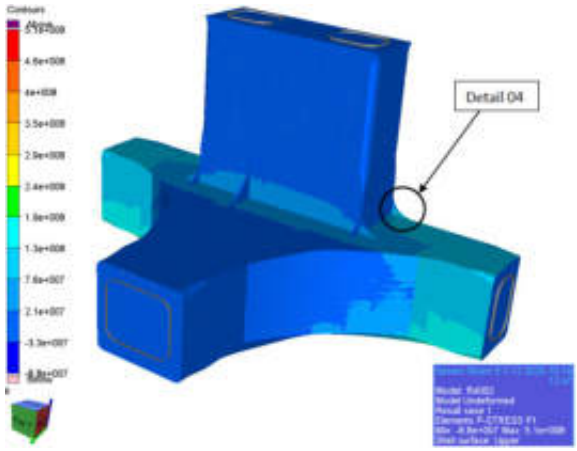


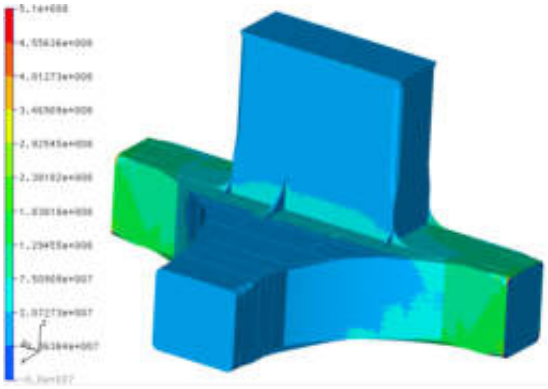
Lev 1 Sub Models – T2500 – LC3



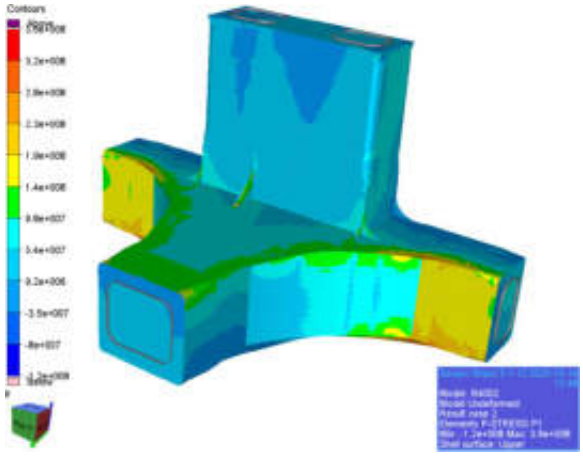


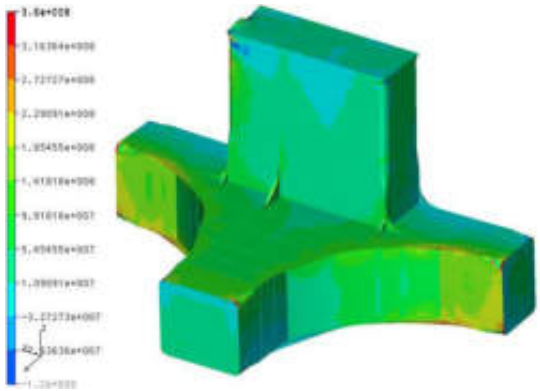
Lev 1 Sub Models – T4001 – LC1



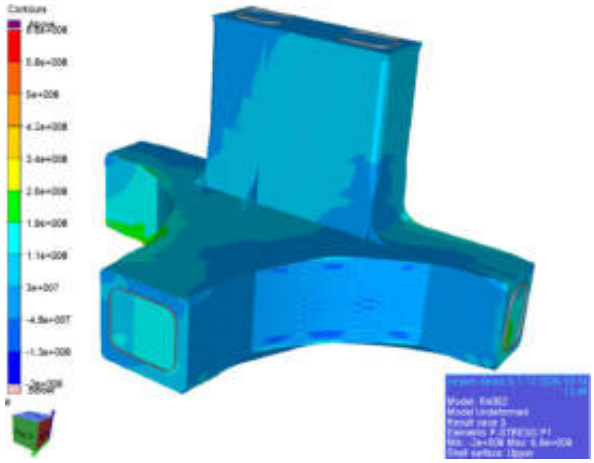


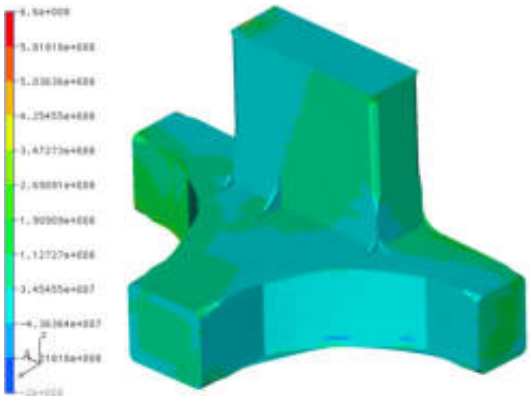
Lev 1 Sub Models – T4001 – LC2





Lev 1 Sub Models – T4001 – LC3





4.7 7 Waves – Element stress results

The table below shows the stress in the 8 integration points (C1 – C8) of the elements related to each POI. In addition, average, max, min and largest delta value for the stress levels are shown.

Table 9 – 7 Waves POI/Element stress results [MPa]

Description	Element													Match	Status
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	Avg.	Max	Min	Delta	Delta / Abs(Avg)		
POI 01 - LC 1 - P1 - Upper	130	150	170	120	160	110	130	150	140.0	170.0	110.0	60.0	43 %	12 %	OK
POI 01 - LC 1 - P2 - Upper	-9.8	0.19	10	-27	-12	-45	-40	-35	-19.8	10.0	-45.0	55.0	277 %	-4 %	OK
POI 01 - LC 2 - P1 - Upper	-4.8	-26	-47	34	0.17	73	60	47	17.0	73.0	-47.0	120.0	704 %	-16 %	D+2
POI 01 - LC 2 - P2 - Upper	-250	-290	-340	-230	-320	-210	-260	-310	-276.3	-210.0	-340.0	130.0	47 %	6 %	OK
POI 01 - LC 3 - P1 - Upper	190	220	250	180	240	170	200	240	211.3	250.0	170.0	80.0	38 %	9 %	OK
POI 01 - LC 3 - P2 - Upper	8.1	23	39	-19	8.6	-46	-33	-21	-5.0	39.0	-46.0	85.0	1687 %	-49 %	D+2/<10
POI 01 - LC 1 - P1 - Lower	110	96	85	110	88	120	110	92	101.4	120.0	85.0	35.0	35 %	7 %	OK
POI 01 - LC 1 - P2 - Lower	5.9	-1.2	-8.9	27	17	47	45	43	21.9	47.0	-8.9	55.9	256 %	-25 %	D+2
POI 01 - LC 2 - P1 - Lower	-12	-0.89	9.9	-51	-36	-90	-85	-79	-43.0	9.9	-90.0	99.9	232 %	-12 %	OK
POI 01 - LC 2 - P2 - Lower	-190	-160	-120	-200	-140	-220	-180	-150	-170.0	-120.0	-220.0	100.0	59 %	3 %	OK
POI 01 - LC 3 - P1 - Lower	140	120	91	150	100	160	140	120	127.6	160.0	91.0	69.0	54 %	7 %	OK
POI 01 - LC 3 - P2 - Lower	-1.6	-10	-19	22	10	45	42	38	15.8	45.0	-19.0	64.0	405 %	16 %	D+2
POI 10 - LC 1 - P1 - Upper	210	200	200	230	230	260	260	260	231.3	260.0	200.0	60.0	26 %	-3 %	OK
POI 10 - LC 1 - P2 - Upper	120	120	130	120	130	130	130	130	126.3	130.0	120.0	10.0	8 %	2 %	OK
POI 10 - LC 2 - P1 - Upper	110	110	110	120	120	140	140	140	123.8	140.0	110.0	30.0	24 %	-19 %	?
POI 10 - LC 2 - P2 - Upper	73	72	72	72	71	71	70	70	71.4	73.0	70.0	3.0	4 %	-17 %	?
POI 10 - LC 3 - P1 - Upper	-340	-340	-340	-340	-350	-340	-350	-350	-343.8	-340.0	-350.0	10.0	3 %	0 %	OK
POI 10 - LC 3 - P2 - Upper	-550	-550	-550	-630	-620	-700	-700	-700	-625.0	-550.0	-700.0	150.0	24 %	-4 %	OK
POI 10 - LC 1 - P1 - Lower	-49	-53	-57	-69	-76	-85	-90	-94	-71.6	-49.0	-94.0	45.0	63 %	0 %	OK
POI 10 - LC 1 - P2 - Lower	-59	-63	-66	-85	-93	-110	-120	-120	-89.5	-59.0	-120.0	61.0	68 %	3 %	OK
POI 10 - LC 2 - P1 - Lower	-44	-44	-44	-56	-56	-68	-68	-68	-56.0	-44.0	-68.0	24.0	43 %	-19 %	?
POI 10 - LC 2 - P2 - Lower	-55	-55	-55	-67	-67	-79	-79	-79	-67.0	-55.0	-79.0	24.0	36 %	-23 %	?
POI 10 - LC 3 - P1 - Lower	180	180	190	250	260	320	330	340	256.3	340.0	180.0	160.0	62 %	2 %	OK
POI 10 - LC 3 - P2 - Lower	170	170	180	220	230	260	270	280	222.5	280.0	170.0	110.0	49 %	0 %	OK
POI 11 - LC 1 - P1 - Upper	0.21	-0.25	-0.72	-0.89	-0.56	-2	-1.2	-0.37	-0.7	0.2	-2.0	2.2	306 %	-1 %	OK
POI 11 - LC 1 - P2 - Upper	-5.5	-5.3	-5.2	-6.3	-5.1	-7.1	-6.1	-5.1	-5.7	-5.1	-7.1	2.0	35 %	8 %	OK
POI 11 - LC 2 - P1 - Upper	6.6	-2.1	-11	-11	-7.1	-29	-17	-3.1	-9.2	6.6	-29.0	35.6	386 %	-2 %	OK
POI 11 - LC 2 - P2 - Upper	-62	-63	-64	-81	-64	-100	-82	-64	-72.5	-62.0	-100.0	38.0	52 %	7 %	OK
POI 11 - LC 3 - P1 - Upper	540	560	590	690	670	850	800	750	681.3	850.0	540.0	310.0	46 %	-10 %	OK
POI 11 - LC 3 - P2 - Upper	-200	-65	68	-82	74	33	55	74	-5.4	74.0	-200.0	274.0	5098 %	-7 %	OK
POI 11 - LC 1 - P1 - Lower	-0.36	-0.03	0.3	0.39	0.052	1.1	0.49	-0.16	0.2	1.1	-0.4	1.5	655 %	138 %	D+2/<10
POI 11 - LC 1 - P2 - Lower	-5.4	-4.8	-4.2	-4.7	-3.8	-4	-3.7	-3.5	-4.3	-3.5	-5.4	1.9	45 %	10 %	OK
POI 11 - LC 2 - P1 - Lower	9.2	13	16	19	12	30	19	8.6	15.9	30.0	8.6	21.4	135 %	26 %	?
POI 11 - LC 2 - P2 - Lower	-59	-53	-47	-49	-40	-40	-37	-34	-44.9	-34.0	-59.0	25.0	56 %	7 %	OK
POI 11 - LC 3 - P1 - Lower	650	560	470	500	360	350	300	260	431.3	650.0	260.0	390.0	90 %	-10 %	OK
POI 11 - LC 3 - P2 - Lower	240	120	-0.52	120	-22	-6	-30	-55	45.8	240.0	-55.0	295.0	644 %	-128 %	D+2
POI 16 - LC 1 - P1 - Upper	7.9	7.3	7.4	8.8	8.9	10	10	10	8.8	10.0	7.3	2.7	31 %	-40 %	<10
POI 16 - LC 1 - P2 - Upper	-0.22	-1.8	-3.9	1.7	-3.2	3	0.23	-2.6	-0.8	3.0	-3.9	6.9	813 %	-67 %	D+2/<10
POI 16 - LC 2 - P1 - Upper	14	35	72	-31	53	-66	-15	35	12.1	72.0	-66.0	138.0	1138 %	-67 %	D+2
POI 16 - LC 2 - P2 - Upper	-190	-170	-170	-200	-200	-220	-230	-240	-202.5	-170.0	-240.0	70.0	35 %	3 %	OK
POI 16 - LC 3 - P1 - Upper	47	120	260	-110	190	-230	-52	130	44.4	260.0	-230.0	490.0	1104 %	-58 %	D+2
POI 16 - LC 3 - P2 - Upper	-650	-580	-580	-690	-700	-770	-800	-820	-698.8	-580.0	-820.0	240.0	34 %	3 %	OK
POI 16 - LC 1 - P1 - Lower	5.9	6.6	7.5	3.1	6.5	0.26	2.8	5.6	4.8	7.5	0.3	7.2	151 %	-72 %	<10
POI 16 - LC 1 - P2 - Lower	-1	1.8	4.5	-1.7	4.4	-2.4	1	4.2	1.4	4.5	-2.4	6.9	511 %	-26 %	D+2/<10
POI 16 - LC 2 - P1 - Lower	16	-38	-83	33	-70	53	-3.8	-55	-18.5	53.0	-83.0	136.0	736 %	-36 %	D+2
POI 16 - LC 2 - P2 - Lower	-100	-120	-150	-45	-130	11	-54	-120	-88.5	11.0	-150.0	161.0	182 %	-15 %	OK
POI 16 - LC 3 - P1 - Lower	61	-130	-300	120	-260	180	-22	-210	-70.1	180.0	-300.0	480.0	684 %	-22 %	D+2
POI 16 - LC 3 - P2 - Lower	-380	-440	-520	-170	-470	34	-190	-430	-320.8	34.0	-520.0	554.0	173 %	-13 %	OK
POI 17 - LC 1 - P1 - Upper	2.2	1.7	1.2	2.5	1.5	2.8	2.3	1.8	2.0	2.8	1.2	1.6	80 %	-32 %	<10
POI 17 - LC 1 - P2 - Upper	-8.1	-8.8	-9.5	-7.6	-9.2	-7.2	-8.1	-9	-8.4	-7.2	-9.5	2.3	27 %	-3 %	OK
POI 17 - LC 2 - P1 - Upper	-5	-22	-39	33	-13	71	42	14	10.1	71.0	-39.0	110.0	1086 %	-12 %	OK
POI 17 - LC 2 - P2 - Upper	-270	-300	-330	-260	-340	-250	-300	-350	-300.0	-250.0	-350.0	100.0	33 %	-3 %	OK
POI 17 - LC 3 - P1 - Upper	-11	-46	-81	66	-25	150	87	32	21.5	150.0	-81.0	231.0	1074 %	11 %	OK
POI 17 - LC 3 - P2 - Upper	-520	-580	-650	-500	-670	-480	-590	-700	-586.3	-480.0	-700.0	220.0	38 %	1 %	OK
POI 17 - LC 1 - P1 - Lower	1.2	1.4	1.6	0.34	0.5	-0.51	-0.55	-0.59	0.4	1.6	-0.6	2.2	517 %	-141 %	D+2/<10
POI 17 - LC 1 - P2 - Lower	-8.4	-8.2	-8	-8.6	-8.4	-8.7	-8.7	-8.8	-8.5	-8.0	-8.8	0.8	9 %	-6 %	OK
POI 17 - LC 2 - P1 - Lower	-14	-11	-7.5	-37	-36	-58	-61	-64	-36.1	-7.5	-64.0	56.5	157 %	-10 %	OK
POI 17 - LC 2 - P2 - Lower	-260	-230	-200	-270	-230	-290	-280	-260	-252.5	-200.0	-290.0	90.0	36 %	-3 %	OK
POI 17 - LC 3 - P1 - Lower	-37	-30	-23	-86	-81	-130	-140	-140	-83.4	-23.0	-140.0	117.0	140 %	-12 %	OK
POI 17 - LC 3 - P2 - Lower	-500	-440	-380	-530	-450	-570	-540	-520	-491.3	-380.0	-570.0	190.0	39 %	2 %	OK

4.8 Overall result comparison, tabular format

The tables below show the match in element average stresses between 7 Waves and SAP results for each POI/Load Case.

A positive deviation mean that 7 Waves results are higher numbers than SAP and vice versa.

Table 10 – Explanation of color coding used in the following two tables

(OK)	**Element stress deviates less than ±15%**
(<10)	**Absolute stress level is less than 10 Mpa**
(D+2)	**Ratio between largest stress range and average stress is more than 200% (inside element)**
(D+2/<10)	**Both (<10) and (D+2) criteria fulfilled**
(?)	**Unknown, not matching any of the criteria above**

Table 11 – Stress comparison element upper/outer surface

Deviation Upper surface

Location	LC1		LC2		LC3	
	Max. Princ.	Min. Princ.	Max. Princ.	Min. Princ.	Max. Princ.	Min. Princ.
POI1	12% (OK)	-4% (OK)	-16% (D+2)	6% (OK)	9% (OK)	-49% (D+2/<10)
POI10	-3% (OK)	2% (OK)	-19% (?)	-17% (?)	0% (OK)	-4% (OK)
POI11	-1% (OK)	8% (OK)	-2% (OK)	7% (OK)	-10% (OK)	-7% (OK)
POI16	-40% (<10)	-67% (D+2/<10)	-67% (D+2)	3% (OK)	-58% (D+2)	3% (OK)
POI17	-32% (<10)	-3% (OK)	-12% (OK)	-3% (OK)	11% (OK)	1% (OK)

Table 12 – Stress comparison element lower/inner surface

Deviation Lower surface

Location	LC1		LC2		LC3	
	Max. Princ.	Min. Princ.	Max. Princ.	Min. Princ.	Max. Princ.	Min. Princ.
POI1	7% (OK)	-25% (D+2)	-12% (OK)	3% (OK)	7% (OK)	16% (D+2)
POI10	0% (OK)	3% (OK)	-19% (?)	-23% (?)	2% (OK)	0% (OK)
POI11	138% (D+2/<10)	10% (OK)	26% (?)	7% (OK)	-10% (OK)	-128% (D+2)
POI16	-72% (<10)	-26% (D+2/<10)	-36% (D+2)	-15% (OK)	-22% (D+2)	-13% (OK)
POI17	-141% (D+2/<10)	-6% (OK)	-10% (OK)	-3% (OK)	-12% (OK)	2% (OK)

5 DISCUSSION

Stress results between the 7 Waves and SAP simulations might deviate for several reasons and are also to expected to deviate to some extent.

Known factors that might influence the results:

1. SAP converting the 7 Waves element mesh from parabolic to linear elements
2. Different simulation software / FE solvers
3. Variation in method of post processing/extracting the element stresses
4. 7 Waves using 6 DOF prescribed deflections on sub models, SAP using 3 DOF
5. SAP is merging interface nodes into groups using RBE2 elements.
   (To be able to run models fast enough in the cloud environment)
6. 7 Waves element stress output: 2 significant numbers. I.e 106 MPa = 1.1e8 → 3.7% difference.

A summary of each POI is listed in the following.

POI 1
Hotspot at the midpoint of the structure, lies close to rigid load/support point in the global model.

- Overall stress plots visually are a match between 7 Waves and SAP

- Shows significant stress variation inside element from 7 Waves results
  - LC 1 : P1 – Upper Surf: 110 → 170 MPa Lower Surf: 85 → 120 MPa
  - LC 1 : P2 – Upper Surf: -45 → 10 MPa Lower Surf: -9 → 47 MPa
  - LC 2 : P1 – Upper Surf: -47 → 73 MPa Lower Surf: -90 → 10 MPa
  - LC 2 : P2 – Upper Surf: -340 → -210 MPa Lower Surf: -240 → -120 MPa
  - LC 3 : P1 – Upper Surf: 170 → 250 MPa Lower Surf: 91 → 160 MPa
  - LC 3 : P2 – Upper Surf: -46 → 39 MPa Lower Surf: -19 → 45 MPa

- 84% - 149% stress level ratio between 7 Waves and SAP results.
- Maximum stress-gradient inside element 7 Waves: 130 MPa

POI 10
K-joint in the middle of the structure, located away from both constraints and external loads applied to the global model.

- This model shows overall a good match for LC1 and LC3, however LC2 shows about 20% deviation in the maximum stress levels.

- Difference observed assumed to be linked to 2nd order vs 1st order elements, and how this influence the stresses at geometric transitions like this.

- 97% - 123% stress level ratio between 7 Waves and SAP results.
- Maximum stress-gradient inside element 7 Waves: 160 MPa

POI 11
Plate stiffener at the rear corner of the structure.

- -38% - 228% stress level ratio between 7 Waves and SAP results.
- Maximum stress-gradient inside element 7 Waves: 390 MPa

POI 16
Front right bottom forward going leg.

- 97% - 172% stress level ratio between 7 Waves and SAP results.
- Maximum stress-gradient inside element 7 Waves: 554 MPa

POI 17
T-transition at the front, rear lower plate joint.

- 89% - 241% stress level ratio between 7 Waves and SAP results.
- Maximum stress-gradient inside element 7 Waves: 231 MPa

6 CONCLUSION

Based on what can be seen in Table 9 (7 Waves stress results) under the column for *Delta/Abs(Avg)* one can see that the actual maximum stress range inside the element, divided by the element average stress shows significantly high values for at least some of the load cases and/or load directions for most POIs.

The linear 4-node shell elements used in the SAP simulation models will not describe large internal element stress variations in a good manner.

Based on the above, a stress deviation of ±15% has been used as an expected level of deviation, and hence an OK match between results in this comparison.

As can be seen in Table 11 / Table 12 (Stress deviation between 7 Waves and SAP), most of the compared stresses are within the ±15% range and found “acceptable”.

Almost all other large discrepancies (>15%) can either be explained by very small actual stress levels (less than 10 MPa) or with a large *Delta/Abs(Avg)* ratio of more than 200%, or a combination of both. In these cases, it is expected that the deviations might be large, especially small absolute stress levels with large internal stress ratios will for small deviations in actual average stress show large discrepancies.

POI 10 however stands out and shows 68% or less for the *Delta/Abs(Avg)* indicator, which do mean that this point is likely to show quite good match. This hot spot also shows relatively small stress gradients to neighboring elements compared to what is the case for some of the other POI’s, meaning that the mesh is better converged.

For load case 1 and 3 POI 10 shows good match in the range of 0-4%, however for load case 2 (global horizontal/sideways bending) the mismatch is about 20% for all 4 stress outputs. It hasn’t been possible to find a specific reason for this deviation, so the element type 4 vs. 8 node elements are the main suspect.

POI11 also stands out for LC2 and lower surface max principal stress. This hotspot however is in the imminent proximity to the global-model interface point which is fully fixed and transfers global forces. It is therefore expected to see boundary effects from the global model constraints interfering with the sub-model result. The grade of interference could possibly be different due to both different element type and different simulation software.

To sum up, the findings in this report indicates that the local models, where the stress-results for the POIs are extracted, are providing realistic and reasonable results, with an expected level of deviation for most spots.

However, to rule out the difference between 4 and 8 node elements used in the mesh, it could be interesting to re-do the comparison later when 8 node element support is implemented in the FEDEM Simulation Software.

7 SAP CONTACT DETAILS

If further information is required, please refer to table below for relevant contacts within SAP.

Table 13 - SAP Contact List

SAP Norway Engineering CoE - Contact person	Contact Details	
Kristian Sætertrø	kristian.saetertro@sap.com	(+47) 928 48 868
Thomas B. Johnsen	thomas.borvik.johnsen@sap.com	(+47) 950 43 613

www.sap.com/contactsap

© 2018 SAP SE or an SAP affiliate company. All rights reserved.
No part of this publication may be reproduced or transmitted in any form or for any purpose without the express permission of SAP SE or an SAP affiliate company.

The information contained herein may be changed without prior notice. Some software products marketed by SAP SE and its distributors contain proprietary software components of other software vendors. National product specifications may vary.

These materials are provided by SAP SE or an SAP affiliate company for informational purposes only, without representation or warranty of any kind, and SAP or its affiliated companies shall not be liable for errors or omissions with respect to the materials. The only warranties for SAP or SAP affiliate company products and services are those that are set forth in the express warranty statements accompanying such products and services, if any. Nothing herein should be construed as constituting an additional warranty.

In particular, SAP SE or its affiliated companies have no obligation to pursue any course of business outlined in this document or any related presentation, or to develop or release any functionality mentioned therein. This document, or any related presentation, and SAP SE's or its affiliated companies' strategy and possible future developments, products, and/or platform directions and functionality are all subject to change and may be changed by SAP SE or its affiliated companies at any time for any reason without notice. The information in this document is not a commitment, promise, or legal obligation to deliver any material, code, or functionality. All forward-looking statements are subject to various risks and uncertainties that could cause actual results to differ materially from expectations. Readers are cautioned not to place undue reliance on these forward-looking statements, and they should not be relied upon in making purchasing decisions.

SAP and other SAP products and services mentioned herein as well as their respective logos are trademarks or registered trademarks of SAP SE (or an SAP affiliate company) in Germany and other countries. All other product and service names mentioned are the trademarks of their respective companies. See www.sap.com/copyright for additional trademark information and notices.

THE BEST RUN SAP

Technical note

PD-155 Verification of global structural loading method with input from 7 Waves

Nordlaks Havfarm 1

Document.:	PD-360 HBM strain data assessment	Date:	26.03.2021
By:	Inge Sjølie	Rev:	01

THE BEST RUN SAP

REVISION CHANGELOG

Rev.	Date	Description
00	26.03.2021	First issue

1 Table of Contents

1. INTRODUCTION 3
1.1 Scope 3
1.2 Validation methodology 3
2 RESULTS 6
2.1 Plots 6
2.1.1 POI1 6
2.1.2 POI10 11
2.1.3 POI11 16
2.1.4 POI16 21
2.1.5 POI17 26
2.2 Summary tables 31
2.3 Summary plots 33
3 DISCUSSION AND CONCLUSION 35
3.1 Compared stresses 35
3.2 Design analysis vs SAP digital twin methodology 35
3.3 Points Of Interest (POIs) 35
3.4 Comparison of mean stress 35
3.5 Comparison of stress amplitudes 35
3.6 Conclusion 36

1. INTRODUCTION

1.1 Scope

The Nordlaks Havfarm is monitored with a structural health monitoring system by SAP employing digital twins. The digital twins run sophisticated FE-analysis in the Cloud based on input from a GPS-based position sensor system. As a part of the validation of the digital twin methodology the results from the digital twin at selected Points Of Interest are compared to corresponding results from the design model analyses carried out by 7 waves, ref. P042-7WS-NSK-ME-075, rev. 02. The purpose of this technical note is to document the work performed in the validation process.

1.2 Validation methodology

Nodal displacement output from the design model analysis are used as input to run the digital twin, in that sense the design model is simulating the physical structure with the nodal displacements at the sensor locations as sensors. Inputs to the digital twin simulations are provided by 7 waves as described in P042-7WS-NSK-ME-075, rev. 02.

The following 9 load combinations consisting of a static ballast condition combined with a dynamic condition (design wave) are considered:

- LC1: Design wave 7 (max vertical shear force FZ response) + static survival sagging condition
- LC2: Design wave 6 (max vertical bending moment MY response) + static survival sagging condition
- LC3: Design wave 7 (max vertical shear force FZ response) + static survival hogging condition
- LC4: Design wave 6 (max vertical bending moment MY response) + static survival hogging condition
- LC5: Design wave 7 (max vertical shear force FZ response) + static survival Torsion 1 condition
- LC6: Design wave 6 (max vertical bending moment MY response) + static survival Torsion 1 condition
- LC7: Design wave 7 (max vertical shear force FZ response) + static survival Torsion 2 condition
- LC8: Design wave 6 (max vertical bending moment MY response) + static survival Torsion condition
- LC9: Design wave 15 (max vertical shear force FZ response) + static operational condition

Table 1. Design waves

Wave	Loading Condition	Response	Wave heading [deg]	Wave period [s]	Wave Amplitude [m]
6	Survival	MY	225	12	3,8
7	Survival	FZ	180	8,5	4,0
15	Operational	FY split	90	9,0	1,6

In order the run the digital twin the input must be transformed to a format that emulates real sensor data. Therefore, for each load case the nodal displacements from the design model analysis of 7 waves at the sensor locations are provided. These displacements are transformed to a NED coordinate system with the node located at S01 as the reference node simulating real sensor data. The sensor node naming and coordinates are shown in the figure below. It is seen that there are some deviations in the nodal coordinates btw. the models however this is handled in the preprocessing of the digital twin input.

Nodal deformations at sensors S02, S03, S04 and S05 relative to a plane spanning between S01, S06 and S07 are calculated and used to run the digital twin.

7 waves model:

		Coordinate		
Point	Node ID	X [m]	Y [m]	Z [m]
T01	4594	168	-27.75	37.75
T02	14866	168	27.75	37.75
T03	2383	-1	-28.05	37.75
T04	1078	-1	28.05	37.75
T05	702	-171	-27.75	37.75
T06	1520	-171	27.75	37.75
Turret	23108	204	0	37.5

SAP model:

Sensor	X	Y	Z
S01	204.0	0.0	38.0
S02	168.0	27.75	38.0
S03	168	-27.75	38.0
S04	-1.0	27.75	38.0
S05	-1.0	-27.75	38.0
S06	-171.0	27.75	38.0
S07	-171.0	-27.75	38.0

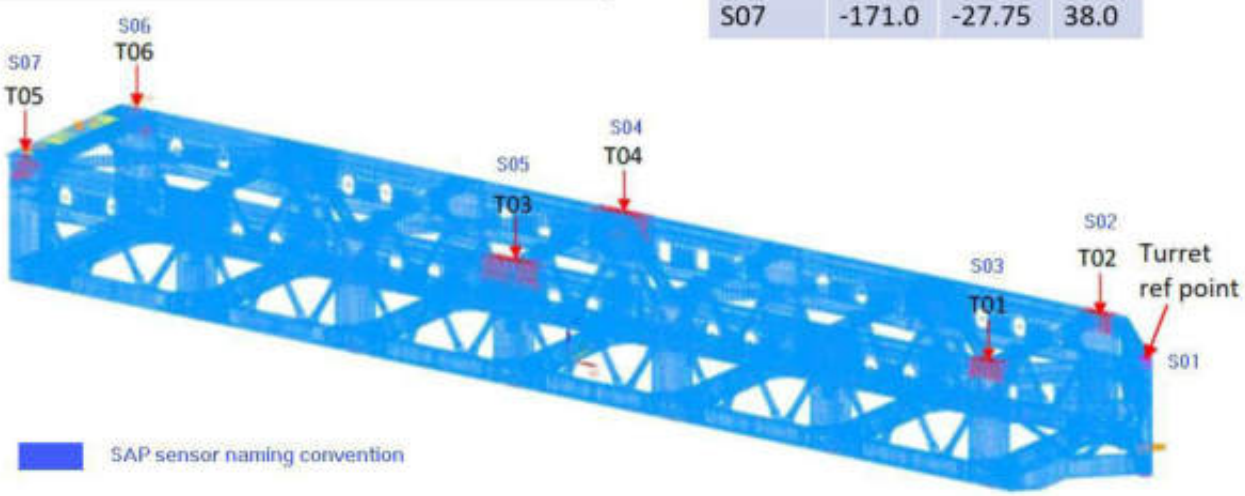


Figure 1. Design analysis model from 7 waves vs SAP digital twin. Sensor node coordinates and names.

The following Points Of Interest (POIs) are selected for comparison of principal stress results:

- POI1 (mid ship)
- POI10 (brace at ship section 2)
- POI11 (aft ship, on transversal pontoon)
- POI16 (fore ship, beam intersection in front of main column)
- POI17 (fore ship, pontoon aft of main column)

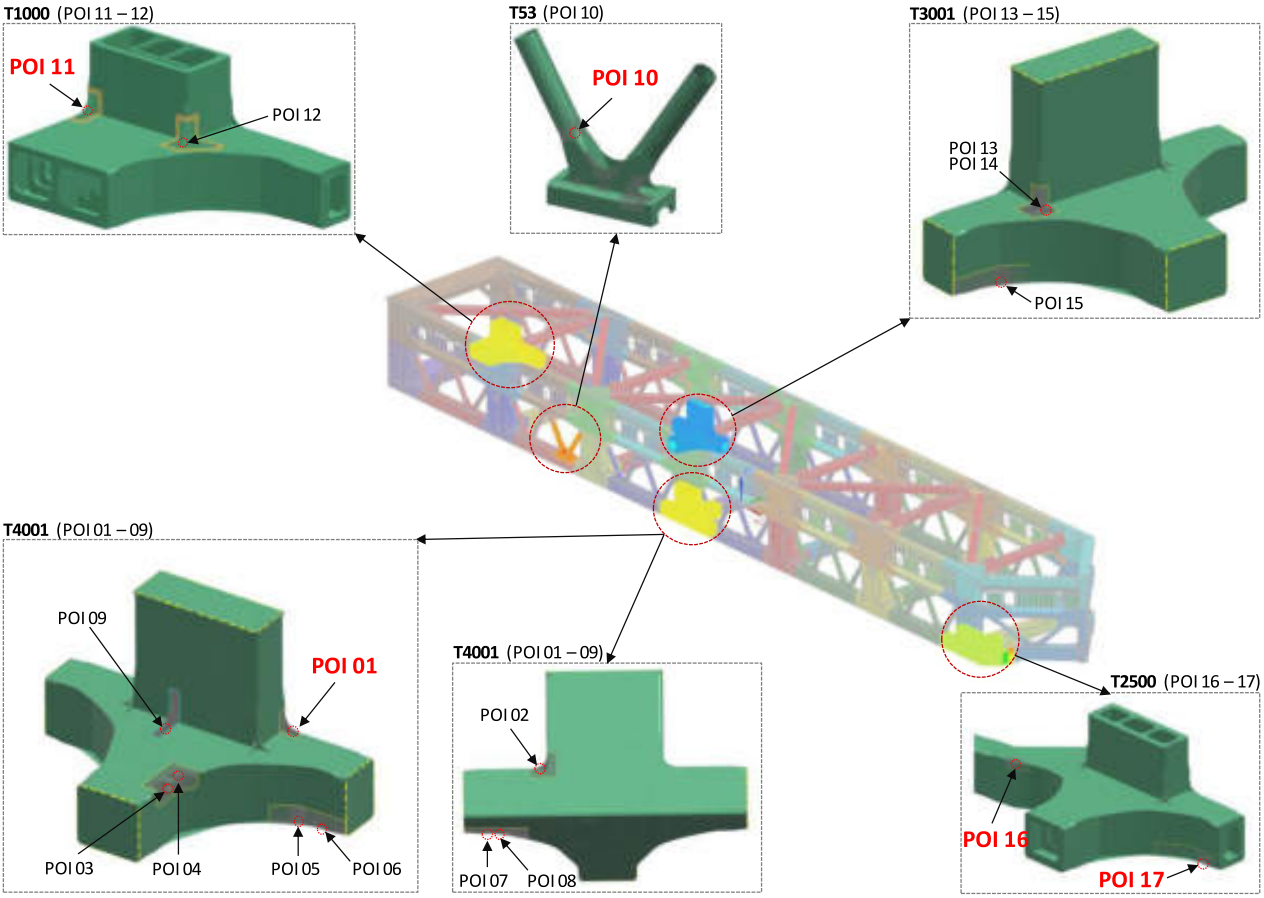


Figure 2. Points Of Interest (POIs)

2 RESULTS

2.1 Plots

2.1.1 POI1

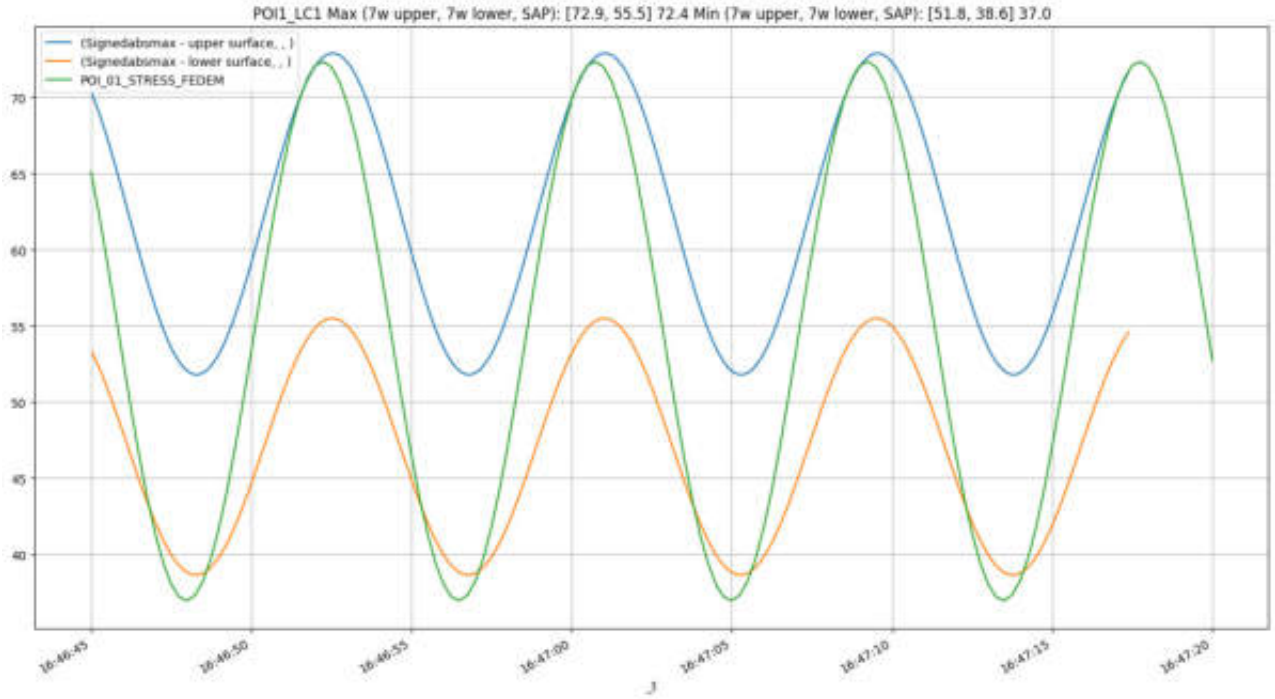


Figure 3. POI1, load case 1

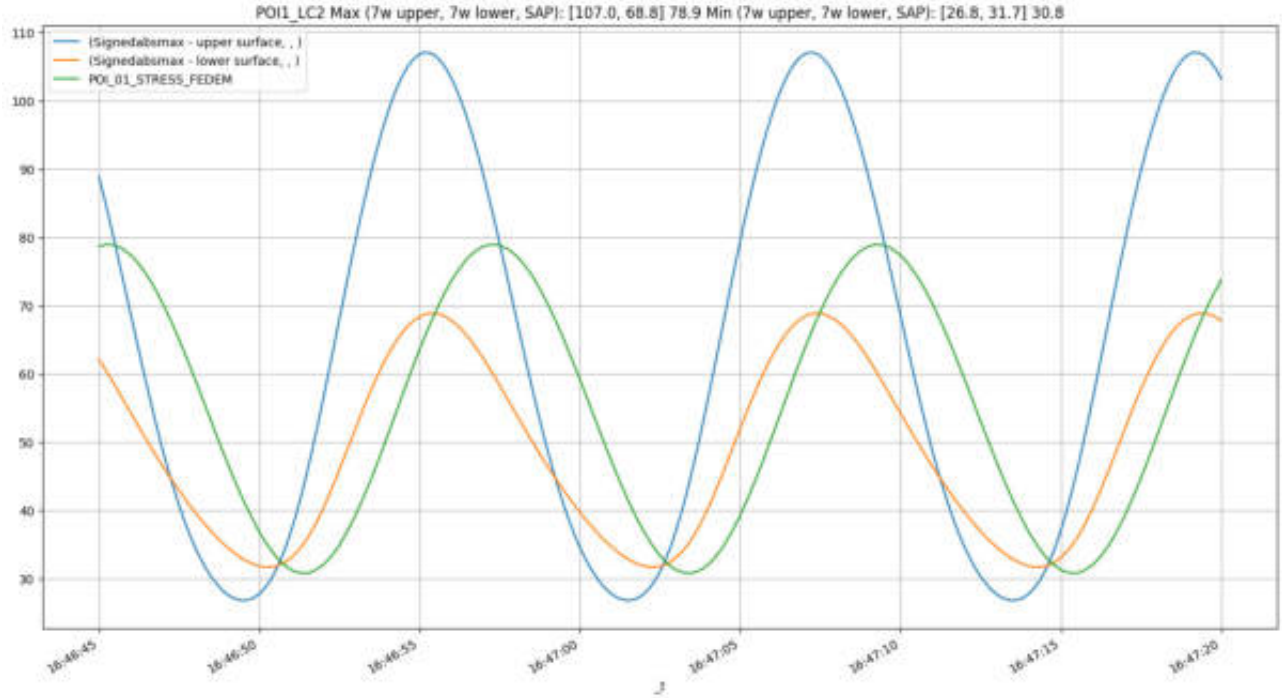


Figure 4. POI1, load case 2

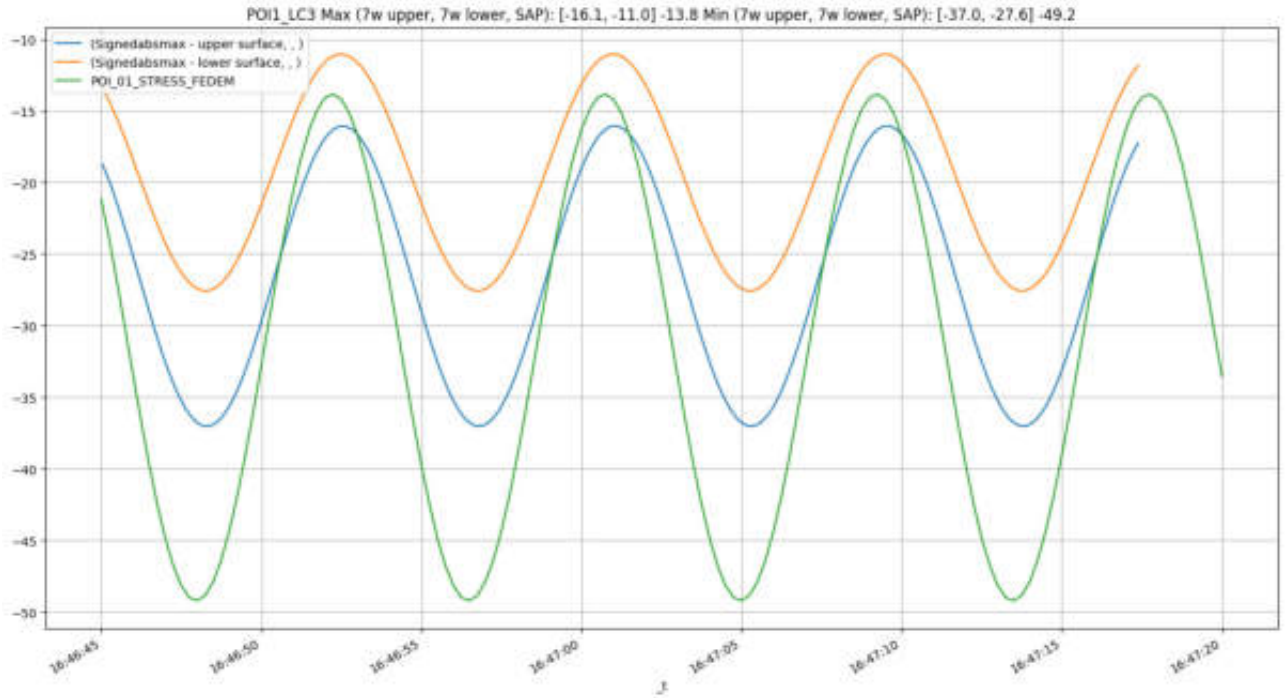


Figure 5. POI1, load case 3

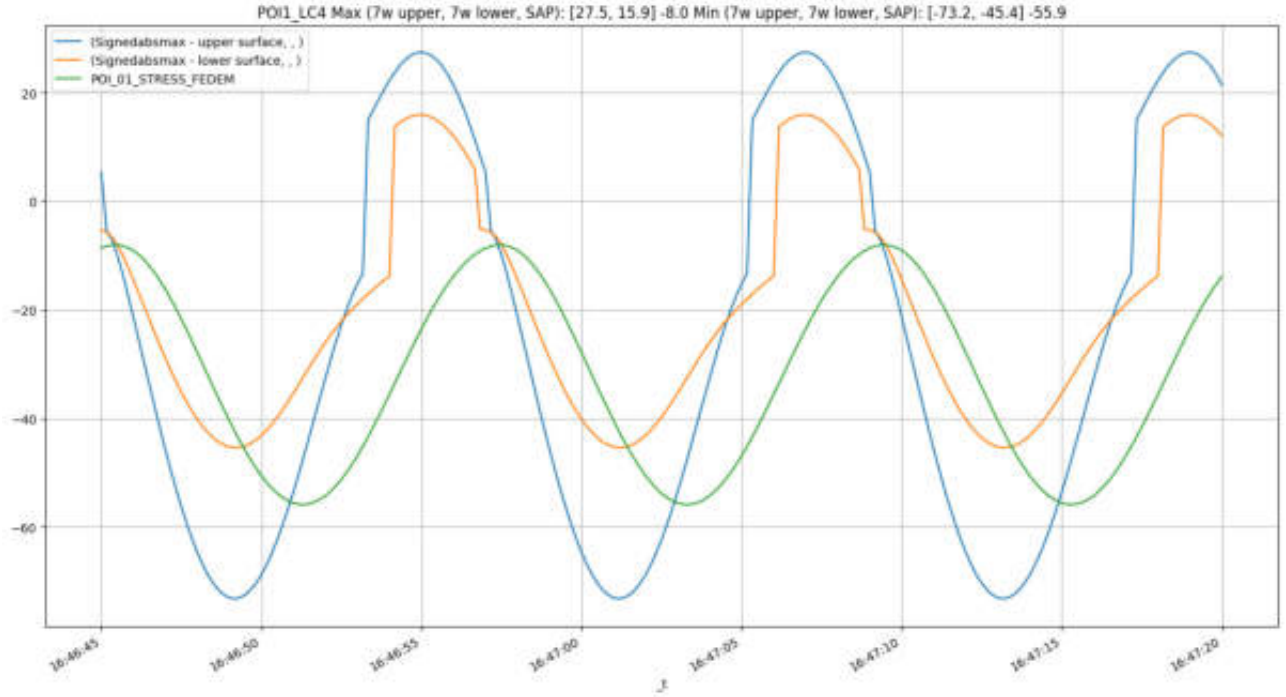


Figure 6. POI1, load case 4

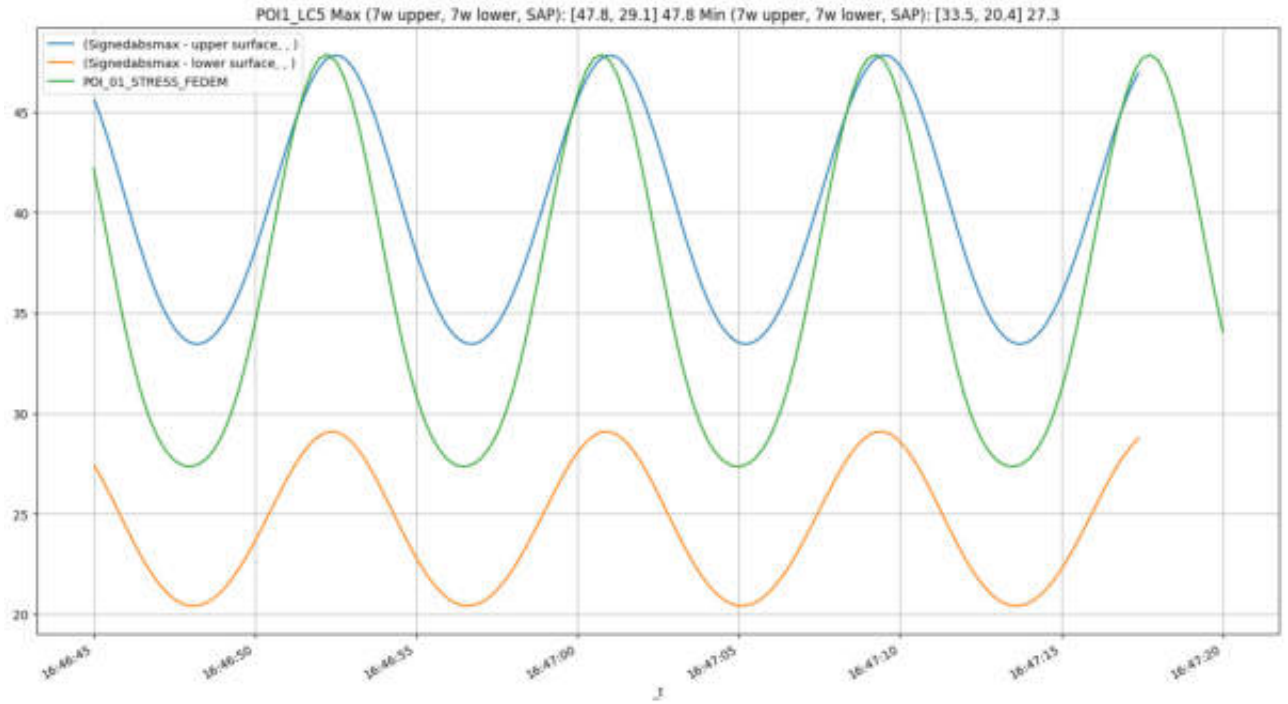


Figure 7. POI1, load case 5

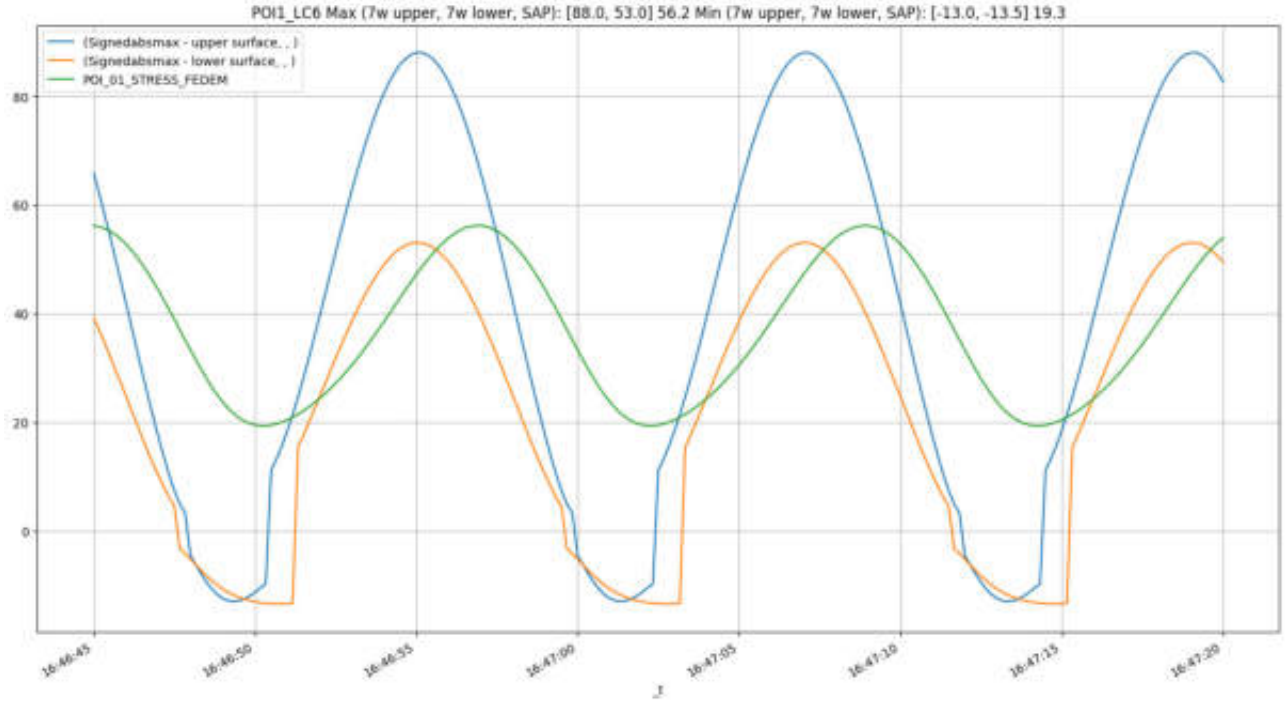


Figure 8. POI1, load case 6

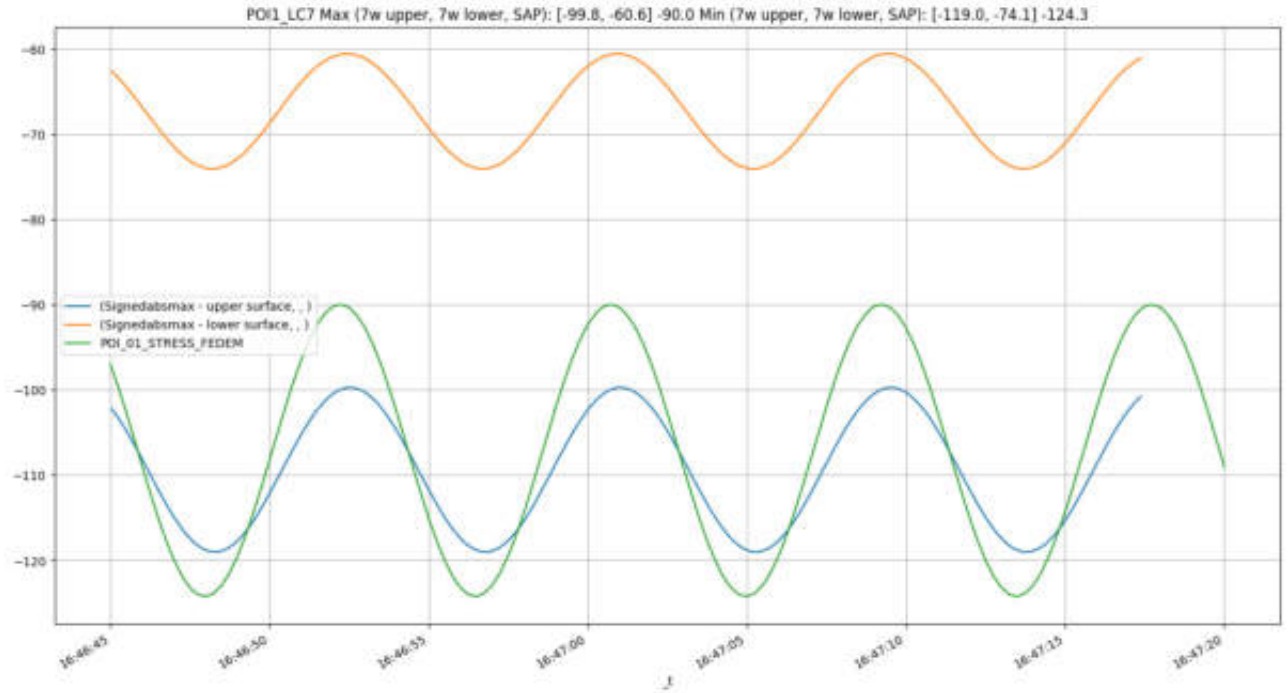


Figure 9. POI1, load case 7

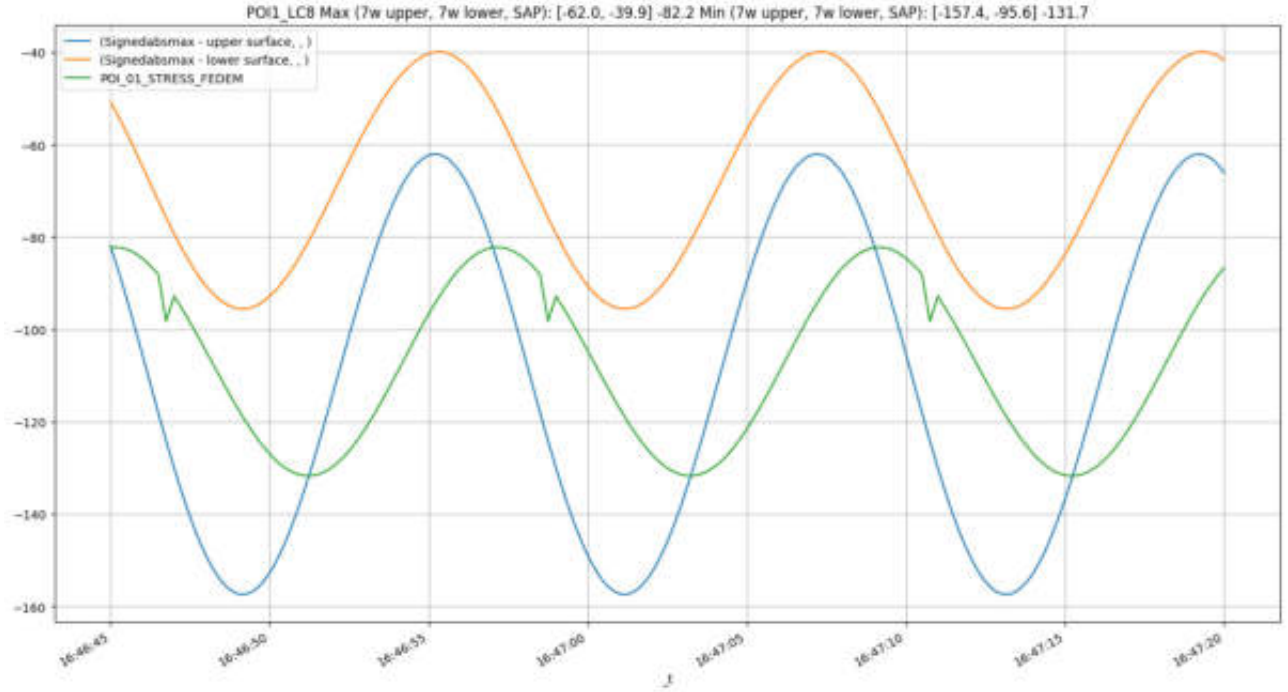


Figure 10. POI1, load case 8

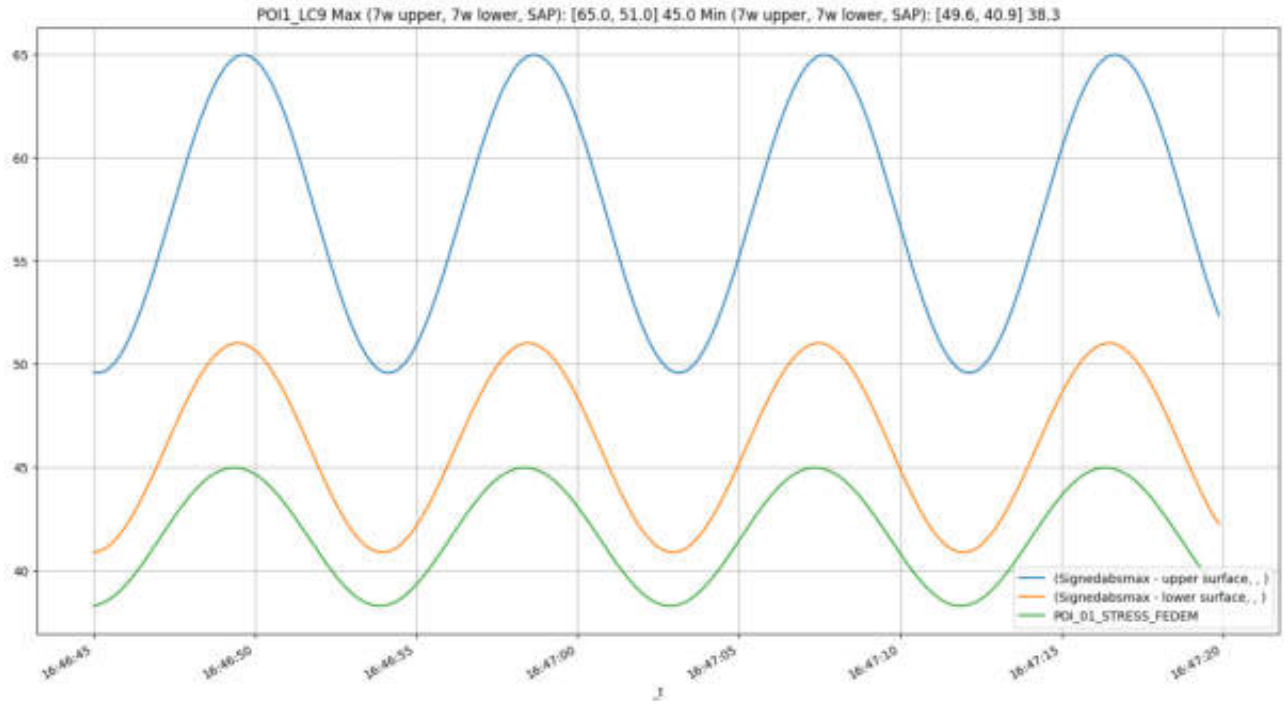


Figure 11. POI1, load case 9

2.1.2 POI10

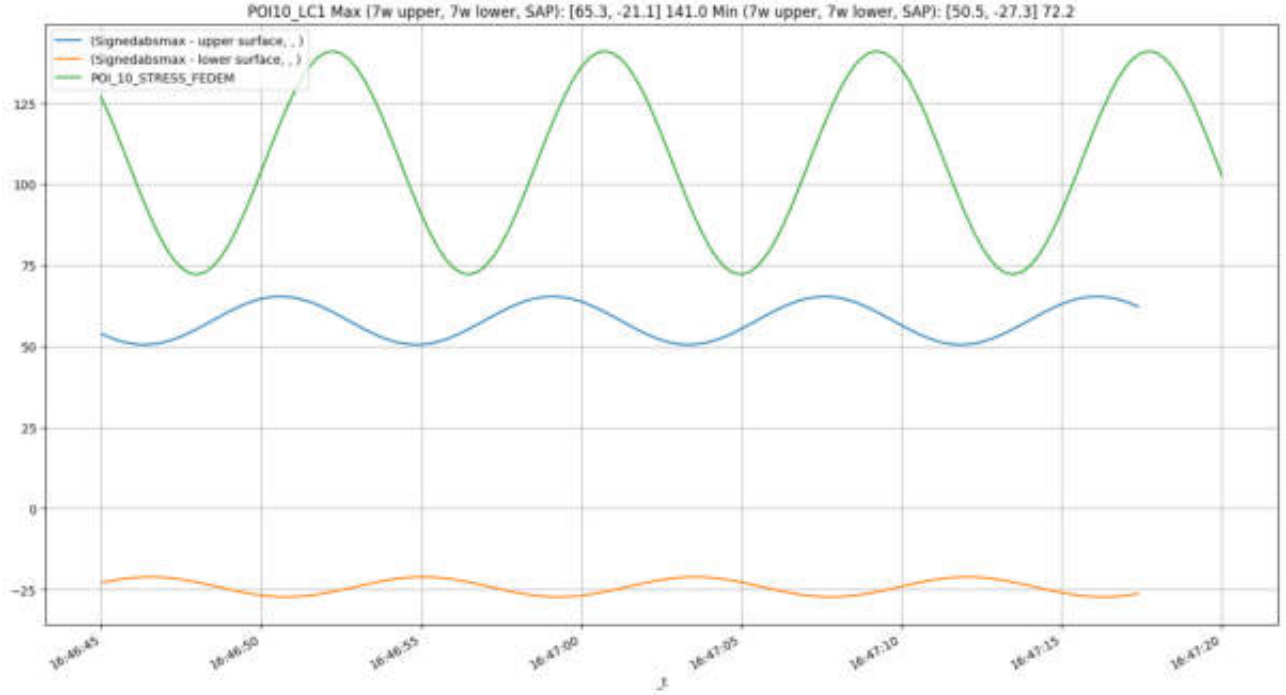


Figure 12. POI10, load case 1

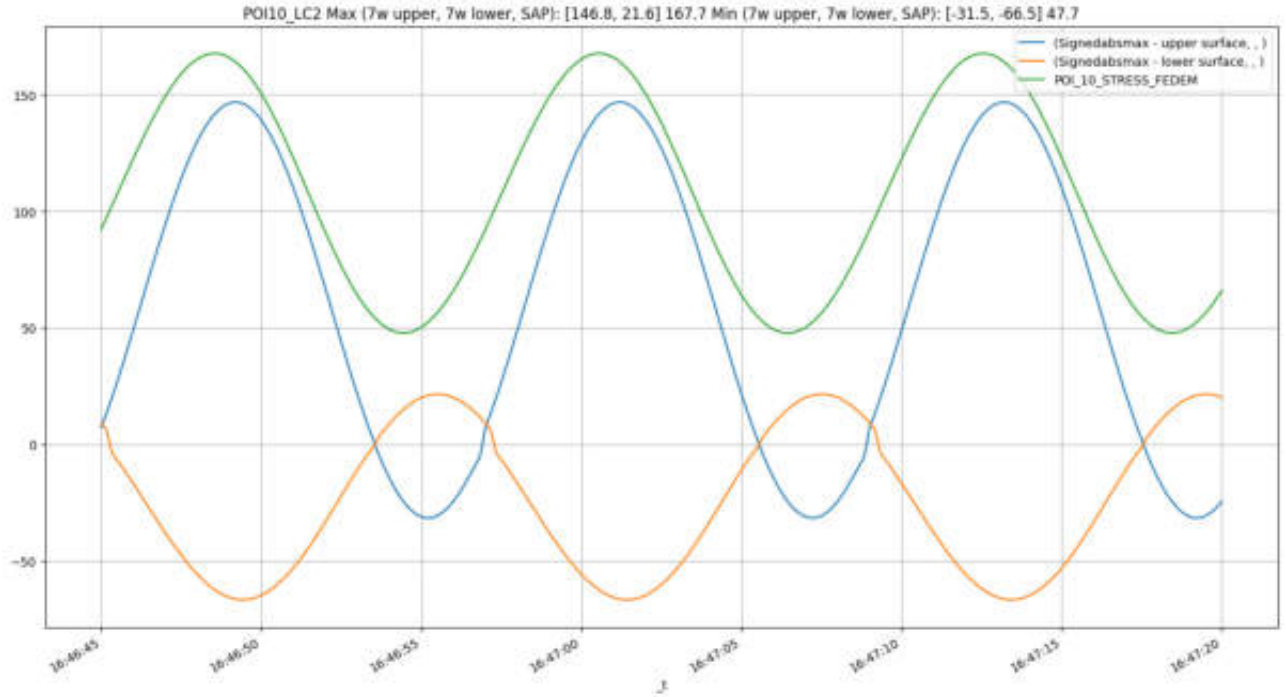


Figure 13. POI10, load case 2

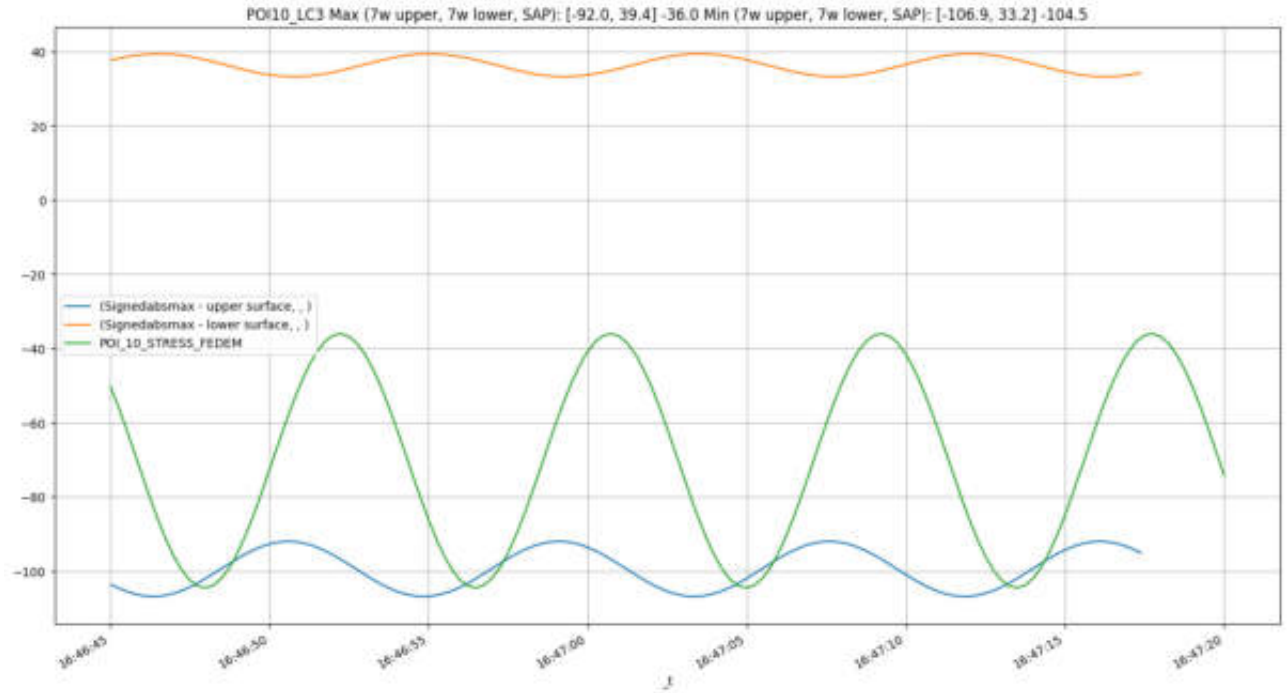


Figure 14. POI10, load case 3

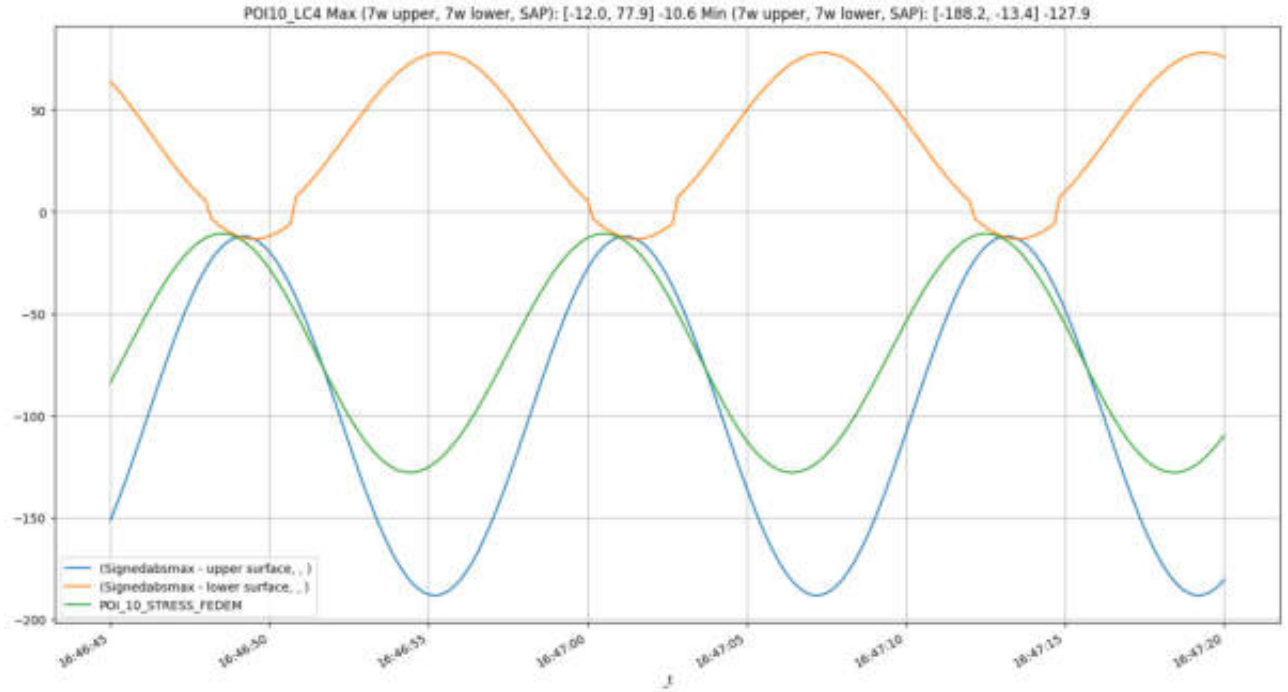


Figure 15. POI10, load case 4

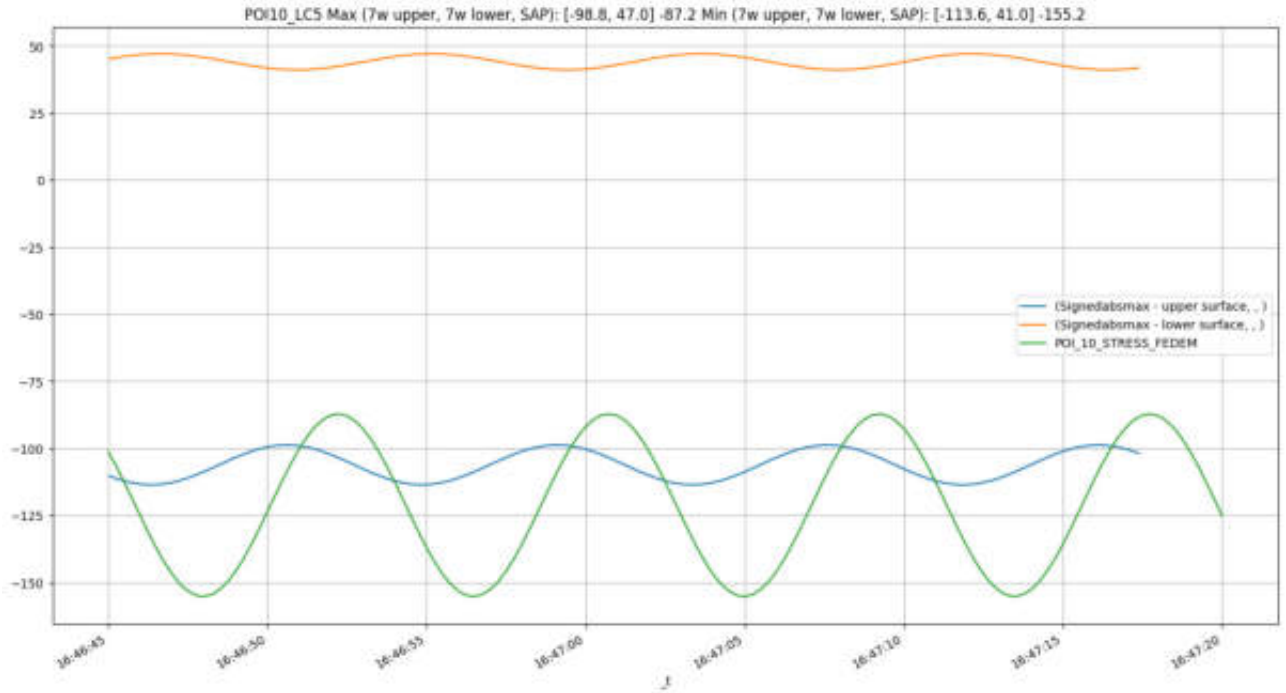


Figure 16. POI10, load case 5

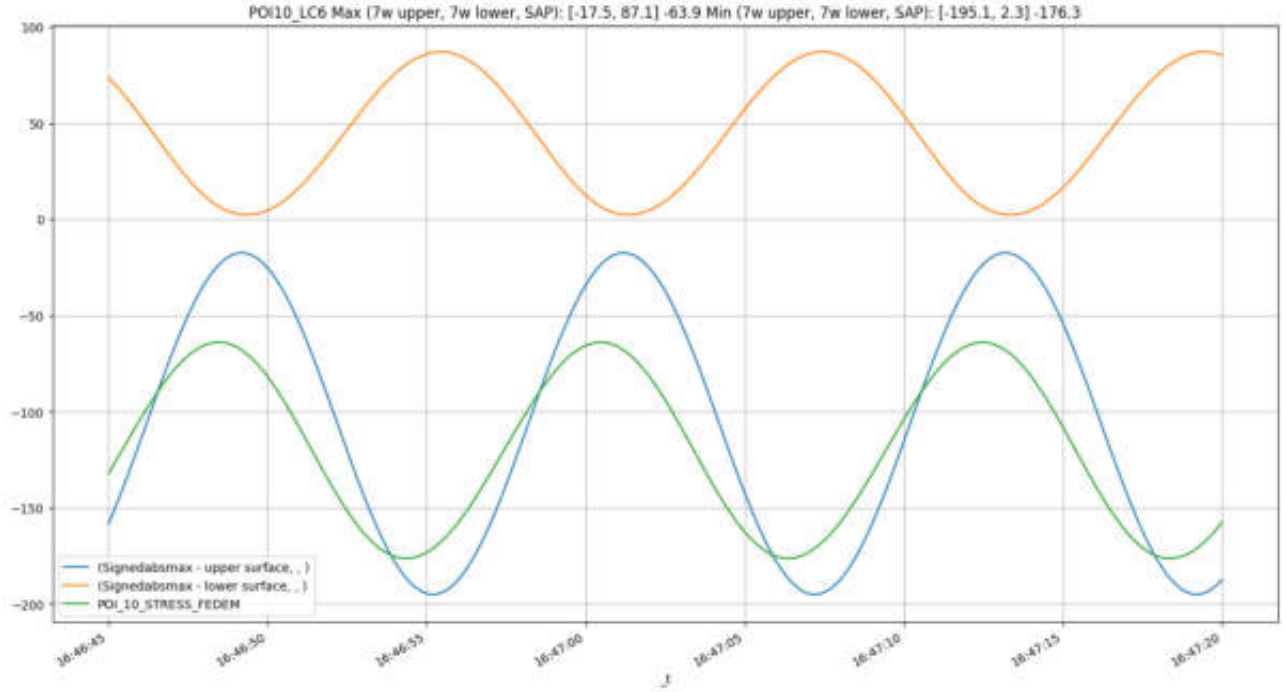


Figure 17. POI10, load case 6

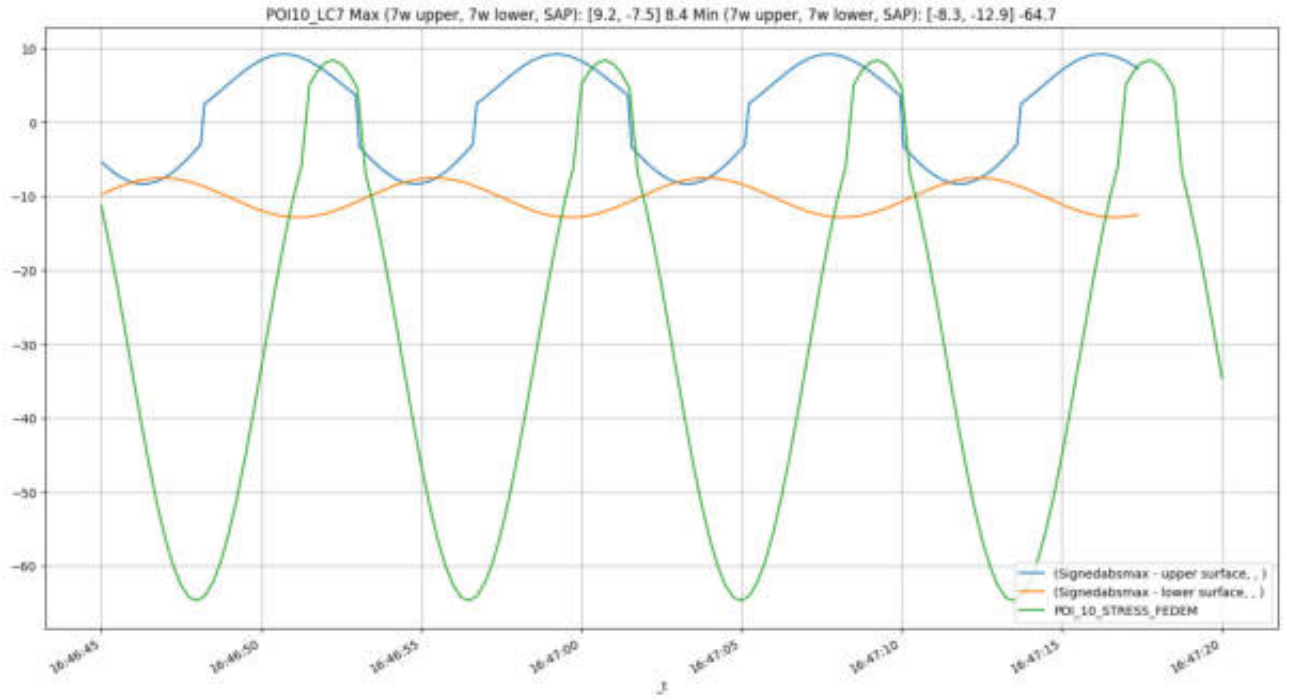


Figure 18. POI10, load case 7

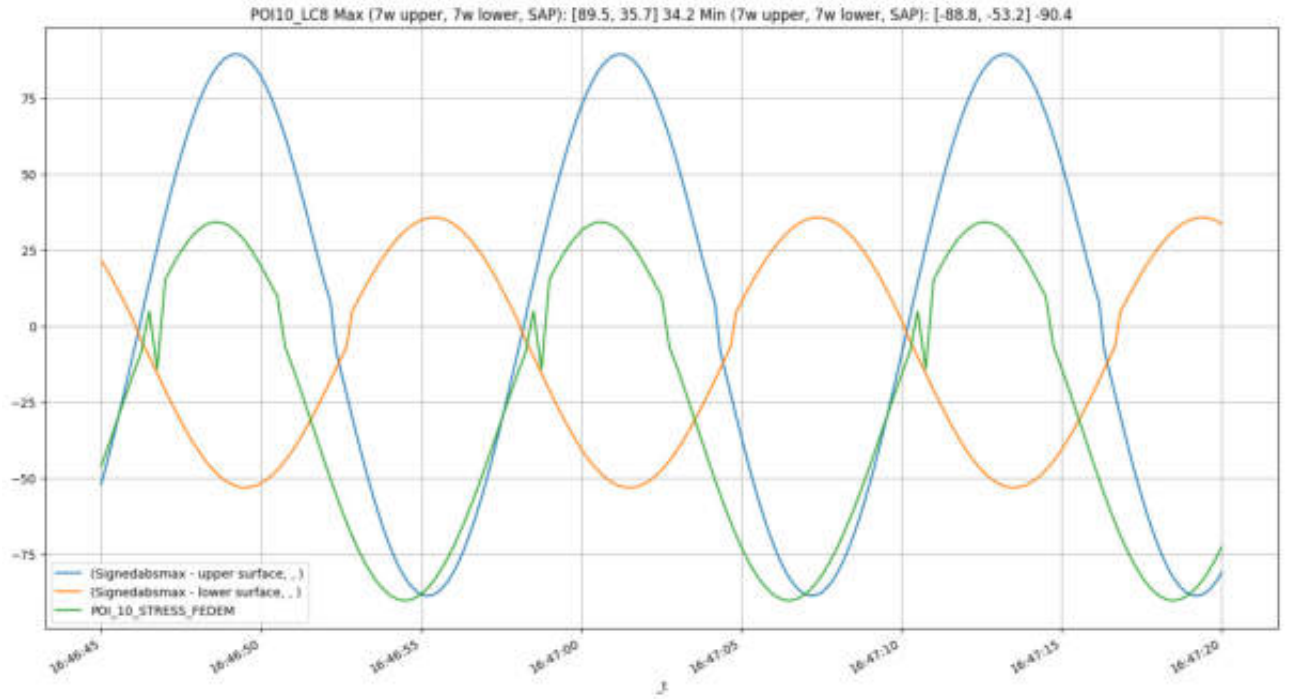


Figure 19. POI10, load case 8

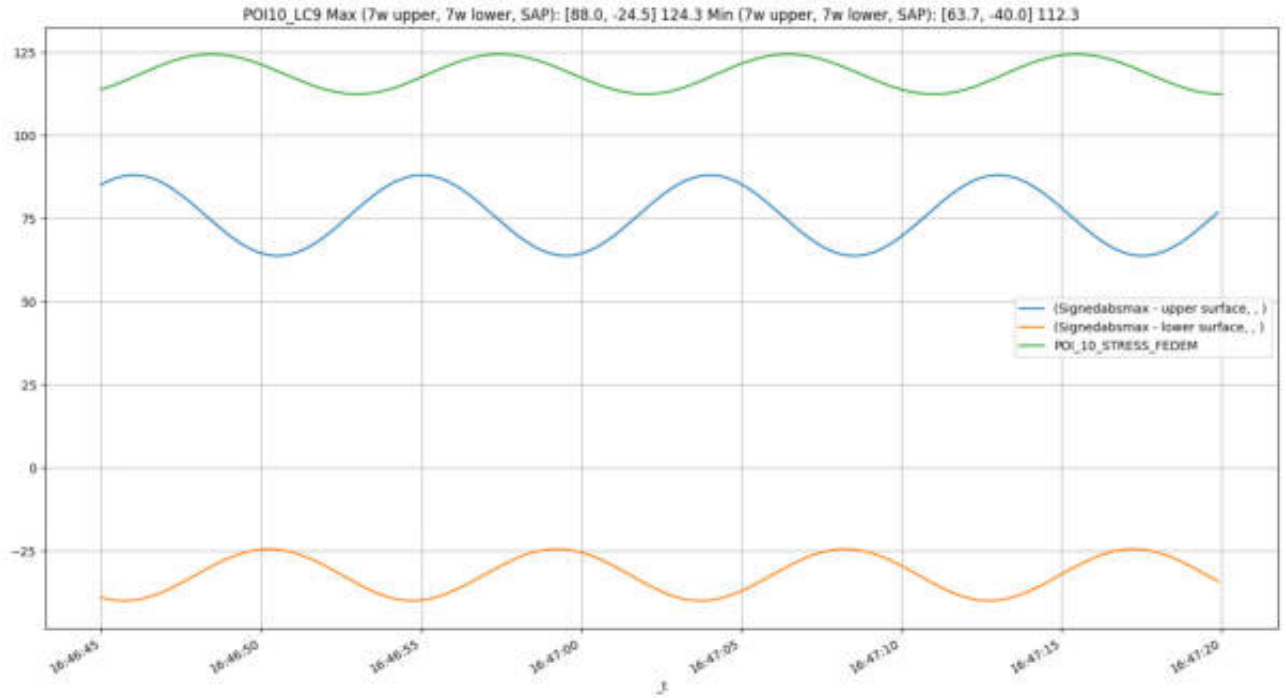


Figure 20. POI10, load case 9

2.1.3 POI11

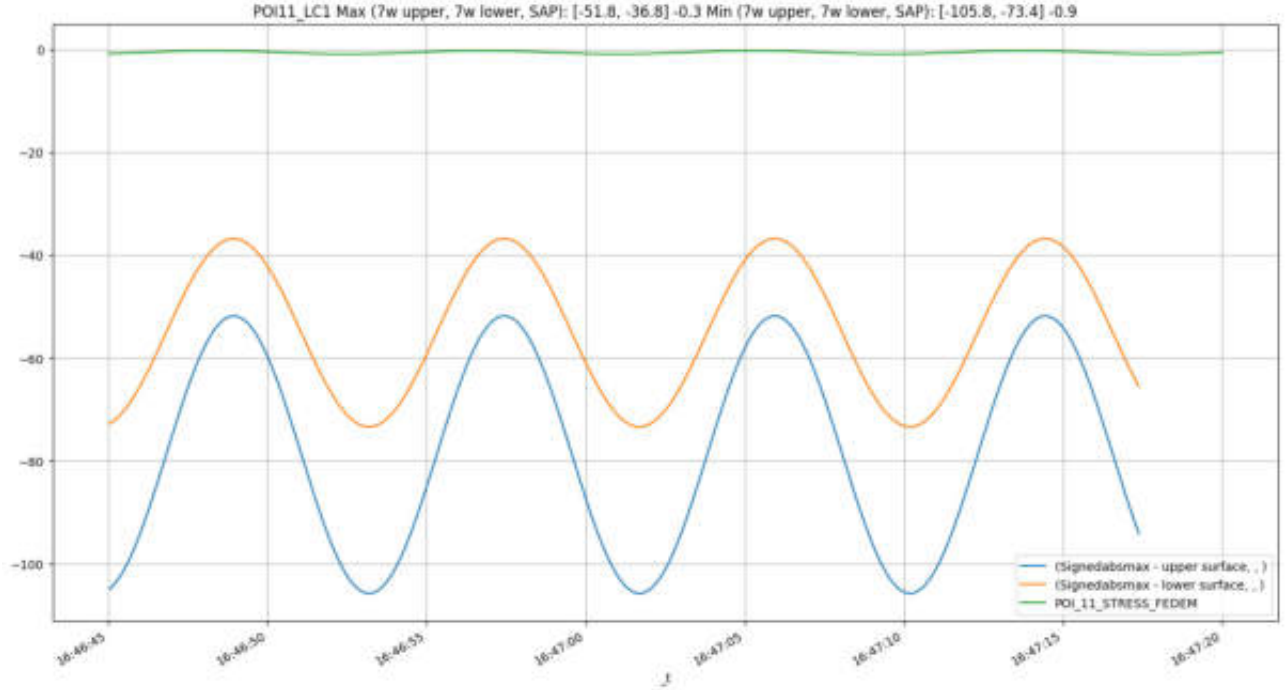


Figure 21. POI11, load case 1

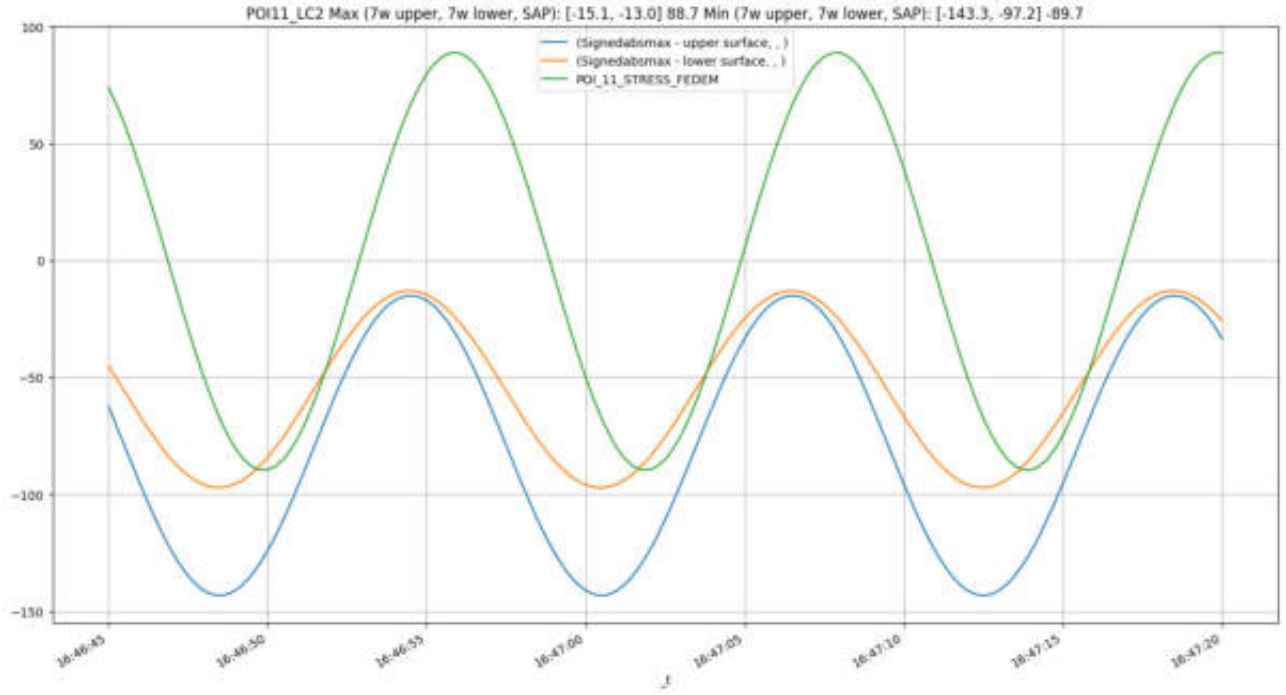


Figure 22. POI11, load case 2

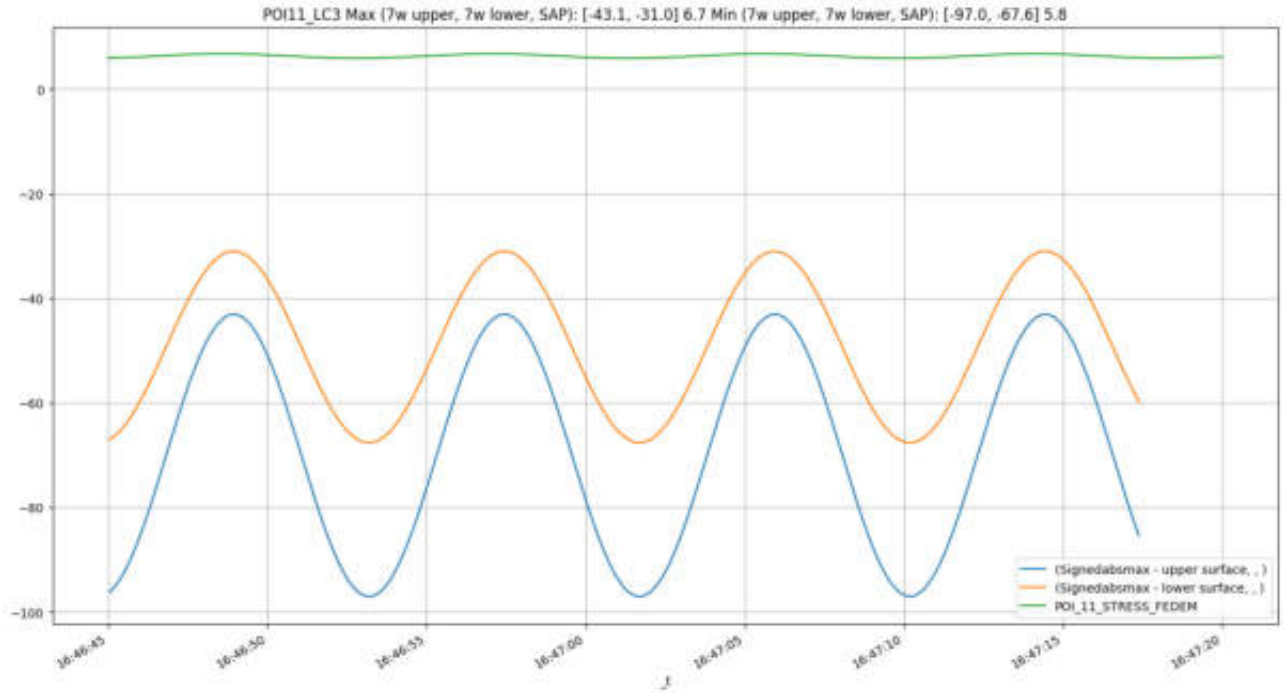


Figure 23. POI11, load case 3

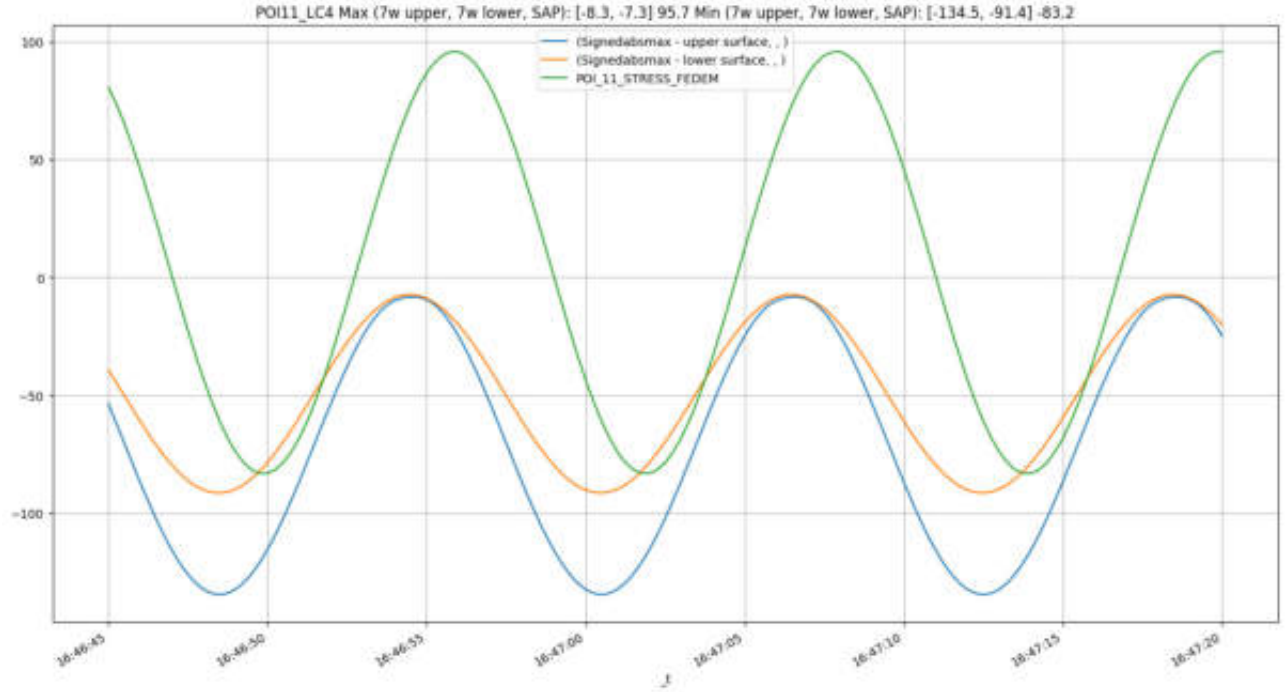


Figure 24. POI11, load case 4

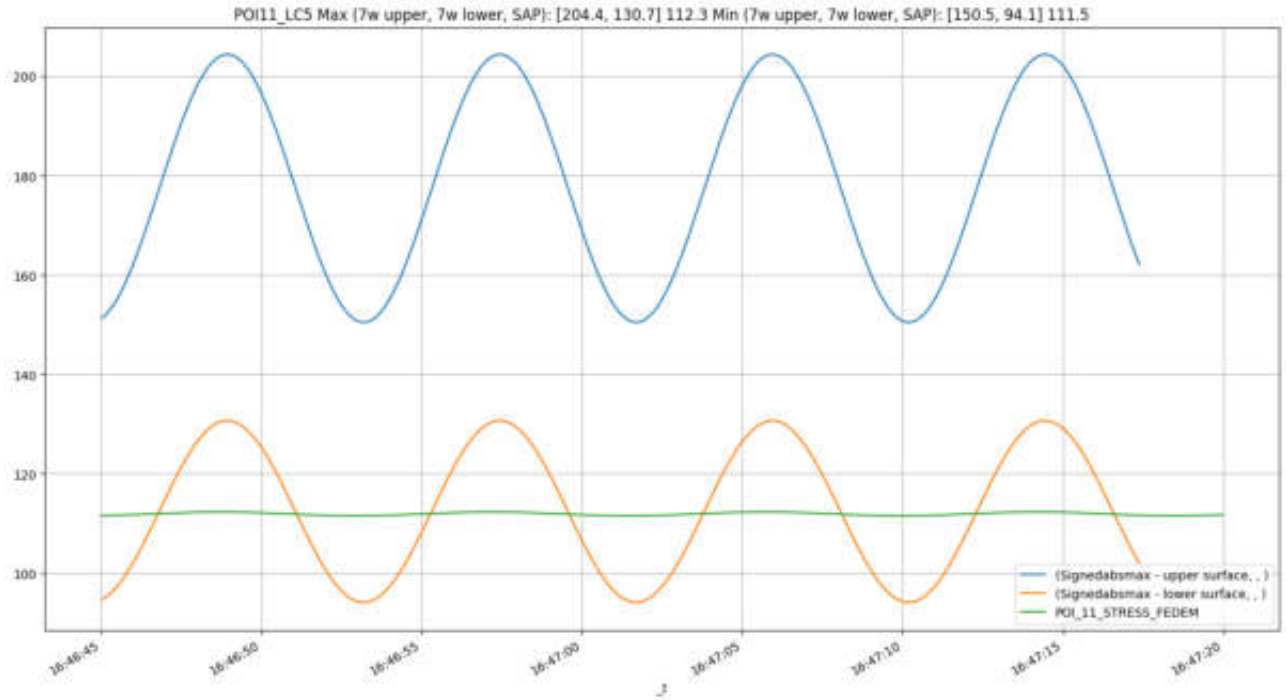


Figure 25. POI11, load case 5

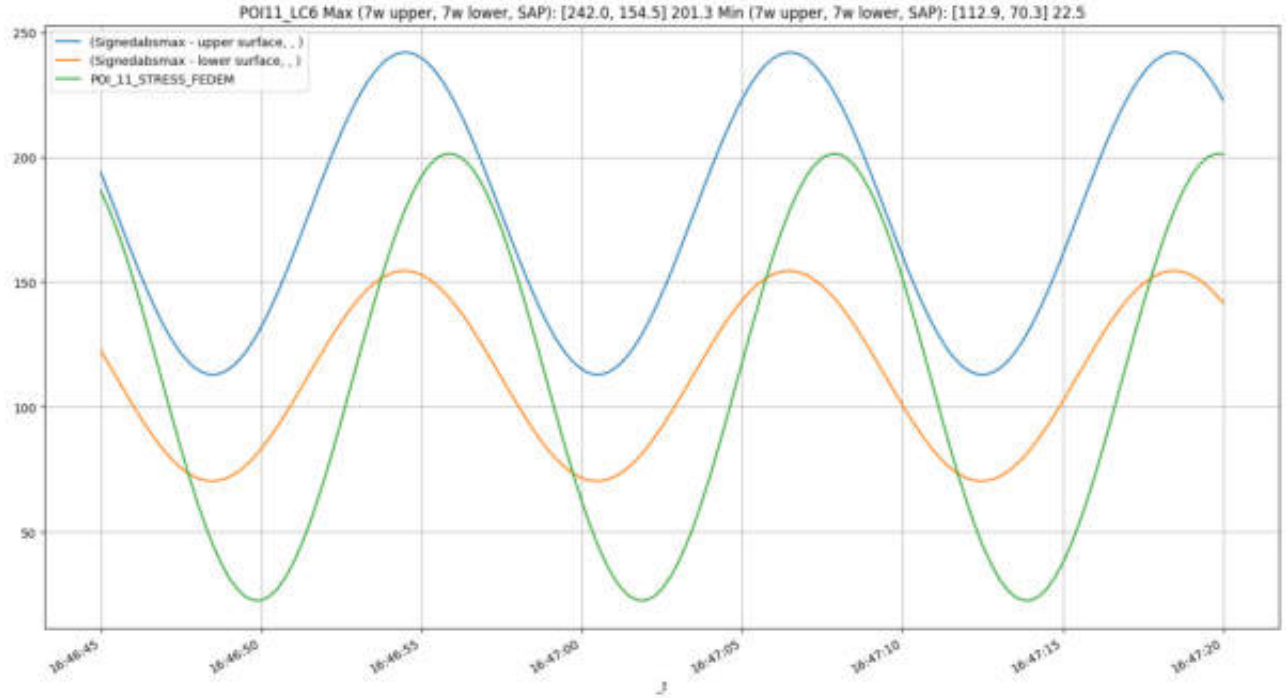


Figure 26. POI11, load case 6

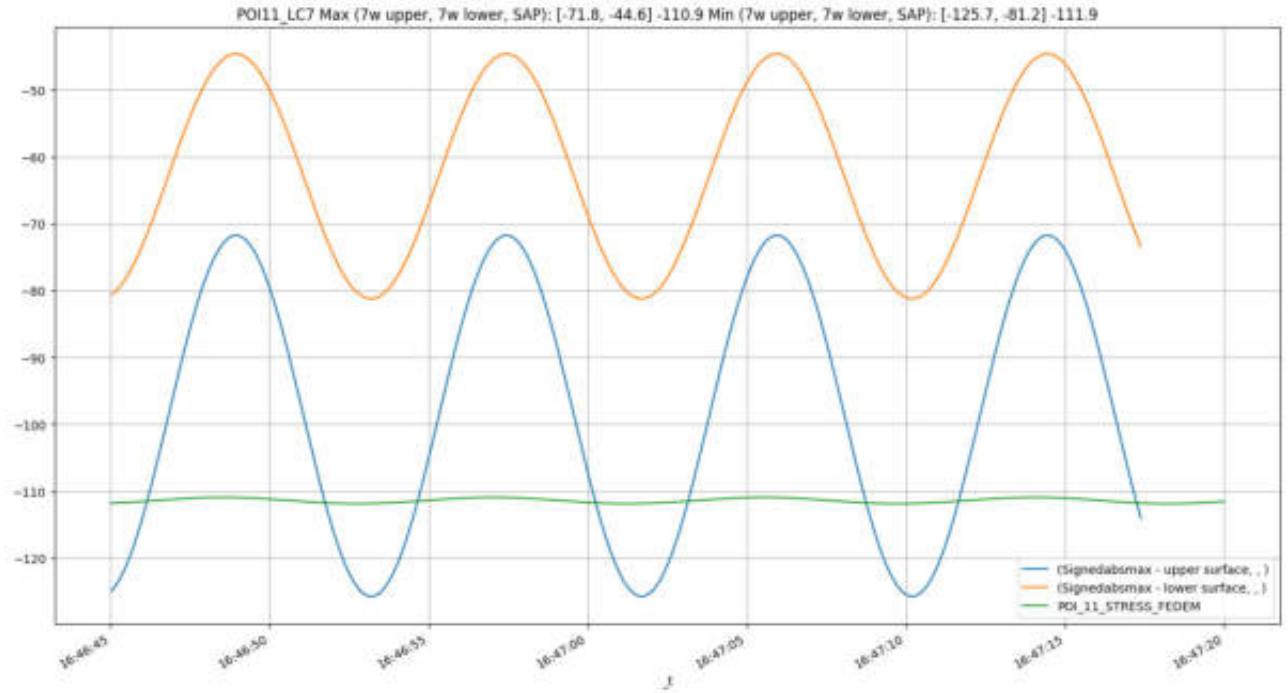


Figure 27. POI11, load case 7

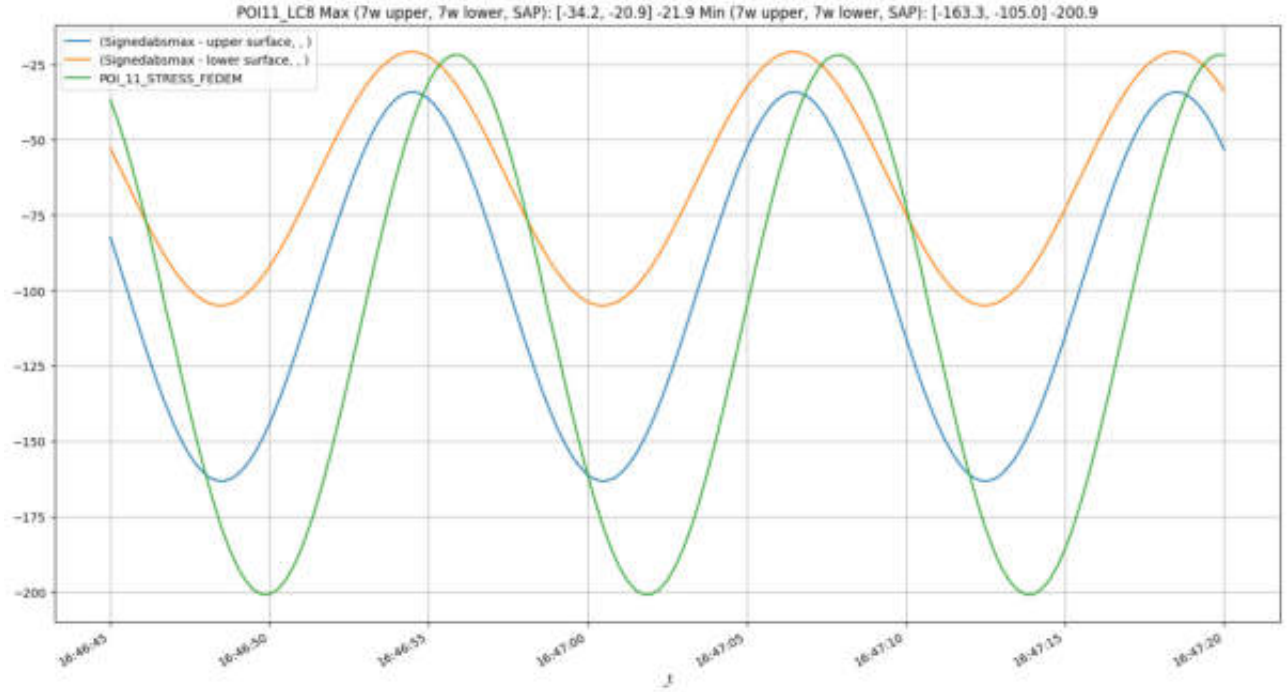


Figure 28. POI11, load case 8

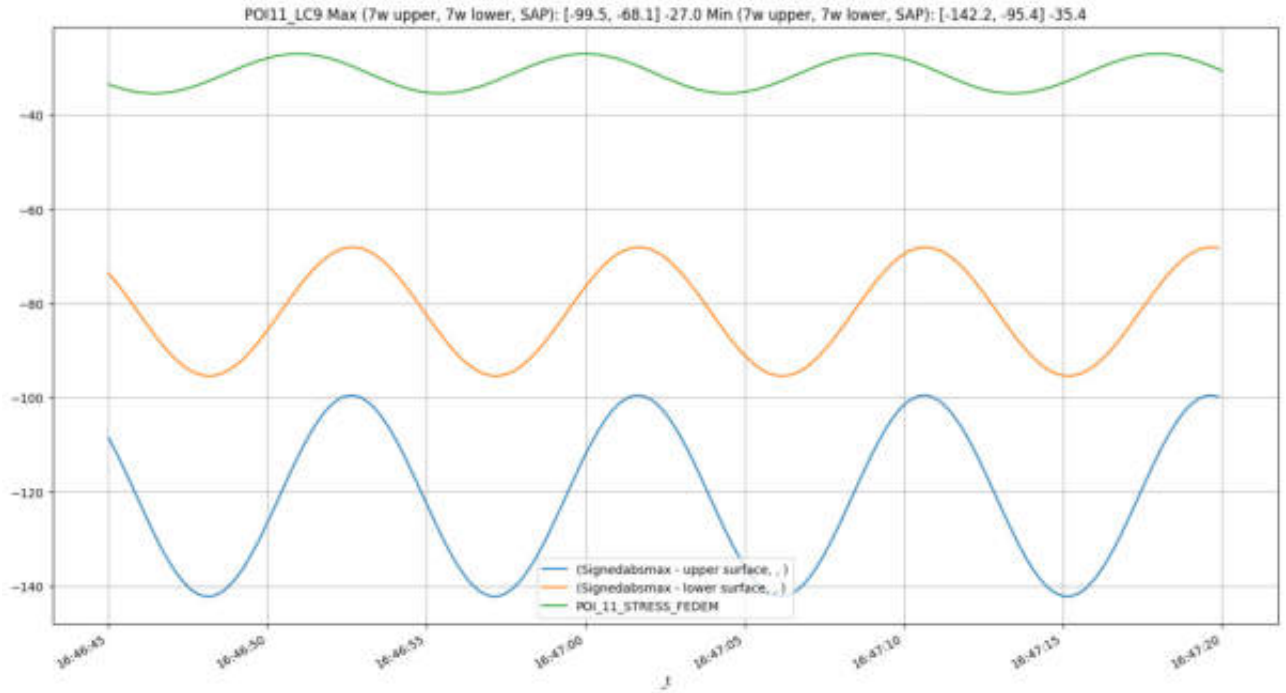


Figure 29. POI11, load case 9

2.1.4 POI16

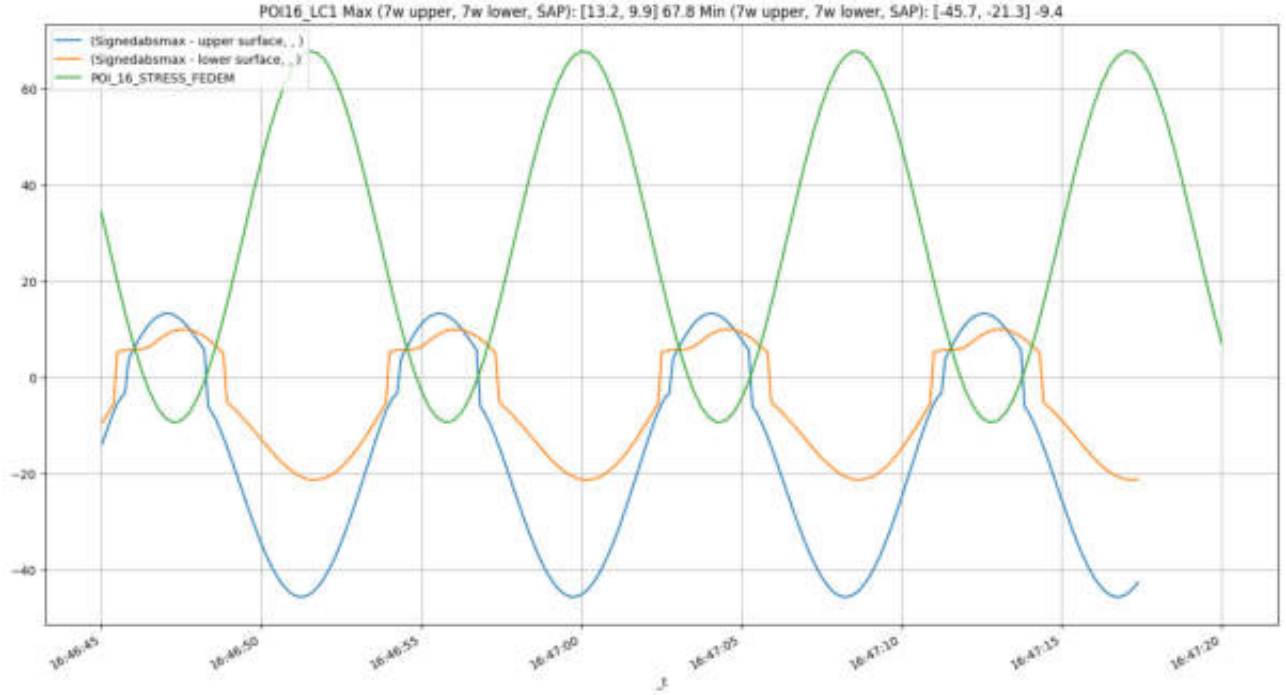


Figure 30. POI16, load case 1

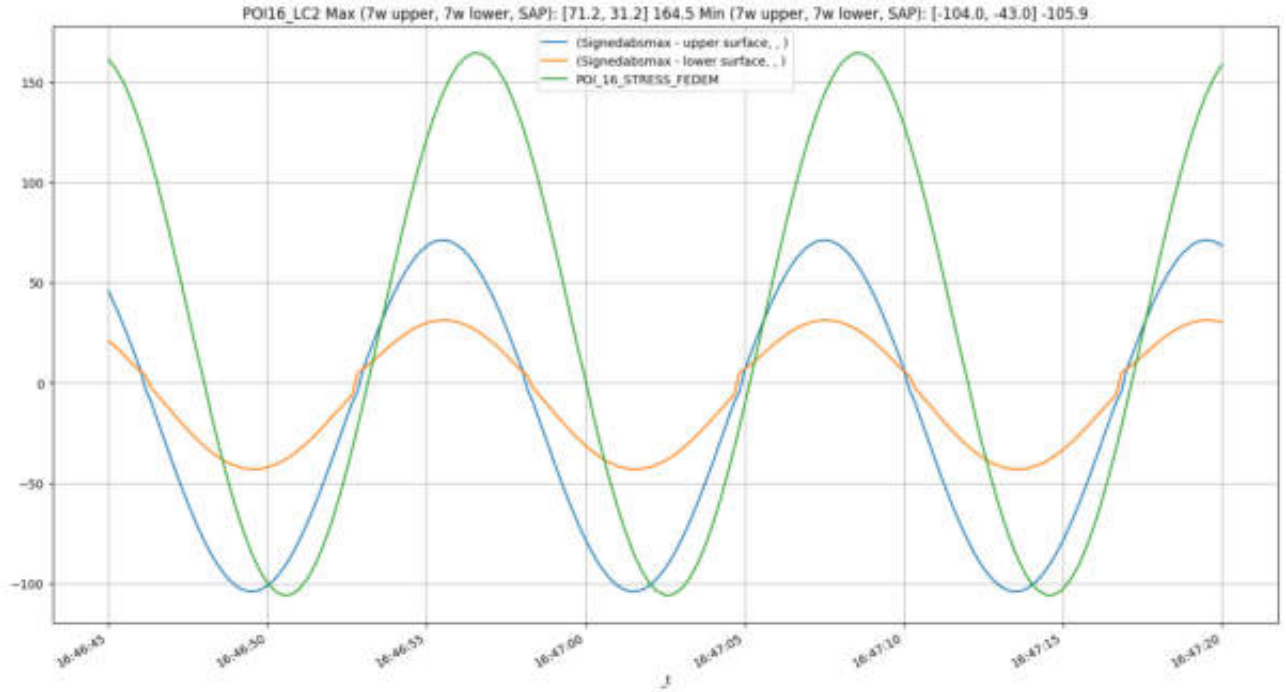


Figure 31. POI16, load case 2

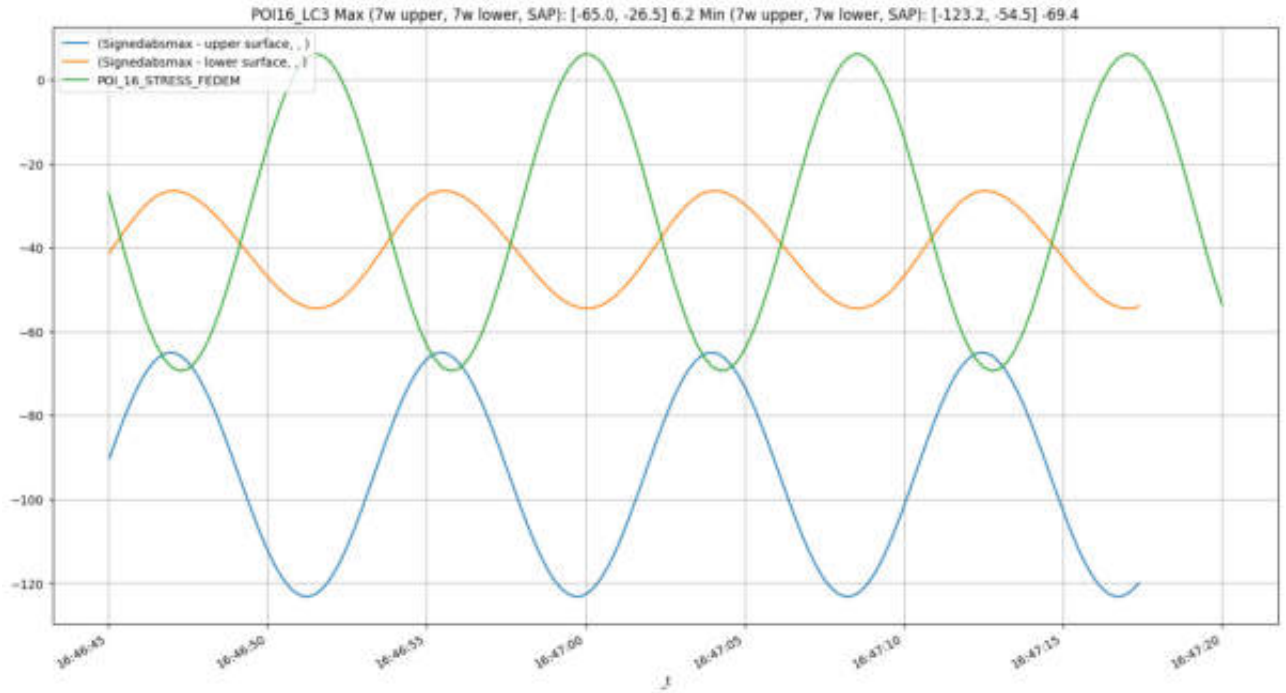


Figure 32. POI16, load case 3

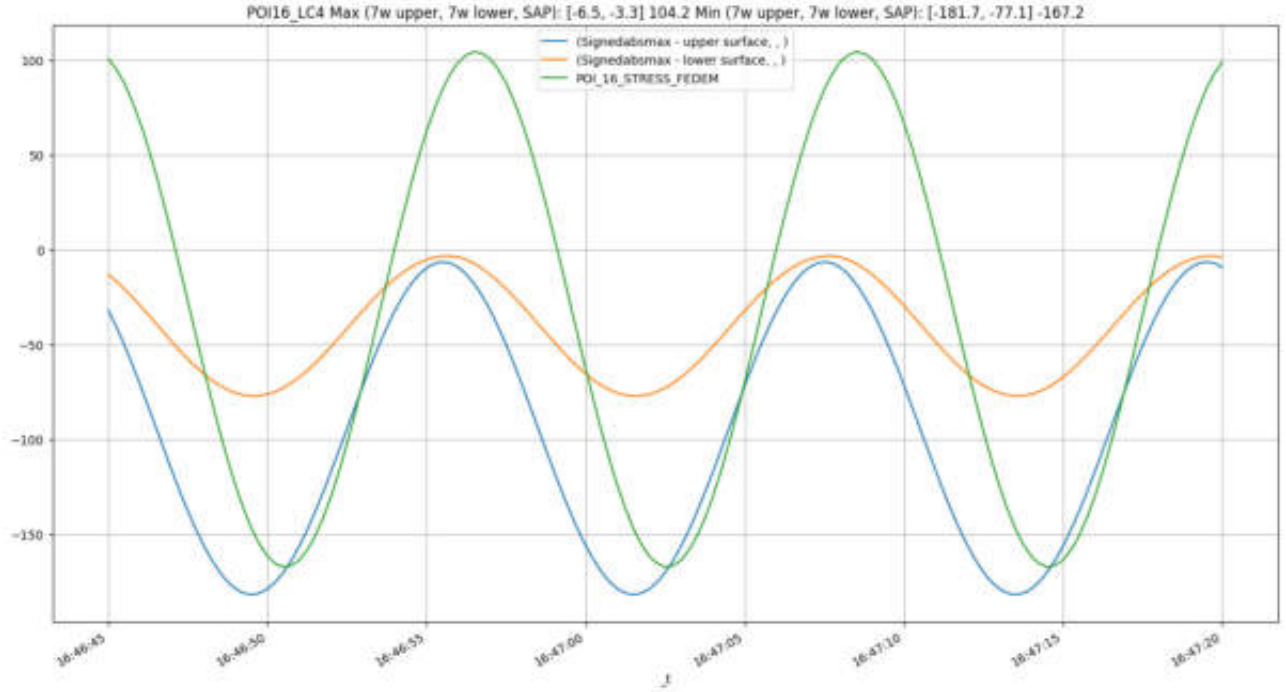


Figure 33. POI16, load case 4

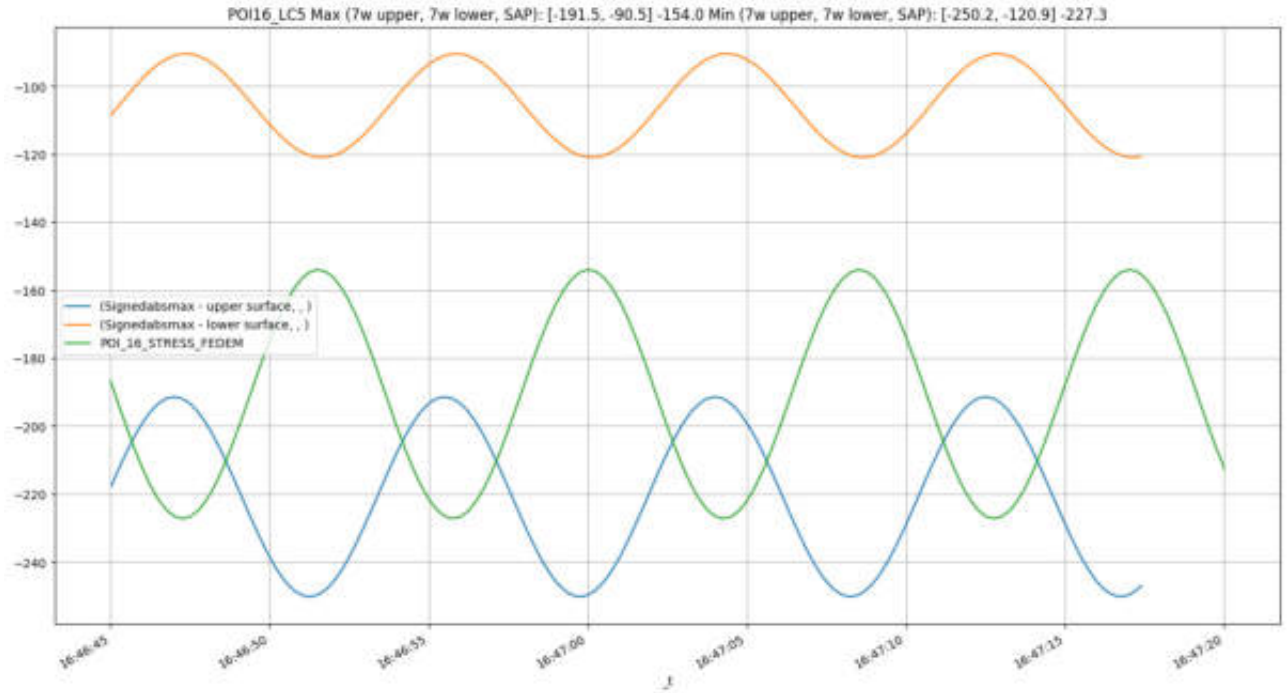


Figure 34. POI16, load case 5

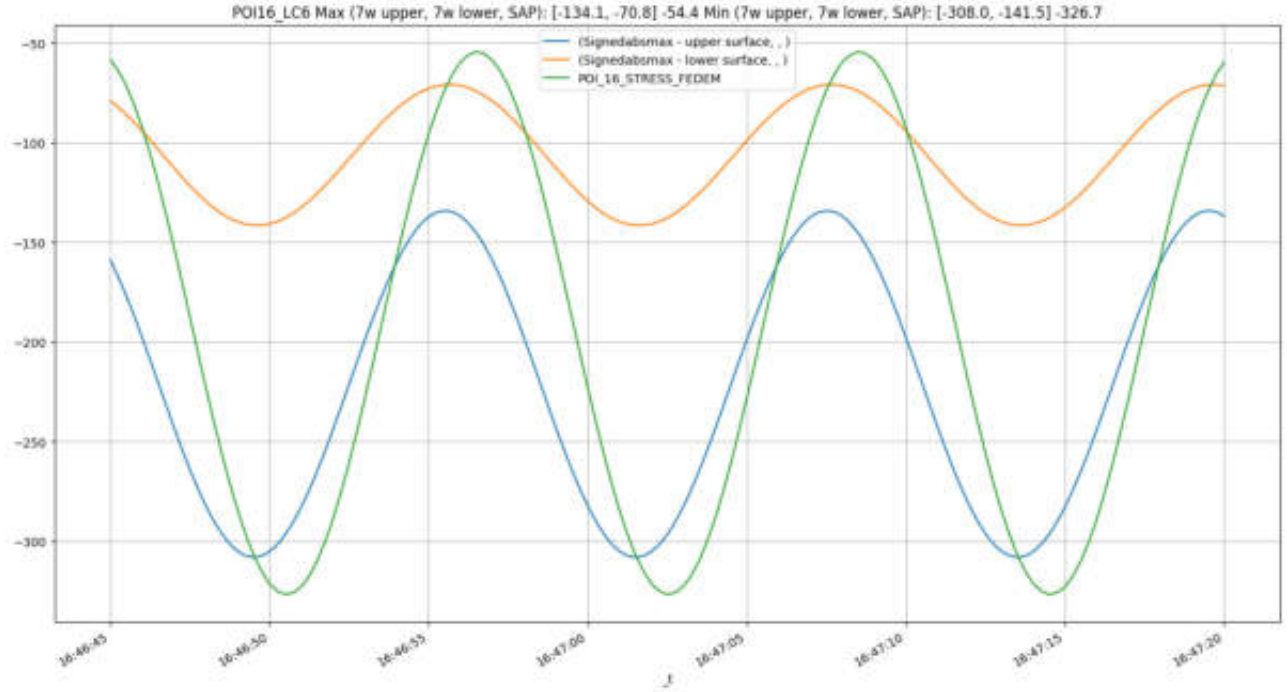


Figure 35. POI16, load case 6

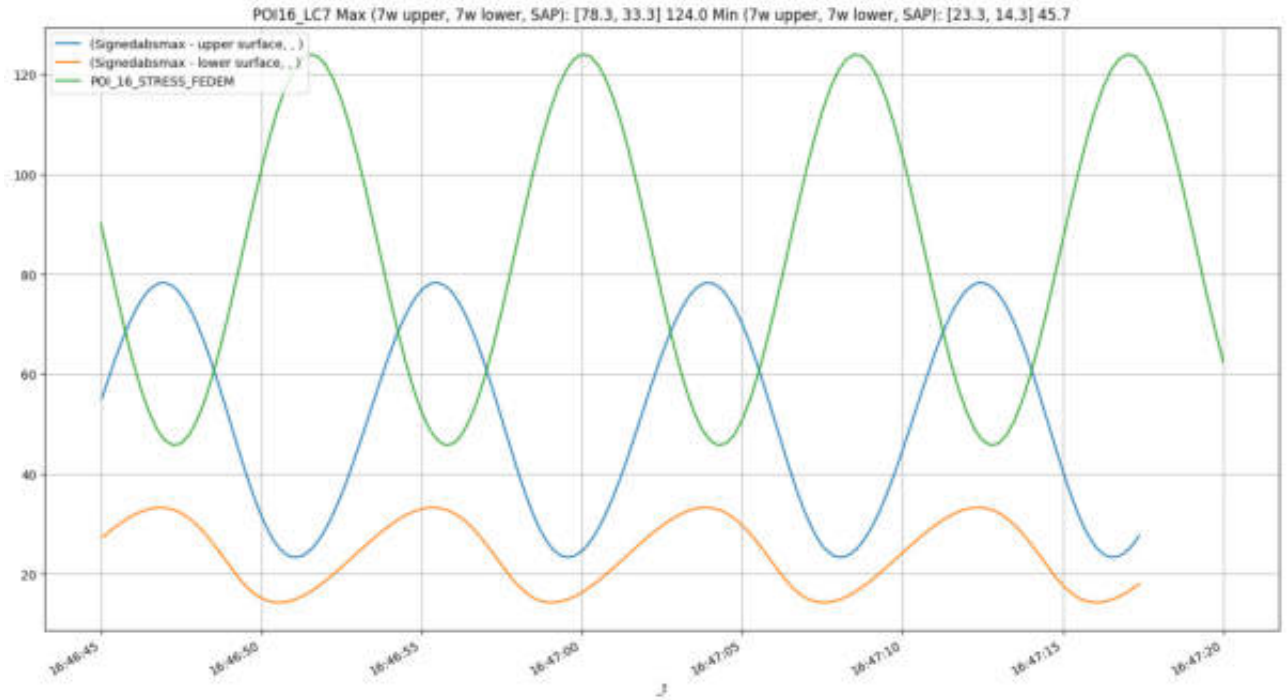


Figure 36. POI16, load case 7

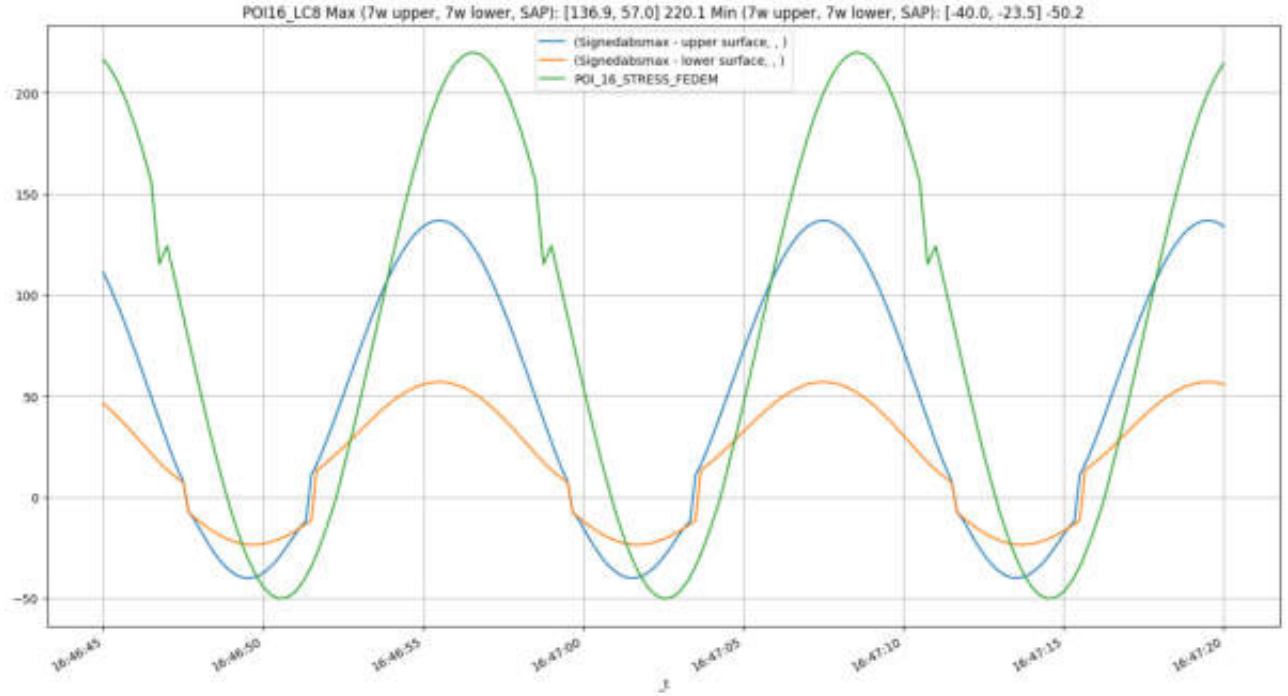


Figure 37. POI16, load case 8

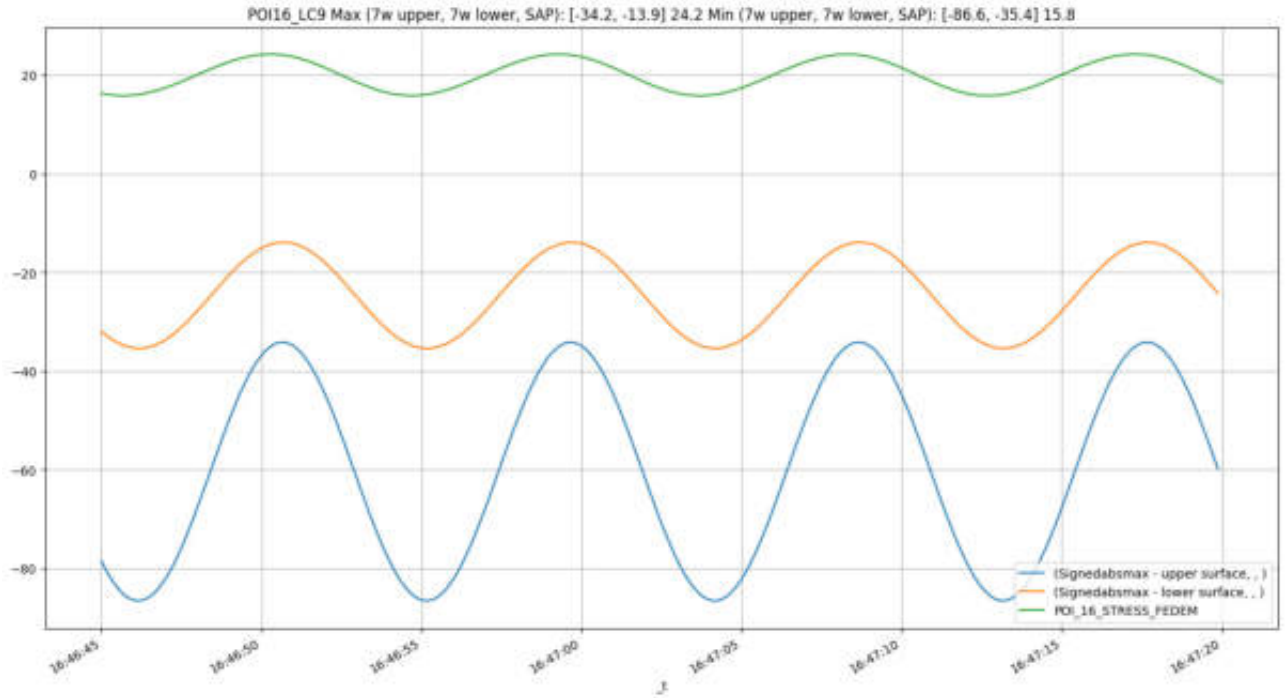


Figure 38. POI16, load case 9

2.1.5 POI17

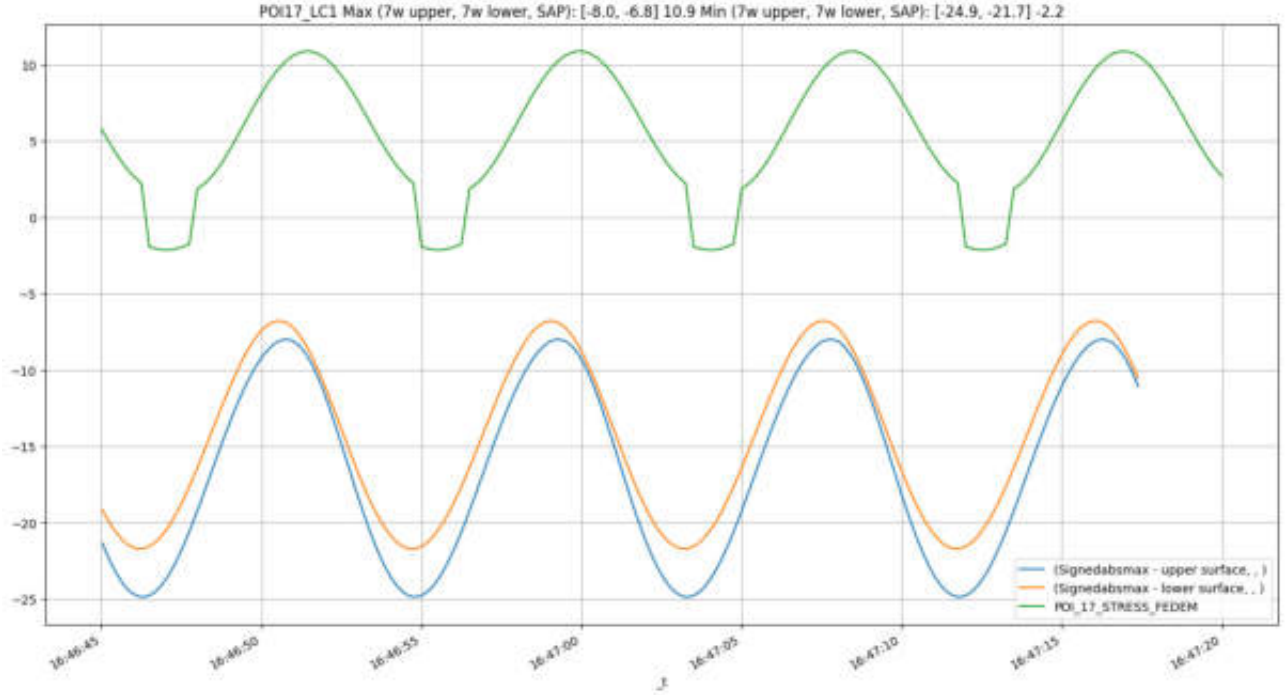


Figure 39. POI17, load case 1

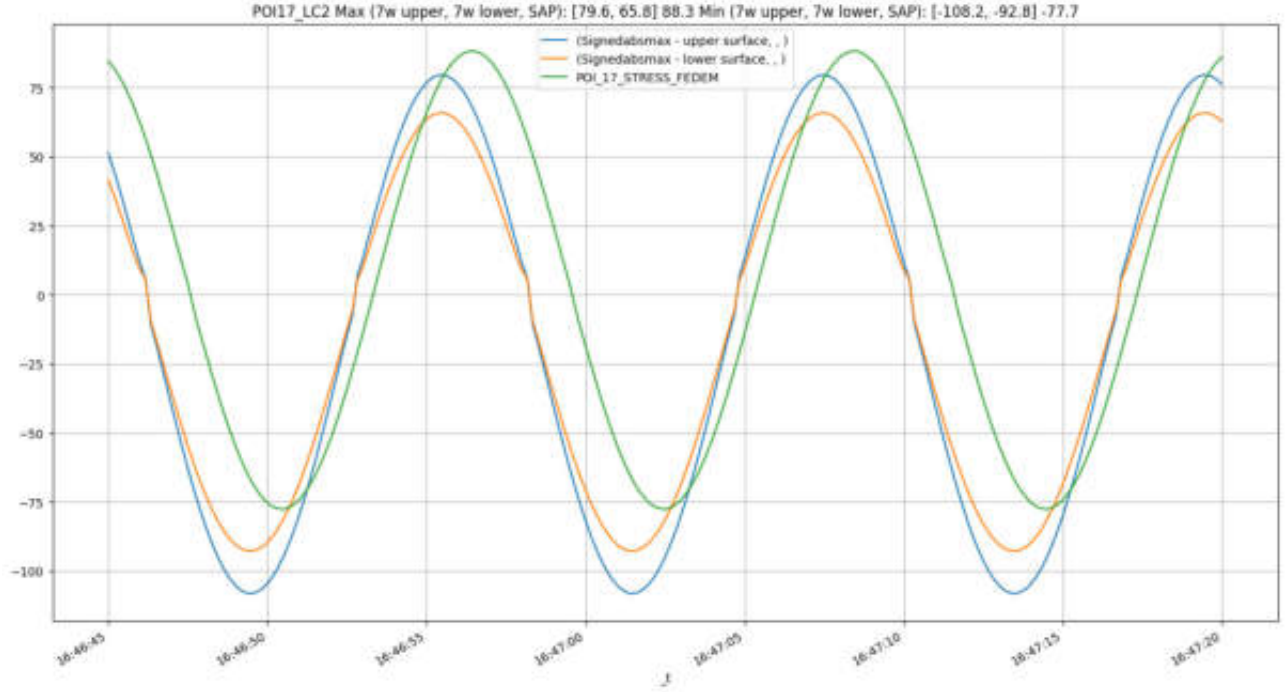


Figure 40. POI17, load case 2

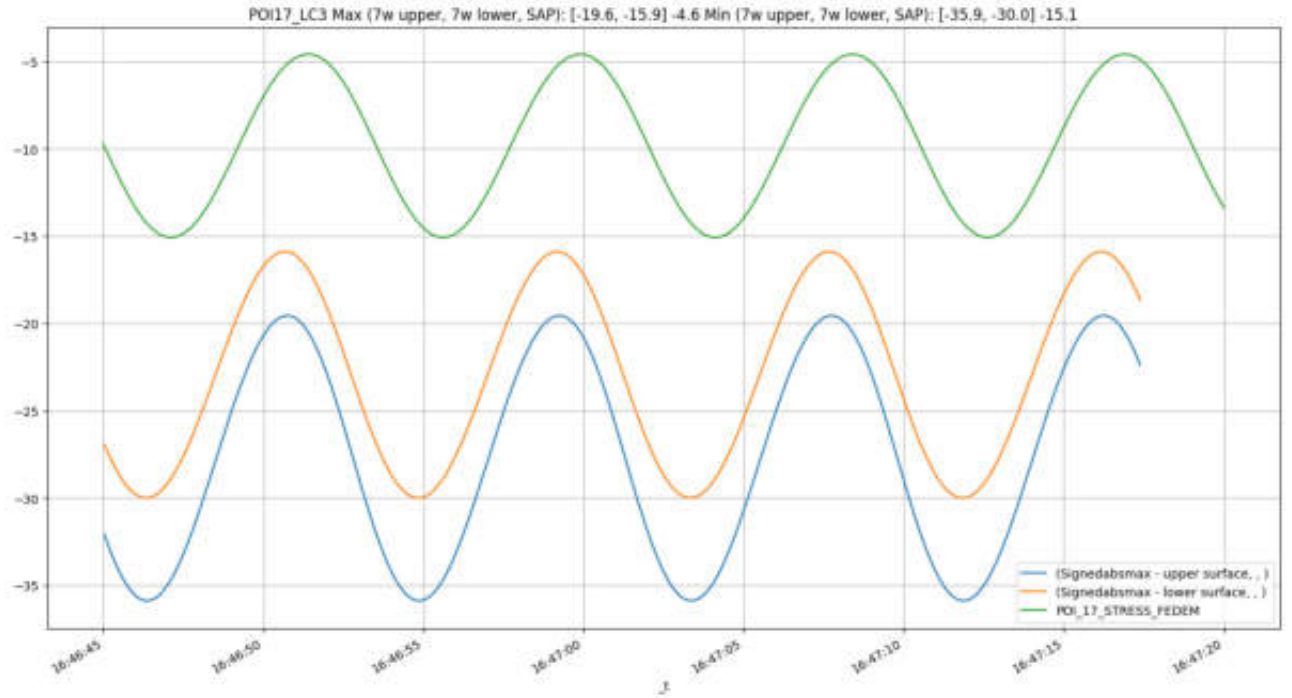


Figure 41. POI17, load case 3

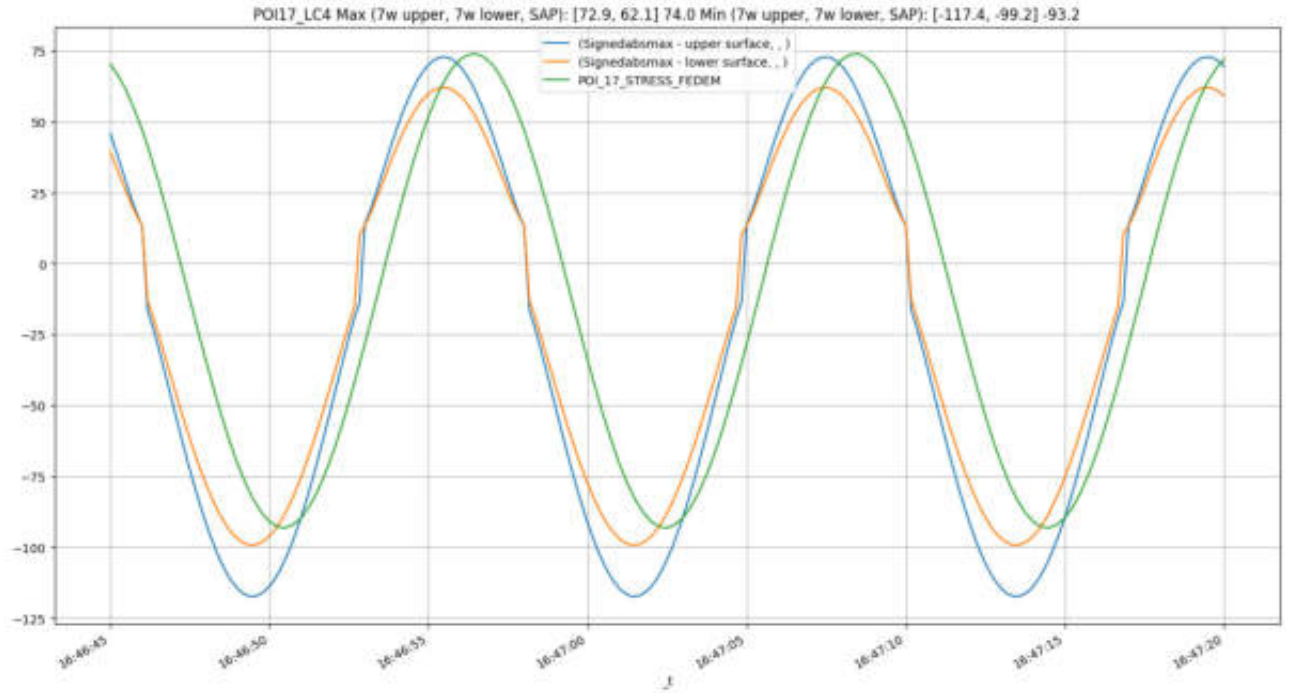


Figure 42. POI17, load case 4

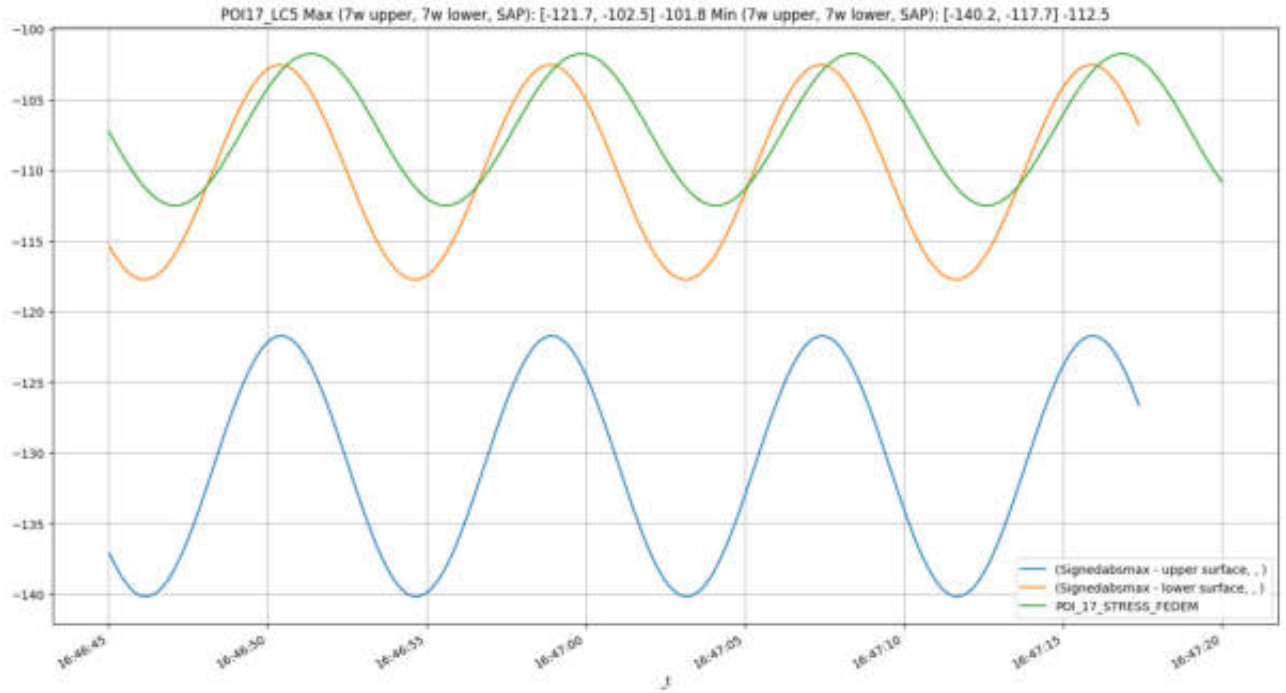


Figure 43. POI17, load case 5

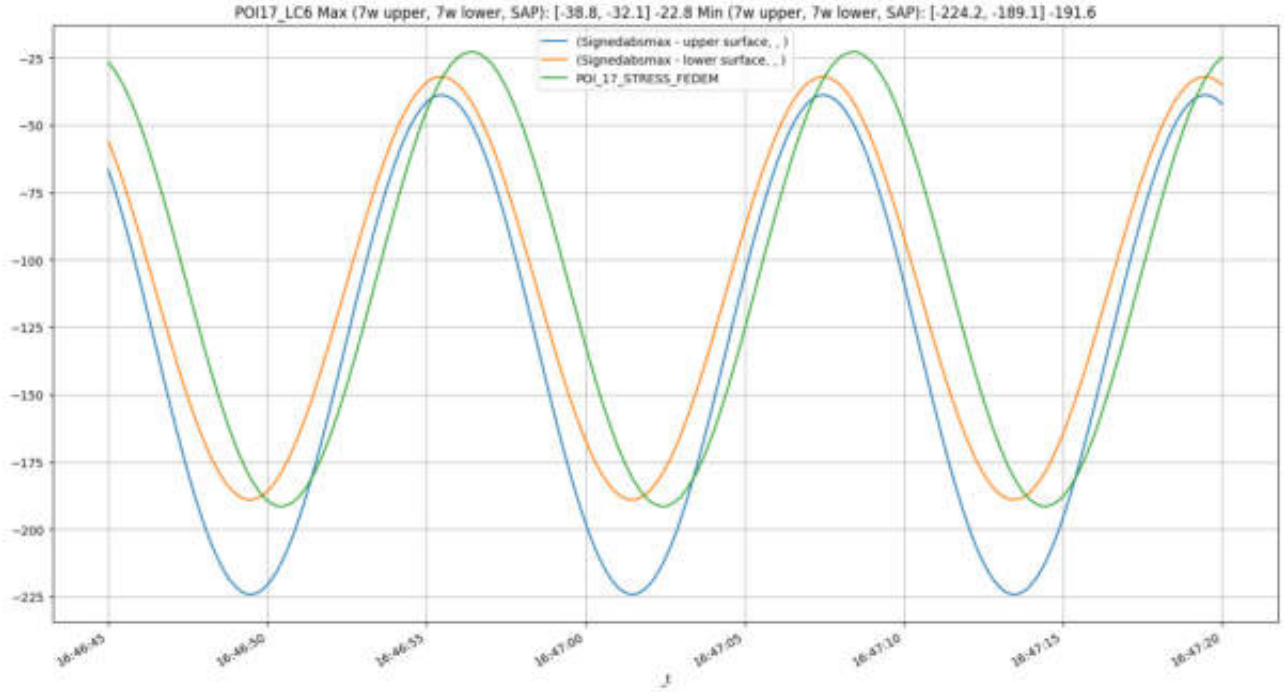


Figure 44. POI17, load case 6

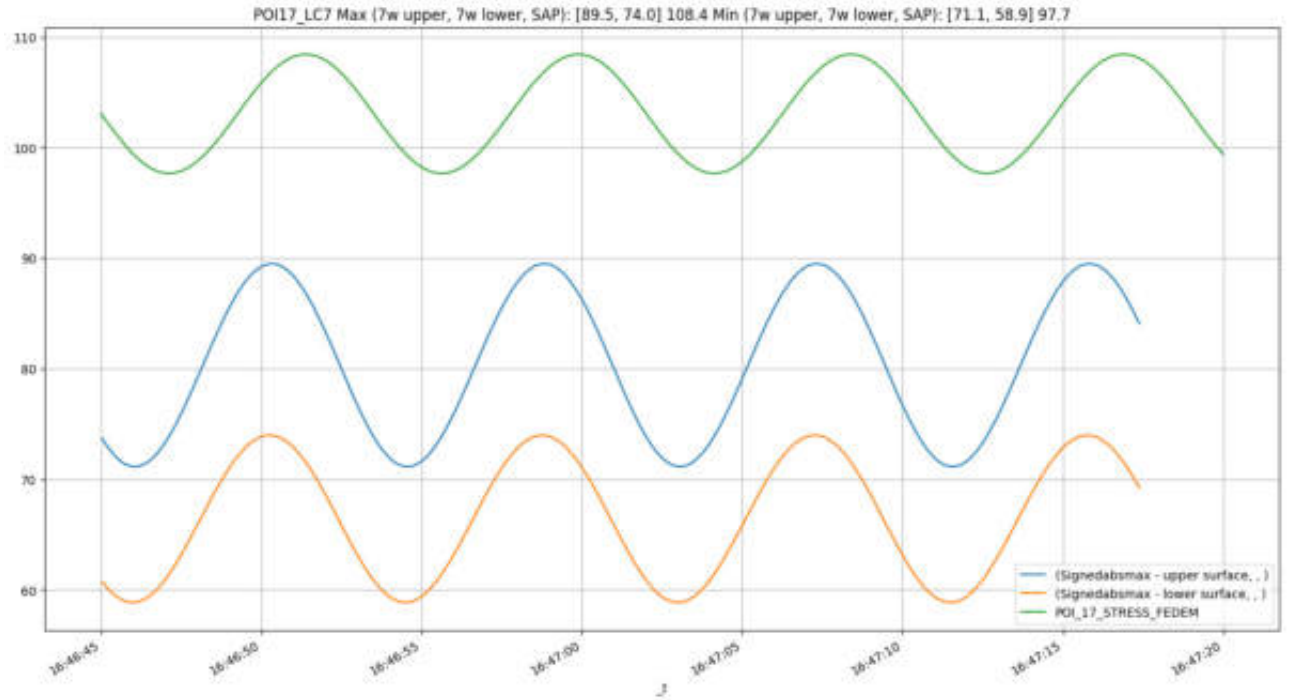


Figure 45. POI17, load case 7

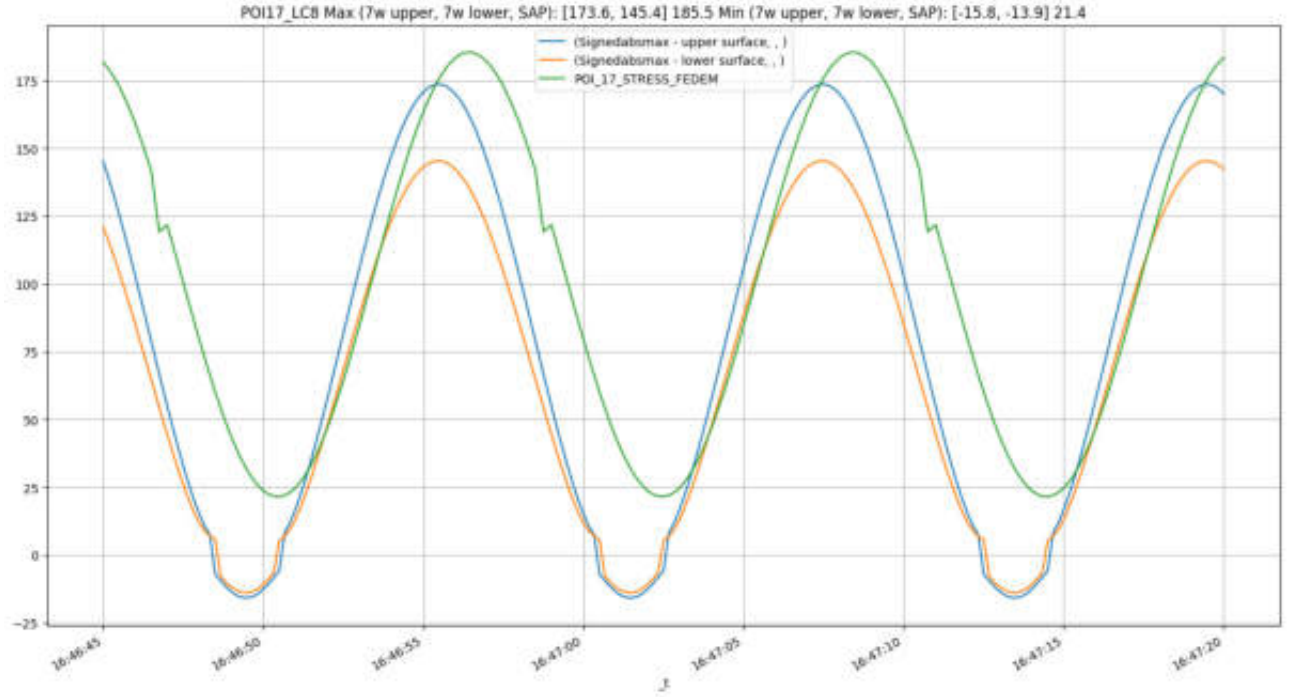


Figure 46. POI17, load case 8

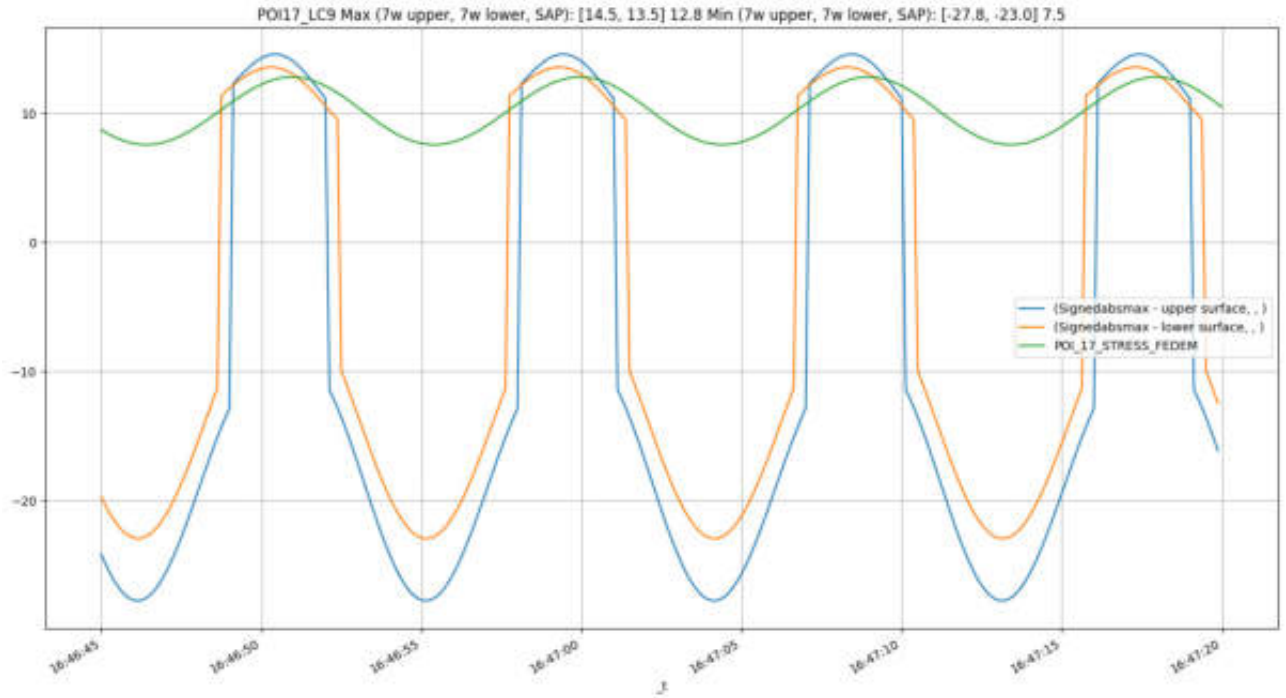


Figure 47. POI17, load case 9

2.2 Summary tables

Table 2. Compared mean principal stress values – SAP minus 7 waves

		7w signed abs max – upper [MPa]	7w signed abs max – lower [MPa]	SAP [MPa]	SAP minus 7w signed abs max – upper [MPa]	SAP minus 7w signed abs max – lower [MPa]
POI1	LC1	62,35	47,07	54,66	-7,69	7,59
POI1	LC2	66,92	50,27	54,86	-12,06	4,59
POI1	LC3	-26,54	-19,31	-31,53	-4,99	-12,22
POI1	LC4	-22,86	-14,71	-31,93	-9,07	-17,22
POI1	LC5	40,63	24,75	37,59	-3,04	12,84
POI1	LC6	37,5	19,79	37,76	0,26	17,97
POI1	LC7	-109,39	-67,32	-107,13	2,26	-39,81
POI1	LC8	-109,7	-67,72	-106,98	2,72	-39,25
POI1	LC9	57,27	45,93	41,62	-15,65	-4,32
POI10	LC1	57,93	-24,21	106,59	48,66	130,8
POI10	LC2	57,65	-22,44	107,74	50,08	130,17
POI10	LC3	-99,44	36,32	-70,28	29,17	-106,59
POI10	LC4	-100,12	32,28	-69,3	30,82	-101,58
POI10	LC5	-106,2	44,03	-121,23	-15,03	-165,26
POI10	LC6	-106,3	44,66	-120,12	-13,82	-164,78
POI10	LC7	0,43	-10,2	-28,17	-28,6	-17,97
POI10	LC8	0,33	-8,73	-28,08	-28,41	-19,35
POI10	LC9	75,82	-32,28	118,3	42,48	150,59
POI11	LC1	-78,82	-55,1	-0,61	78,21	54,49
POI11	LC2	-79,2	-55,1	-0,47	78,72	54,63
POI11	LC3	-70,07	-49,34	6,27	76,34	55,61
POI11	LC4	-71,41	-49,34	6,27	77,68	55,61
POI11	LC5	177,43	112,39	111,93	-65,51	-0,46
POI11	LC6	177,44	112,39	111,93	-65,5	-0,46
POI11	LC7	-98,75	-62,94	-111,39	-12,64	-48,44
POI11	LC8	-98,74	-62,94	-111,39	-12,64	-48,44
POI11	LC9	-120,87	-81,74	-31,22	89,66	50,52
POI16	LC1	-16,22	-5,71	29,18	45,4	34,88
POI16	LC2	-16,42	-5,89	29,27	45,69	35,16
POI16	LC3	-94,13	-40,49	-31,61	62,53	8,88
POI16	LC4	-94,09	-40,19	-31,48	62,61	8,71
POI16	LC5	-220,83	-105,71	-190,64	30,2	-84,93
POI16	LC6	-221,09	-106,17	-190,56	30,54	-84,39
POI16	LC7	50,8	23,78	84,86	34,06	61,09
POI16	LC8	48,43	16,74	84,93	36,51	68,19
POI16	LC9	-60,38	-24,67	20,05	80,43	44,71
POI17	LC1	-16,44	-14,26	4,36	20,8	18,62
POI17	LC2	-14,3	-13,5	5,28	19,58	18,78
POI17	LC3	-27,72	-22,95	-9,83	17,89	13,12
POI17	LC4	-22,24	-18,56	-9,6	12,64	8,96
POI17	LC5	-130,95	-110,14	-107,13	23,82	3,01
POI17	LC6	-131,53	-110,57	-107,19	24,34	3,38
POI17	LC7	80,31	66,42	103,04	22,73	36,63
POI17	LC8	78,89	65,73	103,45	24,55	37,71
POI17	LC9	-6,63	-4,73	10,15	16,78	14,87

Table 3.Compared stress amplitudes – ratio of SAP to 7 waves

		7w signed abs max – upper [MPa]	7w signed abs max – lower [MPa]	SAP [Mpa]	SAP/7w signed abs max – upper [ratio]	SAP/7w signed abs max – lower [ratio]
POI1	LC1	10,55	8,42	17,7	1,68	2,1
POI1	LC2	40,1	18,56	24,05	0,6	1,3
POI1	LC3	10,48	8,26	17,69	1,69	2,14
POI1	LC4	50,35	30,66	23,94	0,48	0,78
POI1	LC5	7,18	4,33	10,25	1,43	2,37
POI1	LC6	50,51	33,25	18,43	0,36	0,55
POI1	LC7	9,64	6,75	17,13	1,78	2,54
POI1	LC8	47,68	27,83	24,74	0,52	0,89
POI1	LC9	7,71	5,07	3,35	0,43	0,66
POI10	LC1	7,41	3,08	34,44	4,65	11,2
POI10	LC2	89,15	44,07	60,01	0,67	1,36
POI10	LC3	7,41	3,08	34,23	4,62	11,12
POI10	LC4	88,1	45,66	58,65	0,67	1,28
POI10	LC5	7,39	2,99	34,01	4,6	11,37
POI10	LC6	88,84	42,4	56,23	0,63	1,33
POI10	LC7	8,77	2,66	36,55	4,17	13,73
POI10	LC8	89,13	44,43	62,31	0,7	1,4
POI10	LC9	12,13	7,76	6,01	0,5	0,77
POI11	LC1	26,98	18,3	0,32	0,01	0,02
POI11	LC2	64,09	42,07	89,19	1,39	2,12
POI11	LC3	26,97	18,3	0,42	0,02	0,02
POI11	LC4	63,11	42,07	89,43	1,42	2,13
POI11	LC5	26,97	18,3	0,38	0,01	0,02
POI11	LC6	64,52	42,07	89,41	1,39	2,13
POI11	LC7	26,99	18,3	0,48	0,02	0,03
POI11	LC8	64,53	42,07	89,47	1,39	2,13
POI11	LC9	21,34	13,65	4,21	0,2	0,31
POI16	LC1	29,46	15,64	38,6	1,31	2,47
POI16	LC2	87,6	37,12	135,22	1,54	3,64
POI16	LC3	29,09	14,02	37,82	1,3	2,7
POI16	LC4	87,57	36,9	135,71	1,55	3,68
POI16	LC5	29,34	15,23	36,61	1,25	2,4
POI16	LC6	86,95	35,33	136,16	1,57	3,85
POI16	LC7	27,46	9,49	39,11	1,42	4,12
POI16	LC8	88,47	40,25	135,17	1,53	3,36
POI16	LC9	26,22	10,74	4,2	0,16	0,39
POI17	LC1	8,43	7,46	6,51	0,77	0,87
POI17	LC2	93,86	79,31	83,01	0,88	1,05
POI17	LC3	8,17	7,05	5,24	0,64	0,74
POI17	LC4	95,14	80,69	83,58	0,88	1,04
POI17	LC5	9,22	7,6	5,37	0,58	0,71
POI17	LC6	92,72	78,51	84,42	0,91	1,08
POI17	LC7	9,17	7,56	5,38	0,59	0,71
POI17	LC8	94,73	79,67	82,04	0,87	1,03
POI17	LC9	21,16	18,25	2,62	0,12	0,14

2.3 Summary plots

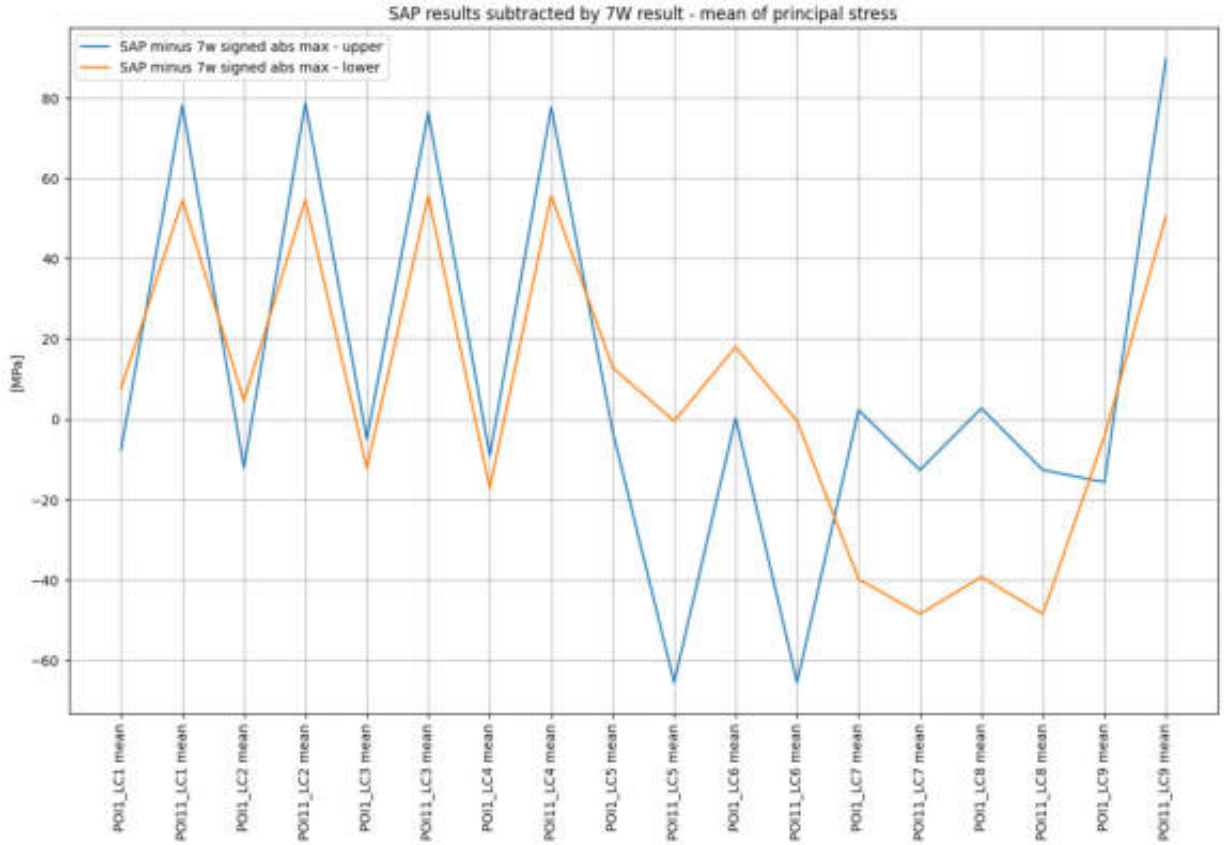


Figure 48. Difference of mean for POI1 and POI11 - SAP minus 7 waves.

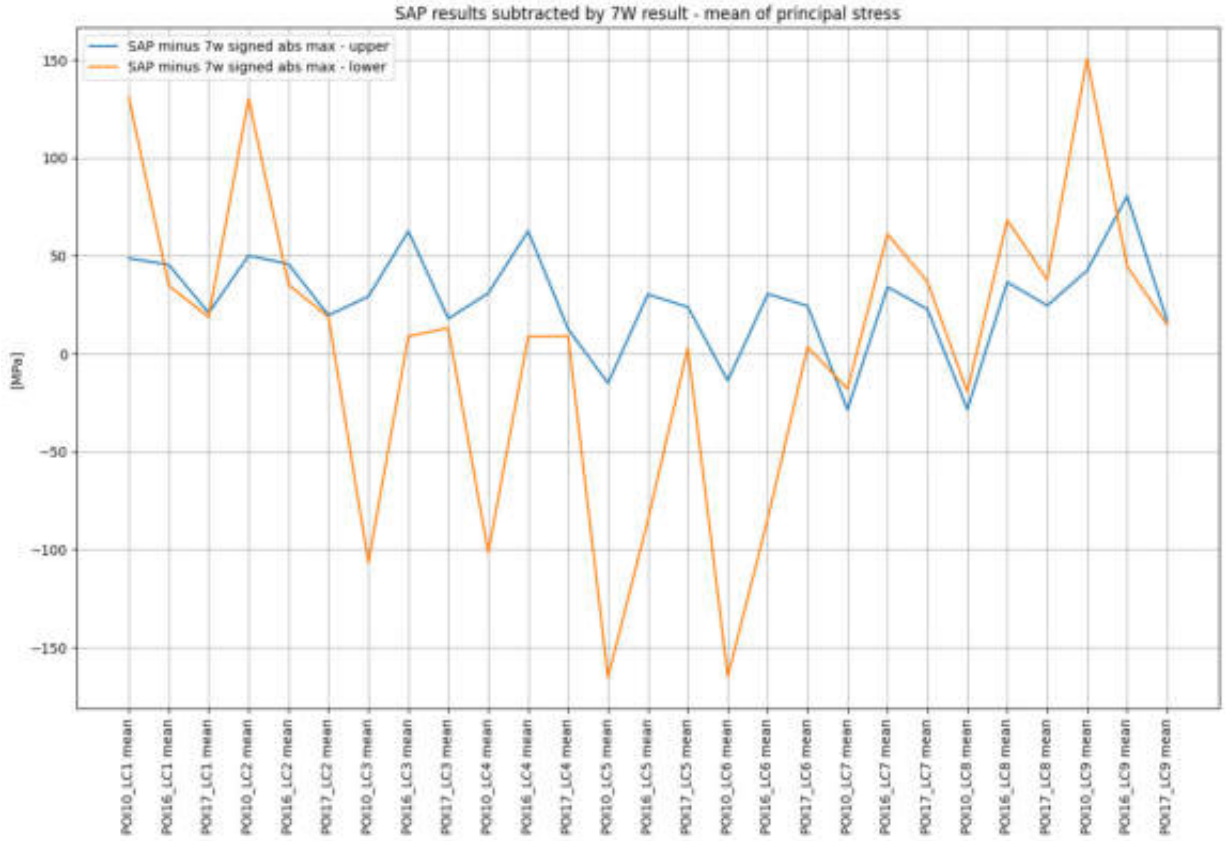


Figure 49. Difference of mean for POI10, POI16 and POI17 - SAP minus 7 waves.

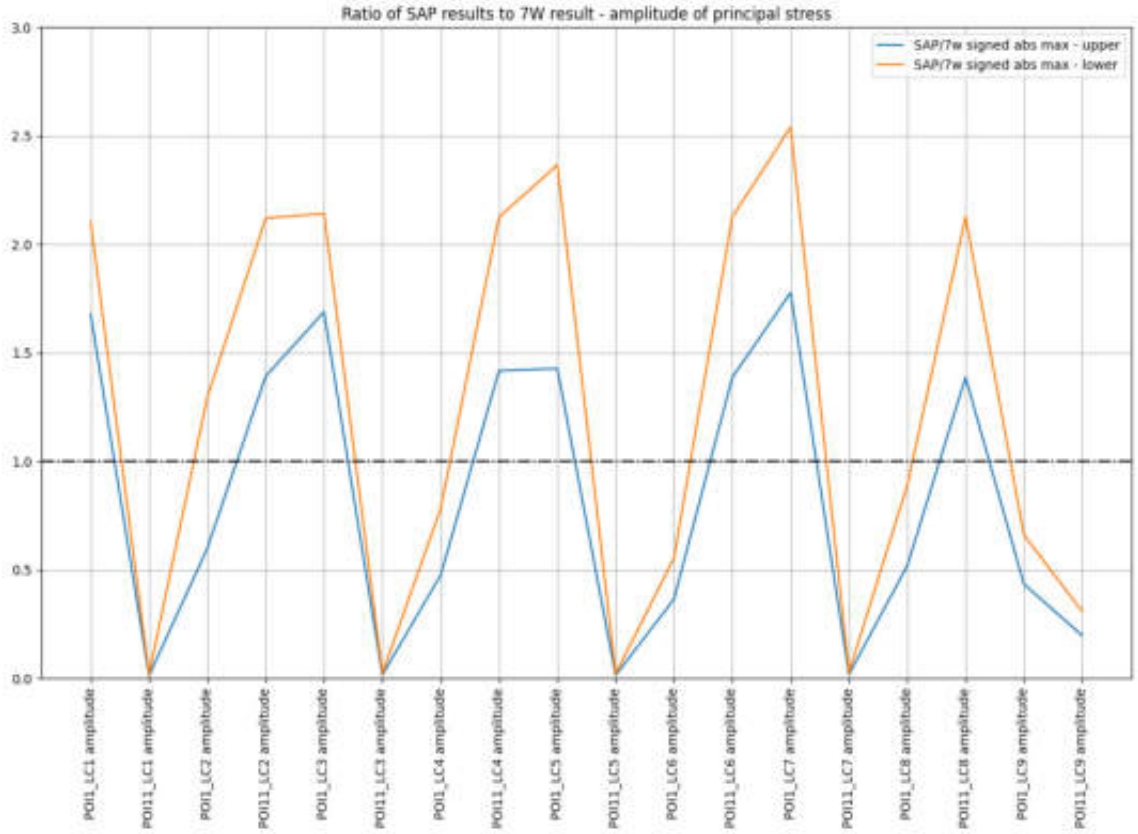


Figure 50. Ratio of amplitudes for POI1 and POI11 - SAP to 7 waves

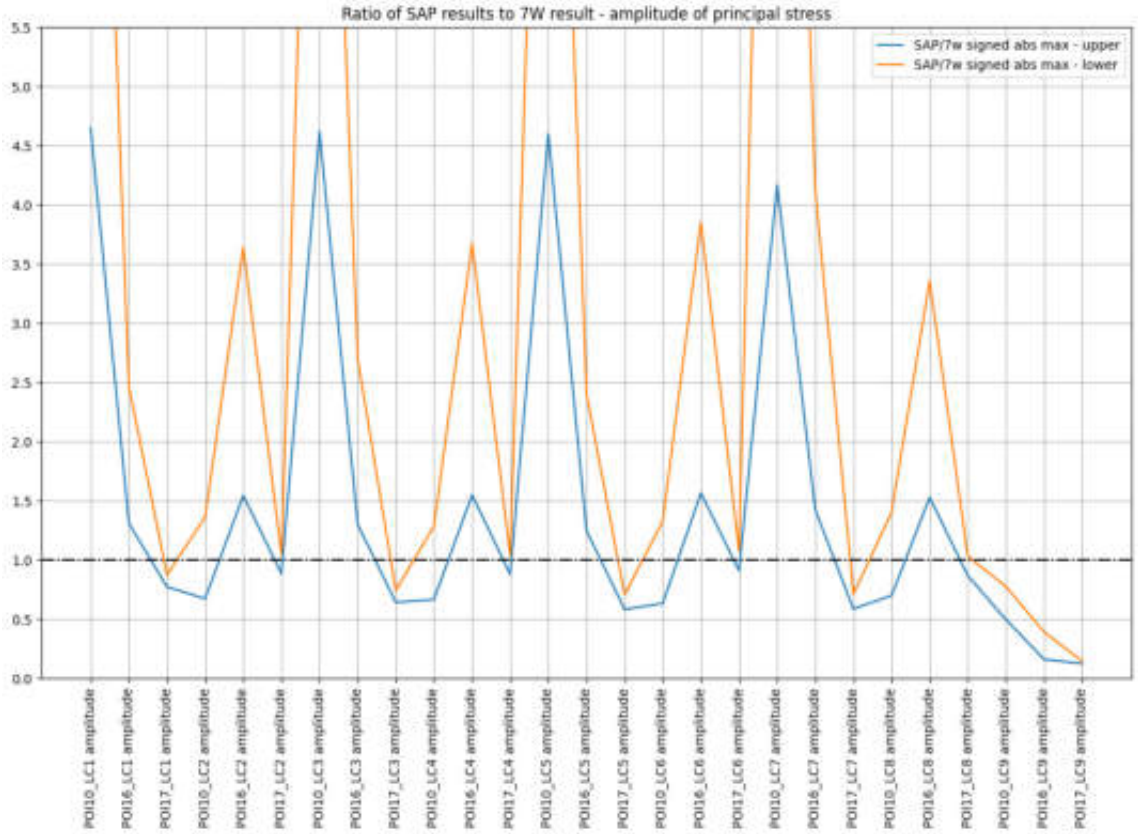


Figure 51. Ratio of amplitudes for POI10, POI16 and POI17 - SAP to 7 waves

3 DISCUSSION AND CONCLUSION

3.1 Compared stresses

The stress time series from 7 waves are transformed from max/min principal stress to signed absolute principal stress for direct comparison to the SAP stress time histories. The SAP methodology employs the signed absolute stress as input to the fatigue calculations. In general, this stress follows either the max or min principal stress curves, however in some cases there will be a curve shift as may be observed in e.g. Figure 18. In this figure it is seen that the signed abs max principal stress will over-predict the stress range, thus the stress results are on the conservative side.

A phase shift is apparent in the stress plots. The phase shift is probably a result of a preprocessing step which has discarded some of the data in the start of the timeseries. This does not affect the results of the comparison.

3.2 Design analysis vs SAP digital twin methodology

The SAP digital twin is driven by sensor readings from 6 sensors referred to a reference sensor/antenna. This instrumentation is suitable for detection of global responses such as global bending in vertical (hog/sag) and horizontal direction in addition to global torsional deformations. The design load cases from 7 waves selected for comparison consists of a static condition (ballas load condition) and a design wave. The static ballast conditions should be well represented by the SAP digital twin provided that the ballast loading yields a hogging/sagging condition or a regular torsional deformation. The wave lengths and the heading of the design waves may result in higher order deformation shapes which is not easily represented by the present version of the SAP digital twin methodology.

3.3 Points Of Interest (POIs)

A subset of the available POIs in the digital twin is selected for comparison of results.

- POI1: Mid ship, in the intersection between the longitudinal pontoon and the starboard side column.
- POI10: Aft section 2, starboards side brace.
- POI11: Aft ship, in the intersection between the transversal pontoon and the port side column.
- POI16: Fore ship, front of starboard side column in the intersection between inclined and horizontal beam/pontoon.
- POI17: Fore ship, aft of starboard side column, underside of pontoon.

3.4 Comparison of mean stress

- POI1: Relatively good match for all load cases for the upper side of the element (<15MPa dev).
- POI10: Good to medium match for upper side of element (15-50MPa dev).
- POI11: Good match for load case 5-6 for lower side of element. Medium match for other load cases on lower element side (<55MPa dev). Good match for load case 7-8 for upper side of element (<12MPa dev).
- POI16: Medium match for load case 5-8 (<36MPa dev) for upper element side. Good to medium match for lower side of element for load cases 1-4 (<35MPa dev).
- POI17: Relatively good match for both sides of element for all load cases. (3-37MPa dev).

The observations indicate that POI1, POI10 and POI17 are able to detect both global bending and torsion shapes such as those caused by the ballasting load conditions. POI11 seems to be able to detect torsion to some degree (static part of load cases 5-8). POI16 provides reasonable results for the torsional load cases 5-8 provided that the upper element side is the correct one for comparison.

3.5 Comparison of stress amplitudes

- POI1: Medium match for load cases 2, 4, 5, 8 for the upper side of the element (ratios 0,48-1,43).
- POI10: Medium match for load cases 2, 4, 6, 8, 9 for both sides of the element (ratios 0,5-1,4).
- POI11: Medium match for load cases 2, 4, 6, 8 for upper side of the element (ratios 1,25-1,42).
- POI16: Medium match for load cases 1, 3, 5, 7 for upper side of the element (ratios 1,25-1,42).

- POI17: Relatively good match for both sides of element for load cases 1-8 (ratios 0,58-1,08).

The observations indicate that POI1, POI10 and POI11 are able to detect both global bending and torsion shapes due to wave loading such as those caused by design wave 6 (225 degrees heading, wave period 12 sec) in load cases 2, 4, 6 and 8. POI1 also provides medium match to design wave 7 (heading 180 degrees, wave period 8,5 sec), causing a higher order deformation shape (wave top/through on every next column). POI10 provides medium match to design wave 15 which is a beam seas wave with wave period 9 sec. POI16 provides best results for the head seas design wave (design wave 7). POI17 show medium to good match for both design wave 6 and design wave 7.

3.6 Conclusion

The results from the comparison is in line with the expectations considering the selected load cases for comparison and the selected Points Of Interest for result extraction. The fit is best for the static loading conditions and the wave loading conditions giving the more global deformation shapes. With respect to fatigue calculations, it is the dynamic deformations of the structure that is relevant. The design waves applied in the design analysis are idealized regular waves, and they are used for simplicity in order to produce a structural response of the same magnitude as a more realistic irregular sea-state. The sea states will induce rigid body motion in the vessel dependent of wave periods and wave heights. It is expected that global deformation shapes arising from rigid body motions will dominate the structural response in a real sea state, but more local responses such as beam bending may also be induced by the waves. Structural vibration shapes may also be triggered in sea states with short wave periods.

The main conclusion from the study is that the digital twin is well suited for prediction of structural response in conditions of global type of loading/response. In order to capture more local type of responses such as local beam bending or higher order global modes, further development of the methodology is required.

www.sap.com/contactsap

© 2018 SAP SE or an SAP affiliate company. All rights reserved.
No part of this publication may be reproduced or transmitted in any form or for any purpose without the express permission of SAP SE or an SAP affiliate company.

The information contained herein may be changed without prior notice. Some software products marketed by SAP SE and its distributors contain proprietary software components of other software vendors. National product specifications may vary.

These materials are provided by SAP SE or an SAP affiliate company for informational purposes only, without representation or warranty of any kind, and SAP or its affiliated companies shall not be liable for errors or omissions with respect to the materials. The only warranties for SAP or SAP affiliate company products and services are those that are set forth in the express warranty statements accompanying such products and services, if any. Nothing herein should be construed as constituting an additional warranty.

In particular, SAP SE or its affiliated companies have no obligation to pursue any course of business outlined in this document or any related presentation, or to develop or release any functionality mentioned therein. This document, or any related presentation, and SAP SE's or its affiliated companies' strategy and possible future developments, products, and/or platform directions and functionality are all subject to change and may be changed by SAP SE or its affiliated companies at any time for any reason without notice. The information in this document is not a commitment, promise, or legal obligation to deliver any material, code, or functionality. All forward-looking statements are subject to various risks and uncertainties that could cause actual results to differ materially from expectations. Readers are cautioned not to place undue reliance on these forward-looking statements, and they should not be relied upon in making purchasing decisions.

SAP and other SAP products and services mentioned herein as well as their respective logos are trademarks or registered trademarks of SAP SE (or an SAP affiliate company) in Germany and other countries. All other product and service names mentioned are the trademarks of their respective companies. See www.sap.com/copyright for additional trademark information and notices.

THE BEST RUN SAP

Technical note

PD-360 HBM strain data assessment

Nordlaks Havfarm 1

Document.:	PD-360 HBM strain data assessment	Date:	26.03.2021
By:	Inge Sjølie	Rev:	01

THE BEST RUN SAP

REVISION CHANGELOG

Rev.	Date	Description
01	26.03.2021	First revision

1 Table of Contents

1. INTRODUCTION 3
1.1 Scope 3
1.2 Strain gage instrumentation 3
1.3 Selected time periods for validation 4
2 SUMMARY 5
2.1 Selecting the time ranges of interest 5
2.1.1 Dec. 03, 2020, 13:40:00 to 13:50:00 (GMT +01:00). *5*
2.1.2 Nov. 5, 2020, 12:39 (GMT +01:00). *6*
2.2 Validation procedure 7
3 RESULTS 8
3.1 Dec 03 – 2020, 13:40:00 – 13:50:00 (GMT + 01:00) 8
3.2 Nov 05 – 2020, 12:35:00 – 12:45:00 (GMT + 01:00) – STORM CONDITION 12
3.3 Oct 02 – 2020, 13:15:00 – 13:25:00 (GMT + 02:00) – CALM WEATHER CONDITION 16
3.4 Dec 01. to Dec. 07, 2020. “Long term” assessment. 20
3.5 Correlation between time-series 22
4 DISCUSSION AND CONCLUSION 24

1. INTRODUCTION

1.1 Scope

The Nordlaks Havfarm is monitored with a structural health monitoring system by SAP employing digital twins. The digital twins run sophisticated FE-analysis in the Cloud based on input from a GPS-based position sensor system. The purpose of this technical note is to document the work performed in order to validate the digital twin methodology with physical strain gage measurements.

1.2 Strain gage instrumentation

The Havfarm was instrumented with HBK (former HBM) strain gage sensors between Aug 17th – 19th as described in the "Instrumentation report for Nordlaks and SAP", rev. A (Aug 25th 2020). The strain gages are located symmetrically to the mid-ship transverse beam according to the figure below with the purpose of monitoring longitudinal strains in the top main longitudinal girders due to global structural deformations. The sensors will also capture local deformations (local beam bending) caused by marine operations such as travelling crane operations etc.

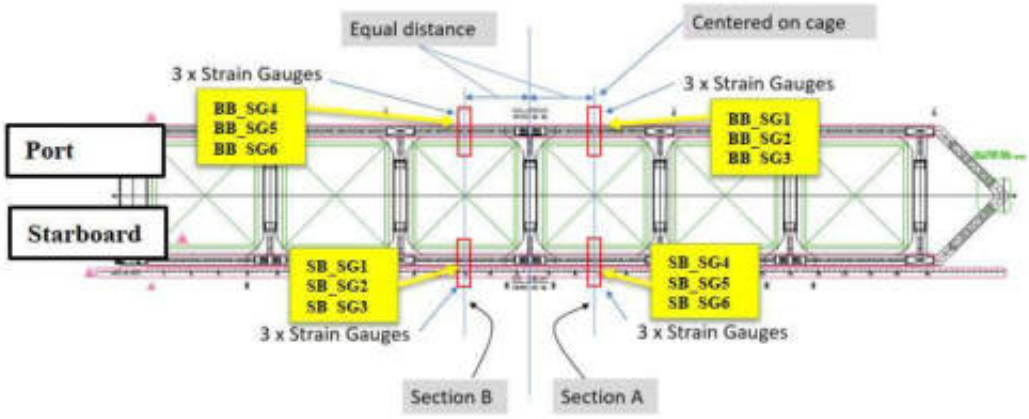


Figure 3 Overview of the instrumented sections of Havfarm1.

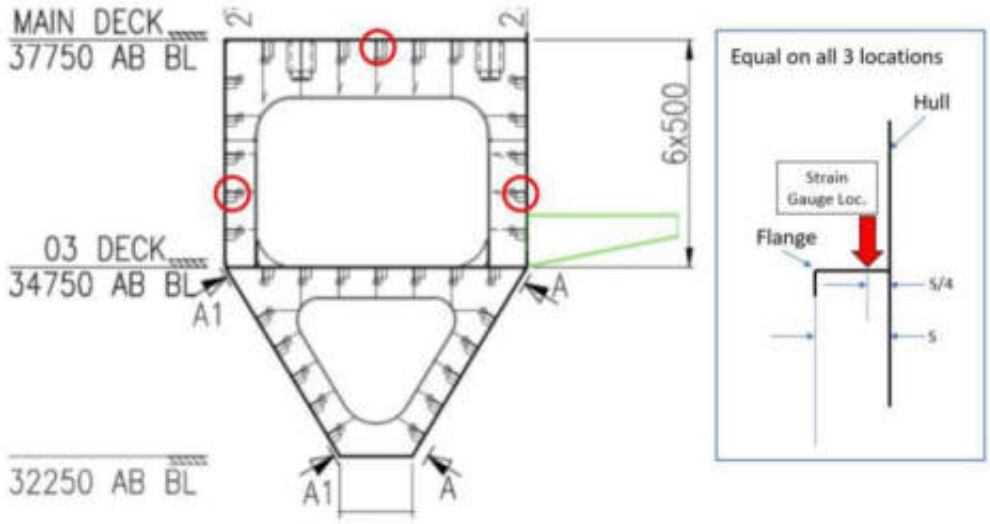


Figure 1. Strain gage locations (i).

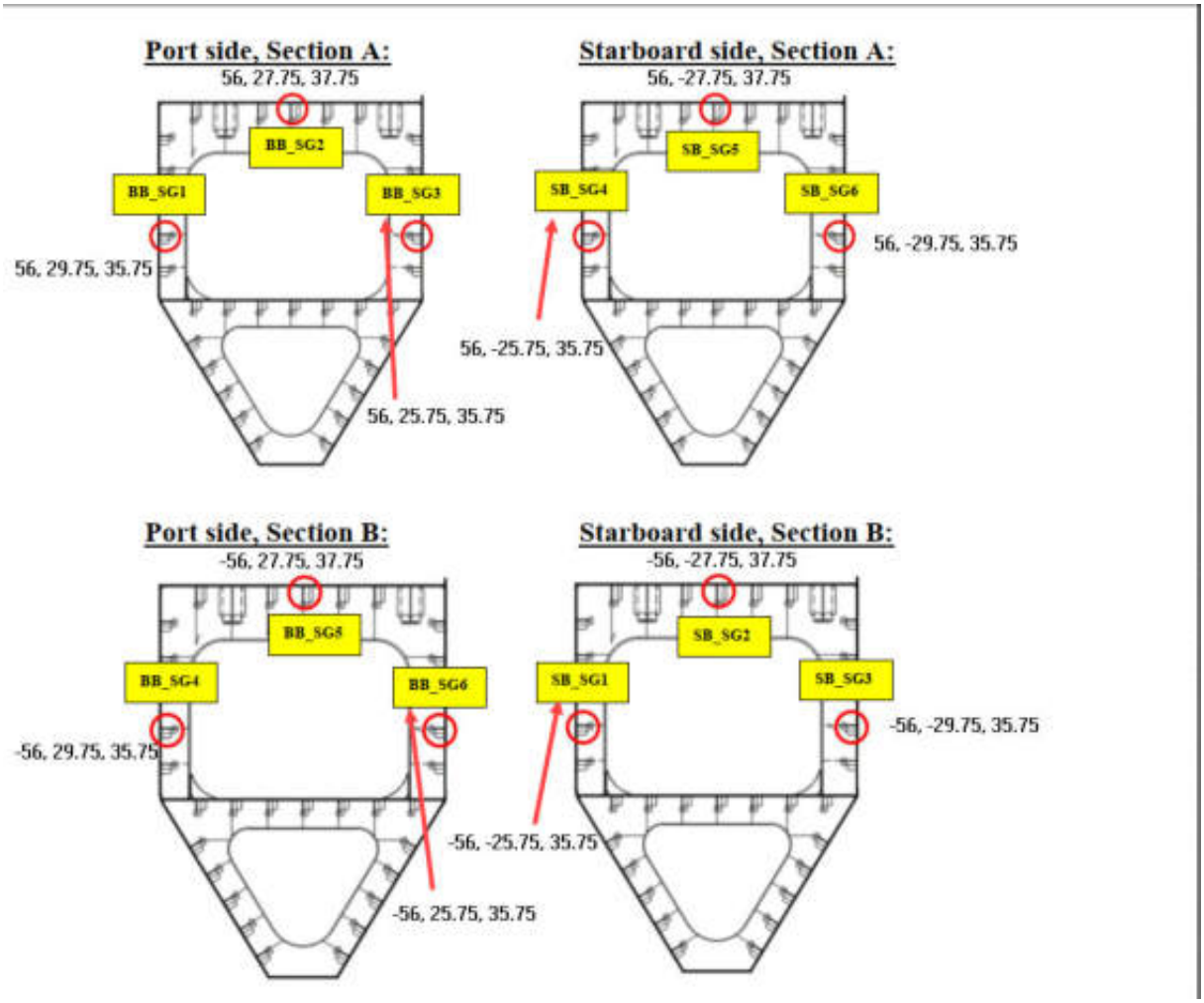


Figure 2. Strain gage locations, looking from bridge.

1.3 Selected time periods for validation

The following times of interest are chosen for validation:

- Storm condition Nov. 5, 2020
- Calm condition Oct 02, 2020
- Condition of significant response in HBM strain sensors Dec 03, 2020
- “Long term” assessment, Dec. 01 – Dec. 07, 2020

2 SUMMARY

2.1 Selecting the time ranges of interest

The times of interest are selected by visual inspection of the Cloud application GUI of parameters such as weather conditions (Hs, Tp), calculated global structural deformations, calculated structural stress or fatigue in POIs, or by inspection of the downloaded HBM data set. Examples of the selection process is shown below for Dec. 03, 2020, 13:40:00 to 13:50:00 (GMT +01:00) and Nov. 5, 2020, 12:39 (GMT +01:00), both of which are time periods that seems to involve significant global responses and thus are suitable candidates for validation.

2.1.1 Dec. 03, 2020, 13:40:00 to 13:50:00 (GMT +01:00).

Example of selection of time of interest based on visual inspection of HBM strain gage results:

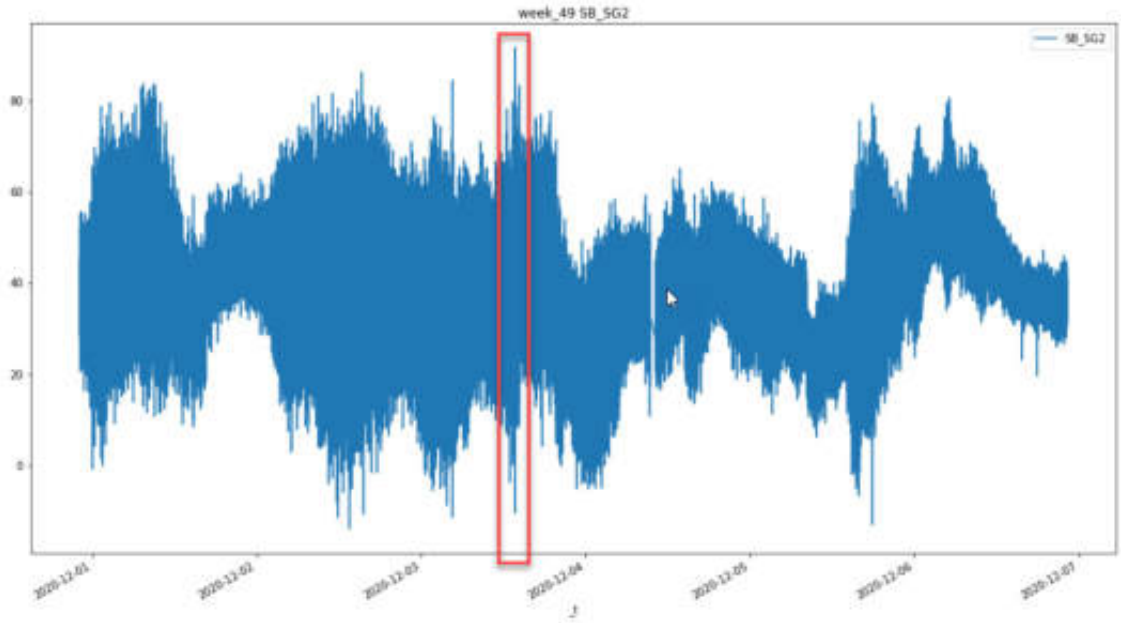


Figure 3. Strain gage SB_SG2, week 49

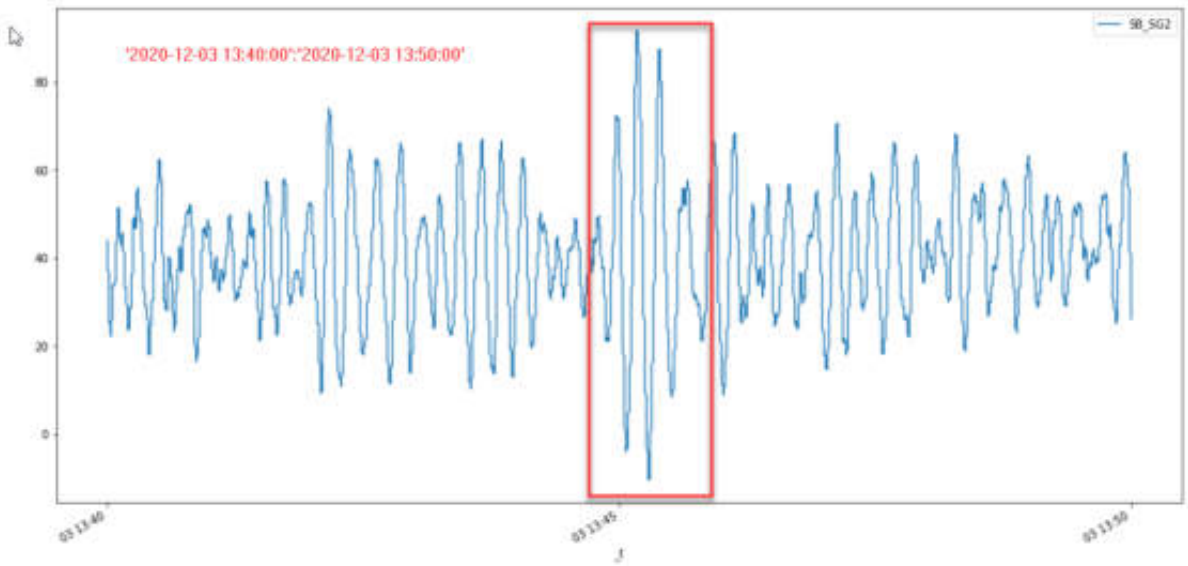


Figure 4. Strain gage SB_SG2, Dec. 3, 2020, 13:40:00 - 13:50:00 GMT +01:00

2.1.2 Nov. 5, 2020, 12:39 (GMT +01:00).

Example of selection of time of interest based on visual inspection of SAP Cloud application GUI:

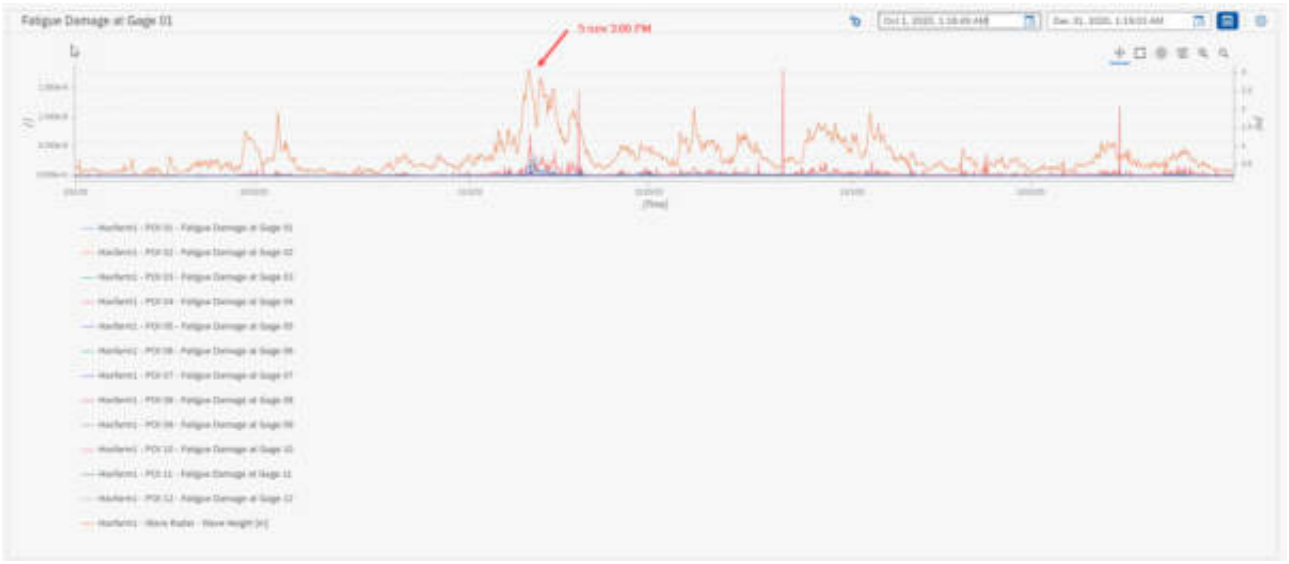


Figure 5. GUI plot, fatigue damage at POIs and Significant Wave Height. Storm condition.

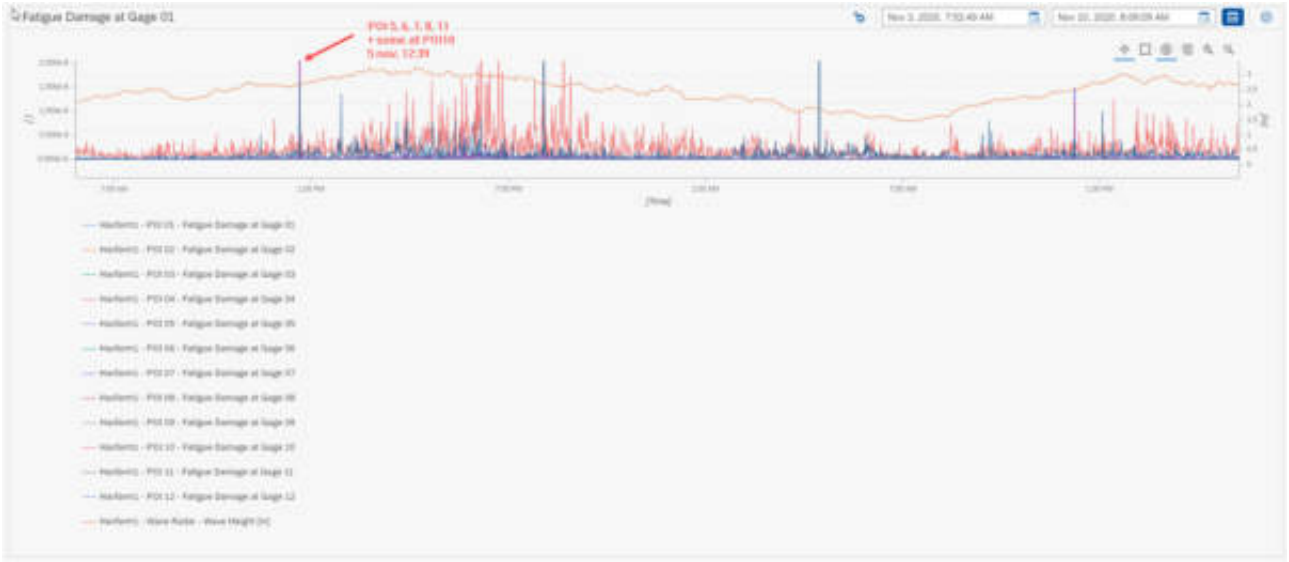


Figure 6. GUI plot close-up, fatigue damage at POIs and Significant Wave Height. Storm condition.

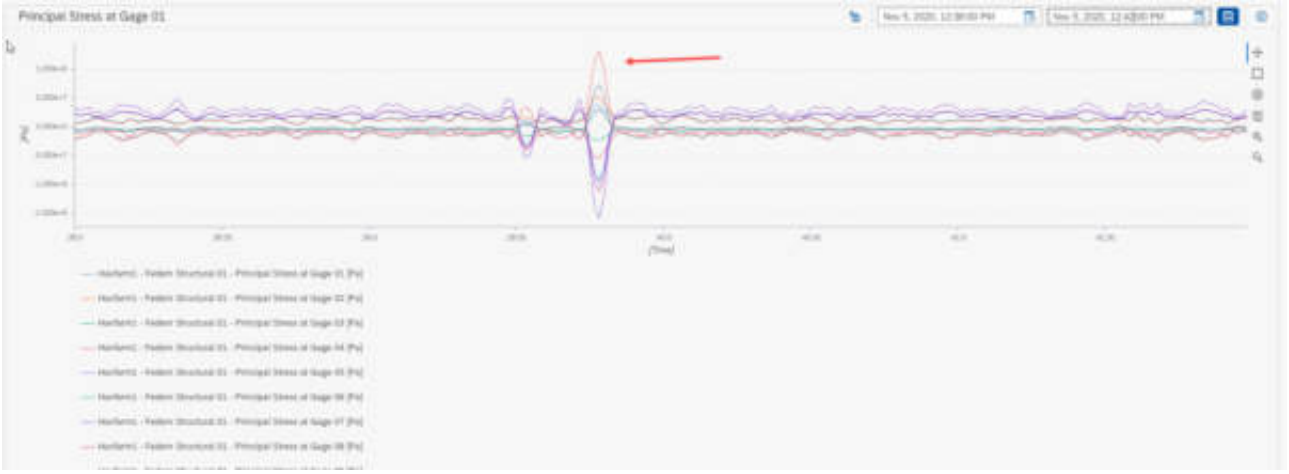


Figure 7. GUI plot. Principal stress at POIs. Storm condition.

2.2 Validation procedure

The global FE model employed by the digital twin running on cloud is used in order to generate strain results at the locations of the HBM strain gages. The validation procedure is as follows:

- Generate input for the selected time range to run the global FE model based on the GPS based position sensor system (generated by running Cloud application).
- Run global FE analysis and generate strain results at the locations of the HBM strain sensors.
- Compare results with due attention to:
    - Time synchronization of signals
    - Signal phases
    - Amplitudes
    - Standard deviations
    - Cycle counts (rainflow)
    - Fatigue assessment

3 RESULTS

3.1 Dec 03 – 2020, 13:40:00 – 13:50:00 (GMT + 01:00)

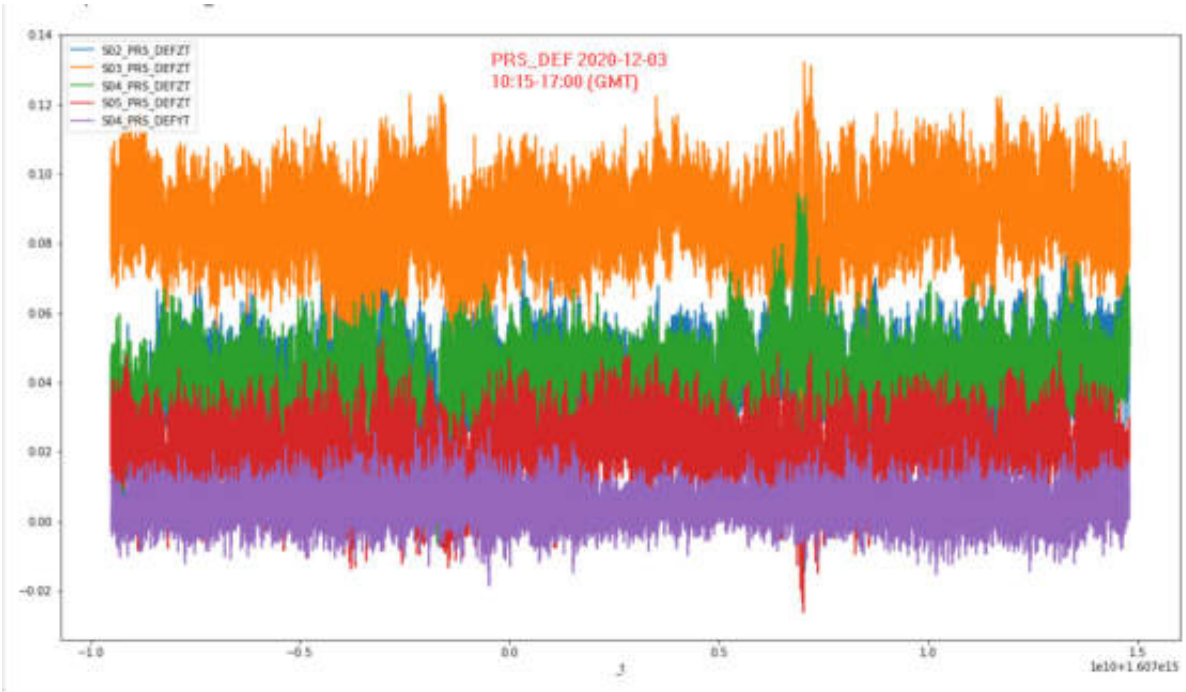


Figure 8. Input to global FE model created by Cloud application (digital twin) based on GPS sensor input (positions)

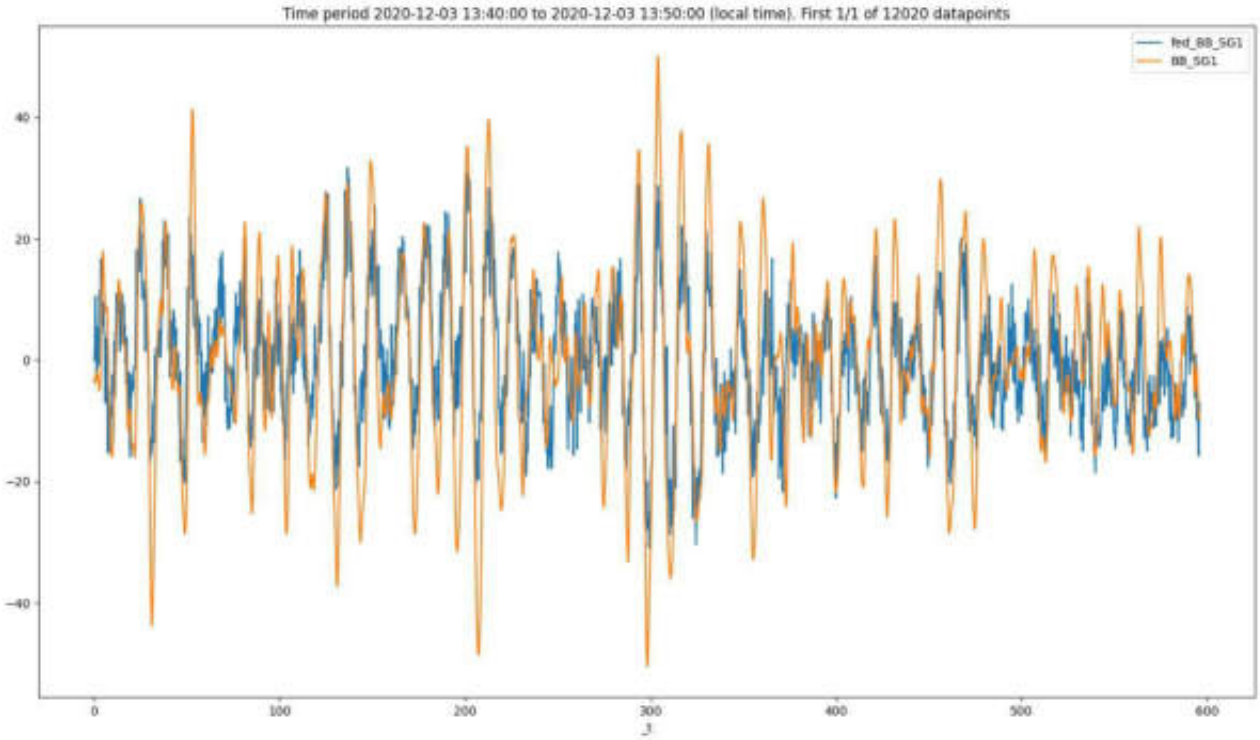


Figure 9. Comparison of physical sensor to FE model sensor, BB_SG1

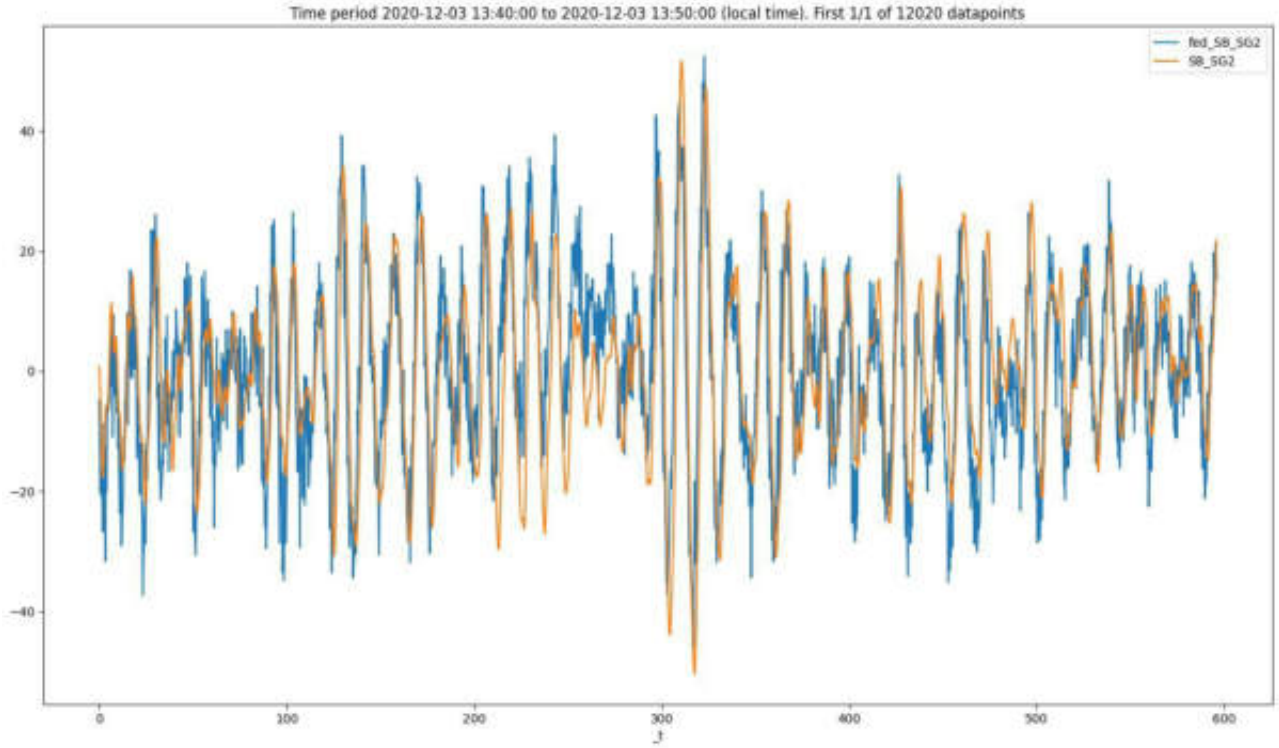


Figure 10. Figure 6. Comparison of physical sensor to FE model sensor, SB_SG2

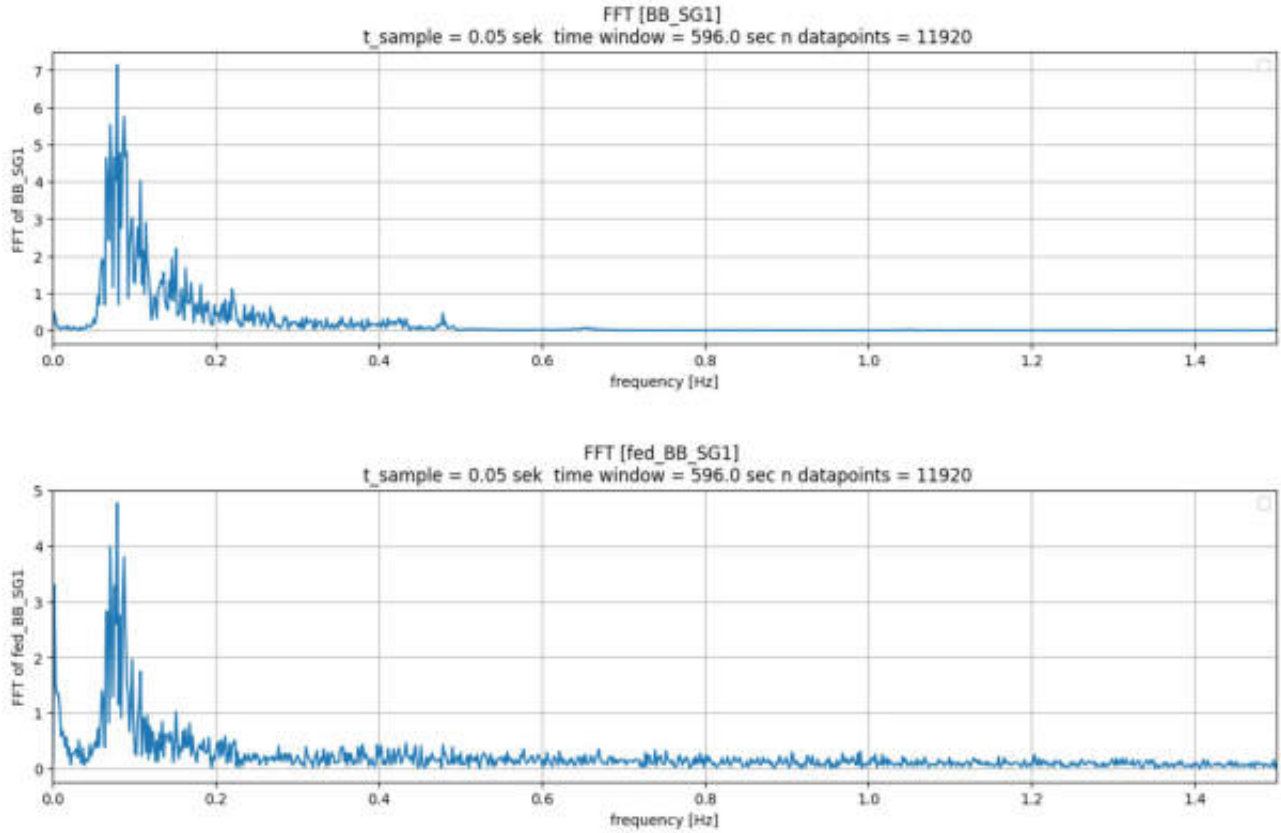


Figure 11. Comparison of the Fast Fourier Transform, BB_SG1

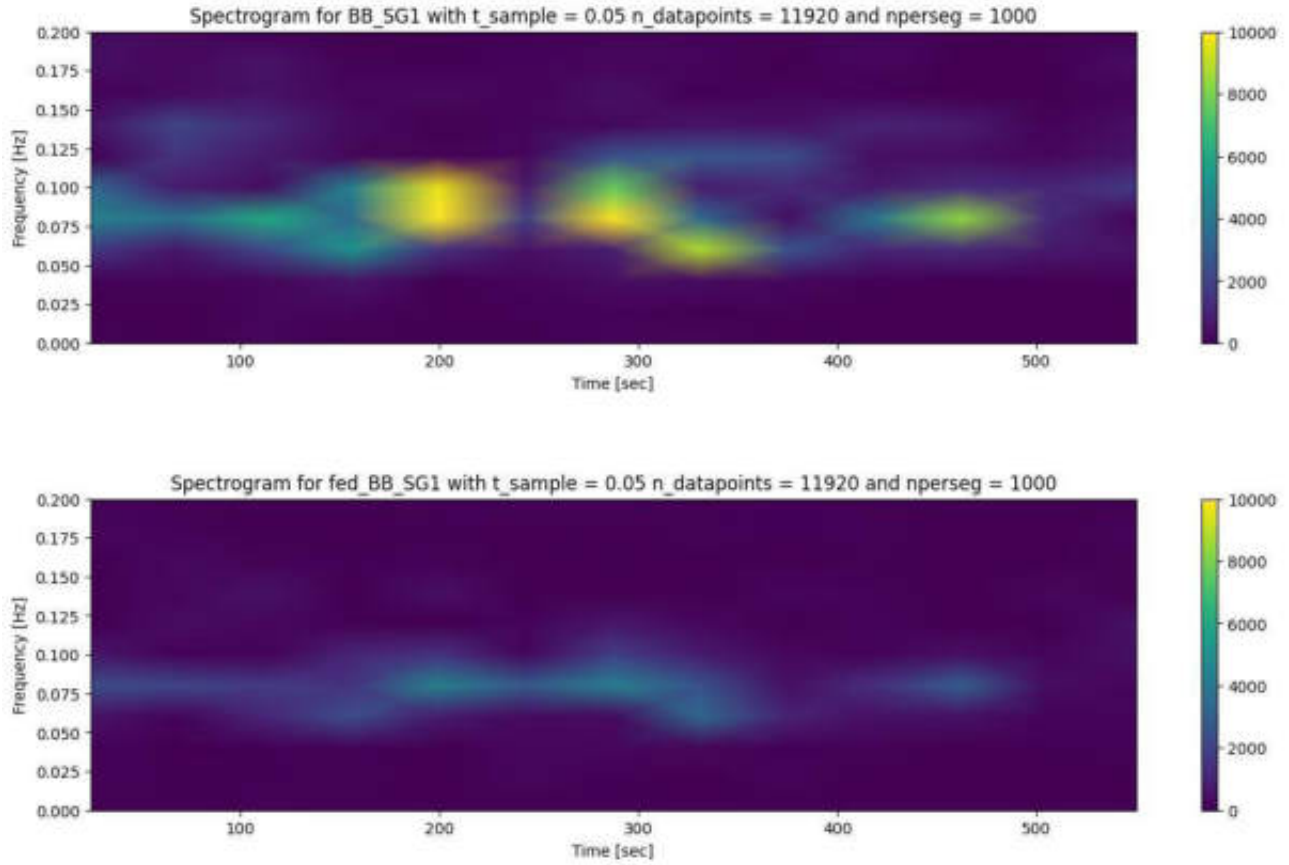


Figure 12 Comparison of spectrograms, BB_SG1

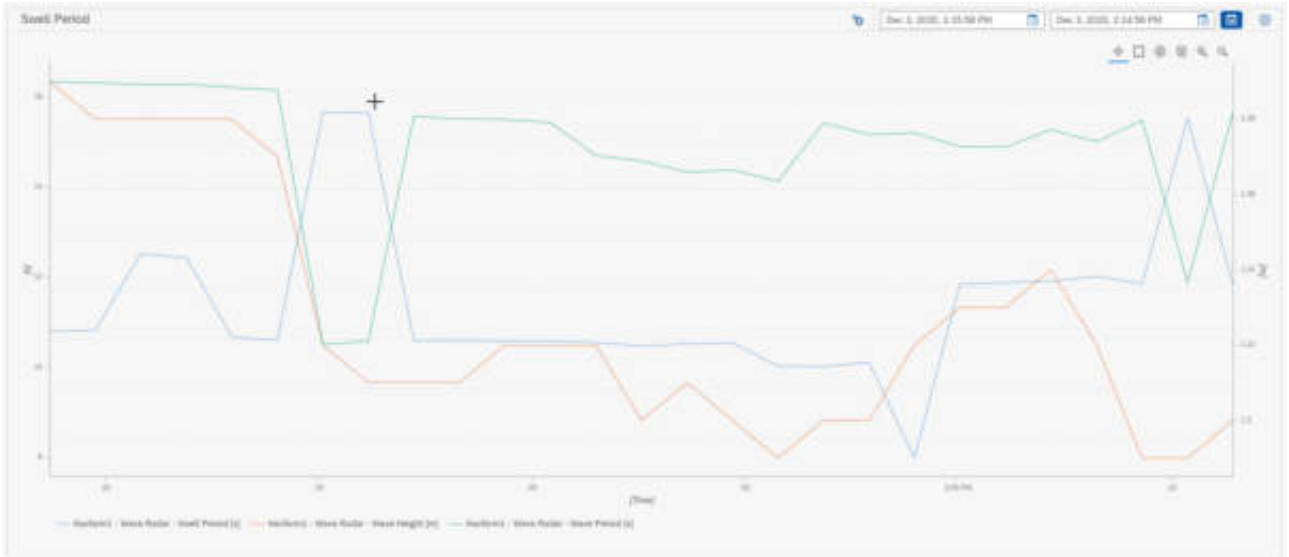


Figure 13. Wave height (Hs) and periods

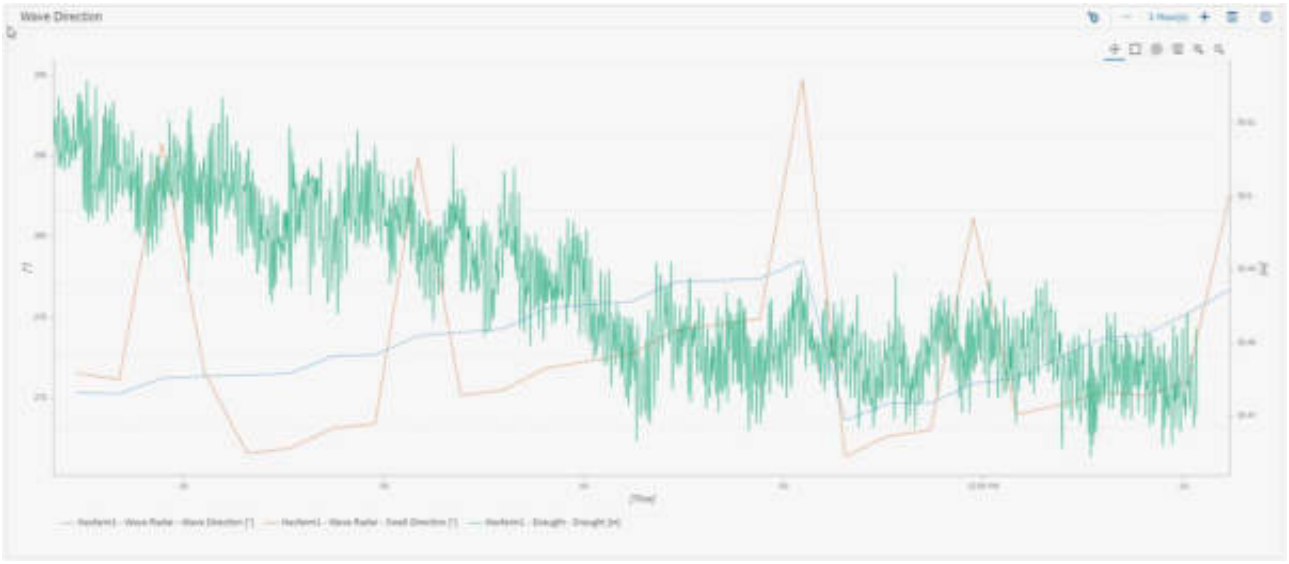


Figure 14. Draught and wave directions

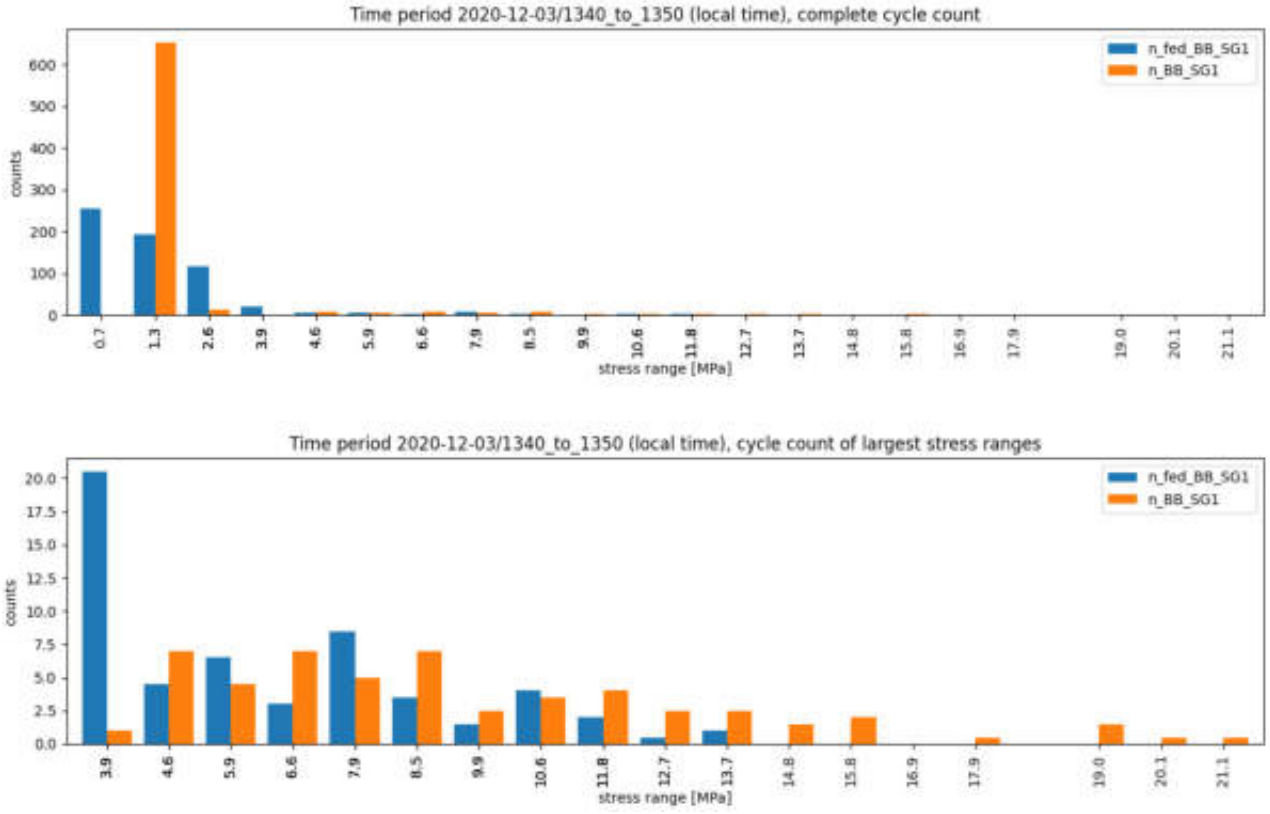


Figure 15, Stress range vs stress range counts

A relative fatigue comparison is made based on the bar plot above, indicating that the ratio of calculated fatigue based on virtual sensor / physical sensor is approx. 0,39 for the given time series (with slope parameter m=3 on the SN-curve).

3.2 Nov 05 – 2020, 12:35:00 – 12:45:00 (GMT + 01:00) – STORM CONDITION

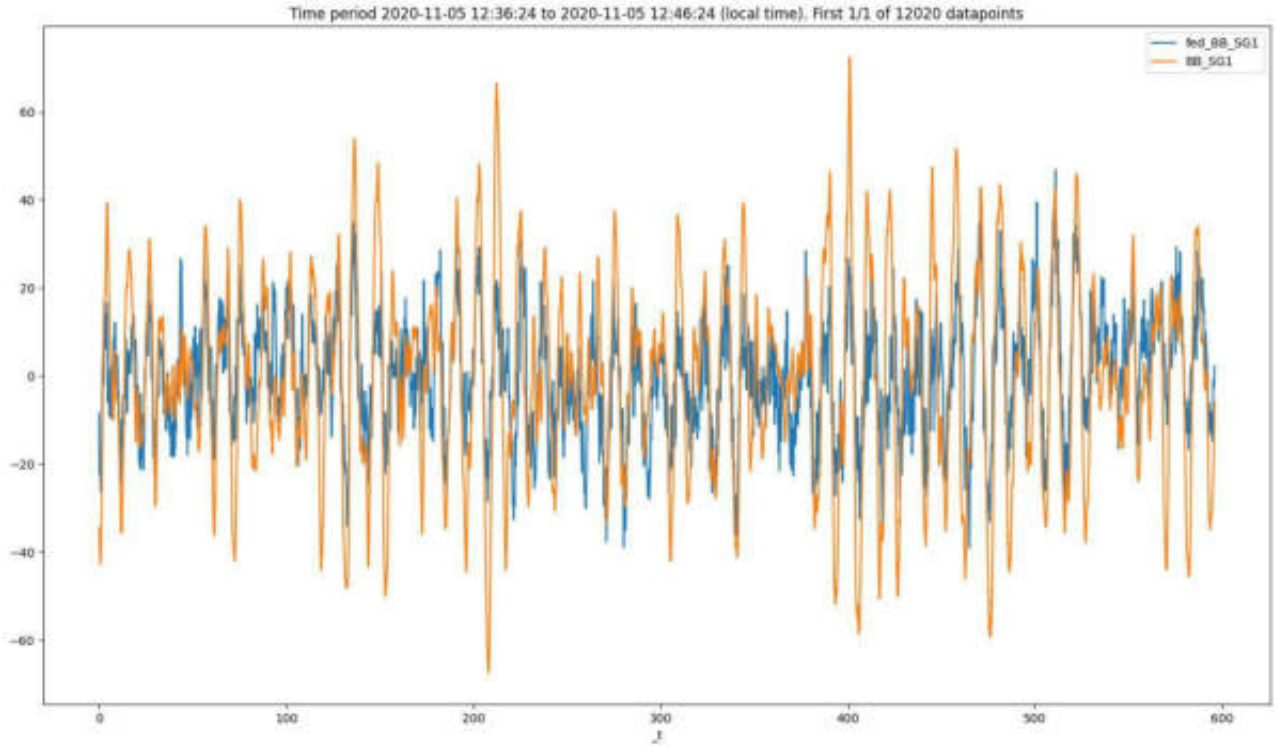


Figure 16. Comparison of physical sensor to FE model sensor, BB_SG1

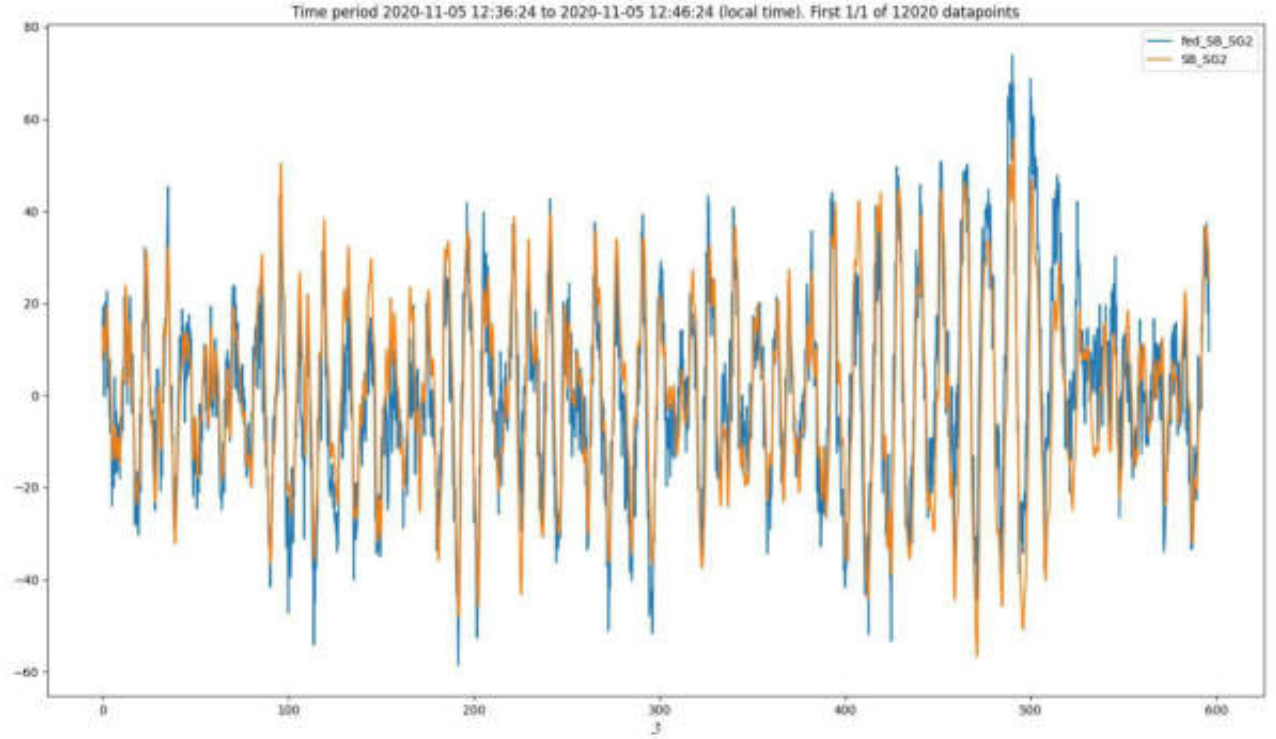


Figure 17. Figure 6. Comparison of physical sensor to FE model sensor, SB_SG2

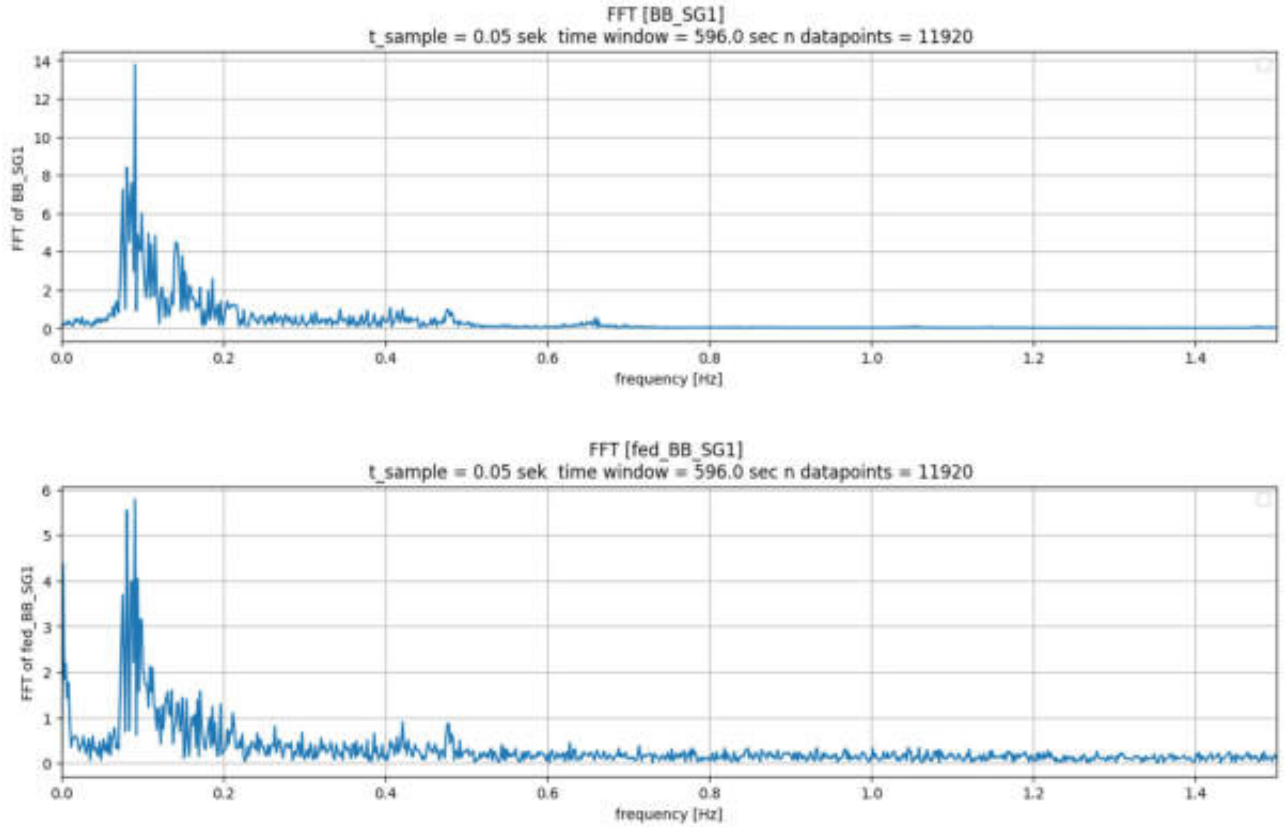


Figure 18. Comparison of the Fast Fourier Transform, BB_SG1

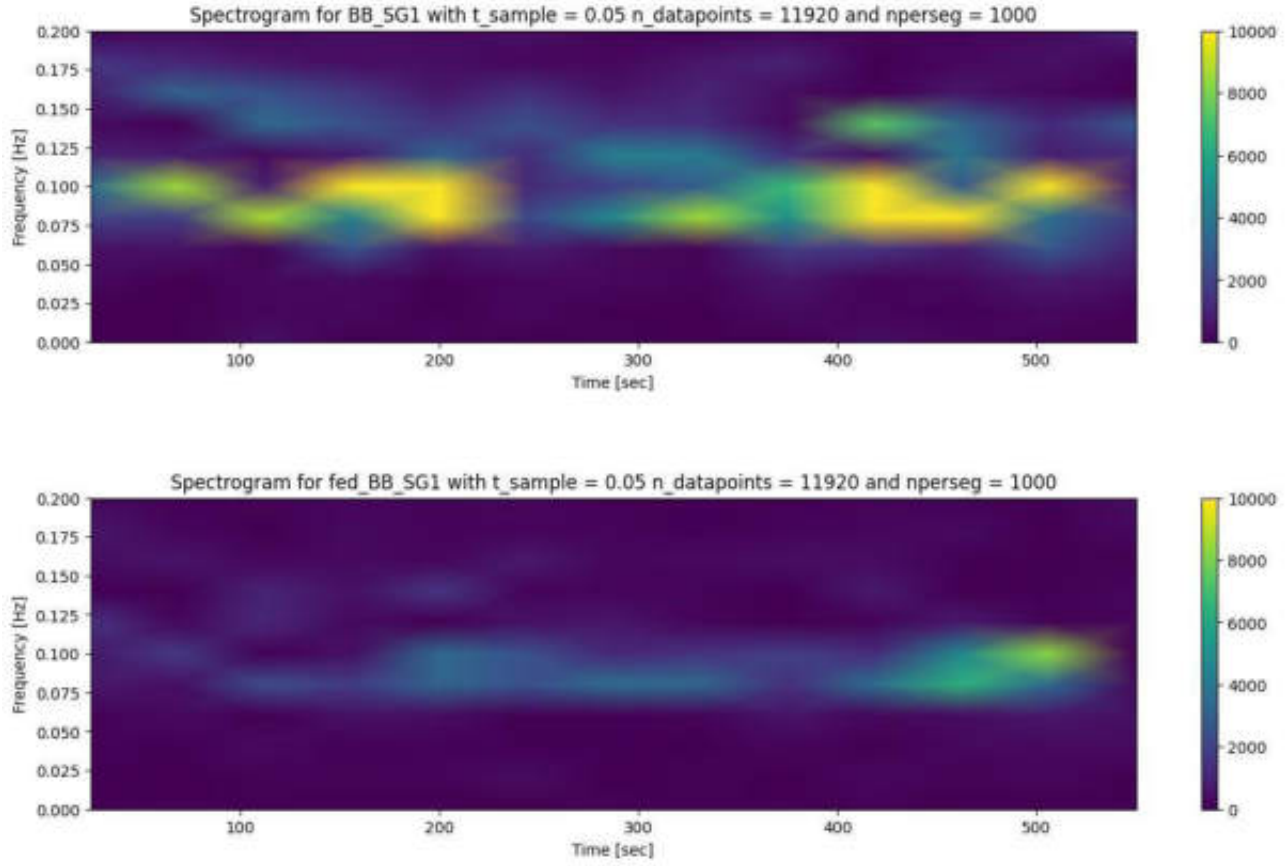


Figure 19 Comparison of spectrograms, BB_SG1

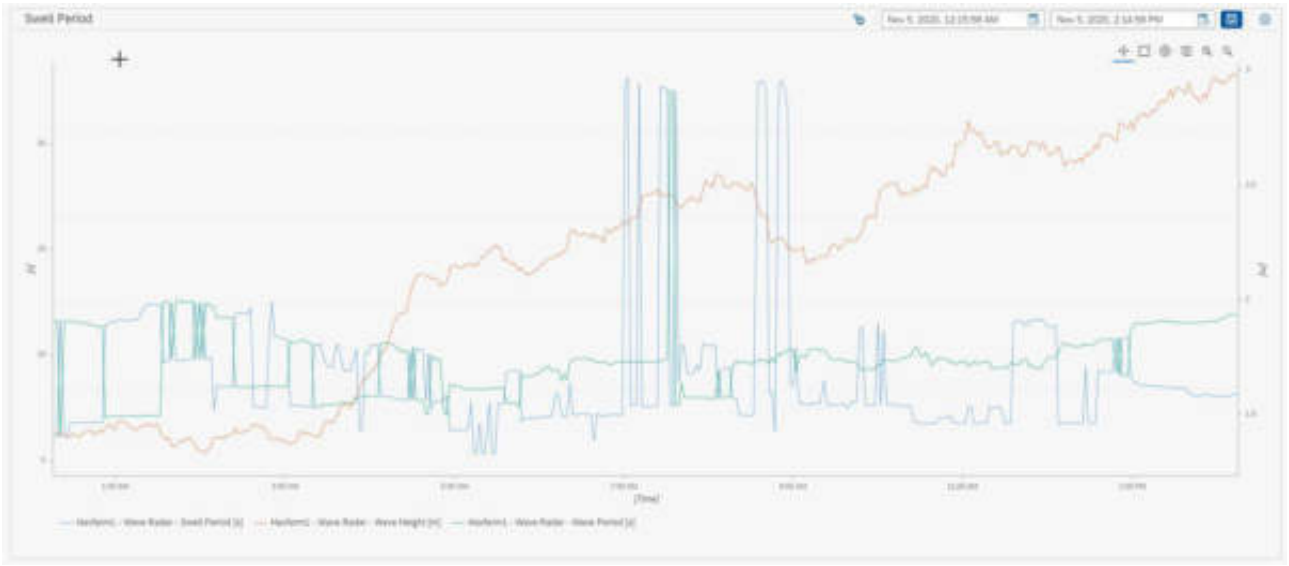


Figure 20. Wave height (Hs) and periods

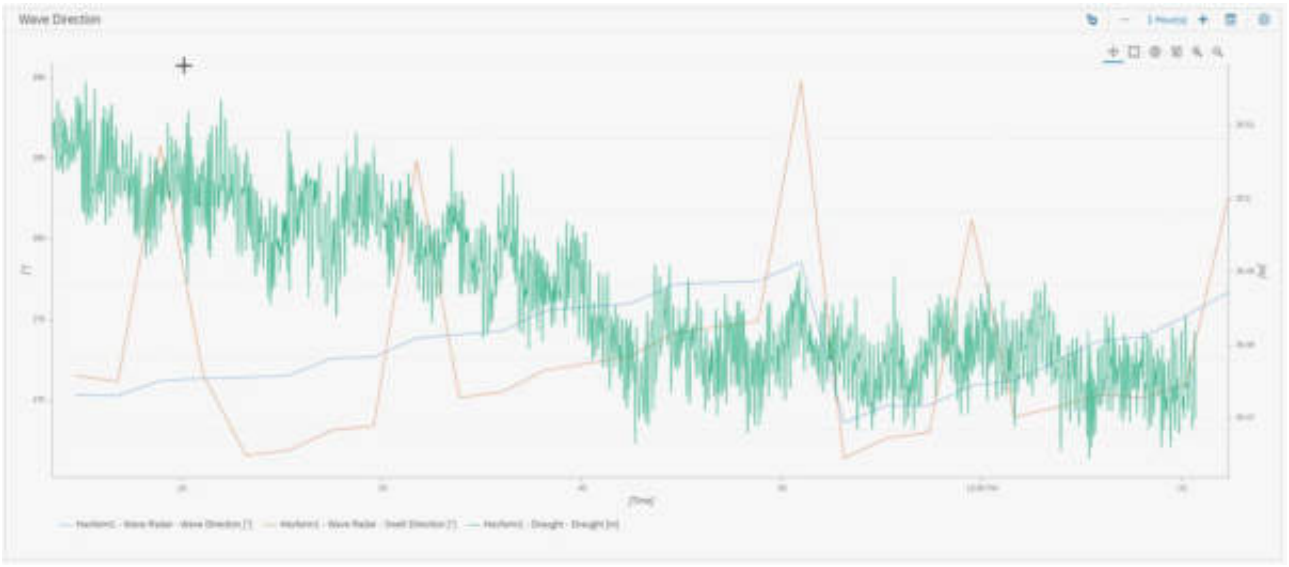


Figure 21. Draught and wave directions

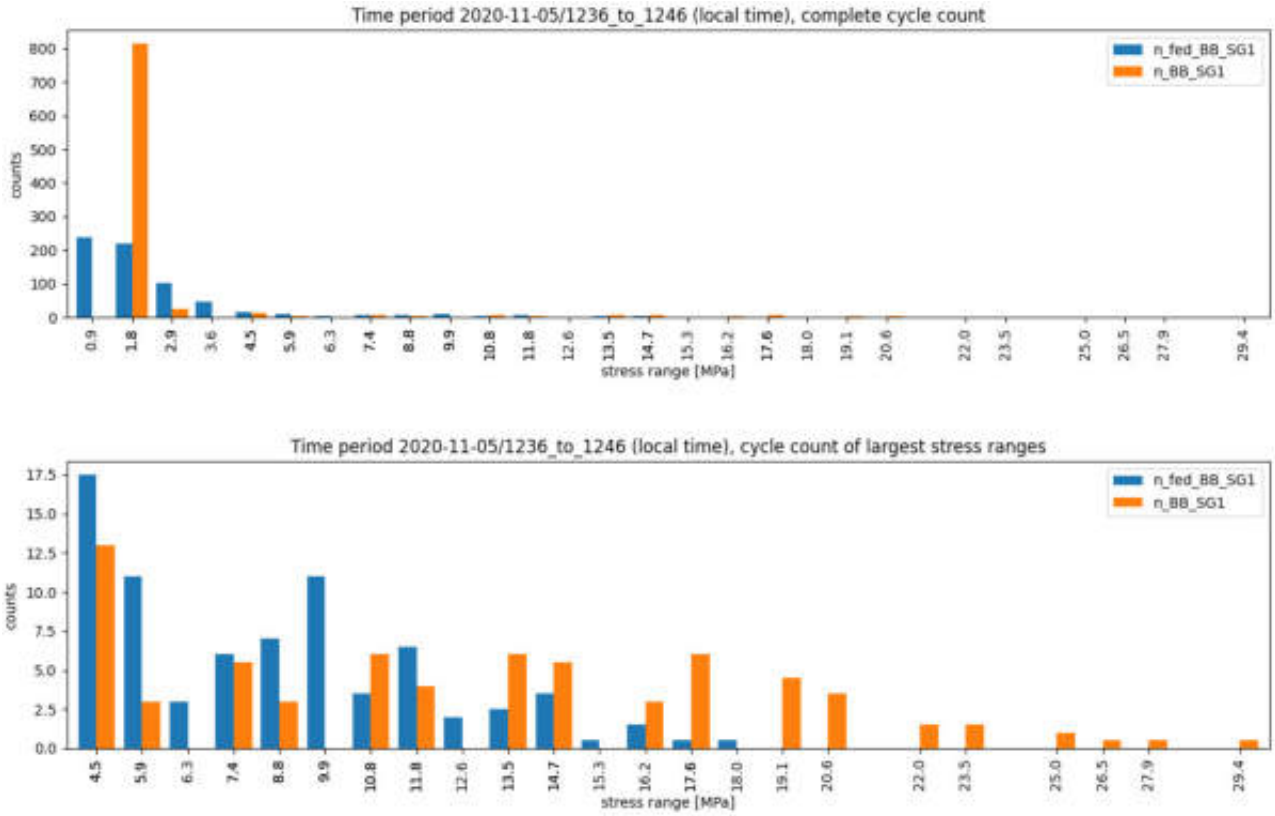


Figure 22, Stress range vs stress range counts

A relative fatigue comparison is made based on the bar plot above, indicating that the ratio of calculated fatigue based on virtual sensor / physical sensor is approx. 0,32 for the given time series (with slope parameter m=3 on the SN-curve).

3.3 Oct 02 – 2020, 13:15:00 – 13:25:00 (GMT + 02:00) – CALM WEATHER CONDITION

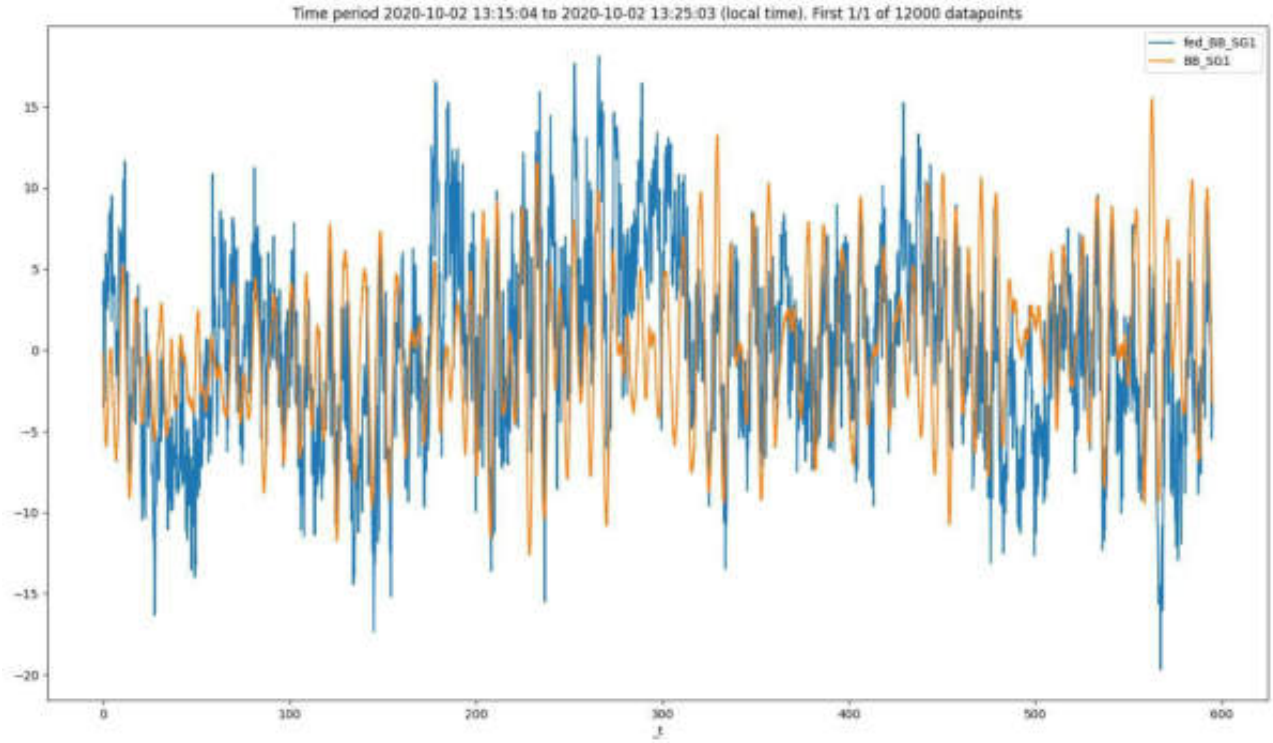


Figure 23. Comparison of physical sensor to FE model sensor, BB_SG1

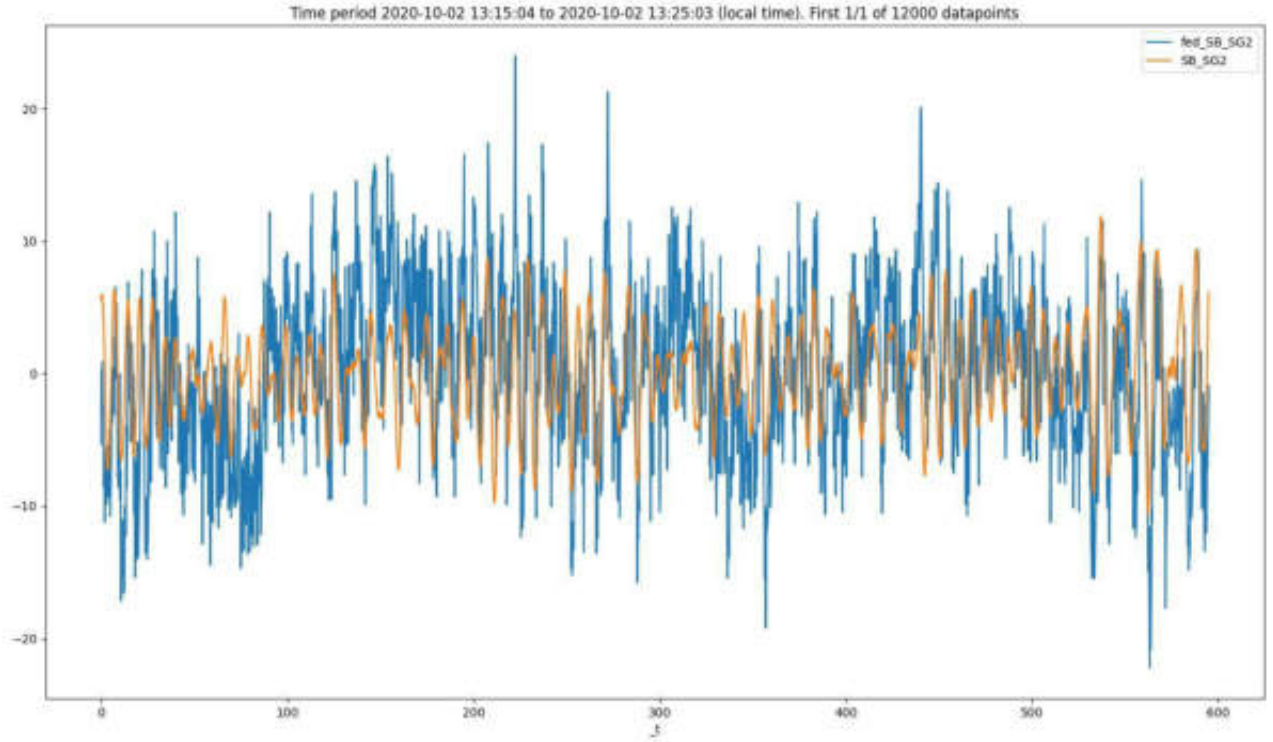


Figure 24. Figure 6. Comparison of physical sensor to FE model sensor, SB_SG2

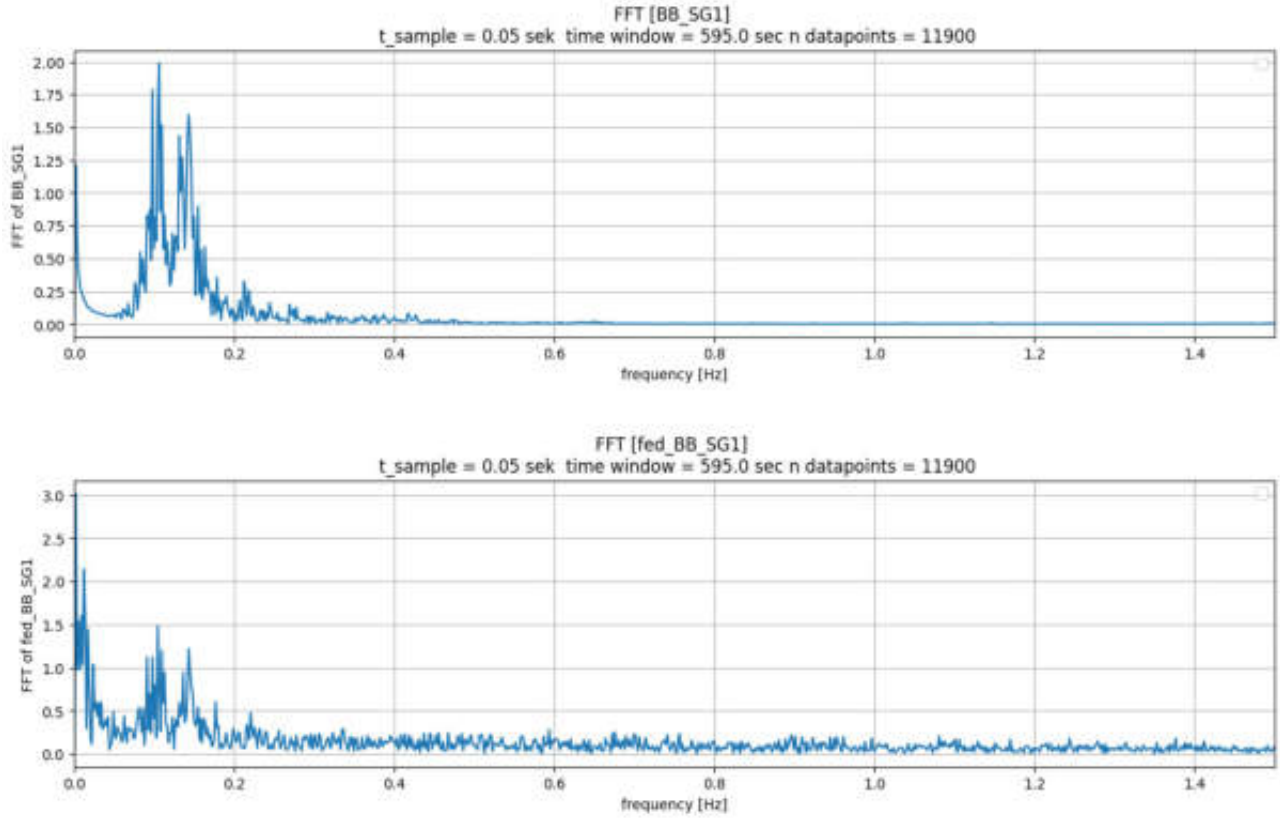


Figure 25. Comparison of the Fast Fourier Transform, BB_SG1

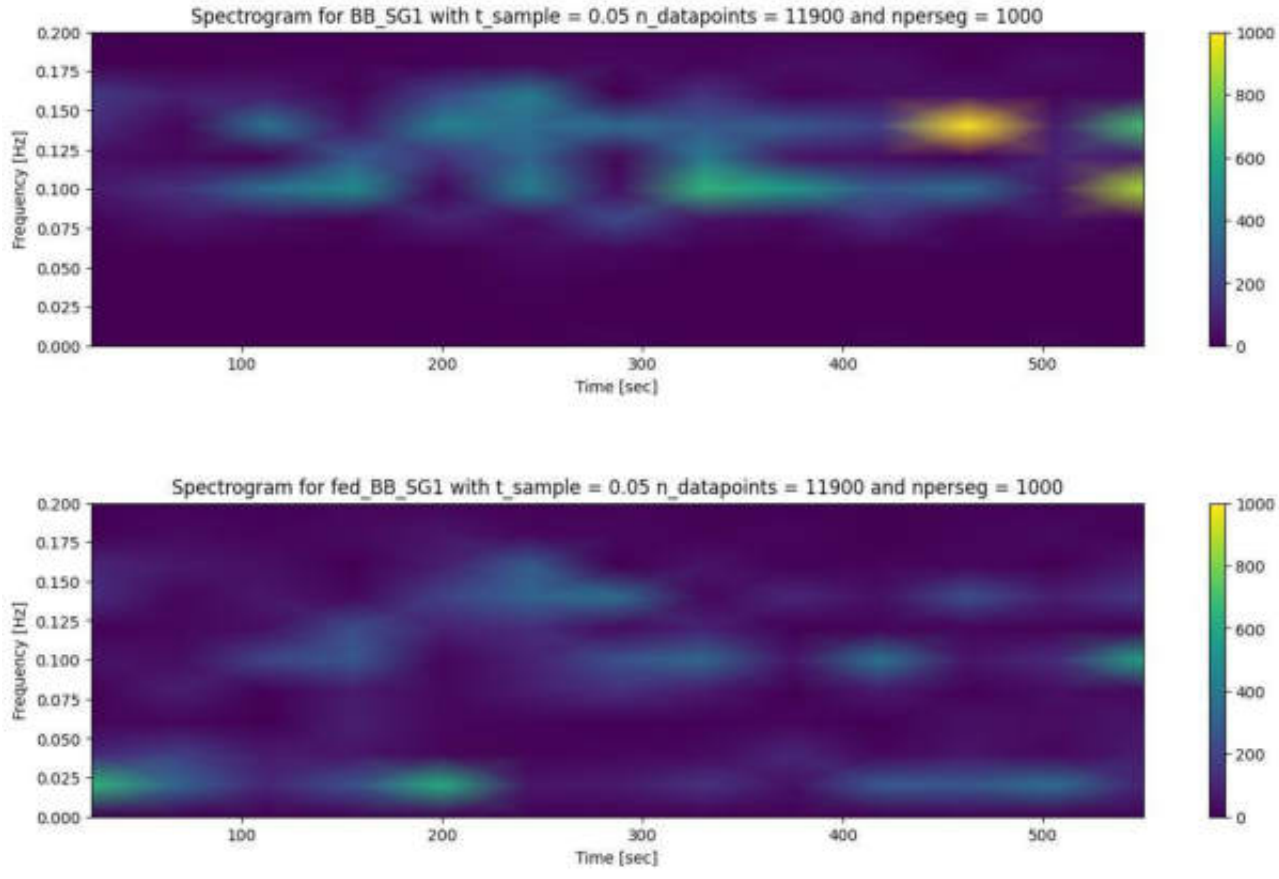


Figure 26 Comparison of spectrograms, BB_SG1

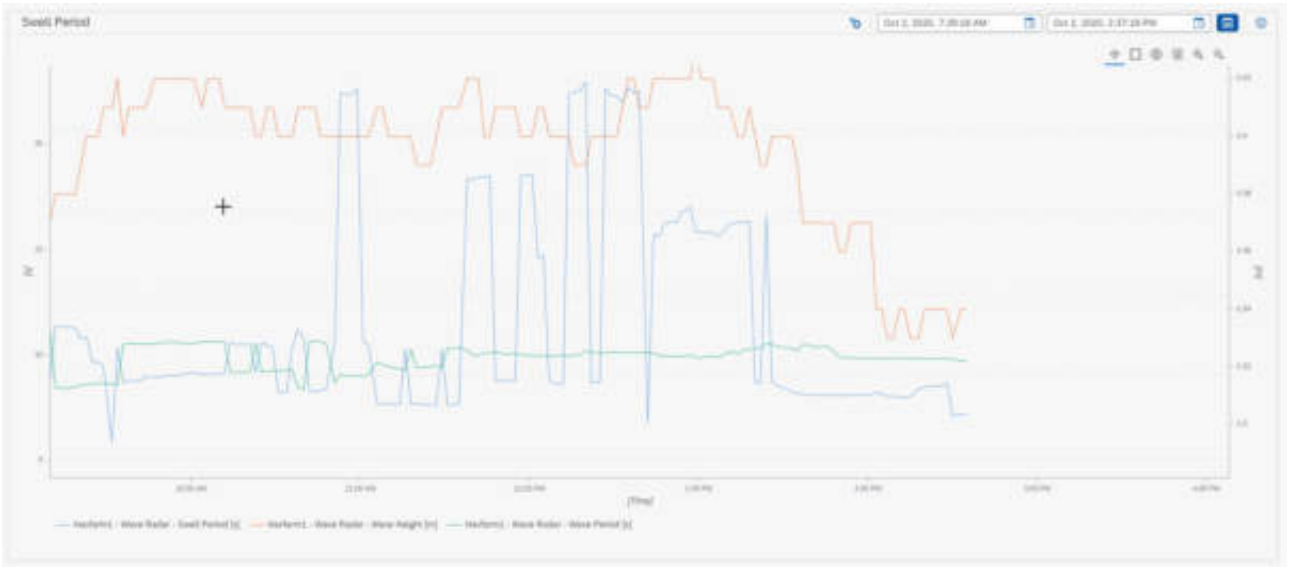


Figure 27. Wave height (Hs) and periods

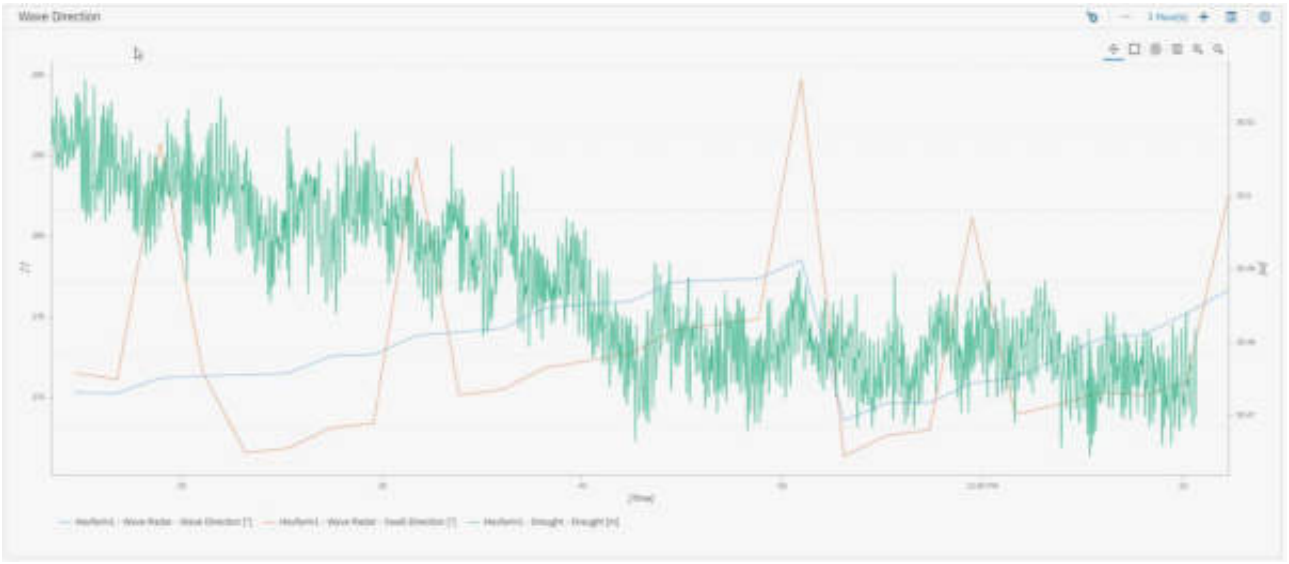


Figure 28. Draught and wave directions

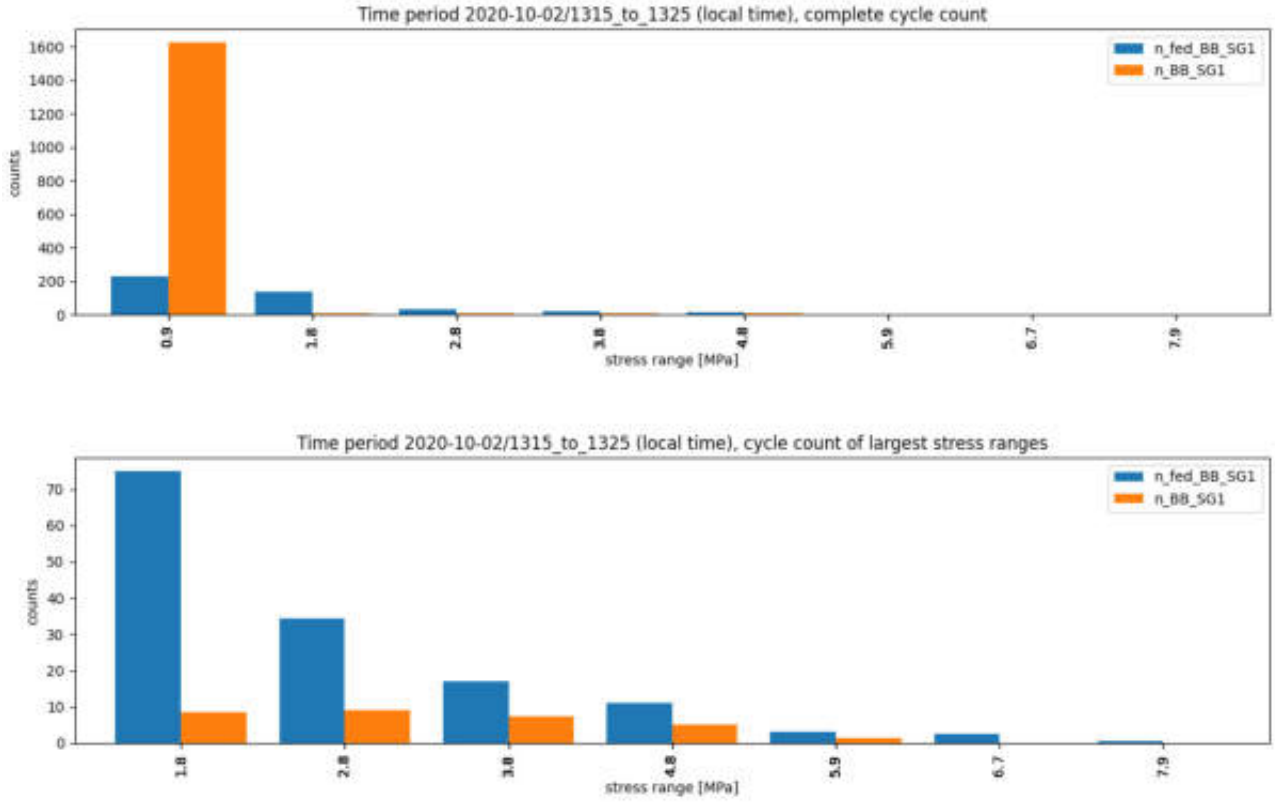


Figure 29, Stress range vs stress range counts

A relative fatigue comparison is made based on the bar plot above, indicating that the ratio of calculated fatigue based on virtual sensor / physical sensor is approx. 2,54 for the given time series (with slope parameter m=3 on the SN-curve), however it should be noted that the stress ranges in question is very small and does not contribute significantly to fatigue.

3.4 Dec 01. to Dec. 07, 2020. “Long term” assessment.

Figure 30. Comparison of physical sensor to FE model sensor, BB_SG1

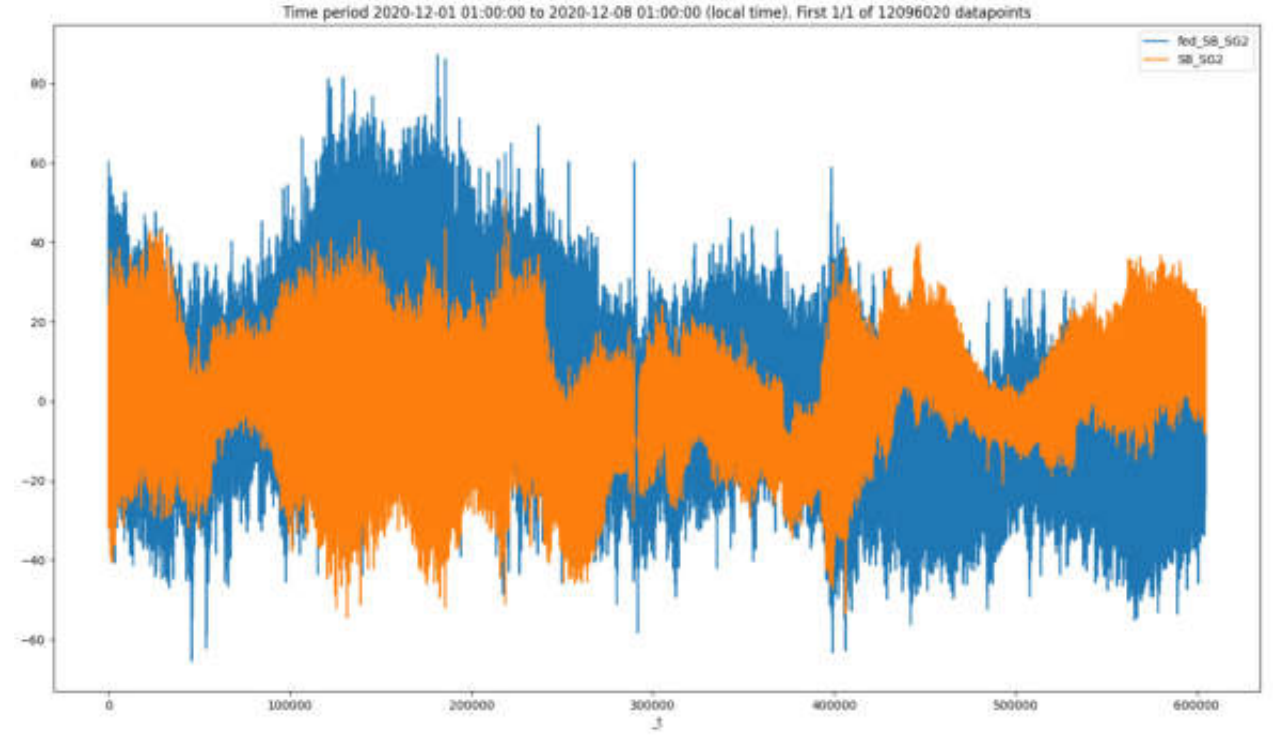


Figure 31. Figure 6. Comparison of physical sensor to FE model sensor, SB_SG2

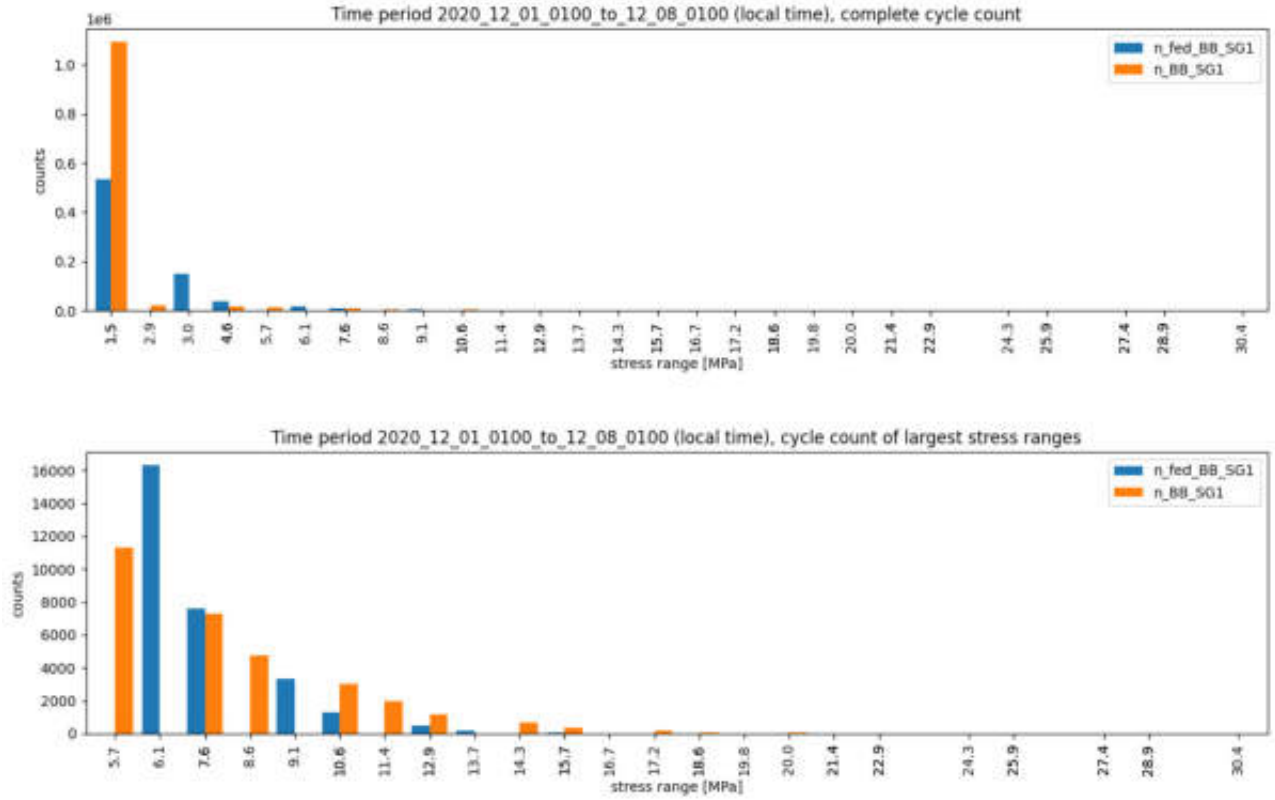


Figure 32, Stress range vs stress range counts

A relative fatigue comparison is made based on the bar plot above, indicating that the ratio of calculated fatigue based on virtual sensor / physical sensor is approx. 0.84 for the given time series with slope parameter m=3 on the SN-curve, and 0.38 with slope parameter m=5.

3.5 Correlation between time-series

Assessments of correlation between the datasets are made for the selected times of interest indicate that the time-series may out of sync for some of the cases:

- Oct. 02: Estimated time shift 2,5 seconds
- Nov. 05: Estimated time shift 84 seconds
- Dec 03: Time series are well correlated and seems to be in sync
- Dec 01-07: No clear correlation of the datasets.

The time series shown in figures above includes time shift. An example of the effect of time shift is shown in the figures below:

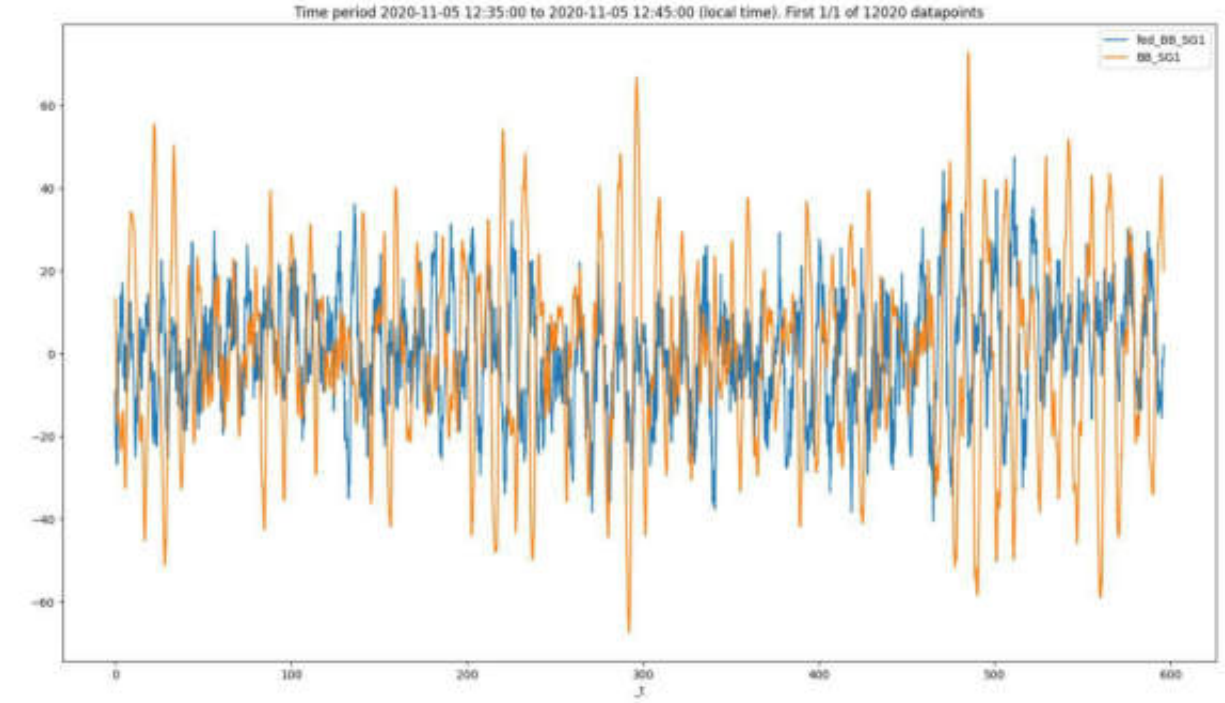


Figure 33. BB_SG1 prior time shift.

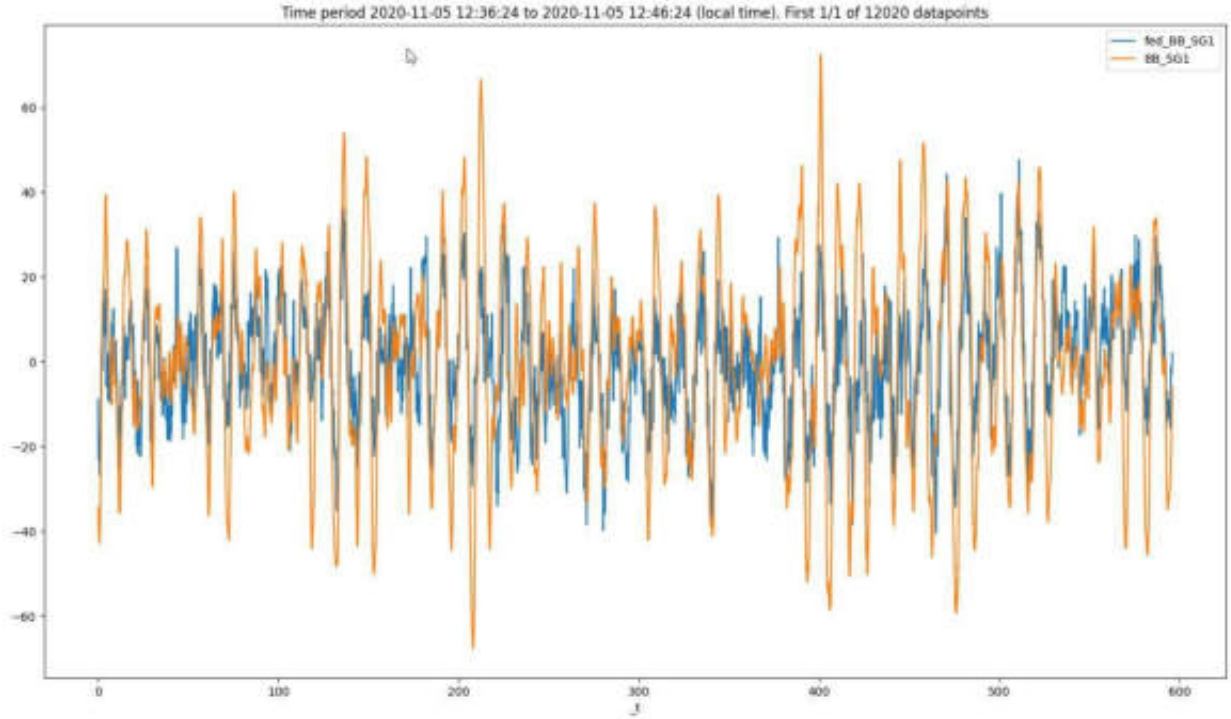


Figure 34.BB_SG1 post time shift (BB_SG1 (orange curve) shifted with +84 seconds /moved left)

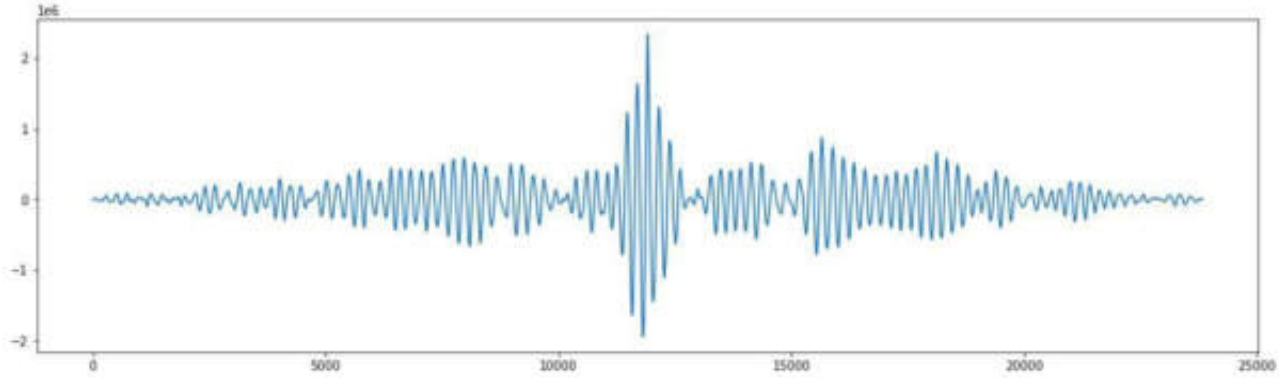


Figure 35. Correlation factor for SB_SG2, case #Nov. 05

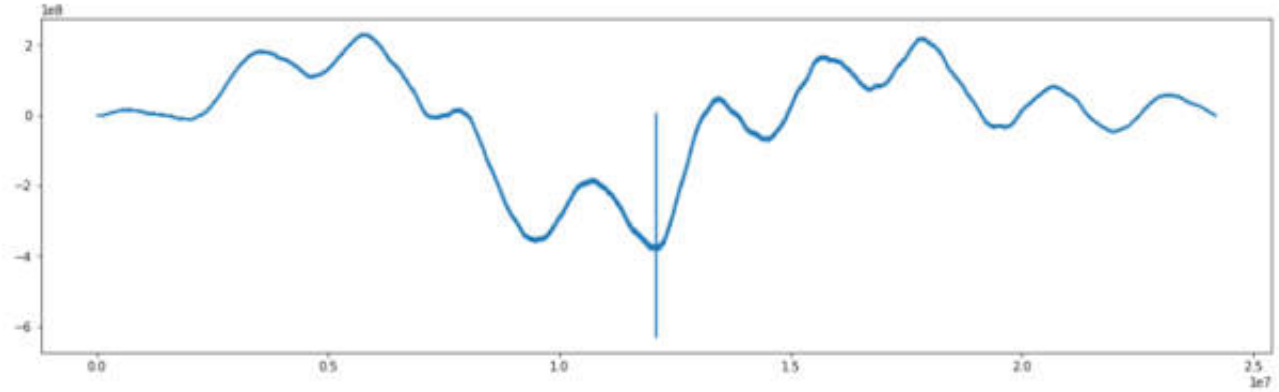


Figure 36. Correlation factor for BB_SG1, case #Dec. 1-7 (“long term”)

4 DISCUSSION AND CONCLUSION

The main target of the structural health monitoring system is to provide reasonable fatigue damage estimates for selected Points Of Interest (fatigue hot spots). It is essential to be able to predict the dynamic deformations of the structure, which then may be translated to stress cycles in the POIs by real time FE-models running in the Cloud. It should be noted that the stress ranges contribute to the fatigue damage with the power of 3 to 5, thus only a minor deviation in stress cycle magnitude (range) may cause a large deviation in fatigue damage for a given stress cycle. With respect to fatigue damage calculations in welded structures, it is mainly the variations in stress that is of interest (absolute magnitudes are less important). The stress variations may arise due to slowly varying deformations due to ballasting, or more rapid variations due to e.g. wave induced motion.

The Havfarm is instrumented with physical strain gages at locations that are well suited to capture global structural responses and local beam bending of the longitudinal beams. The current version of the Cloud application is better suited to capture global structural deformation shapes, dynamic or static, such as hogging/sagging and torsion. If local beam bending, ballasting or higher order dynamic modes (e.g. “s-shapes”) cause more local type of responses measured by the strain gages, we might see deviation between the virtual sensors (results from FE-model driven by input from Cloud application) and the physical sensors, both in frequency and amplitude.

Assessment of the correlation of the time series from the FE-analysis and the physical sensors indicate that time synchronization might be variable between the data from the Cloud application and the HBM strain gages, however further investigations are required to conclude.

So far, the observed results indicate that the conditions of more harsh weather provide a better fit between the virtual sensors and the physical sensors. This may suggest that relatively harsh weather is required in order to trigger significant dynamic global deformations. In calm to normal weather conditions the global dynamic deformations are small, global responses probably are probably more or less static (due to e.g. ballasting), and structural responses measured by the physical strain gages are probably caused by other load conditions such as marine operations (crane operations, winch operations, etc.). Such deformations are of a more local character such as beam bending of the upper longitudinal girders.

Based on FFT of the analyzed time series it is seen that the major part of the responses measured by the strain gages is in the frequency range 0,1-0,2 Hz (10 – 5 seconds periods), typically wave frequency ranges. The natural (elastic) frequencies of the structure are in the range from 0,4Hz and above. This indicates that the structural response is governed by slowly varying deformations in the quasi-static range, i.e. the wave loading does not trigger significant dynamic (elastic) response of the structure, the response is governed more by rigid body motion and dynamic wave pressure. It should be noted that the sensor noise and drift in the GNSS sensors may influence the results from the digital twin, and therefore the comparison between the physical and virtual sensors.

The degree of fit between the physical and the virtual sensors does not necessarily correspond to the degree of accuracy in the prediction of fatigue damage in the POIs. The quality of the POI fatigue calculations depends on which deformation modes that drive fatigue in these structural details:

- Slowly varying global deformations due to ballasting.
- Global dynamic deformations in moderate weather to storm conditions?
- Marine operations? (Crane operations, winching / fish net handling, feeding-loading operations)

Preliminary conclusions:

- There are some uncertainties with respect to the time synchronization of the strain gages
- There is varying match between the physical and the virtual sensors. The best match seems to in times of harsh weather conditions. The lower the strain responses are, the more the local wave loads will influence the responses. The actual implication on the fatigue performance requires a larger study of the probability of the various weather conditions. It is not recommended to pursue that path prior to decision regarding potential “proposed improvements”.
- Further investigations of the measured structural responses are required in order to understand which deformations that govern the major part of the deformation history of the Havfarm, and which deformations that govern fatigue in the POIs.

Some statistical parameters are compared for the datasets as shown in the Table below:

Table 1. Ratios: fed_BB_SG1/BB_SG1

Scenario	Max	Min	St.dev
Calm condition Oct 2, 2020	*18,4/15,5 = 1,19*	*-20/-12,7 = 1,58*	*5,7/4,6 = 1,23*
Storm condition Nov 5, 2020	*47,6/72,5 = 0,65*	*-40,5/-67,5 = 0,60*	*13,3/21,9 = 0,60*
Dec 3, 2020	*32,6/50 = 0,65*	*-32/-50,5 = 0,63*	*10,3/15,1 = 0,68*
Dec 1-7, 2020	*68,2/72,3 = 0,94*	*-76.7/-63.9 = 1.20*	*14,1/10,1 = 1.40*

The rainflow cycle count and the fatigue assessment show variable agreement between the physical and the virtual sensors. The results are given in the Table and the Figures below:

Table 2. Relative fatigue damage, virtual / physical.

	Oct. 02		Nov. 05		Dec. 03		Dec. 01-07	
SG / SN-slope	m=3	m=5	m=3	m=5	m=3	m=5	m=3	m=5
BB_SG1	*4.71*	*10.99*	*1.05*	*0.97*	1.21	0.93	*0,84*	*0,38*
BB_SG2	*9.01*	*26.37*	*1.38*	*1.56*	1.55	1.31	*1,88*	*1,42*
BB_SG3	*2.53*	*3.01*	*0.57*	*0.35*	0.85	0.49	*2,44*	*2,06*
BB_SG4	*4.16*	*8.40*	*0.80*	*0.62*	1.05	0.83	*1,57*	*1,03*
BB_SG5	*5.58*	*12.63*	*1.20*	*1.20*	1.43	1.25	*2,91*	*2,77*
BB_SG6	*2.01*	*2.31*	*0.64*	*0.41*	0.82	0.54	*2,94*	*2,59*
SB_SG1	*2.54*	*3.57*	*0.32*	*0.11*	0.39	0.14	*2,24*	*3,00*
SB_SG2	*6.16*	*14.68*	*0.91*	*0.66*	1.00	0.61	*3,58*	*4,81*
SB_SG3	*7.89*	*19.56*	*1.13*	*1.05*	1.72	1.84	*1,15*	*0,76*
SB_SG4	*4.31*	*8.79*	*0.48*	*0.18*	0.60	0.25	*1,50*	*1,14*
SB_SG5	*7.95*	*20.13*	*0.94*	*0.56*	0.96	0.53	*2,35*	*2,50*
SB_SG6	*8.05*	*17.66*	*0.86*	*0.55*	1.18	0.85	*0,69*	*1,09*

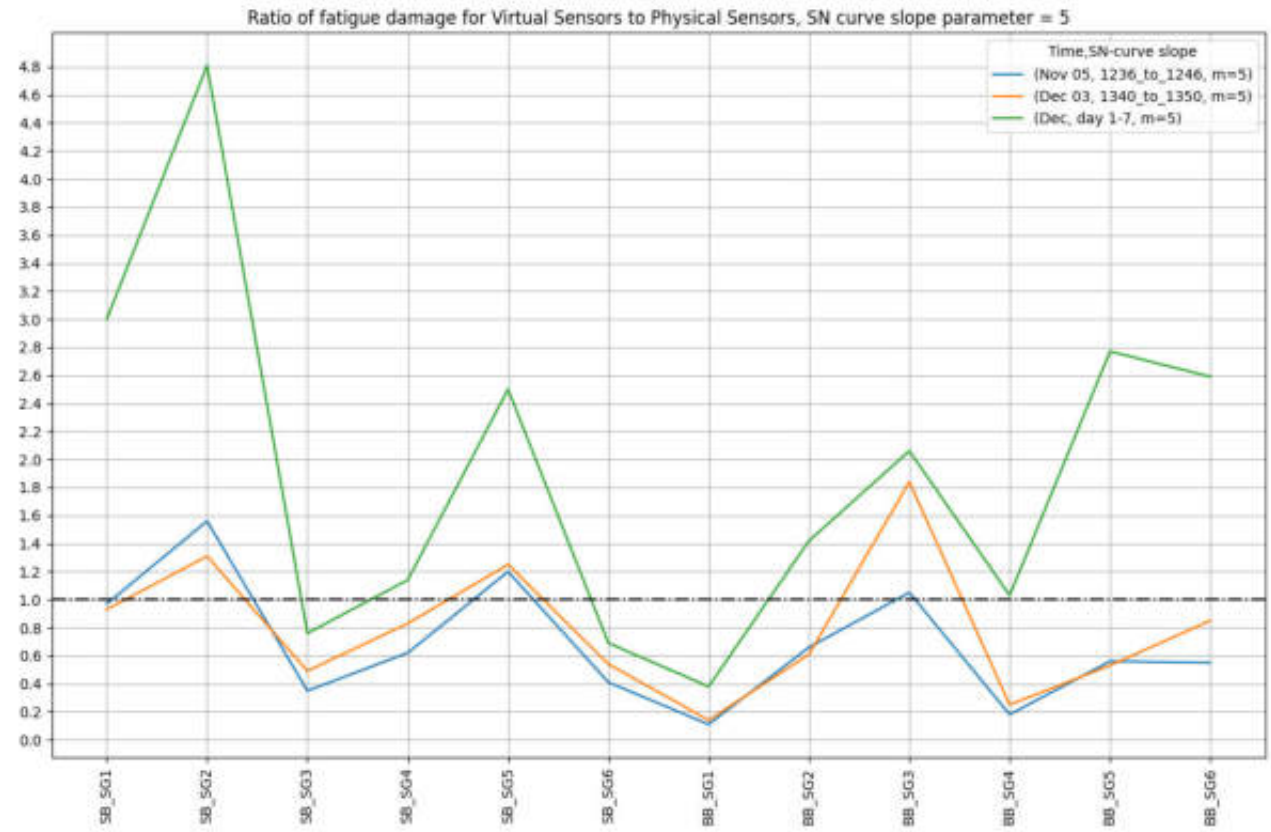


Figure 37. Ratio of fatigue damage, virtual to physical sensor, m=5

Figure 38. Ratio of fatigue damage, virtual to physical sensor, m=3

www.sap.com/contactsap

© 2018 SAP SE or an SAP affiliate company. All rights reserved.
No part of this publication may be reproduced or transmitted in any form or for any purpose without the express permission of SAP SE or an SAP affiliate company.

The information contained herein may be changed without prior notice. Some software products marketed by SAP SE and its distributors contain proprietary software components of other software vendors. National product specifications may vary.

These materials are provided by SAP SE or an SAP affiliate company for informational purposes only, without representation or warranty of any kind, and SAP or its affiliated companies shall not be liable for errors or omissions with respect to the materials. The only warranties for SAP or SAP affiliate company products and services are those that are set forth in the express warranty statements accompanying such products and services, if any. Nothing herein should be construed as constituting an additional warranty.

In particular, SAP SE or its affiliated companies have no obligation to pursue any course of business outlined in this document or any related presentation, or to develop or release any functionality mentioned therein. This document, or any related presentation, and SAP SE's or its affiliated companies' strategy and possible future developments, products, and/or platform directions and functionality are all subject to change and may be changed by SAP SE or its affiliated companies at any time for any reason without notice. The information in this document is not a commitment, promise, or legal obligation to deliver any material, code, or functionality. All forward-looking statements are subject to various risks and uncertainties that could cause actual results to differ materially from expectations. Readers are cautioned not to place undue reliance on these forward-looking statements, and they should not be relied upon in making purchasing decisions.

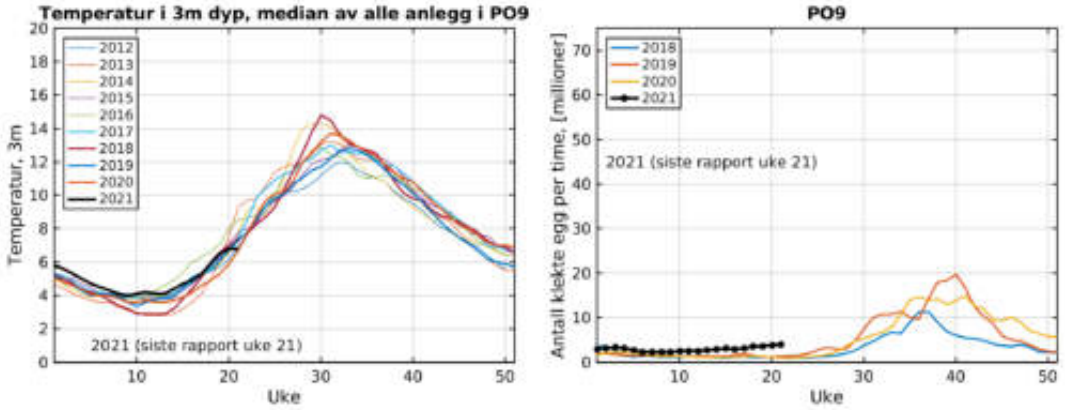
SAP and other SAP products and services mentioned herein as well as their respective logos are trademarks or registered trademarks of SAP SE (or an SAP affiliate company) in Germany and other countries. All other product and service names mentioned are the trademarks of their respective companies. See www.sap.com/copyright for additional trademark information and notices.

THE BEST RUN SAP

Vedlegg D

PO9

Vurdering frem til uke 22 : Vanntemperaturen ligger om lag som gjennomsnittet for de siste ni år.
Antall nyklekte egg/luselarver (summert over alle anlegg som rapporterer i PO9) ligger litt over nivået som var i 2018 - 2020.



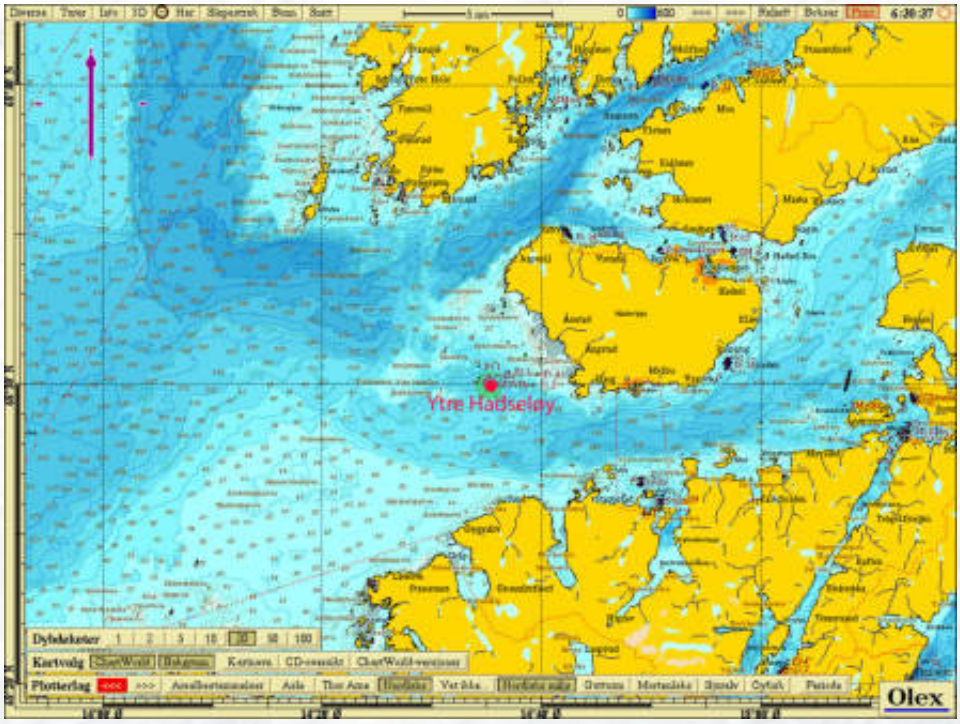
VENSTRE: Observert temperatur i 3m dyp.
HØYRE: Beregnet (Stien mfl 2005) utslipp av nyklekte luselarver (summert over alle anlegg som rapporterer i PO9) Det er ofte noen etternølere som rapporterer en uke eller to etter fristen. Derfor kan grafene se litt annerledes ut enn i forrige uke.

Status PO9 basert på rapporterte tall (til MT og FDIR), og HI sin lakselusmodell.
Siste tall i uke 21, 2021. Kilde: lusekoordinator i Åkerblå.

Akvaplan niva

Rapport Report

Nordlaks AS
Miljøundersøkelse Ytre Hadseløya, 2016.



NORSK AKKREDITERING TEST 079

Akvaplan-niva AS Rapport: 8038.01

Akvaplan-niva AS
Rådgivning og forskning innen miljø og akvakultur
Org.nr: NO 937 375 158 MVA
Framsenteret
9296 Tromsø
Tlf: 77 75 03 00, Fax: 77 75 03 01
www.akvaplan.niva.no

Rapporttittel / Report title

Nordlaks AS. Miljøundersøkelse Ytre Hadseløya, 2016.

Forfatter(e) / Author(s)
Hans-Petter Mannvik
Asle Guneriussen

Akvaplan-niva rapport nr / report no
8038.01

Dato / Date
04.10.2016

Antall sider / No. of pages
16+ Vedlegg

Distribusjon / Distribution
Gjennom oppdragsgiver

Oppdragsgiver / Client
Nordlaks AS. 8450 Stokmarknes

Oppdragsg. referanse / Client's reference
Bjarne Johansen

Sammendrag / Summary
Oksygenforholdene var gode i hele vannsøylen. TOC-nivået var lett forhøyet (tilstandsklasse II) på Fi 4, der sedimentet var meget grovt. Sediment- og faunasammensetningen på denne stasjonen skilte seg tydelig fra de andre stasjonene i undersøkelsen. På de andre stasjonene var TOC-nivået i sedimentene forhøyet og mest på stasjonene Ha 2, Ha 3 og Ha 4 (klasse V). Det ble ikke funnet entydige tegn på faunaforstyrrelser på stasjonene. Relativt rike forekomster av opportunistiske arter på stasjon Ha 3, Ha 5 og Fi 1 kan imidlertid indikere at bunndyrsamfunnet var noe preget av god tilgang på organisk materiale.

Prosjektleder / Project manager

Asle Guneriussen

Kvalitetskontroll / Quality control

Roger Velvin

© 2016 Akvaplan-niva AS. Rapporten kan kun kopieres i sin helhet. Kopiering av deler av rapporten (tekstutsnitt, figurer, tabeller, konklusjoner, osv.) eller gjengivelse på annen måte, er kun tillatt etter skriftlig samtykke fra Akvaplan-niva AS.

INNHOLDSFORTEGNELSE

FORORD 2

1 OPPSUMMERINGSTABELL 3

2 INNLEDNING 4

2.1 Bakgrunn og formål 4
2.2 Drift 4
2.3 Tidligere undersøkelser 4

3 MATERIALE OG METODE 5

3.1 Faglig program 5
3.2 Resipientbeskrivelse og stasjonsplassering 5
3.3 Hydrografi og oksygen 6
3.4 Geokjemiske analyser 6
3.4.1 Feltinnsamling 6
3.4.2 Totalt organisk karbon (TOC) og kornfordeling 7
3.4.3 Total fosfor (TOT-P), sink (Zn) og kobber (Cu) 7
3.4.4 Redoks- og pH målinger 7
3.5 Bunndyr 7
3.5.1 Om organisk påvirkning av bunndyrsamfunn 7
3.5.2 Innsamling og fiksering 8
3.5.3 Kvantitative bunndyranalyser 8

4 RESULTATER 9

4.1 Hydrografi og oksygen 9
4.2 Geokjemiske analyser 9
4.2.1 TOC, kornfordeling og pH/Eh 9
4.2.2 Total fosfor, sink og kobber i sedimenter 10
4.3 Bunndyr 10
4.3.1 Kvantitative bunndyrsanalyser 10

5 SAMMENFATTENDE VURDERINGER 15

5.1 Sammendrag 15
5.2 Konklusjoner 15

6 REFERANSER 16

7 VEDLEGG 17

Vedlegg 1 Bunndyrsstatistikk og artslister 17
Vedlegg 2. Analysebeviser 41

Forord

Akvaplan-niva AS har gjennomført en miljøundersøkelse ved Ytre Hadseløya. Undersøkelsen er utført som grunnlag for søknad om oppdrettslokalitet for Nordlaks Oppdrett AS som også er oppdragsgiver.

Følgende personer har deltatt:

Asle Guneriussen	Akvaplan-niva	Feltarbeid, rapport, prosjektleder.
Roger Velvin	Akvaplan-niva	Identifisering bunndyr (Varia). KS rapport, faglig vurdering og fortolkning.
Rune Palerud	Akvaplan-niva	Identifisering bunndyr (krepsdyr). Statistikk.
Thomas Hansen	Akvaplan-niva	Identifisering bunndyr (børstemark).
Jesper Hansen	Akvaplan-niva	Identifisering bunndyr (bløtdyr).
Hans-Petter Mannvik	Akvaplan-niva	Identifisering bunndyr (pigghuder). Rapport, faglig vurdering og fortolkning.
Vera Remen	Akvaplan-niva	Koordinering bunndyrsortering.
Ingar H. Wasbotten	Akvaplan-niva	Koordinering geokjemiske analyser.

Akvaplan-niva vil takke Nordlaks AS ved Bjarne Johansen for godt samarbeid.

Akkreditert virksomhet:

Analysene er utført av Akvaplan-niva AS med underleverandøren ALS Laboratory Group, Tsjekkia.

NORSK AKKREDITERING TEST 079	Akvaplan-niva AS er akkreditert av Norsk Akkreditering for analyser av makrofauna og faglig vurderinger og fortolkninger, akkrediteringsnr. TEST 079.
NORSK AKKREDITERING TEST 061	Akvaplan-niva er akkreditert av Norsk Akkreditering for analyser av TOC og kornstørrelse, akkrediteringsnr. TEST 061. Akkrediteringen er i hht. NS-EN ISO/IEC 17025.
Czech Accreditation Institute (Lab nr 1163)	ALS Laboratory Group er akkreditert av Czech Accreditation Institute (Lab nr 1163) for analyser av P-total, kobber og sink.

Tromsø, 04.10.2016

Asle Guneriussen

Prosjektleder

1 Oppsummeringstabell

Informasjon oppdragsgiver			
Tittel :	C-undersøkelse på oppdrettslokaliteten Ytre Hadseløya		
Rapportnummer (s):	8038.01	Lokalitetsnavn:	Ytre Hadseløya
Lokalitetsnummer:	Ny	Kartkoordinater (anlegg):	N 68 29,993 Ø 14 35,288
Fylke:	Nordland	Kommune:	Hadsel
MTB-tillatelse:	Ikke omsøkt	Driftsleder:	Ikke bestemt
Oppdragsgiver:	Nordlaks Oppdrett AS		

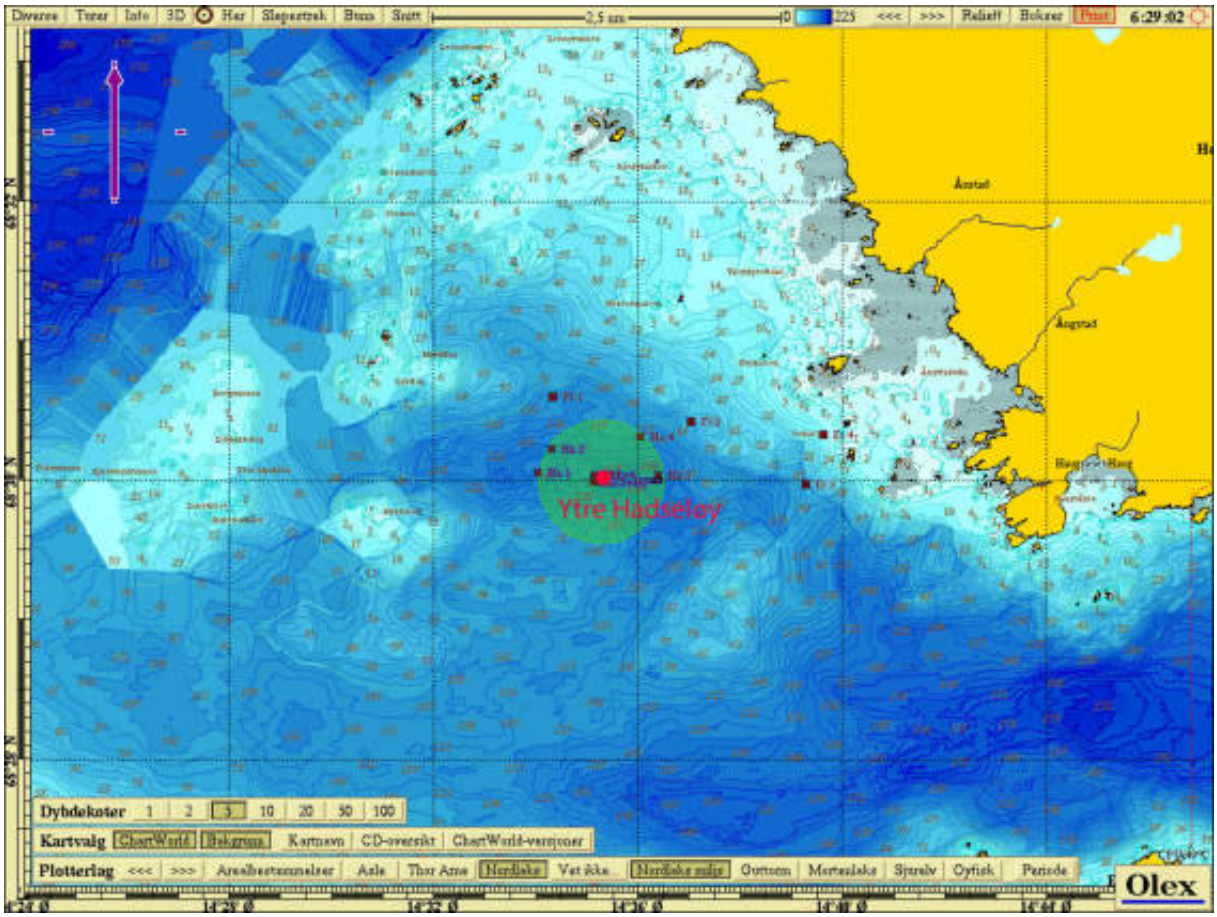
Biomasse/produksjonsstatus ved undersøkelsesdato			
Fiskegruppe:	Laks	Biomasse ved undersøkelse:	0 tonn
Utfôret mengde inneværende generasjon:	0 kg	Produsert mengde inneværende generasjon:	0 kg
Type/tidspunkt for undersøkelse			
Maks biomasse:		Oppfølgende undersøkelse:	
Brakklegging:		Ny lokalitet:	x

Resultat fra C undersøkelse /NS 9410 (2016) - Hovedresultat bløtbunnfauna			
Faunaindeks nEQR (Veileder 02:2013)		**Økologisk tilstandsklassifisering (Veileder 02:2013)**	
Ha 1	0,81	Ha 1	Tilstandsklasse I Svært god
Ha 2	0,70	Ha 2	Tilstandsklasse II God
Ha 3	0,67	Ha 3	Tilstandsklasse II God
Ha 4	0,71	Ha 4	Tilstandsklasse II God
Ha 5	0,76	Ha 5	Tilstandsklasse II God
Fi 1	0,67	Fi 1	Tilstandsklasse II God
Fi 2	0,79	Fi 2	Tilstandsklasse II God
Fi 3	0,73	Fi 3	Tilstandsklasse II God
Fi 4	0,82	Fi 4	Tilstandsklasse I Svært god
Dato feltarbeid:	04.05 og 06.07.2016. Hydrografi: 01.06.2016	**Dato rapport:**	04.10.2016
Merknader til andre resultater (sediment, pH/Eh, oksygen)			Varierende grad av organisk belastning av sedimenter (klasse II-V). Ingen metallbelastninger i sedimentene. God oksygenmetning i vannsøyle.
Ansvarlig feltarbeid:	Asle Guneriussen	:	

2 Innledning

2.1 Bakgrunn og formål

Bakgrunnen for C-undersøkelsen er at bedriften ønsker å gjennomføre en forundersøkelse for å søke om lokalitet og konsesjon for produksjon av laks i en flytende merdekonstruksjon i stål. Konstruksjonen skal ha form av et tilnærmet båtskrog som skal ligge på svai. I Figur 1 er et grønt sirkelareal avmerket. Dette arealet er dekkende for det planlagte arealet som vil være omfattet av oppdrettsvirksomheten.



Figur 1. Oversiktskart for planlagt område.

2.2 Drift

Det er ikke drift og det har ikke vært drift i resipienten tidligere

2.3 Tidligere undersøkelser

Det har ikke vært gjennomført miljøundersøkelser i resipienten tidligere

3 Materiale og metode

3.1 Faglig program

Valg av undersøkelsesparametere, stasjonsplasseringer og type innsamlingsprogram for bunnprøvetakinger og andre registreringer er gjort i henhold til NS 9410 (2007 og 2016). En oversikt over det faglige programmet er gitt i Tabell 1.

For gjennomføring og opparbeiding er følgende standarder og kvalitetssikringssystemer benyttet:

- ISO 5667-19. *Guidance on sampling of marine sediments.*
- ISO 16665. *Guidelines for quantitative sampling and sample processing of marine soft bottom macro fauna.*
- NS 9410:2007/2016. *Miljøovervåking av bunnpåvirkning fra marine oppdrettsanlegg.*
- Prosedyreark. *Kvalitetshåndbok for Akvaplan-niva.*
- SFT (nå Miljødirektoratet) veileder 97:03. *Klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann (Molvær m.fl., 1997) og revidert veileder TA 2229/2007 (Bakke m.fl., 2007).*
- Veileder 02:2013. *Klassifisering av miljøtilstand i vann*. Norsk klassifiseringssystem for vann i henhold til Vannforskriften. Veileder fra Direktoratgruppen.

Tabell 1. Faglig program på stasjonene ved Ytre Hadseløya, 2016. TOC = total organisk karbon, TOT-P = total fosfor, Zn = sink, Cu = kobber, Korn = kornfordeling. pH/Eh = Surhetsgrad og redokspotensial.

Stasjon / sone	Type undersøkelse
Ha 1	Kvantitativ bunndyranalyse. TOC. Korn. TOT-P. Zn. Cu. pH/Eh.
Ha 2	Kvantitativ bunndyranalyse. TOC. Korn. TOT-P. Zn. Cu. pH/Eh.
Ha 3	Kvantitativ bunndyranalyse. TOC. Korn. TOT-P. Zn. Cu. pH/Eh.
Ha 4	Kvantitativ bunndyranalyse. TOC. Korn. TOT-P. Zn. Cu. pH/Eh.
Ha 5	Kvantitativ bunndyranalyse. TOC. Korn. TOT-P. Zn. Cu. pH/Eh. Hydrografi/O_2.
Fi 1	Kvantitativ bunndyranalyse. TOC. Korn. TOT-P. Zn. Cu. pH/Eh.
Fi 2	Kvantitativ bunndyranalyse. TOC. Korn. TOT-P. Zn. Cu. pH/Eh.
Fi 3	Kvantitativ bunndyranalyse. TOC. Korn. TOT-P. Zn. Cu. pH/Eh.
Fi 4	Kvantitativ bunndyranalyse. TOC. Korn. TOT-P. Zn. Cu. pH/Eh.

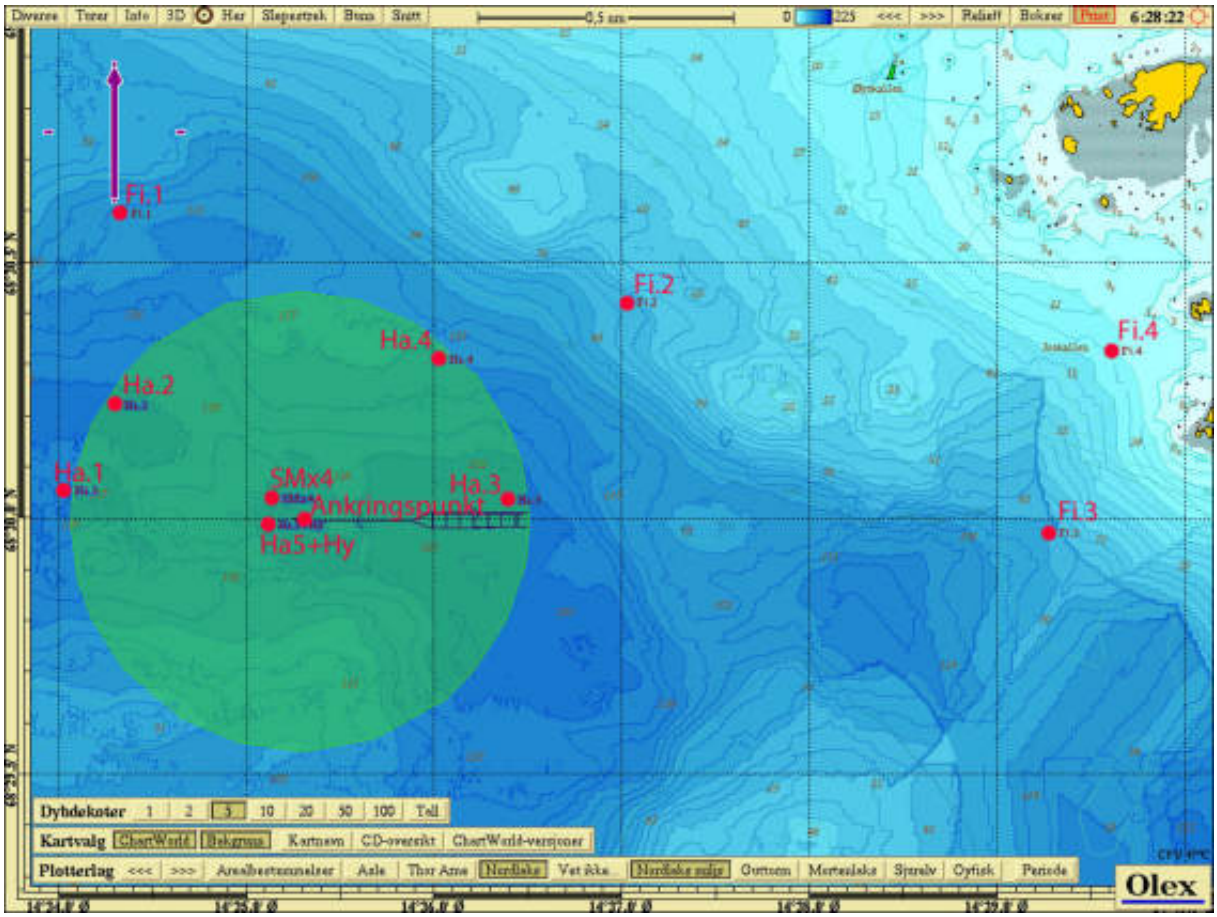
Feltarbeidet ble gjennomført 05.04. og 06.07.2016. Hydrografisk registrering ble utført 01.06.2016.

3.2 Resipientbeskrivelse og stasjonsplassering

En oversikt over stasjonsdyp og GPS koordinater er gitt i Tabell 2. Stasjonsplasseringene er vist i Figur 2. Lokaliteten ligger på vestsiden av Hadseløya i Hadsel kommune i Nordland. Lokaliteten er mest eksponert for vind fra vest til sørvest. Størst dyp i resipienten er ca 140 m og befinner seg i området for strømmålinger merket SMx4, stasjon for hydrografiske målinger merket Ha.5+Hy og forelått punkt for oppankring merket Ankringspunkt. Ca. 7,4 km vest for lokaliteten befinner det seg et grunnere område med en bred terskelformasjon med et største dyp på ca. 85 m ut mot Vesterålsfjorden. Mot øst er minste dyp over 100 m mot Hadselfjorden. Prøvetakingsstasjonene for C-undersøkelsen innenfor det foreslåtte vertikale influensområdet for oppdrettsvirksomheten har benevning Ha.1, Ha.2, Ha.3, Ha.4 og Ha.5+Hy. Utenfor influensområdet har fiskere i området angitt stasjoner som de ønsker skal gå inn i undersøkelsen. Disse stasjonene er merket Fi.1, Fi.2, Fi.3 og Fi.4.

Tabell 2. Stasjonsdyp og -koordinater, Ytre Hadseløya, 2016.

Stasjon	Ha 1	Ha 2	Ha 3	Ha 4	Ha 5
Dyp (m)	133	137	137	121	141
GPS	68°30,052 14°34,033	68°30,219 14°34,296	68°30,035 14°36,393	68°30,309 14°36,032	68°29,986 14°35,116
Stasjon	**Fi 1**	**Fi 2**	**Fi 3**	**Fi 4**	
Dyp (m)	117	83	89	23	
GPS	68°30.594 14°34,339	68°30,420 14°37,031	68°29,970 14°39,281	68°30,326 14°39,613	



Figur 2. Stasjonskart, Ytre Hadseløya, 2016.

3.3 Hydrografi og oksygen

På stasjon Ha 5 ble det gjennomført hydrografiske registreringer for vertikalprofiler med hensyn til saltholdighet, temperatur, tetthet og oksygenmetning fra overflate til bunn. Disse ble gjennomført ved hjelp av en Sensordata CTDO 202 sonde.

3.4 Geokjemiske analyser

3.4.1 Feltinnsamling

Prøvene ble hentet med en 0,1 m^2 bunngrabb (van Veen). Kjemiprøvene ble tatt fra øverste sedimentlag (0-1 cm). Prøvene for kornstørrelse ble tatt med rørstikk (0-5 cm). Prøvematerialet ble tatt ut gjennom inspeksjonluker etter at sedimentoverflaten var godkjent.

3.4.2 Totalt organisk karbon (TOC) og kornfordeling

Andelen finstoff, dvs. fraksjonen mindre enn 63 µm, ble bestemt gravimetrisk etter våtsikting av prøvene. Resultatene er angitt som andel finstoff på tørrvektsbasis.

Etter tørking ble innhold av totalt organisk karbon (TOC) bestemt ved IR deteksjon (LECO IR 212) etter behandling med konsentrert saltsyre (HCl) og katalytisk forbrenning ved 480 °C. For å kunne klassifisere miljøtilstanden basert på innhold av TOC, er de målte konsentrasjonene normalisert for andel finstoff (nTOC) ved bruk av ligningen: nTOC = TOC + 18(1 – F), hvor TOC og F står for henholdsvis målt TOC verdi og andel finstoff (%) i prøven (Aure *m.fl.,* 1993).

Klassifisering av miljøtilstanden for sedimentene er basert på normalisert TOC, og ble gjennomført i henhold til SFT (nå Miljødirektoratet) veiledning 97:03 (Molvær *m. fl.,* 1997).

Tilstandsklassifisering for organisk innhold i marine sediment (fra SFT 97:03).

NTOC, mg/g	< 20 I Meget god	20-27 II God	27-34 III Mindre god	34-41 IV Dårlig	> 41 V Meget dårlig

3.4.3 Total fosfor (TOT-P), sink (Zn) og kobber (Cu)

Prøven for metallanalyse ble frysetørket før den ble oppsluttet i mikrobølgeovn i lukket teflonbeholder med konsentrert ultraren salpetersyre og hydrogenperoksid. Konsentrasjonene av metallene kobber (Cu) og sink (Zn) ble bestemt ved hjelp av ICP-SFMS. Prøven for total fosfor ble tørket ved 105°C. Mengde tørrstoff i prøven ble bestemt gravimetrisk. Etter dekomponering av prøven bestemmes P_2O_5 ved hjelp av spektrofotometri. P-total beregnes fra P_2O_5.

Klassifisering av miljøtilstanden med hensyn til Zn og Cu ble gjennomført i henhold til revidert veiledning TA 2229/2007 (Bakke *m.fl.,* 2007). Klassifisering av TOT-P inngår ikke i nevnte veileder eller i Molvær *m.fl.*, 1997.

Tilstandsklassifisering for metaller i marine sedimenter (fra Bakke m.fl.*, 2007).*

Zn mg/kg	< 150 Tilstandsklasse I Bakgrunn	150-360 Tilstandsklasse II God	360-590 Tilstandsklasse III Moderat	590-4500 Tilstandsklasse IV Dårlig	> 4500 Tilstandsklasse V Svært dårlig
Cu mg/kg	< 35 Tilstandsklasse I Bakgrunn	35-51 Tilstandsklasse II God	51-55 Tilstandsklasse III Moderat	55-220 Tilstandsklasse IV Dårlig	> 220 Tilstandsklasse V Svært dårlig

3.4.4 Redoks- og pH målinger

På alle stasjonene ble det utført en kvantitativ kjemisk undersøkelse av sedimentet. Surhetsgrad (pH) og redokspotensial (Eh) ble målt ved hjelp av elektroder og instrumentet YSI Professional Plus.

3.5 Bunndyr

3.5.1 Om organisk påvirkning av bunndyrsamfunn

Utslipp av organisk materiale fra oppdrettsanlegg kan bidra til forringede livsvilkår for mange av de bunnlevende organismene. Negative effekter i bunndyrsamfunnet kan best vurderes gjennom kvantitative bunndyranalyser. Fordi de fleste bløtbunnartene er lite mobile, vil faunasammensetningen i stor grad gjenspeile de stedsegnede miljøforholdene. Endringer i bunndyrssamfunnene er god indikasjon på uønskede belastninger. Under naturlige forhold består samfunnene av mange arter. Høyt artsmangfold (diversitet) er blant annet betinget av gunstige forhold for faunaen. Likevel kan eksempelvis moderate økninger i organisk belastning stimulere faunaen og eventuelt øke artsmangfoldet noe. Større belastning gir dårligere forhold der opportunistiske arter øker sine individtall, mens ømfintlige slås ut. Dette betyr redusert artsmangfold. Endringer i artsmangfold i nærheten av utslippspunkt kan i stor grad knyttes til endringer av organisk innhold (fôr og fekalier) i sedimentet.

3.5.2 Innsamling og fiksering

Alle bunndyrprøvene ble tatt med en 0,1 m^2 van Veen grabb. Kun grabbskudd hvor grabben var fullstendig lukket og overflaten uforstyrret ble godkjent. Etter godkjenning ble innholdet vasket i en 1 mm sikt og gjenværende materiale fiksert med 4 % formalin tilsatt fargestoffet bengalrosa og nøytralisert med boraks. På laboratoriet ble dyrene sortert ut fra gjenværende sediment.

3.5.3 Kvantitative bunndyranalyser

På alle stasjonene ble det innsamlet to prøver (replikater) iht. retningslinjene i NS 9410 (2007). Sortert materiale ble opparbeidet kvantitativt. Bunndyrene ble identifisert til fortrinnsvis artsnivå eller annet hensiktsmessig taksonomisk nivå og kvantifisert av spesialister (taksonomer). De kvantitative artslistene inngikk i statistiske analyser. Se Vedlegg 1 for beskrivelse av analysemetoder. For å klassifisere miljøtilstanden er Direktoratgruppens veileder 02:2013 benyttet. Følgende statistiske metoder ble benyttet for å beskrive samfunnenes struktur og for å vurdere likheten mellom ulike samfunn:

- Shannon-Wiener diversitetsindeks (H')
- Hurlberts diversitetsindeks (ES_{100}) - forventet antall arter pr. 100 individer
- Pielou's jevnhetsindeks (J)
- Ømfintlighetsindeks (ISI_{2012}).
- Indeks for individtetthet (DI).
- Sensitivitetsindeks (NSI)
- Sammensatt indeks for artsmangfold og ømfintlighet (NQI1)
- Ømfintlighetsindeks som inngår i NQI1 (AMBI)
- Normalisert EQR (nEQR)
- Antall arter plottet mot antall individer i geometriske artsklasser
- Clusteranalyser
- De ti mest dominerende taksa pr. stasjon (topp-10)

Indeksene er beregnet som snitt av to replikater.

Økologisk tilstandsklassifisering basert på observert verdi av indeks (fra Veileder 02:2013).

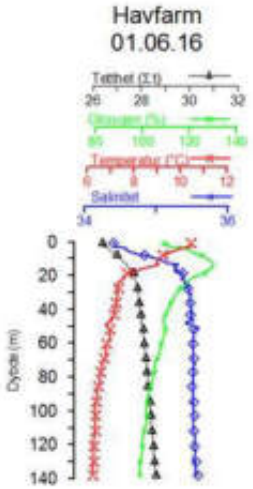
Indeks	I Svært god	II God	III Moderat	IV Dårlig	V Svært dårlig
NQI1	0.9-0.82	0,82-0.63	0.63-0.49	0.49-0.31	0.31-0
H´	5.7-4.8	4.8-3.0	3.0-1.9	1.9-0.9	0.9-0
ES_{100}	50-34	34-17	17-10	10-5	5-0
ISI_{2012}	13-9.6	9.6-7.5	7.5-6.2	6.1-4.5	4.5-0
NSI	31-25	25-20	20-15	15-10	10-0
DI	0-0,30	0,30-0,44	0,44-0,60	0,60-0,85	0,85-2,05
nEQR	1,0 – 0,8	0,8 – 0,6	0,6 – 0,4	0,4 – 0,2	0,2 – 0,0

4 Resultater

4.1 Hydrografi og oksygen

Vertikalprofilene for temperatur, salinitet, tetthet og oksygenmetning ved Ytre Hadseløya 2016, er vist i Figur 3.

Profilen viste et sjikt på omtrent 20 m dyp der temperaturen sank fra 11°C i overflaten til 7°C i sjiktet og videre ned til 6°C ved bunnen. Oksygenmetningen var god i hele vannsøylen med opp mot 130 % i deler av overflatelaget og til 98 % ved bunnen.



Figur 3. Vertikalprofiler. Temperatur, saltholdighet, tetthet og oksygen på Ha.5+Hy ved Ytre Hadseløya, 2016.

4.2 Geokjemiske analyser

4.2.1 TOC, kornfordeling og pH/Eh

Nivåer av organisk karbon (TOC) og kornfordeling i sedimentene er presentert i Tabell 3.

TOC-nivåene var forhøyet i sediment fra de fleste stasjonene med tilstandsklasse III (Mindre god) på Ha 1, Ha 5 og Fi 2, klasse IV (Dårlig) på stasjon Fi 1 og Fi 3 og klasse V (Meget dårlig) på stasjon Ha 2, Ha 3 og Ha 4. En stasjon, Fi 4, hadde noe forhøyet nivå (klasse II God). Sedimentene var forholdsvis grovkornet med pelittinhold fra 2,9 % (Fi 4) til 56,8 % (Ha 3).

Målingene av pH og Eh viste ingen unormale verdier for sedimentene.

Tabell 3. Sedimentbeskrivelse, TOC, kornfordeling (pelittandel = % <0,063 mm) og pH/Eh. Ytre Hadseløya, 2016.

St.	Sedimentbeskrivelse	TOC, mg/g	N-TOC*	Tilstandskl.*	Pelitt (finstoff)	pH/Eh
Ha 1	Lys olivengrønn fin sand/leire med skjellsand. Myk overflate. Ingen lukt.	17,7	31,6	III Mindre god	22,8	7,7/164
Ha 2	Lys olivengrønn fin sand/leire med sand, grus og skjellsand. Myk overflate (øvre cm). Ingen lukt.	30,9	41,3	V Meget dårlig	42,1	7,8/162
Ha 3	Lys olivengrønn, myk fin sand/leire med noe skjellsand. Ingen lukt.	46,4	54,2	V Meget dårlig	56,8	7,7/176
Ha 4	Lys olivengrønn, myk fin sand/leire med noe skjellsand. Ingen lukt.	39,3	48,8	V Meget dårlig	47,4	7,8/230
Ha 5	Lys olivengrønn fin sand/leire med skjellsand. Myk overflate (øvre 1,5 cm). Ingen lukt.	19,2	32,3	III Mindre god	27,3	7,9/227
Fi 1	Olivengrønn leire. Myk øverste cm med fastere leire under. Skjellrester. Ingen lukt.	26,9	36,1	IV Dårlig	48,7	7,8/223
Fi 2	Lys gul, fast finkornet skjellsand. Ingen lukt	11,9	27,5	III Mindre god	12,9	7,8/226
Fi 3	Lys olivengrønn, myk fin sand/leire med skjellrester. Myk overflate. Ingen lukt.	22,0	34,4	IV Dårlig	30,8	7,8/226
Fi 4	Lys gul, grov skjellsand med rugl og stein, hard. Ingen lukt	5,7	23,2	II God	2,9	7,9/226

** Tilstandsklassifisering (SFT - Molvær* m.fl.*, 1997) basert på TOC forutsetter at konsentrasjonen av TOC i sedimentet standardiseres for teoretisk 100% finstoff (pelitt < 0.063 mm) iht. til formelen: Normalisert TOC = målt TOC + 18 x (1-F), hvor F er andel av finstoff (Aure* m.fl.*, 1993).*

4.2.2 Total fosfor, sink og kobber i sedimenter

Nivåene av total fosfor, sink og kobber er presentert i Tabell 4.

Ingen av de undersøkte sedimentene var belastet med fosfor, sink eller kobber. Konsentrasjonene av de to sistnevnte metallene lå på bakgrunnsnivå (tilstandsklasse I).

Tabell 4. Sedimentanalyser. Total fosfor (TOT-P), sink (Zn) og kobber (Cu), alle i mg/kg TS, Ytre Hadseløya 2016.

St.	TOT-P	Zn	Tilst.klassif. Zn	Cu	Tilst.klassif. Cu
Ha 1	1450	14,0	I Bakgrunn	4,86	I Bakgrunn
Ha 2	1270	23,6	I Bakgrunn	9,42	I Bakgrunn
Ha 3	1080	33,9	I Bakgrunn	13,3	I Bakgrunn
Ha 4	1250	27,2	I Bakgrunn	11,0	I Bakgrunn
Ha 5	1910	20,0	I Bakgrunn	8,1	I Bakgrunn
Fi 1	1330	21,3	I Bakgrunn	8,64	I Bakgrunn
Fi 2	1550	6,5	I Bakgrunn	2,2	I Bakgrunn
Fi 3	1550	16,5	I Bakgrunn	7,17	I Bakgrunn
Fi 4	650	< 1,0	I Bakgrunn	0,26	I Bakgrunn

4.3 Bunndyr

4.3.1 Kvantitative bunndyrsanalyser

4.3.1.1 Artsmangfold, ømfintlighet og jevnhet

Resultatene fra de kvantitative bunndyranalysene er presentert i Tabell 5. Faunaindeksen nEQR i tabellen er beregnet uten tetthetsindeksen DI.

På Ha 1 ble det registrert 1005 individer fordelt på 102 arter. Tre faunaindeksene (H', ES_{100} og NQI1) viste økologisk tilstandsklasse II "God", mens de tre andre indeksene, inkludert nEQR, viste klasse I "Svært god".

På Ha 2 ble det registrert 1841 individer fordelt på 72 arter. De fleste faunaindeksene, inkludert nEQR, viste klasse II "God", mens ISI_{2012} viste klasse I "Svært god".

På Ha 3 ble det registrert 1750 individer fordelt på 64 arter. Alle faunaindeksene viste økologisk tilstandsklasse II "God" for stasjonen.

På Ha 4 ble det registrert 1833 individer fordelt på 80 arter. De fleste faunaindeksene, inkludert nEQR, viste klasse II "God", mens ISI_{2012} viste klasse I "Svært god".

På Ha 5 ble det registrert 1356 individer fordelt på 97 arter. De fleste faunaindeksene, inkludert nEQR, viste klasse II "God", mens ISI_{2012} viste klasse I "Svært god".

På Fi 1 ble det registrert 2462 individer fordelt på 86 arter. De fleste faunaindeksene, inkludert nEQR, viste klasse II "God", mens ISI_{2012} viste klasse I "Svært god".

På Fi 2 ble det registrert 570 individer fordelt på 87 arter. De fleste faunaindeksene, inkludert nEQR, viste klasse II "God", mens diversitetsindeksene H' og ES_{100} viste klasse I "Svært god".

På Fi 3 ble det registrert 2086 individer fordelt på 96 arter. Alle faunaindeksene viste økologisk tilstandsklasse II "God" for stasjonen.

På Fi 4 ble det registrert 309 individer fordelt på 55 arter. Tre faunaindeksene (H', ES_{100} og NQI1) viste økologisk tilstandsklasse II "God", mens de tre andre indeksene, inkludert nEQR, viste klasse I "Svært god".

J (Pielous jevnhetsindeks) er et mål på hvor likt individene er fordelt mellom artene, og vil variere mellom 0 og 1. En stasjon med lav verdi har en skjev individfordeling mellom artene, og indikerer at bunndyrsamfunnet er forstyrret. Individfordelingen var moderat til meget jevn på stasjonene med verdier mellom 0,59 (Fi 1) og 0,86 (Fi 4).

Tabell 5. Antall arter og individer pr. 0,2 m^2, H´ = Shannon-Wieners diversitetsindeks. ES_{100} = Hurlberts diversitetsindeks. NQI1 = sammensatt indeks (diversitet og ømfintlighet). ISI_{2012} = ømfintlighetsindeks. NSI = sensitivitetsindeks. J = Pielous jevnhetsindeks. AMBI = ømfintlighetsindeks (inngår i NQI1). nEQR = normalisert EQR (ekskl. DI). DI = tetthetsindeks. Ytre Hadseløya, 2016. Økologisk tilstandsklassifisering basert på observert verdi av indeks (snitt av to replikater) iht. Veileder 02:2013.

St.	Individtall	Ant arter	H´	ES_{100}	NQI1	ISI_{2012}	NSI	nEQR	DI	AMBI	J
Ha 1	1005	102	4,74	32,6	0,809	10,21	26,8	0,81	0,644	1,69	0,77
Ha 2	1841	72	3,45	19,4	0,735	9,69	22,3	0,70	0,909	2,03	0,60
Ha 3	1750	64	3,62	21,6	0,688	9,32	20,4	0,67	0,869	2,66	0,64
Ha 4	1833	80	3,69	22,2	0,750	9,81	21,8	0,71	0,901	1,97	0,63
Ha 5	1356	97	4,43	29,3	0,762	9,89	23,6	0,76	0,771	2,21	0,72
Fi 1	2462	86	3,49	18,8	0,703	9,70	20,2	0,67	1,040	2,56	0,59
Fi 2	570	87	4,91	39,2	0,790	9,45	23,0	0,79	0,390	2,13	0,81
Fi 3	2086	96	4,26	29,2	0,748	9,35	22,1	0,73	0,967	2,27	0,68
Fi 4	309	55	4,44	30,6	0,811	10,85	28,0	0,82	0,232	1,31	0,86

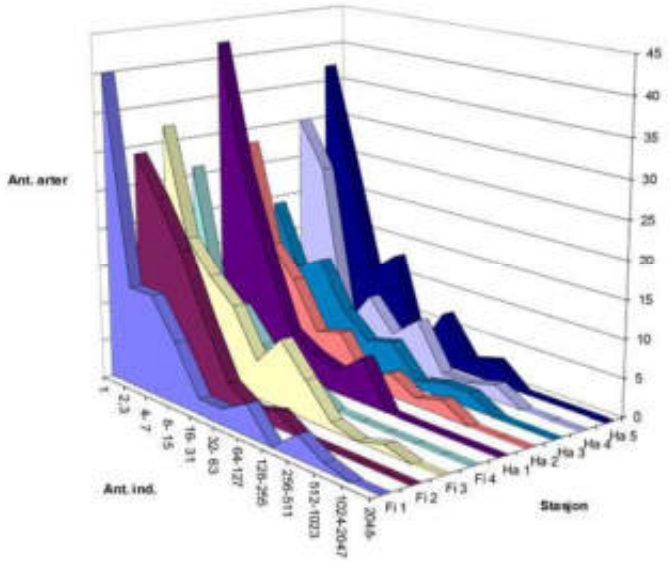
I Svært god	II God	III Moderat	IV Dårlig	V Svært dårlig

4.3.1.2 Geometriske klasser

Figur 4 viser antall arter plottet mot antall individer, der antallet individer er delt inn i geometriske klasser.

Det vises til Vedlegg 1 for en forklaring av begrepet geometriske klasser og beskrivelse av metoden. Bakgrunnen for analysen er at et upåvirket samfunn består av mange arter med lavt individtall, slik at kurven starter høyt på y-aksen. Et forstyrret samfunn har færre arter og noen få av dem svært tallrike, slik at kurven flater ut og strekker seg mot høyere klasser.

Kurvene for alle stasjonene startet moderat (st. Ha 3) til naturlig høyt (Fi 1, Ha 1 og Ha 5) og strakk seg varierende ut mot høyere klasser. Ingen av kurveforløpene viste tegn på faunaforstyrrelser.

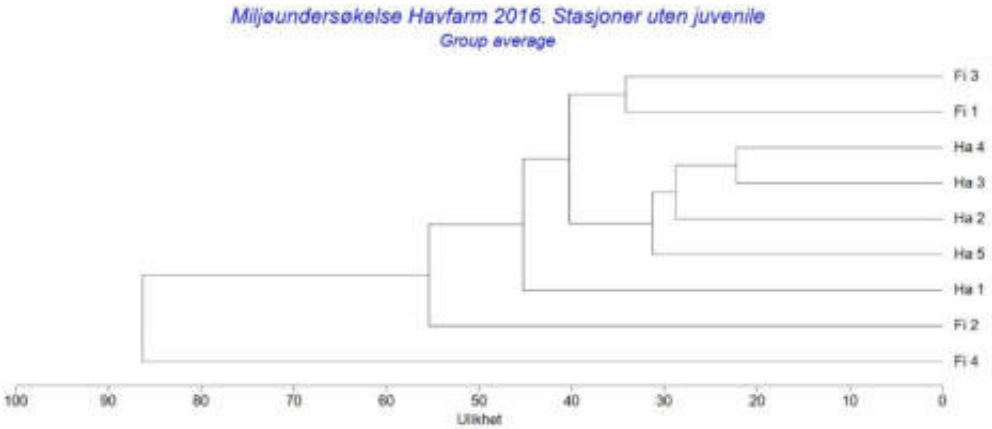


Figur 4. Bløtbunnfauna vist som antall arter mot antall individer pr. art i geometriske klasser for bunndyrstasjonene ved Ytre Hadseløya, 2016 (pr. 0,2 m^2).

4.3.1.3 Clusteranalyser

For å undersøke likheten i faunasammensetning mellom stasjonene ble den multivariate teknikken clusteranalyse benyttet (se metodebeskrivelse i Vedlegg 1). Resultatene fra denne er presentert i dendrogram i Figur 5. I dendrogrammet er graden av ulikhet mellom stasjonene uttrykt langs den horisontale aksen. To stasjoner med identisk arts- og individfordeling vil få 0 % ulikhet, mens to stasjoner uten like arter, vil få 100 % ulikhet. Metoden gjør det dermed mulig å identifisere grupper av stasjoner med like arts- og individforhold. I tillegg gjør den det lettere å synliggjøre eventuelle avvik som for eksempel kan knyttes til antropogene påvirkninger av bunndyrsamfunnet.

Faunasammensetningene var mest lik på stasjonene Ha 2, Ha 3, Ha 4 og Ha 5 (68 % likhet). De nevnte stasjonene var igjen 60 % lik faunaen på Fi 1 og Fi3, mens Ha 1 og Fi 2 er hhv 55 og 65 % lik disse. Faunasammensetningen på Fi 4 var ulik de andre stasjonene i området med bare 14 % likhet (86 % ulikhet).



Figur 5. Stasjonsvis clusterplott for bløtbunnfaunaen ved Ytre Hadseløya, 2016.

4.3.1.4 Artssammensetning

Hovedtrekkene i artssammensetningen er vist i form av en topp ti artsliste fra hver stasjon i Tabell 6. I Rygg og Norling (2013) inndeles artene i fem økologiske grupper (Ecological groups; EG) basert på verdien av sensitivitetsindeksene. Disse gruppene går fra sensitive arter (gruppe I) til forurensningsindikatorer (pollution indicator species; gruppe V).

På Ha 1 var sensitive børstemarken *Galathowenia fragilis* (EG I) mest tallrik med 11 % av individmengden. I tillegg til denne var det to andre sensitive og to nøytrale arter, en tolerante og en opportunistisk art til stede på stasjonen. Det ble ikke registrert forurensningsindikatorer (EG V) på blant topp-10 på stasjonen.

På fem av stasjonene (Ha 2, Ha 3, Ha 4, Ha 5 og Fi 1) var den tolerante børstemarken *Galatowenia oculata* (EG III) mest tallrik og utgjorde mellom 18 og 27 % av individene på disse stasjonene. Ellers var artene blant topp-10 på stasjonene en blanding av de andre økologiske gruppene, men uten forurensningsindikatorer.

På stasjon Fi 2 var børstemarken *Poecilochaetus serpens*, uten kjent gruppe, mest tallrik og utgjorde 17 % av individene. Ellers var artene blant topp-10 på stasjonen en blanding av de andre økologiske gruppene, men uten forurensningsindikatorer.

På Fi 3 var den tolerante børstemarken *Spiophanes kroyeri* (EG III) mest dominant med 32 % av individene. I tillegg var det, av arter med kjent gruppe, en sensitiv, en tolerant og to opportunistiske arter blant topp-10 på stasjonen. Det ble ikke funnet forurensningsindikatorer blant disse på stasjonen.

På stasjon Fi 4 ble det registrert fem sensitive arter der juvenile kråkeboller og leddsneglen *Leptochiton asellus* var mest tallrik og til sammen utgjorde 23 % av individene. Begge disse er sensitive taksa (EG I). I tillegg var det tre andre sensitive arter blant topp-10, og ingen forurensningsindikatorer, på denne stasjonen.

Sistnevnte stasjon skilte seg fra de andre stasjonene med en faunasammensetning som var helt forskjellig. Artene på denne stasjonen er typisk for grovt sediment og hardbunn.

Tabell 6. Antall individer, kumulativ prosent og økologisk gruppe for de ti mest dominerende artene på stasjonene. Ytre Hadseløya, 2016.*

Ha 1	Ant.	Kum.	EG	Ha 2	Ant.	Kum.	EG
Galathowenia fragilis	116	11 %	I	Galathowenia oculata	491	27 %	III
Owenia polaris	110	22 %	Ik	Myriochele olgae	448	51 %	Ik
Myriochele olgae	91	31 %	Ik	Owenia polaris	249	64 %	Ik
Nothria hyperborea	91	40 %	Ik	Maldane sarsi	123	71 %	IV
Streblosoma intestinale	76	48 %	I	Galathowenia fragilis	79	75 %	I
Galathowenia oculata	70	55 %	III	Heteromastus filiformis	72	79 %	IV
Heteromastus filiformis	41	59 %	IV	Praxillella praetermissa	52	82 %	II
Melinna elisabethae	37	62 %	II	Pseudopolydora paucibranchiata	30	83 %	IV
Chone sp.	36	66 %	I	Chaetozone sp.	29	85 %	III
Chirimia biceps	31	69 %	II	Scoletoma fragilis	28	86 %	II
Ha 3	**Ant.**	**Kum.**	**EG**	**Ha 4**	**Ant.**	**Kum.**	**EG**
Galathowenia oculata	463	26 %	III	Galathowenia oculata	489	26 %	III
Pseudopolydora paucibranchiata	380	48 %	IV	Owenia polaris	393	48 %	Ik
Owenia polaris	227	61 %	Ik	Myriochele olgae	241	61 %	Ik
Myriochele olgae	133	68 %	Ik	Spiophanes kroyeri	88	66 %	III
Heteromastus filiformis	73	73 %	IV	Praxillella praetermissa	60	69 %	II
Thyasira sarsii	45	75 %	IV	Heteromastus filiformis	57	72 %	IV
Praxillella praetermissa	36	77 %	II	Maldane sarsi	54	75 %	IV
Chaetozone sp.	35	79 %	III	Adontorhina similis	44	77 %	II
Maldane sarsi	35	81 %	IV	Galathowenia fragilis	43	79 %	I
Scoletoma fragilis	32	83 %	II	Thyasira sarsii	41	82 %	IV

Tabell 6 forts.

Ha 5	Ant.	Kum.	EG	Fi 1			
Galathowenia oculata	248	18 %	III	Galathowenia oculata	656	27 %	III
Pseudopolydora paucibranchiata	172	31 %	IV	Pseudopolydora paucibranchiata	509	47 %	IV
Owenia polaris	155	42 %	Ik	Myriochele olgae	303	59 %	Ik
Myriochele olgae	93	49 %	Ik	Owenia polaris	290	71 %	Ik
Galathowenia fragilis	83	55 %	I	Myriochele danielsseni	105	75 %	Ik
Rhodine gracilior	53	59 %	I	Heteromastus filiformis	96	79 %	IV
Praxillella praetermissa	51	63 %	II	Maldane sarsi	83	83 %	IV
Chaetozone sp.	48	66 %	III	Glyphanostomum pallescens	66	85 %	Ik
Maldane sarsi	41	69 %	IV	Sabellides octocirrata	53	87 %	I
Heteromastus filiformis	40	72 %	IV	Praxillella praetermissa	32	89 %	II
Fi 2	**Ant.**	**Kum.**	**EG**	**Fi 3**	**Ant.**	**Kum.**	**EG**
Poecilochaetus serpens	95	17 %	Ik	Spiophanes kroyeri	666	32 %	III
Paramphinome jeffreysii	80	30 %	III	Owenia polaris	207	42 %	Ik
Heteromastus filiformis	45	38 %	IV	Myriochele olgae	112	47 %	Ik
Chaetozone sp.	25	43 %	III	Chone sp.	96	52 %	I
Rhodine gracilior	21	46 %	I	Galathowenia oculata	95	56 %	III
Thyasira flexuosa	19	50 %	III	Heteromastus filiformis	82	60 %	IV
Tharyx killariensis	13	52 %	II	Maldane sarsi	76	64 %	IV
Myriochele danielsseni	12	54 %	Ik	Myriochele danielsseni	63	67 %	Ik
Nothria hyperborea	12	56 %	Ik	Dipolydora sp.	45	69 %	Ik
Phascolion strombus	12	58 %	II	Glyphanostomum pallescens	43	71 %	Ik
Fi 4	**Ant.**	**Kum.**	**EG**				
Echinoida indet. juv.	42	12 %	I				
Leptochiton asellus	41	23 %	I				
Aonides paucibranchiata	37	33 %	I				
Tonicella rubra	25	40 %	Ik				
Chone sp.	22	46 %	I				
Protodorvillea kefersteini	21	52 %	IV				
Aricidea hartmani	16	57 %	Ik				
Testudinalia testudinalis	13	60 %	Ik				
Pisione remota	11	63 %	I				
Galathea sp.	8	65 %	Ik				
Nemertea indet.	8	68 %	III				
Spirobranchus triqueter	8	70 %	Ik				

*Økologiske grupper: EG I = sensitive arter. EG II = nøytrale arter. EG III = tolerante arter. EG IV = opportunistiske arter. EG V = forurensningsindikatorer (pollution indicator species). Fra Rygg og Norling, 2013.
Ik = Ikke kjent gruppe.

5 Sammenfattende vurderinger

5.1 Sammendrag

Resultatene fra miljøundersøkelsen ved Ytre Hadseløya i 2016 kan sammenholdes som følger:

- Vannsøylen hadde et sprangsjikt på 20 m dyp. Oksygenmetningen var god fra overflate til bunn, med 98 % ved bunnen og 130 % metning i overflatelaget.
- TOC-nivåene var forhøyet i sediment fra de fleste stasjonene (tilstandsklasse III til V) og noe forhøyet på stasjon Fi 4 (klasse II). Fosfor-, sink- og kobberkonsentrasjonene var lave. Sink og kobber lå på bakgrunnsnivå på alle stasjonene.
- Det ble ikke registrert forurensningsindikatorer eller andre entydige belastningseffekter i bløtbunnsamfunnene på noen av stasjonene. NS 9410 klassifisering ga miljøtilstand I (Svært god) og II (God). Den sammenfattende indeksen nEQR viste klasse I på stasjon Ha 1 og Fi 4 og II på de andre stasjonene. Det ble ikke registrert forurensningsindikatorer blant topp-10 på noen av stasjonene.

5.2 Konklusjoner

Oksygenforholdene var gode i hele vannsøylen. TOC-nivået var lett forhøyet (tilstandsklasse II) på Fi 4, der sedimentet var meget grovt. Sediment- og faunasammensetningen på denne stasjonen skilte seg tydelig fra de andre stasjonene i undersøkelsen. På de andre stasjonene var TOC-nivået i sedimentene forhøyet og mest på stasjonene Ha 2, Ha 3 og Ha 4 (klasse V). Det ble ikke funnet entydige tegn på faunaforstyrrelser på stasjonene. Relativt rike forekomster av opportunistiske arter på stasjon Ha 3, Ha 5 og Fi 1 kan imidlertid indikere at bunndyrsamfunnet var noe preget av god tilgang på organisk materiale.

6 Referanser

Aure, J., Dahl, E., Green, N., Magnusson. J., Moy, F., Pedersen, A., Rygg, B., og Walday, M., 1993. Langtidsovervåking av trofiutviklingen i kystvannet langs Sør-Norge. Årsrapport 1990 og samlerapport 1990-91. Statlig program for forurensningsovervåking. *Rapport 510/93.*

Bakke, T., BreeVaeld, G., Källqvist, T., Oen, A., Eek, E., Ruus, A., Kibsgaard, A., Helland, A., og Hylland, K., 2007. Veileder for klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann – Revisjon av klassifisering av metaller og organiske miljøgifter i vann og sedimenter. SFT veiledning TA-2229/2007. 12 s.

Direktoratgruppen, 2013. Klassifisering av miljøtilstand i vann. Veileder 02:2013. 263 s.

ISO 5667-19, 2004. Guidance on sampling of marine sediments.

ISO 16665, 2005. Water quality – Guidelines for quantitative sampling and sample processing of marine soft-bottom macro fauna.

Molvær, J., Knutzen, J., Magnusson, J., Rygg, B., Skei, J. og Sørensen, J., 1997. Klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann. Statens forurensningstilsyn. Veiledning 97:03. 36 sider.

NS 9410:2016. Norsk standard for miljøovervåking av bunnpåvirkning fra marine akvakulturanlegg.

Rygg. B. & K. Norling 2013. Norwegian Sensitive Index (NSI) for marine macroinvertebrates, and an update of Indicator Species Index (ISI). NIVA report SNO 6475-2013. 48 p.

7 Vedlegg

Vedlegg 1 Bunndyrsstatistikk og artslister

Diversitetsmål

Diversitet er et begrep som uttrykker mangfoldet i dyre- og plantesamfunnet på en lokalitet. Det finnes en rekke ulike mål for diversitet. Noen tar mest hensyn til artsrikheten (mål for artsrikheten), andre legger mer vekt på inidividfordelingen mellom artene (mål for jevnhet og dominans). Ulike mål uttrykker derved forskjellige sider ved dyresamfunnet. Diversitetsmål er "klassiske" i forurensningsundersøkelser fordi miljøforstyrrelser typisk påvirker samfunnets sammensetning. Svakheten ved diversitetsmålene er at de ikke alltid fanger opp endringer i samfunnsstrukturen. Dersom en art blir erstattet med like mange individer av en ny art, vil ikke det gjøre noe utslag på diversitetsindeksene.

Shannon-Wieners indeks (Shannon & Weaver, 1949) er gitt ved formelen:

$$H' = -\sum_{i=1}^{s} \frac{n_i}{N} \log_2 \left(\frac{n_i}{N} \right)$$

der n_i = antall individer av art *i* i prøven

N = totalt antall individer

s = antall arter

Indeksen tar hensyn både til antall arter og mengdefordelingen mellom artene, men det synes som indeksen er mest følsom for individfordelingen. En lav verdi indikerer et artsfattig samfunn og/eller et samfunn som er dominert av en eller få arter. En høy verdi indikerer et artsrikt samfunn.

Pielous mål for jevnhet (Pielou, 1966)

har følgende formel, der symbolene er som i Shannon-Wieners indeks

$$J = \frac{H'}{\log_2 s}$$

Hurlberts diversitetskurver

Grafisk kan diversiteten uttrykkes i form av antall arter som funksjon av antall individer. Med utgangspunkt i totalt antall arter og individer i en prøve søker man å beregne hvor mange arter man ville vente å finne i delprøver med færre individer. Diversitetsmålet blir derved uavhengig av prøvestørrelsen og gjør at lokaliteter med ulik individtetthet kan sammenlignes direkte. Hurlbert (1971) har gitt en metode for å beregne slike diversitetskurver basert på sannsynlighetsberegning.

ES_n er forventet antall arter i en delprøve på n tilfeldig valgte individer fra en prøve som inneholder totalt N individer og s arter og har følgende formel:

$$ES_n = \sum_{i=1}^{s} \left[1 - \frac{\binom{N-N_i}{n}}{\binom{N}{n}} \right]$$

der N = totalt antall individ i prøven

N_i = antall individ av art *i*

n = antall individ i en gitt delprøve (av de N)

s = totalt antall arter i prøven

Plott av antall arter i forhold til antall individer

Artene deles inn i grupper/klasser etter hvor mange individer som er registrert i en prøve. Det vanlige er å sette klasse I = 1 individ pr. art, klasse II = 2-3 individer, klasse III = 4-7 individer, klasse IV = 8-15 individer, osv., slik at de nedre klassegrensene danner en følge av ledd på formen 2^x , x=0,1,2,… En slik følge kalles en geometrisk følge, derfor kalles klassene for geometriske klasser. Hvis antall arter innenfor hver klasse plottes mot

klasseverdien på en lineær skala, vil det fremkomme en kurve som uttrykker individfordelingen mellom artene i samfunnet. Det har vist seg at i prøver fra upåvirkede samfunn vil det være mange arter med lavt individantall og få arter med høyt individantall, slik at vi får en entoppet, assymetrisk kurve med lang "hale" mot høye klasseverdier. Denne kurven vil være godt tilpasset en log-normal fordelingskurve.

Ved moderat forurensing forsvinner en del av de individfattige artene, mens noen som blir begunstiget, øker i antall. Slik flater kurven ut, og strekker seg mot høyere klasser eller den får ekstra topper. Under slike forhold mister kurven enhver likhet med den statistiske log-normalfordelingen. Derfor kan avvik fra log-normalfordelingen tolkes som et resultat av en påvirkning/forurensing. Det har vist seg at denne metoden tidlig gir utslag ved miljøforstyrrelse. Ved sterk forurensning blir det bare noen få, men ofte svært tallrike arter tilbake. Log-normalfordelingskurven vil da ofte gjenoppstå, men med en lavere topp og spredt over flere klasser enn for uforstyrrede samfunn.

Faunaens fordelingsmønster

Variasjoner i faunaens fordelingsmønster over området beskrives ved å sammenligne tettheten av artene på hver stasjon. Til dette brukes multivariate klassifikasjons- og ordinasjons-analyser (Cluster og MDS).

Analysene i denne undersøkelsen ble utført ved hjelp av programpakken PRIMER v5. Inngangsdata er individantall pr. art, pr. prøve. Prøvene kan være replikater eller stasjoner. Det tas ikke hensyn til hvilke arter som opptrer. Forut for klassifikasjons- og ordinasjonsanalysene ble artslistene dobbelt kvadratrot-transformert. Dette ble gjort for å redusere avviket mellom høye og lave tetthetsverdier og dermed redusere eventuelle effekter av tallmessig dominans hos noen få arter i datasettet.

Clusteranalyse

Analysen undersøker faunalikheten mellom prøver. For å sammenligne to prøver ble Bray-Curtis ulikhetsindeks benyttet (Bray & Curtis, 1957):

$$d_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^{n} \left| X_{ki} - X_{kj} \right|}{\sum_{k=1}^{n} (X_{ki} + X_{kj})}$$

der n = antall arter sammenlignet

X_{ki} = antall individ av art k i prøve nr. i

X_{kj} = antall individ av art k i prøve nr. j

Indeksen avtar med økende likhet. Vi får verdien 1 hvis prøvene er helt ulike, Vas. ikke har noen felles arter. Identiske arts- og individtall vil gi verdien 0. Prøver blir gruppert sammen etter graden av likhet ved å bruke "group-average linkage". Forholdsvis like prøver danner en gruppe (cluster). Resultatet presenteres i et trediagram (dendrogram).

Ømfintlighet (AMBI, ISI og NSI)

Ømfintligheten bestemmes ved indeksene ISI og AMBI. Beregning av ISI er beskrevet av Rygg (2002). Sensitivitetsindeksen AMBI (Azti Marin Biotic Index) tilordner en ømfintlighetsklasse (økologisk gruppe, EG): EG-1: sensitive arter, EG-II: indifferente arter, EG-III: tolerante arter, EG-IV: opportunistiske arter, EG-V: forurensningsindikerende arter. Sammensetningen av makroevertebratsamfunnet i form av andelen av økologiske grupper indikerer omfanget av en forurensningspåvirkning.

NSI er en sensitivitetsindeks som ligner AMBI, men er utviklet med basis i norske faunadata og ved bruk av en objektiv statistisk metode. En prøves NSI verdi beregnes ved gjennomsnittet av sensitivitetsverdiene av alle individene i prøven.

Sammensatte indekser (NQI1 og NQI2)

Sammensatte indekser NQI1 og NQI2 bestemmes både ut fra artsmangfold og ømfintlighet. NQI1 er brukt i NEAGIG (den nordøst-atlantiske interkalibreringen). De fleste land bruker nå sammensatte indekser av samme type som NQI1 og NQI2.

NQI1 indeksen er beskrevet ved hjelp av formelen:

NQI1 (Norwegian quality status, version 1) = [0.5* (1-AMBI/7) + 0.5*(SN/2.7)* (N/(N+5)]

Diversitetsindeksen SN = lnS/ln(lnN), hvor S er antall arter og N er antall individer i prøven

Referanser:

Bray, R.T. & J.T. Curtis, 1957. An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin. *Ecol. Monogr.*, 27:325-349.

Hurlbert, S.N. 1971. The non-consept of the species diversity: A critique and alternative parameteres. *Ecology* 52:577-586.

Pielou, E. C. 1966. Species-diversity and pattern-diversity in the study of ecological succession. *Journal of Theoretical Biology* 10, 370-383.

Rygg, B. 2002. Indicator species index for assessing benthic ecological quality in marine water of Norway. *NIVA report* SNO 4548-2002. 32 p.

Shannon, C.E. & W. Weaver, 1949. The Mathematical Theory of Communication. *Univ Illinois Press*, Urbana 117 s.

Statistikk resultater Ytre Hadseløya 2016:

Antall arter og individer per stasjon

st.nr.	tot.	Fi 1	Fi 2	Fi 3	Fi 4	Ha 1	Ha 2	Ha 3	Ha 4	Ha 5
no. ind.	13212	2462	570	2086	309	1005	1841	1750	1833	1356
no. spe.	233	86	87	96	55	102	72	64	80	97

Bunndyrindekser per replikat

st.nr.	tot.	Fi 1_01	Fi 1_02	Fi 2_01	Fi 2_02	Fi 3_01	Fi 3_02	Fi 4_01	Fi 4_02
no. ind.	13212	1159	1303	359	211	970	1116	79	230
no. spe.	233	62	59	72	61	80	70	32	42
Shannon-Wiener:		3,53	3,45	4,66	5,17	4,46	4,07	4,48	4,41
Pielou		0,59	0,59	0,75	0,87	0,70	0,66	0,90	0,82
ES100		19,43	18,21	37,03	41,28	30,31	28,03	32,00	29,11
SN		2,11	2,07	2,41	2,45	2,27	2,18	2,35	2,21
ISI-2012		8,79	10,60	9,75	9,16	9,28	9,43	9,72	11,98
AMBI		2,55	2,57	1,90	2,35	2,19	2,35	1,38	1,24
NQI1		0,71	0,70	0,81	0,78	0,76	0,73	0,81	0,81
NSI		19,95	20,36	22,77	23,27	22,12	22,12	27,51	28,54
DI		1,01	1,06	0,51	0,27	0,94	1,00	0,15	0,31

st.nr.	Ha 1_01	Ha 1_02	Ha 2_01	Ha 2_02	Ha 3_01	Ha 3_02	Ha 4_01	Ha 4_02	Ha 5_01	Ha 5_02
no. ind.	594	411	785	1056	596	1154	713	1120	533	823
no. spe.	71	72	49	56	46	55	48	71	67	76
Shannon-Wiener:	4,49	5,00	3,44	3,47	3,60	3,64	3,50	3,87	4,54	4,31
Pielou	0,73	0,81	0,61	0,60	0,65	0,63	0,63	0,63	0,75	0,69
ES100	29,57	35,57	19,22	19,53	21,75	21,47	20,75	23,72	30,01	28,57
SN	2,30	2,38	2,05	2,07	2,06	2,05	2,06	2,19	2,29	2,27
ISI-2012	10,03	10,39	9,50	9,88	9,46	9,17	9,76	9,86	10,03	9,75
AMBI	1,67	1,71	1,92	2,14	2,55	2,78	1,90	2,04	1,89	2,52
NQI1	0,80	0,81	0,74	0,73	0,70	0,68	0,74	0,76	0,78	0,74
NSI	26,96	26,54	22,69	21,83	20,36	20,52	22,03	21,65	24,99	22,15
DI	0,72	0,56	0,84	0,97	0,73	1,01	0,80	1,00	0,68	0,87

Bunndyrindekser, gjennomsnitt per stasjon

st.nr.	Fi 1	Fi 2	Fi 3	Fi 4	Ha 1	Ha 2	Ha 3	Ha 4	Ha 5
Shannon-Wiener:	3,49	4,91	4,26	4,44	4,74	3,45	3,62	3,69	4,43
Pielou	0,59	0,81	0,68	0,86	0,77	0,60	0,64	0,63	0,72
ES100	18,82	39,15	29,17	30,55	32,57	19,38	21,61	22,24	29,29
SN	2,09	2,43	2,23	2,28	2,34	2,06	2,06	2,12	2,28
ISI-2012	9,70	9,45	9,35	10,85	10,21	9,69	9,32	9,81	9,89
AMBI	2,56	2,13	2,27	1,31	1,69	2,03	2,66	1,97	2,21
NQI1	0,70	0,79	0,75	0,81	0,81	0,73	0,69	0,75	0,76
NSI	20,15	23,02	22,12	28,03	26,75	22,26	20,44	21,84	23,57
DI	1,04	0,39	0,97	0,23	0,64	0,91	0,87	0,90	0,77

Geometriske klasser

int.	Fi 1	Fi 2	Fi 3	Fi 4	Ha 1	Ha 2	Ha 3	Ha 4	Ha 5
1	40	29	32	26	42	28	19	30	37
2,3	13	24	18	9	26	15	11	24	24
4- 7	13	18	14	9	15	11	13	3	10
8- 15	8	10	11	5	6	5	7	8	13
16- 31	2	3	5	4	4	6	4	4	1
32- 63	2	1	9	2	3	1	5	7	7
64-127	4	2	5	0	6	3	1	1	2
128-255	0	0	1	0	0	1	2	1	3
256-511	3	0	0	0	0	2	2	2	0
512-1023	1	0	1	0	0	0	0	0	0
1024-2047	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Rekke	Klasse	Orden	Art/Taxa	01	02	Sum
Stasjonsnr.: Fi 1						
FORAMINIFERA						
			Foraminifera indet.	-1		-1
CNIDARIA						
	Hydrozoa					
			Hydrozoa indet.		-1	-1
	Anthozoa					
			Edwardsia sp.	1		1
NEMERTINI						
			Nemertea indet.	5	4	9
NEMATODA						
			Nematoda indet.	1	1	2
SIPUNCULIDA						
			Golfingiidae indet.	1		1
			Phascolion strombus	2	4	6
			Sipunculida indet. juv.	1		1
ANNELIDA						
	Polychaeta					
		Orbiniida				
			Leitoscoloplos mammosus	2	1	3
			Scoloplos armiger	1		1
			Levinsenia gracilis	7	3	10
			Paradoneis lyra	1		1
		Spionida				
			Apistobranchus tenuis	1		1
			Dipolydora sp.	3	2	5
			Pseudopolydora paucibranchiata	271	238	509
			Spio limicola		1	1
			Spiophanes kroyeri		6	6
			Chaetozone sp.	6	5	11
		Capitellida				
			Capitella capitata	1		1
			Heteromastus filiformis	41	55	96
			Maldane sarsi	37	46	83
			Praxillella gracilis	7	3	10
			Praxillella praetermissa	10	22	32
		Opheliida				
			Ophelina cylindricaudata	1		1
			Polyphysia crassa	1		1
		Phyllodocida				
			Phyllodoce groenlandica	6		6
			Phyllodoce rosea	1		1
			Pholoe baltica	1		1
			Exogone verugera	4	2	6
			Syllis cornuta		1	1
			Ceratocephale loveni	6		6
			Glycera alba	1		1
			Nephtys ciliata	2		2
			Nephtys paradoxa		1	1
		Amphinomida				
			Paramphinome jeffreysii	1		1
		Eunicida				
			Nothria hyperborea	6	7	13
			Lumbrineris mixochaeta	3	11	14

Rekke	Klasse	Orden	Art/Taxa	01	02	Sum
			Ophryotrocha sp.		1	1
		Oweniida				
			Galathowenia oculata	252	404	656
			Myriochele danielsseni	50	55	105
			Myriochele olgae	165	138	303
			Owenia polaris	155	135	290
		Terebellida				
			Amage auricula		1	1
			Glyphanostomum pallescens	26	40	66
			Melinna elisabethae	5	2	7
			Sabellides octocirrata	11	42	53
			Samytha sexcirrata		1	1
			Lanassa venusta		1	1
			Laphania boecki	2	4	6
			Proclea graffii	1		1
			Streblosoma intestinale	5	1	6
			Terebellides sp.	1	2	3
		Sabellida				
			Chone sp.		2	2
			Euchone papillosa	2	5	7
			Euchone southerni		1	1
			Euchone sp.	1	1	2
			Jasmineira candela	6	2	8
			Ditrupa arietina	2		2
			Siboglinidae indet.	1	1	2
CHELICERATA						
	Pycnogonida					
			Pycnogonida indet.	1		1
CRUSTACEA						
	Ostracoda					
			Ostracoda indet.	1	10	11
	Copepoda					
		Calanoida				
			Calanoida indet.		4	4
	Malacostraca					
		Cumacea				
			Eudorella sp.	1	1	2
			Leucon sp.	2	2	4
			Hemilamprops roseus		1	1
			Diastylis rathkei	2	3	5
		Amphipoda				
			Byblis gaimardi	1		1
			Haploops sp.		1	1
			Lysianassidae indet.	1		1
			Westwoodilla caecula		1	1
			Gammaridea indet.		1	1
			Crustacea indet. juv.		1	1
MOLLUSCA						
	Caudofoveata					
			Caudofoveata indet.	1		1
	Prosobranchia					
		Mesogastropoda				
			Euspira montagui	1		1
			Euspira pallida	1		1
			Euspira sp. juv.		2	2
		Neogastropoda				
			Propebela sp.		1	1
			Oenopota sp.	1		1
	Opistobranchia					
		Cephalaspidea				
			Cylichnina sp.	1	2	3
	Bivalvia					
		Nuculoida				
			Nuculana pernula		2	2

Rekke	Klasse	Orden	Art/Taxa	01	02	Sum
			Yoldiella lucida	11	6	17
		Mytiloida				
			Crenella decussata		2	2
			Musculus sp. juv.	1		1
			Dacrydium vitreum		1	1
		Arcoida				
			Bathyarca glacialis		1	1
			Bathyarca sp. juv.	2		2
		Veneroida				
			Adontorhina similis	10	11	21
			Thyasira equalis		1	1
			Thyasira flexuosa	6		6
			Thyasira sarsii		2	2
	Scaphopoda					
		Dentaliida				
			Antalis sp.		1	1
		Gadilida				
			Pulsellum lofotense	2		2
ECHINODERMATA						
	Ophiuroidea					
		Ophiurida				
			Ophiura sarsii		1	1
			Ophiuroidea indet. juv.	1		1
	Echinoidea					
		Spartangoida				
			Brisaster fragilis		1	1
	Holothuroidea					
		Dendrochirotida				
			Ocnus lacteus	1		1
			Maks:	271	404	656
			Antall:	68	64	96
			Sum:			2474

Stasjonsnr.: Fi 2

FORAMINIFERA						
			Foraminifera indet.		-1	-1
PORIFERA						
			Porifera indet.	-1		-1
CNIDARIA						
	Hydrozoa					
			Hydrozoa indet.	-1	-1	-2
	Anthozoa					
			Edwardsia sp.	1		1
			Cerianthus lloydii juv.	1		1
NEMERTINI						
			Nemertea indet.	4	6	10
NEMATODA						
			Nematoda indet.	4		4
SIPUNCULIDA						
			Phascolion strombus	1	11	12
ANNELIDA						
	Polychaeta					
		Orbiniida				
			Leitoscoloplos mammosus	3	1	4
			Scoloplos armiger	3	2	5
			Levinsenia gracilis		3	3

Rekke	Klasse	Orden	Art/Taxa	01	02	Sum
		Spionida				
			Apistobranchus tenuis	1		1
			Dipolydora sp.	2		2
			Aonides paucibranchiata	1		1
			Laonice cirrata	1		1
			Prionospio cirrifera	1	2	3
			Pseudopolydora paucibranchiata		1	1
			Spio limicola	5	5	10
			Spiophanes kroyeri	5	1	6
			Poecilochaetus serpens	81	14	95
			Tharyx killariensis	7	6	13
			Aphelochaeta sp.	1	1	2
			Chaetozone sp.	13	12	25
			Cirratulus cirratus	3		3
		Capitellida				
			Heteromastus filiformis	23	22	45
			Notomastus latericeus	1	1	2
			Rhodine gracilior	14	7	21
			Praxillella praetermissa	3	6	9
		Phyllodocida				
			Eteone flava/longa	1	2	3
			Eumida ockelmanni		1	1
			Phyllodoce groenlandica	1	1	2
			Pholoe assimilis	5		5
			Pholoe baltica	2	2	4
			Sthenelais limicola	1		1
			Exogone verugera	1	3	4
			Syllis cornuta		1	1
			Glycera alba	5	4	9
			Goniada maculata	2	3	5
			Nephtys hombergii	1	1	2
			Nephtys longosetosa	1		1
		Amphinomida				
			Paramphinome jeffreysii	63	17	80
		Eunicida				
			Nothria hyperborea	1	11	12
		Oweniida				
			Galathowenia oculata	2	5	7
			Myriochele danielsseni	7	5	12
			Owenia polaris		1	1
		Flabelligerida				
			Diplocirrus glaucus	3	1	4
		Terebellida				
			Amphictene auricoma	5	6	11
			Anobothrus gracilis	3	2	5
			Eupolymnia nesidensis	1		1
			Lanassa nordenskioldi	1		1
			Lanassa venusta		1	1
			Phisidia aurea	1		1
			Pista bansei	2	1	3
			Proclea graffii	2		2
			Streblosoma intestinale	2	1	3
			Terebellides sp.	1		1
		Sabellida				
			Chone sp.	4	2	6
			Jasmineira candela	1	3	4
			Jasmineira caudata	10	1	11
			Siboglinidae indet.		2	2
CRUSTACEA						
	Ostracoda					
			Ostracoda indet.	5		5
	Copepoda					
		Calanoida				
			Calanoida indet.		1	1
	Malacostraca					
		Cumacea				

Rekke	Klasse	Orden	Art/Taxa	01	02	Sum
			Hemilamprops roseus		1	1
			Diastylis rathkei	4		4
		Tanaidacea				
			Tanaidacea indet.		1	1
		Amphipoda				
			Ampelisca macrocephala		1	1
			Ampelisca sp.		1	1
			Unciola planipes	1	1	2
			Lysianassidae indet.	1	1	2
			Westwoodilla caecula	1		1
			Oedicerotidae indet.	1		1
			Harpinia antennaria	3		3
			Harpinia sp.	1	1	2
			Tiron spiniferus		1	1
MOLLUSCA						
	Caudofoveata					
			Caudofoveata indet.	3	4	7
	Polyplacophora					
		Lepidopleurida				
			Leptochiton asellus	1		1
	Prosobranchia					
		Mesogastropoda				
			Euspira montagui		1	1
	Opistobranchia					
		Cephalaspidea				
			Cylichnina sp.	1		1
			Philine sp.	1	1	2
	Bivalvia					
		Nuculoida				
			Yoldiella lucida		1	1
			Yoldiella nana	2		2
		Arcoida				
			Bathyarca sp. juv.	1		1
		Veneroida				
			Lucinoma borealis	2	1	3
			Adontorhina similis	2	2	4
			Axinulus croulinensis	1	1	2
			Thyasira flexuosa	10	9	19
			Thyasira gouldi	4	2	6
			Tellimya ferruginosa	1		1
			Abra prismatica	3		3
	Scaphopoda					
		Dentaliida				
			Antalis sp.		1	1
		Gadilida				
			Pulsellum lofotense	2		2
ECHINODERMATA						
	Ophiuroidea					
		Ophiurida				
			Amphiura filiformis	4	1	5
			Ophiuroidea indet. juv.		1	1
	Echinoidea					
		Laganoida				
			Echinocyamus pusillus	1		1
		Spartangoida				
			Spatangoida indet. juv.	2		2
	Holothuroidea					
		Apodida				
			Labidoplax buskii	1	1	2
			Maks:	81	22	95
			Antall:	78	65	96
			Sum:			576

Stasjonsnr.: Fi 3

FORAMINIFERA

Rekke	Klasse	Orden	Art/Taxa	01	02	Sum
			Foraminifera indet.	-1	-1	-2
CNIDARIA						
	Hydrozoa					
			Hydrozoa indet.		-1	-1
	Anthozoa					
			Edwardsia sp.	1		1
NEMERTINI						
			Nemertea indet.	5	6	11
NEMATODA						
			Nematoda indet.	2	1	3
SIPUNCULIDA						
			Phascolion strombus	1	3	4
			Sipunculida indet. juv.	1	2	3
ANNELIDA						
	Polychaeta					
		Orbiniida				
			Leitoscoloplos mammosus	2	1	3
			Levinsenia gracilis	12	10	22
			Aricidea catherinae	1	3	4
			Aricidea hartmani	3		3
			Paradoneis lyra	1		1
		Cossurida				
			Cossura longocirrata	2	2	4
		Spionida				
			Apistobranchus tenuis	1		1
			Dipolydora sp.	22	23	45
			Prionospio cirrifera	6	8	14
			Pseudopolydora paucibranchiata	18	16	34
			Spio limicola	2	2	4
			Spiophanes kroyeri	264	402	666
			Poecilochaetus serpens	3	3	6
			Chaetozone sp.	18	20	38
		Capitellida				
			Heteromastus filiformis	40	42	82
			Notomastus latericeus	1	2	3
			Rhodine gracilior	2	1	3
			Maldane sarsi	46	30	76
			Euclymene lindrothi	1	1	2
			Praxillella gracilis	5	6	11
			Praxillella praetermissa	13	18	31
		Opheliida				
			Ophelina cylindricaudata		1	1
		Phyllodocida				
			Eteone flava/longa	1		1
			Phyllodoce groenlandica	1	3	4
			Laetmonice sp. juv.	1	2	3
			Malmgrenia castanea	1		1
			Pholoe assimilis	5	4	9
			Pholoe baltica	2		2
			Nereimyra punctata		1	1
			Exogone verugera	5	10	15
			Syllis cornuta	1		1
			Glycera alba		1	1
			Goniada maculata	3	1	4
			Nephtys ciliata	1	3	4
		Amphinomida				
			Paramphinome jeffreysii	21	19	40
		Eunicida				
			Nothria hyperborea	11	8	19

Rekke	Klasse	Orden	Art/Taxa	01	02	Sum
			Lumbrineris mixochaeta	4	2	6
		Oweniida				
			Galathowenia oculata	47	48	95
			Myriochele danielsseni	27	36	63
			Myriochele olgae	75	37	112
			Owenia polaris	93	114	207
		Flabelligerida				
			Diplocirrus glaucus	5	2	7
			Pherusa falcata	2	1	3
		Terebellida				
			Amphictene auricoma	6	3	9
			Amage auricula		2	2
			Amythasides macroglossus	1		1
			Glyphanostomum pallescens	23	20	43
			Melinna elisabethae	6	29	35
			Melythasides laubieri	1		1
			Sabellides octocirrata	24	10	34
			Samytha sexcirrata	1		1
			Lanassa venusta	3		3
			Laphania boecki		1	1
			Pista bansei		1	1
			Proclea graffii	6	3	9
			Streblosoma intestinale	6	15	21
			Thelepus cincinnatus	1		1
			Terebellides sp.	1	3	4
		Sabellida				
			Chone sp.	36	60	96
			Euchone papillosa	2		2
			Euchone southerni	1	6	7
			Euchone sp.	2		2
			Jasmineira candela	7	6	13
			Jasmineira caudata	1		1
			Ditrupa arietina		2	2
			Siboglinidae indet.	23	14	37
CRUSTACEA						
	Ostracoda					
			Ostracoda indet.	5	5	10
	Copepoda					
		Calanoida				
			Calanoida indet.	1	2	3
	Malacostraca					
		Cumacea				
			Eudorella sp.	1		1
		Tanaidacea				
			Tanaidacea indet.	1	2	3
		Amphipoda				
			Byblis gaimardi		1	1
			Haploops sp.	1	1	2
			Westwoodilla caecula	1	1	2
			Harpinia sp.		1	1
			Podoceridae indet.	2		2
			Gammaridea indet.		1	1
		Decapoda				
			Hyas sp.		1	1
MOLLUSCA						
	Caudofoveata					
			Caudofoveata indet.	6	5	11
	Bivalvia					
		Nuculoida				
			Ennucula tenuis	1		1
			Nuculana sp. juv.		1	1
			Yoldiella lucida		3	3
			Yoldiella nana	3	3	6
		Arcoida				
			Bathyarca pectunculoides	1		1
		Ostreoidea				

Rekke	Klasse	Orden	Art/Taxa	01	02	Sum
			Similipecten similis		1	1
		Veneroida				
			Lucinoma borealis	1		1
			Adontorhina similis	9	13	22
			Thyasira flexuosa	4	7	11
			Thyasira gouldi	2	3	5
			Thyasira sarsii		1	1
			Abra nitida	1		1
	Scaphopoda					
		Dentaliida				
			Antalis sp.	1		1
		Gadilida				
			Pulsellum lofotense		1	1
ECHINODERMATA						
	Ophiuroidea					
		Ophiurida				
			Amphiura filiformis	2		2
			Ophiura carnea		1	1
			Ophiuroidea indet. juv.	2	1	3
	Echinoidea					
		Spartangoida				
			Brisaster fragilis	1		1
TUNICATA						
	Ascidiacea					
			Ascidiacea indet. (solit)	1		1
			Maks:	264	402	666
			Antall:	86	78	104
			Sum:			2099

Stasjonsnr.: Fi 4

Rekke	Klasse	Orden	Art/Taxa	01	02	Sum
CNIDARIA						
	Anthozoa					
			Cerianthus lloydii juv.	1		1
NEMERTINI						
			Nemertea indet.	2	6	8
NEMATODA						
			Nematoda indet.	9	6	15
SIPUNCULIDA						
			Golfingiidae indet.		1	1
			Phascolion strombus	3		3
ANNELIDA						
	Polychaeta					
		Orbiniida				
			Aricidea hartmani	1	15	16
		Spionida				
			Dipolydora sp.	1		1
			Aonides paucibranchiata	1	36	37
			Laonice cirrata		1	1
			Pseudopolydora paucibranchiata	1		1
			Chaetozone sp.		1	1
			Cirratulus cirratus	2		2
		Capitellida				
			Heteromastus filiformis		3	3
			Notomastus latericeus	2	4	6
		Phyllodocida				
			Eteone flava/longa		1	1
			Pseudomystides limbata	1		1
			Polynoidae indet. juv.	1	1	2
			Pholoe baltica	2	5	7
			Pisione remota	2	9	11

Rekke	Klasse	Orden	Art/Taxa	01	02	Sum
			Nereimyra punctata		1	1
			Syllis armillaris		3	3
			Sphaerosyllis hystrix		1	1
			Syllidae indet.		1	1
			Nereis zonata		1	1
			Glycera capitata	1	3	4
		Eunicida				
			Protodorvillea kefersteini	4	17	21
		Oweniida				
			Myriochele olgae	1		1
		Terebellida				
			Polycirrus medusa	3	4	7
			Polycirrus sp.		2	2
		Sabellida				
			Chone sp.	9	13	22
			Myxicola infundibulum		2	2
			Sabellidae indet.	2		2
			Hydroides norvegicus	3	1	4
			Spirobranchus triqueter	6	2	8
			Spirorbinae indet.	2		2
	Oligochaeta					
			Oligochaeta indet.	1		1
CRUSTACEA						
	Malacostraca					
		Amphipoda				
			Liljeborgia pallida		1	1
			Caprellidae indet.		1	1
		Decapoda				
			Natantia indet.		3	3
			Galathea sp.	1	7	8
			Paguridae indet.		1	1
			Crustacea indet. juv.		1	1
MOLLUSCA						
	Polyplacophora					
		Lepidopleurida				
			Leptochiton asellus	14	27	41
		Ischnochitonidae				
			Tonicella rubra	1	24	25
			Stenosemus albus	2	5	7
	Prosobranchia					
		Archaeogastropoda				
			Testudinalia testudinalis	3	10	13
		Mesogastropoda				
			Euspira montagui		1	1
			Euspira nitida	1		1
		Heterogastropoda				
			Eulima bilineata		1	1
	Opistobranchia					
		Nudibranchia				
			Nudibranchia indet.		1	1
	Bivalvia					
		Mytiloida				
			Modiolula phaseolina		1	1
		Veneroida				
			Tellimya ferruginosa	1		1
			Gari tellinella		1	1
		Pholadomyoida				
			Cochlodesma praetenue	2	1	3
ECHINODERMATA						
	Ophiuroidea					
		Ophiurida				
			Ophiopholis aculeata		4	4
			Ophiura robusta		7	7
			Ophiuroidea indet. juv.		4	4
	Echinoidea					
		Echinoida				

Rekke	Klasse	Orden	Art/Taxa	01	02	Sum
			Echinoida indet. juv.	3	39	42
		Laganoida				
			Echinocyamus pusillus	2	3	5
		Spartangoida				
			Echinocardium flavescens	1		1
			Spatangoida indet. juv.		2	2
	Holothuroidea					
		Dendrochirotida				
			Ocnus lacteus	1		1
		Apodida				
			Labidoplax buskii		1	1
			Maks:	14	39	42
			Antall:	36	49	63
			Sum:			379

Stasjonsnr.: Ha 1

NEMERTINI						
			Nemertea indet.	2	1	3
NEMATODA						
			Nematoda indet.	1	4	5
PRIAPULIDA						
			Priapulus caudatus	1		1
SIPUNCULIDA						
			Golfingiidae indet.	1	6	7
			Phascolion strombus	5	9	14
			Sipunculida indet. juv.	1	4	5
ANNELIDA						
	Polychaeta					
		Orbiniida				
			Levinsenia gracilis	5	2	7
			Aricidea catherinae	1		1
		Cossurida				
			Cossura longocirrata	1		1
		Spionida				
			Apistobranchus tenuis	1	3	4
			Apistobranchus tullbergi		1	1
			Prionospio cirrifera	3		3
			Pseudopolydora paucibranchiata	2	3	5
			Tharyx killariensis		3	3
			Aphelochaeta sp.		1	1
			Chaetozone sp.	11	7	18
			Cirratulus sp.		1	1
		Capitellida				
			Heteromastus filiformis	17	24	41
			Notomastus latericeus		3	3
			Rhodine gracilior	4	8	12
			Nicomache lumbricalis		1	1
			Chirimia biceps	6	25	31
			Maldane sarsi	8	1	9
			Euclymene affinis	3	1	4
			Euclymene droebachiensis	1		1
			Maldanidae indet.		2	2
		Opheliida				
			Ophelina sp.		2	2
			Scalibregma inflatum		1	1
		Phyllodocida				
			Paranaitis wahlbergi		1	1
			Phyllodoce groenlandica	1	4	5

Rekke	Klasse	Orden	Art/Taxa	01	02	Sum
			Polynoidae indet.	1		1
			Pholoe assimilis		2	2
			Pholoe baltica	1		1
			Exogone verugera	5	5	10
			Ceratocephale loveni	1	2	3
			Goniada maculata	1		1
			Nephtys incisa		3	3
		Amphinomida				
			Paramphinome jeffreysii	5	1	6
		Eunicida				
			Nothria hyperborea	52	39	91
			Scoletoma fragilis	1	2	3
		Oweniida				
			Galathowenia fragilis	81	35	116
			Galathowenia oculata	56	14	70
			Myriochele olgae	64	27	91
			Owenia polaris	83	27	110
		Flabelligerida				
			Diplocirrus glaucus	3		3
			Pherusa plumosa		1	1
		Terebellida				
			Amphictene auricoma	4		4
			Lagis koreni	1		1
			Anobothrus gracilis	2	3	5
			Glyphanostomum pallescens	10	12	22
			Melinna elisabethae	13	24	37
			Sabellides octocirrata	1	4	5
			Phisidia aurea	1	1	2
			Pista mediterranea	1		1
			Polycirrus norvegicus	1		1
			Proclea graffii		1	1
			Streblosoma intestinale	46	30	76
			Terebellides sp.		1	1
		Sabellida				
			Chone sp.	14	22	36
			Euchone sp.	2		2
			Jasmineira caudata	6		6
			Laonome kroyeri		1	1
			Siboglinidae indet.	5	2	7
CRUSTACEA						
	Ostracoda					
			Ostracoda indet.	14	4	18
	Copepoda					
		Calanoida				
			Calanoida indet.	1		1
	Malacostraca					
		Cumacea				
			Eudorella sp.	1		1
			Campylaspis costata	1		1
			Diastylis rathkei		1	1
		Tanaidacea				
			Apseudes spinosus		2	2
		Amphipoda				
			Ampelisca sp.	1	2	3
			Byblis gaimardi	1	2	3
			Haploops sp.	3	1	4
			Atylus sp.		1	1
			Eriopisa elongata	8	2	10
			Westwoodilla caecula	1		1
			Harpinia sp.	1		1
			Gammaridea indet.	1		1
		Isopoda				
			Gnathia sp.	1		1
			Astacilla sp.	1		1
MOLLUSCA						
	Caudofoveata					

Rekke	Klasse	Orden	Art/Taxa	01	02	Sum
			Caudofoveata indet.		1	1
	Prosobranchia					
		Mesogastropoda				
			Euspira montagui	1		1
			Euspira pallida	1		1
	Opistobranchia					
		Cephalaspidea				
			Cylichnina sp.		1	1
			Philine sp.	3	1	4
	Bivalvia					
		Nuculoida				
			Ennucula tenuis	1	1	2
			Nuculana minuta		1	1
			Nuculana pernula		1	1
			Yoldiella lucida	5	4	9
		Mytiloida				
			Crenella decussata		1	1
			Modiolula phaseolina	1		1
		Arcoida				
			Bathyarca glacialis		2	2
			Bathyarca sp. juv.	1		1
		Ostreoidea				
			Similipecten similis		2	2
		Veneroida				
			Adontorhina similis	3		3
			Mendicula ferruginosa	1	1	2
			Thyasira sarsii		2	2
			Parvicardium minimum		2	2
			Abra nitida		1	1
			Timoclea ovata	1		1
	Scaphopoda					
		Dentaliida				
			Antalis sp.		1	1
BRACHIOPODA						
	Inarticulata					
		Acrotretida				
			Novocrania anomala	1		1
BRYOZOA						
			Bryozoa indet.	-1	-1	-2
ECHINODERMATA						
	Ophiuroidea					
		Ophiurida				
			Amphiura filiformis	2		2
			Ophiocten affinis	2		2
			Ophiura carnea		1	1
			Ophiura sarsii	2	1	3
			Ophiuroidea indet. juv.		3	3
	Holothuroidea					
		Apodida				
			Labidoplax buskii	2	3	5
			Maks:	83	39	116
			Antall:	76	76	108
			Sum:			1018

Stasjonsnr.: Ha 2

NEMERTINI						
			Nemertea indet.	6	2	8
NEMATODA						
			Nematoda indet.		1	1
SIPUNCULIDA						

Rekke	Klasse	Orden	Art/Taxa	01	02	Sum
			Phascolion strombus	3	1	4
			Sipunculida indet. juv.	1	1	2
ANNELIDA						
	Polychaeta					
		Orbiniida				
			Leitoscoloplos mammosus	1	3	4
			Levinsenia gracilis	3	8	11
			Paradoneis lyra		1	1
		Cossurida				
			Cossura longocirrata	1		1
		Spionida				
			Apistobranchus tullbergi	1		1
			Dipolydora sp.	1	1	2
			Prionospio cirrifera		5	5
			Pseudopolydora paucibranchiata	5	25	30
			Spio limicola		1	1
			Spiophanes kroyeri	4	17	21
			Aphelochaeta sp.		2	2
			Chaetozone sp.	9	20	29
		Capitellida				
			Heteromastus filiformis	18	54	72
			Notomastus latericeus		1	1
			Rhodine gracilior	4	6	10
			Maldane sarsi	66	57	123
			Euclymene affinis	2		2
			Praxillella gracilis	3	6	9
			Praxillella praetermissa	24	28	52
			Maldanidae indet.	4		4
		Opheliida				
			Scalibregma inflatum		1	1
		Phyllodocida				
			Exogone verugera		6	6
			Ceratocephale loveni	3	2	5
			Glycera alba	1		1
			Goniada maculata		1	1
			Nephtys ciliata	2	1	3
		Amphinomida				
			Paramphinome jeffreysii	1	1	2
		Eunicida				
			Nothria hyperborea	13	13	26
			Scoletoma fragilis	9	19	28
		Oweniida				
			Galathowenia fragilis	42	37	79
			Galathowenia oculata	207	284	491
			Myriochele olgae	184	264	448
			Owenia polaris	113	136	249
		Flabelligerida				
			Pherusa plumosa		1	1
		Terebellida				
			Amphictene auricoma		1	1
			Glyphanostomum pallescens	1	1	2
			Melinna elisabethae		1	1
			Sabellides octocirrata	2		2
			Laphania boecki	3	3	6
			Phisidia aurea		1	1
			Proclea graffii	1		1
			Streblosoma intestinale	1		1
			Terebellides sp.		3	3
		Sabellida				
			Dialychone sp.		1	1
			Chone sp.	4	3	7
			Euchone sp.	1		1
			Ditrupa arietina	1		1
			Siboglinidae indet.	19	8	27
CRUSTACEA						

Rekke	Klasse	Orden	Art/Taxa	01	02	Sum
	Ostracoda					
			Ostracoda indet.	2	1	3
	Copepoda					
		Calanoida				
			Calanoida indet.	1	2	3
	Malacostraca					
		Cumacea				
			Eudorella sp.		3	3
			Diastylis rathkei	2		2
			Diastyloides biplicatus		1	1
		Amphipoda				
			Harpinia sp.		2	2
MOLLUSCA						
	Caudofoveata					
			Caudofoveata indet.	1		1
	Prosobranchia					
		Mesogastropoda				
			Euspira pallida	2	2	4
	Bivalvia					
		Nuculoida				
			Ennucula tenuis	1		1
			Nuculana pernula		1	1
			Nuculana sp. juv.	1		1
			Yoldiella lucida	3	3	6
			Yoldiella solidula		1	1
		Mytiloida				
			Crenella decussata	2		2
			Musculus sp. juv.		1	1
		Veneroida				
			Adontorhina similis	3	4	7
			Thyasira equalis	1		1
			Thyasira flexuosa	1	1	2
			Thyasira sarsii	2	6	8
			Astarte sulcata		1	1
			Parvicardium pinnulatum		1	1
	Scaphopoda					
		Dentaliida				
			Antalis sp.	1	1	2
ECHINODERMATA						
	Ophiuroidea					
		Ophiurida				
			Amphipholis squamata		1	1
			Ophiura carnea		1	1
			Ophiura sarsii	1		1
			Ophiuroidea indet. juv.	2	4	6
			Maks:	207	284	491
			Antall:	53	61	78
			Sum:			1855

Stasjonsnr.: Ha 3

Rekke	Klasse	Orden	Art/Taxa	01	02	Sum
FORAMINIFERA						
			Foraminifera indet.	-1		-1
NEMERTINI						
			Nemertea indet.		6	6
ANNELIDA						
	Polychaeta					
		Orbiniida				
			Leitoscoloplos mammosus		2	2
			Levinsenia gracilis	2	11	13
			Paradoneis lyra	1	6	7
		Cossurida				
			Cossura longocirrata		1	1

Rekke	Klasse	Orden	Art/Taxa	01	02	Sum
		Spionida				
			Prionospio cirrifera	5	7	12
			Pseudopolydora paucibranchiata	85	295	380
			Spio limicola	1	2	3
			Spiophanes kroyeri	6	17	23
			Chaetozone sp.	15	20	35
		Capitellida				
			Heteromastus filiformis	20	53	73
			Maldane sarsi	18	17	35
			Praxillella gracilis	4	10	14
			Praxillella praetermissa	13	23	36
			Maldanidae indet.	5	21	26
		Opheliida				
			Ophelina sp.		2	2
		Phyllodocida				
			Eteone flava/longa	5	1	6
			Phyllodoce groenlandica	1		1
			Phyllodoce rosea	1	1	2
			Pholoe assimilis		1	1
			Exogone verugera	1	7	8
			Ceratocephale loveni		1	1
			Nephtys ciliata	1	1	2
		Amphinomida				
			Paramphinome jeffreysii		4	4
		Eunicida				
			Nothria hyperborea	5	8	13
			Scoletoma fragilis	10	22	32
		Oweniida				
			Galathowenia fragilis	5	23	28
			Galathowenia oculata	194	269	463
			Myriochele olgae	51	82	133
			Owenia polaris	79	148	227
		Flabelligerida				
			Diplocirrus glaucus	3	2	5
		Terebellida				
			Anobothrus gracilis		1	1
			Glyphanostomum pallescens		2	2
			Sabellides octocirrata	2	2	4
			Laphania boecki	3	3	6
			Proclea graffii	1		1
			Terebellides sp.	4	5	9
		Sabellida				
			Chone sp.		1	1
			Euchone sp.		2	2
			Jasmineira candela	5	4	9
			Jasmineira caudata		1	1
			Laonome kroyeri	1		1
			Siboglinidae indet.		7	7
CRUSTACEA						
	Ostracoda					
			Ostracoda indet.	3	1	4
	Copepoda					
		Calanoida				
			Calanoida indet.		1	1
	Malacostraca					
		Cumacea				
			Eudorella sp.	2	1	3
			Leucon sp.		1	1
			Diastylis rathkei	1	1	2
		Tanaidacea				
			Tanaidacea indet.	1	4	5
		Amphipoda				
			Lepidepecreum umbo	1		1
			Lysianassidae indet.	1		1
			Bathymedon longimanus		1	1
			Oedicerotidae indet.	1	3	4

Rekke	Klasse	Orden	Art/Taxa	01	02	Sum
			Crustacea indet. juv.		1	1
MOLLUSCA						
	Prosobranchia					
		Mesogastropoda				
			Euspira pallida	1		1
	Bivalvia					
		Nuculoida				
			Ennucula tenuis	1	1	2
			Yoldiella lucida	3	3	6
			Yoldiella solidula	2	2	4
		Mytiloida				
			Crenella decussata		1	1
			Musculus niger	1		1
		Arcoida				
			Bathyarca glacialis	1		1
			Bathyarca sp. juv.	4		4
		Veneroida				
			Adontorhina similis	5	19	24
			Thyasira equalis	3		3
			Thyasira flexuosa		1	1
			Thyasira sarsii	22	23	45
	Scaphopoda					
		Dentaliida				
			Antalis sp.		1	1
ECHINODERMATA						
	Ophiuroidea					
			Ophiuroidea indet. juv.	2		2
			Maks:	194	295	463
			Antall:	49	57	69
			Sum:			1757

Stasjonsnr.: Ha 4

FORAMINIFERA						
			Foraminifera indet.	-1	-1	-2
NEMERTINI						
			Nemertea indet.		4	4
ANNELIDA						
	Polychaeta					
		Orbiniida				
			Leitoscoloplos mammosus		2	2
			Levinsenia gracilis	5	9	14
			Paradoneis lyra		3	3
		Cossurida				
			Cossura longocirrata		2	2
		Spionida				
			Prionospio cirrifera	3	9	12
			Pseudopolydora paucibranchiata	4	17	21
			Spiophanes kroyeri	18	70	88
			Spiophanes wigleyi		1	1
			Tharyx killariensis		1	1
			Chaetozone sp.	11	24	35
		Capitellida				
			Heteromastus filiformis	14	43	57
			Rhodine gracilior		2	2
			Maldane sarsi	21	33	54
			Praxillella gracilis	3	7	10
			Praxillella praetermissa	24	36	60
			Maldanidae indet.	2	1	3
		Phyllodocida				
			Eteone flava/longa		1	1
			Phyllodoce groenlandica	1		1
			Pholoe assimilis	1		1

Rekke	Klasse	Orden	Art/Taxa	01	02	Sum
			Nereimyra punctata		1	1
			Exogone verugera		14	14
			Syllis cornuta		1	1
			Ceratocephale loveni	2	1	3
			Nephtys ciliata		3	3
		Amphinomida				
			Paramphinome jeffreysii	1	2	3
		Eunicida				
			Nothria hyperborea	14	10	24
			Scoletoma fragilis	12	13	25
		Oweniida				
			Galathowenia fragilis	24	19	43
			Galathowenia oculata	204	285	489
			Myriochele olgae	103	138	241
			Owenia polaris	162	231	393
		Flabelligerida				
			Diplocirrus glaucus	1	2	3
		Terebellida				
			Amphictene auricoma		1	1
			Lagis koreni		1	1
			Amage auricula		3	3
			Glyphanostomum pallescens	5	6	11
			Melinna cristata	1	1	2
			Melinna elisabethae		1	1
			Sabellides borealis		3	3
			Sabellides octocirrata	2	9	11
			Laphania boecki	4	6	10
			Pista mediterranea	1		1
			Proclea graffii		1	1
			Streblosoma intestinale	1	1	2
			Terebellides sp.	1	2	3
		Sabellida				
			Chone sp.	2	1	3
			Euchone sp.	1	2	3
			Jasmineira candela	2	1	3
			Jasmineira caudata	1		1
			Laonome kroyeri	1	1	2
			Ditrupa arietina	2	1	3
			Siboglinidae indet.		1	1
CRUSTACEA						
	Ostracoda					
			Ostracoda indet.	1	2	3
	Copepoda					
		Calanoida				
			Calanoida indet.		3	3
	Malacostraca					
		Cumacea				
			Eudorella sp.	5	4	9
			Leucon sp.	1	1	2
			Brachydiastylis resima	1		1
			Diastylis rathkei	1		1
		Tanaidacea				
			Tanaidacea indet.		3	3
		Amphipoda				
			Lysianassidae indet.		1	1
			Harpinia sp.	1		1
		Isopoda				
			Gnathia sp.		1	1
			Asellota indet.		1	1
MOLLUSCA						
	Caudofoveata					
			Caudofoveata indet.		1	1
	Prosobranchia					
		Mesogastropoda				
			Euspira pallida		1	1
	Bivalvia					

Rekke	Klasse	Orden	Art/Taxa	01	02	Sum
		Nuculoida				
			Yoldiella lucida	4	14	18
			Yoldiella solidula	2	3	5
		Mytiloida				
			Crenella decussata	1		1
			Musculus niger	1	2	3
			Musculus sp. juv.	10	1	11
			Dacrydium vitreum		1	1
		Arcoida				
			Bathyarca glacialis		2	2
		Veneroida				
			Adontorhina similis	21	23	44
			Thyasira equalis		1	1
			Thyasira flexuosa	4	2	6
			Thyasira sarsii	15	26	41
		Pholadomyoida				
			Cuspidaria obesa		1	1
	Scaphopoda					
		Dentaliida				
			Antalis sp.	1		1
		Gadilida				
			Pulsellum lofotense		1	1
BRYOZOA						
			Bryozoa indet.	-1		-1
ECHINODERMATA						
	Ophiuroidea					
		Ophiurida				
			Ophiura carnea		1	1
			Ophiura sarsii		1	1
			Ophiuroidea indet. juv.	1	3	4
			Maks:	204	285	489
			Antall:	52	75	85
			Sum:			1848

Stasjonsnr.: Ha 5

FORAMINIFERA						
			Foraminifera indet.	-1	-1	-2
NEMERTINI						
			Nemertea indet.	2	7	9
SIPUNCULIDA						
			Golfingiidae indet.	2	1	3
			Phascolion strombus	3		3
			Sipunculida indet. juv.	1		1
ANNELIDA						
	Polychaeta					
		Orbiniida				
			Leitoscoloplos mammosus	1	1	2
			Levinsenia gracilis	2	7	9
			Paradoneis lyra		1	1
		Cossurida				
			Cossura longocirrata		2	2
		Spionida				
			Apistobranchus tenuis	1		1
			Apistobranchus tullbergi	2	3	5
			Prionospio cirrifera	1	10	11
			Pseudopolydora paucibranchiata	11	161	172
			Spiophanes kroyeri	1	1	2
			Spiophanes wigleyi		1	1

Rekke	Klasse	Orden	Art/Taxa	01	02	Sum
			Tharyx killariensis	1		1
			Chaetozone sp.	27	21	48
		Capitellida				
			Heteromastus filiformis	14	26	40
			Notomastus latericeus	1		1
			Rhodine gracilior	16	37	53
			Chirimia biceps	3	5	8
			Maldane sarsi	18	23	41
			Praxillella gracilis	1	2	3
			Praxillella praetermissa	30	21	51
		Phyllodocida				
			Eteone flava/longa	1		1
			Eulalia tjalfiensis		1	1
			Paranaitis wahlbergi		1	1
			Phyllodoce groenlandica	2		2
			Phyllodoce rosea		1	1
			Gattyana cirrhosa	1		1
			Polynoidae indet.	1		1
			Pholoe assimilis	3		3
			Nereimyra punctata	2		2
			Exogone verugera	1	5	6
			Syllidae indet.		1	1
			Ceratocephale loveni	3	3	6
			Goniada maculata	1	1	2
			Nephtys paradoxa		1	1
		Amphinomida				
			Paramphinome jeffreysii	1	1	2
		Eunicida				
			Nothria hyperborea	19	13	32
			Scoletoma fragilis	5	21	26
		Oweniida				
			Galathowenia fragilis	49	34	83
			Galathowenia oculata	76	172	248
			Myriochele olgae	53	40	93
			Owenia polaris	80	75	155
		Flabelligerida				
			Diplocirrus glaucus	2	2	4
		Terebellida				
			Amphictene auricoma		1	1
			Lagis koreni		2	2
			Anobothrus gracilis	2		2
			Glyphanostomum pallescens	2	12	14
			Melinna elisabethae	4	4	8
			Sabellides octocirrata	2	7	9
			Ampharetidae indet.		1	1
			Eupolymnia nebulosa	1		1
			Laphania boecki	5	6	11
			Proclea graffii		1	1
			Streblosoma intestinale	20	13	33
			Terebellides sp.		4	4
		Sabellida				
			Chone sp.	5	5	10
			Euchone sp.	2		2
			Jasmineira candela	2	1	3
			Laonome kroyeri	5	5	10
			Ditrupa arietina		1	1
			Siboglinidae indet.	10	3	13
	Oligochaeta					
			Oligochaeta indet.		1	1
CRUSTACEA						
	Ostracoda					
			Ostracoda indet.	1	8	9
	Copepoda					
		Calanoida				
			Calanoida indet.	3	2	5

Rekke	Klasse	Orden	Art/Taxa		01	02	Sum
	Malacostraca						
		Cumacea					
			Eudorella sp.		4	3	7
			Leucon sp.		4	3	7
			Campylaspis sp.		1		1
			Diastylis rathkei			1	1
		Tanaidacea					
			Tanaidacea indet.			2	2
		Amphipoda					
			Byblis gaimardi			1	1
			Atylus sp.		2	1	3
			Eriopisa elongata		4		4
			Oedicerotidae indet.		1	1	2
			Harpinia sp.			1	1
		Isopoda					
			Astacilla sp.			1	1
MOLLUSCA							
	Polyplacophora						
		Lepidopleurida					
			Leptochiton sp.			1	1
	Prosobranchia						
		Mesogastropoda					
			Euspira montagui		1		1
			Euspira pallida		1	1	2
	Bivalvia						
		Nuculoida					
			Ennucula tenuis		1		1
			Yoldiella lucida		3	4	7
		Mytiloida					
			Crenella decussata		1		1
			Musculus niger		1	1	2
		Arcoida					
			Bathyarca glacialis		1		1
			Bathyarca sp. juv.		1	1	2
		Ostreoidea					
			Similipecten similis		1	1	2
		Veneroida					
			Myrtea spinifera			1	1
			Adontorhina similis		6	8	14
			Mendicula ferruginosa			1	1
			Thyasira equalis		1		1
			Thyasira flexuosa			3	3
			Thyasira sarsii			4	4
			Parvicardium minimum		1	1	2
		Pholadomyoida					
			Cuspidaria obesa			1	1
	Scaphopoda						
		Dentaliida					
			Antalis sp.			1	1
ECHINODERMATA							
	Ophiuroidea						
		Ophiurida					
			Amphiura filiformis			1	1
			Ophiura carnea			2	2
			Ophiura sarsii			1	1
			Ophiuroidea indet. juv.		1	5	6
	Holothuroidea						
		Apodida					
			Labidoplax buskii		1		1
				Maks:	80	172	248
				Antall:	72	80	102
				Sum:			1368

Rekke	Klasse	Orden	Art/Taxa	01	02	Sum
			TOTAL:	***Maks:***	666	
				Sum:	13374	

Vedlegg 2. Analysebeviser

Framsenteret
Postboks 6606 Langnes, 9296 Tromsø
Foretaksnr.: NO 937 375 158 MVA
Tel: 77 75 03 00
e-post: kjemi@akvaplan.niva.no

ANALYSERAPPORT
Sedimentprøver

Kunde:	Intern		
Kunde referanse:	**Nordlaks Oppdrett AS, C- u Ytre Hadseløya**		
Kontaktperson:	Asle Guneriussen		
Adresse:	Framsenteret		
Postnr./sted:	9296 Tromsø		
Tel:	95802115		
E-post:	aig@akvaplan.niva.no	**Dato:**	04.10.2016

Rapport nr.:	**8038**	
Analyseparameter(e):	Korn, TOC, Cu, Zn, TP	
Kontaktperson:		
Analyseansvarlig:	Ida Grøur Tvær	(sign.)
Underskriftsberettiget:	Ingar H. Wasbotten	(sign.)

Prøvene ble sendt/levert til Akvaplan-Niva AS av oppdragsgiver, og merket som angitt i tabellen nedenfor.

Prøve id. Lab	Kundens id.	Materiale	Prøvens beskaffenhet ved mottak	Mottatt lab	Analyse-periode
8038_1	Ha. 1	Sediement	Frossen	22.04.2016	25.04.16 - 26.04.16
8038_2	Ha. 2	Sediement	Frossen	22.04.2016	25.04.16 - 26.04.16
8038_3	Ha. 3	Sediement	Frossen	22.04.2016	25.04.16 - 26.04.16
8038_4	Ha. 4	Sediement	Frossen	22.04.2016	25.04.16 - 26.04.16
8038_5	Ha. 5	Sediement	Frossen	22.04.2016	25.04.16 - 26.04.16
8038_6	Fi 1	Sediement	Frossen	30.08.2016	30.08.16 - 08.09.16
8038_7	Fi 2	Sediement	Frossen	30.08.2016	30.08.16 - 08.09.16
8038_8	Fi 3	Sediement	Frossen	30.08.2016	30.08.16 - 08.09.16
8038_9	Fi 4	Sediement	Frossen	30.08.2016	30.08.16 - 08.09.16

Analysene gjelder bare for de prøver som er testet. De oppgitte analyseresultat omfatter ikke feil som måtte følge av prøvetagningen, inhomogenitet eller andre forhold som kan ha påvirket prøven før den ble mottatt av laboratoriet. Rapporten får kun kopieres i sin helhet og uten noen form for endringer. En eventuell klage skal leveres laboratoriet senest en måned etter mottak av analyseresultat. Nærmere informasjon om analysemetodene (måleusikkerhet, metodeprinsipp etc.) fås ved henvendelse til Akvaplan-Niva AS

Prøvene ble analysert med følgende resultater:

Resultater

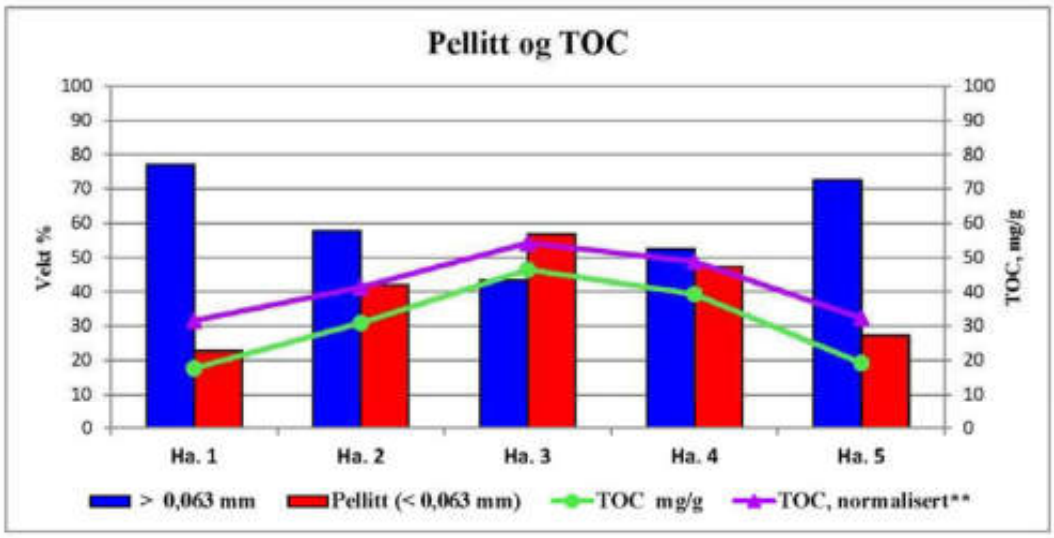
Kundens id.:		Ha. 1	Ha. 2	Ha. 3	Ha. 4	Ha. 5
Parameter	Enhet	8038_1	8038_2	8038_3	8038_4	8038_5
> 0,063 mm	vekt %	77,2	57,9	43,2	52,6	72,7
Pellitt (< 0,063 mm)	vekt %	22,8	42,1	56,8	47,4	27,3
TOC	mg/g TS	17,7	30,9	46,4	39,3	19,2
TOC, normalisert**	mg/g TS	31,6	41,3	54,2	48,8	32,3
Cu *	mg/kg TS	4,86	9,42	13,3	11,0	8,1
Zn *	mg/kg TS	14,0	23,6	33,9	27,2	20
P-total *	% TS	0,145	0,127	0,108	0,125	0,191
	mg/kg TS**	1450	1270	1080	1250	1910

* Analysen er utført av ALS Laboratory Group, ALS Czech Republic s.r.o, Na Harfě 9/336, Praha, Tsjekkia

Akkreditering: Czech Accreditation Institute, labnr. 1163

** Uakkreditert beregninger utført av Akvaplan-niva AS

TOC, normalisert = ***målt TOC mg/g + 18*(1-F), der F=andel finstoff (pellitt) gitt ved %pellitt/100.***

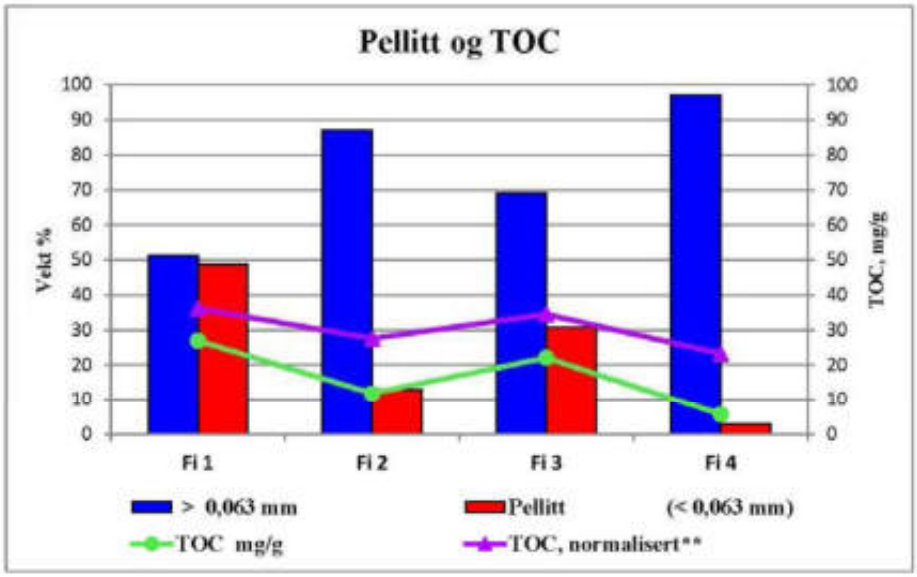


MERKNADER: Kundens referanse er endret ihht ønske

Resultater forts.

Kundens id.:		Fi 1	Fi 2	Fi 3	Fi 4
Parameter	Enhet	8038_6	8038_7	8038_8	8038_9
> 0,063 mm	vekt %	51,3	87,1	69,2	97,1
Pellitt (< 0,063 mm)	vekt %	48,7	12,9	30,8	2,9
TOC	mg/g TS	26,9	11,9	22,0	5,7
TOC, normalisert**	mg/g TS	36,1	27,5	34,4	23,2
Cu *	mg/kg TS	8,64	2,2	7,17	0,26
Zn *	mg/kg TS	21,3	6,5	16,5	<1.0
P-total *	% TS	0,133	0,155	0,155	0,065
	mg/kg TS**	1330	1550	1550	650

* Analysen er utført av ALS Laboratory Group, ALS Czech Republic s.r.o, Na Harfě 9/336, Praha, Tsjekkia
Akkreditering: Czech Accreditation Institute, labnr. 1163
** Uakkreditert beregninger utført av Akvaplan-niva AS
TOC, normalisert =



Akvaplan niva

Rapport Report

Nordlaks Oppdrett AS

B-undersøkelse, Ytre Hadseløya 2017

Ny lokalitet

NORSK AKKREDITERING TEST 079

Akvaplan-niva AS Rapport: 9238.01

Akvaplan-niva AS
Rådgivning og forskning innen miljø og akvakultur
Org.nr: NO 937 375 158 MVA
Framsenteret
9296 Tromsø
Tlf: 77 75 03 00, Fax: 77 75 03 01
www.akvaplan.niva.no

Informasjon oppdragsgiver

Tittel:	Nordlaks Oppdrett AS. B-undersøkelse, Ytre Hadseløya 2017. Ny lokalitet.		
Rapportnummer (s):	APN-9238.01 (10 s. + vedlegg)	Dato rapport:	05.01.2018
Lokalitetsnummer:	Ny lokalitet	Kartkoordinater:	68°29.994 N 14°35.288 Ø
Fylke:	Nordland	Kommune:	Hadsel
Planlagt MTB:	10 000 tonn	Kontakt:	Bjarne Johansen
Oppdragsgiver:	Nordlaks Oppdrett AS		

Biomasse/produksjonsstatus ved undersøkelsesdato

Fiskegruppe:	Laks	Utfôret mengde:	0 tonn
Biomasse anlegg:	0 tonn	Produsert mengde:	0 tonn

Type/tidspunkt for undersøkelse	**Angitt ved kryss**	Merknad
• Maksimal organisk belastning jf kap 7.9:	☐	Krav fra Fylkesmannen i Nordland og Fiskeridirektoratet om å gjennomføre en B – undersøkelse på 26 stasjoner i forbindelse med søknad om ny lokalitet.
• Oppfølgende undersøkelse:	☐	
• Halv maksimal biomasse:	☐	
• Før nytt utsett:	☐	
• Del av forundersøkelse jf kap 5.0	☐	
• Annen	☒	
Brakklegging:	Ikke aktuell da det ikke har vært drift på lokaliteten tidligere	

Resultat fra MOM-B/NS-9410 undersøkelse (hovedresultat)

Parametergruppe og indeks		**Parametergruppe og tilstand**	
Gr. II. pH/Eh:	0,10	Gr. II. pH/Eh:	1
Gr. III. Sensorikk:	1,59	Gr. III. Sensorikk:	2
GR. II + III:	0,83	GR. II+ III:	1
Dato feltarbeid:	27.11.2017 og 06.11.2017	**Ansvarlig feltarbeid:**	Vera Remen
Lokalitetstilstand (NS 9410:2016):			1
Forfatter:	Vera Remen	Signatur:	Vera Remen
Kvalitetskontroll	Asle Guneriussen	Signatur:	Asle Guneriussen

© 2018 Akvaplan-niva AS. Rapporten kan kun kopieres i sin helhet. Kopiering av deler av rapporten (tekstutsnitt, figurer, tabeller, konklusjoner, osv.) eller gjengivelse på annen måte, er kun tillatt etter skriftlig samtykke fra Akvaplan-niva AS.

INNHOLDSFORTEGNELSE

FORORD 2
1 INNLEDNING 3
2 FAGLIG PROGRAM OG METODIKK 4
2.1 Utstyr 4
3 LOKALITETSBESKRIVELSE OG BUNNTOPOGRAFI 5
3.1 Drift 5
3.2 Nåværende og tidligere undersøkelser 5
3.3 Spredningsstrøm 5
3.4 Stasjonsopplysninger 5
4 RESULTATER 8
5 SAMMENFATTENDE VURDERING 9
6 LITTERATUR 10
7 VEDLEGG: 11
7.1 Skjema (B.1 og B.2) NS 9410:2016 11
7.2 Bilder av prøver ved Ytre Hadseløya 17
7.3 Bunntopografi og 3D visning 22

Forord

Undersøkelsen er gjennomført i henhold til NS 9410:2016 som omfatter sediment-undersøkelser, faunavurderinger og bunntopografiske registreringer. Miljøundersøkelsene reguleres av § 35 i akvakulturdriftsforskriften.

Lokaliteten er planlagt med maksimalt tillatt biomasse (MTB) på 10 000 tonn. Biomasse er definert som den til enhver tid stående biomasse av levende fisk (målt i kilo eller tonn). Etter krav fra Fylkesmannen i Nordland og Fiskeridirektoratet utløser planlagt MTB krav om 26 stk. prøvestasjoner.

Følgende har deltatt:

Asle Guneriussen	Akvaplan-niva	Prosjektleder. Kart (olex). Kvalitetssikring.
Vera Remen	Akvaplan-niva	Feltarbeid. Rapport.
Thomas Heggem	Akvaplan-niva	Kart (Olex).

Feltinnsamling og prøvetaking ved Ytre Hadseløya ble utført den 27.11.2017 og 06.12.2017. Det ble også gjort forsøk på prøvetaking 04.12.2017, men feltarbeidet ble avbrutt pga. mye vind og bølger som gjorde det vanskelig å holde posisjonene.

Akvaplan-niva AS vil takke Nordlaks Oppdrett AS og mannskap for samarbeidet med undersøkelsen og feltarbeidet.

Akkreditert virksomhet:

	Akvaplan-niva AS er akkreditert av Norsk Akkreditering for prøvetaking og faglig vurderinger og fortolkninger, akkrediteringsnr. TEST 079. Akkrediteringen er i hht. NS-EN ISO/IEC 17025.

Tromsø den 01.02.2018

Asle Guneriussen
Prosjektansvarlig

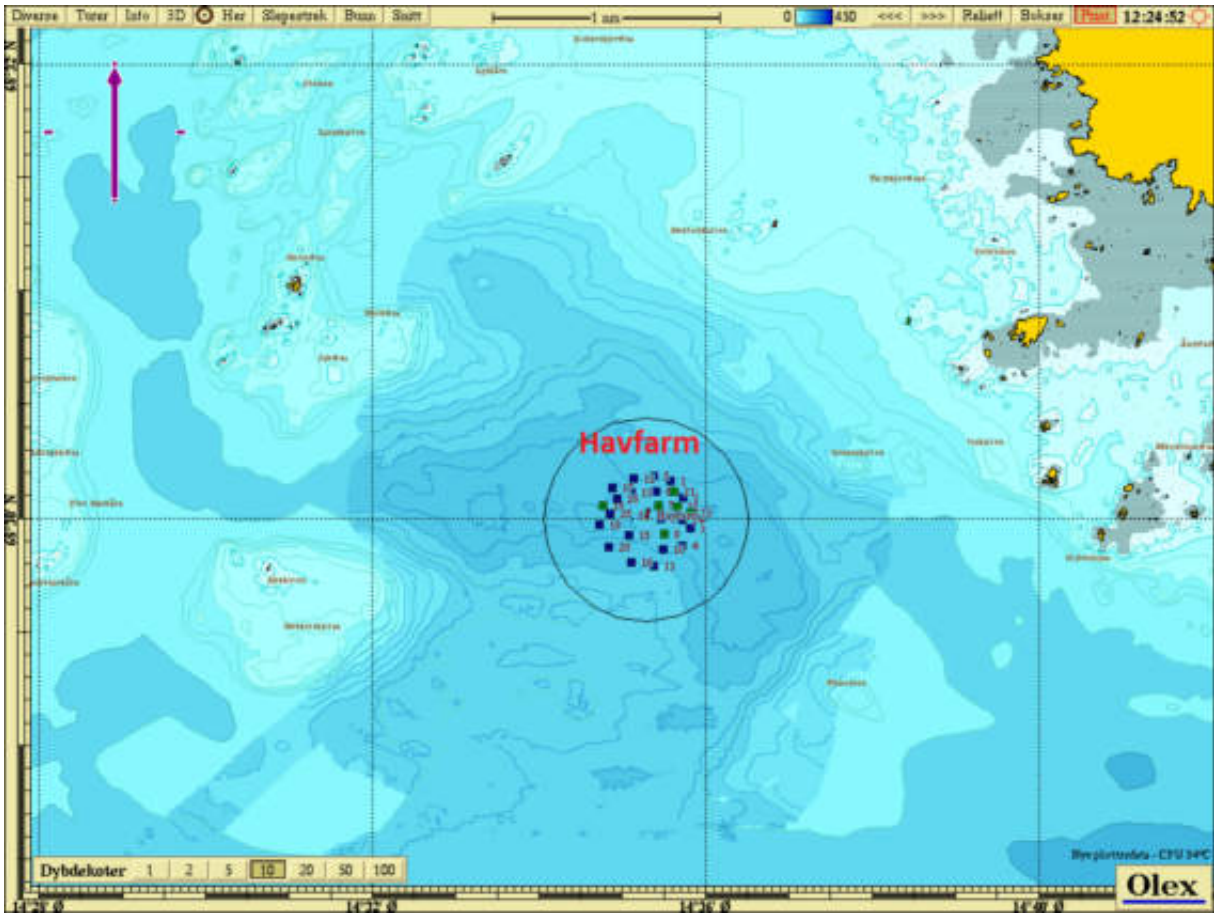
1 Innledning

Foreliggende undersøkelser er gjennomført av Akvaplan-niva AS på oppdrag fra Nordlaks Oppdrett AS. Undersøkelsen er gjennomført etter krav fra Fylkesmannen i Nordland og Fiskeridirektoratet om at en B – undersøkelse på 26 stasjoner innenfor anleggsarealet skal gjennomføres som en del av grunnlaget for søknad om oppdrettsvirksomhet på lokaliteten Ytre Hadseløya ved Hadseløya, Hadsel kommune i Nordland fylke.

Formålet med en B – undersøkelse er å dokumentere miljøtilstanden i lokalitetens anleggssone i henhold til NS 9410:2016, og undersøkelsen omfatter sedimentundersøkelser, faunavurderinger og bunntopografiske registreringer. I dette tilfellet er anleggssonen definert som anleggsarealet, og omfatter området innenfor den reelle svairadiusen på 400 meter.

Undersøkelsene vurderer lokalitetenes tilstand mht. organisk belastning, samt egnethet for oppdrettsvirksomhet.

Figur 1 viser et kartutsnitt av planlagt område for lokaliteten Ytre Hadseløya.



Figur 1. Oversiktskart for planlagt område for plasseringen av Ytre Hadseløya.

2 Faglig program og metodikk

Miljøovervåkning av bunnpåvirkning fra marine akvakulturanlegg er et system for standardisering av miljøovervåking for oppdrettsanlegg i sjø. Alle lokaliteter som er i bruk, skal regelmessig overvåkes. Overvåkningsprogrammet er hjemlet i akvakulturdriftsforskriften § 35 og metodikk for undersøkelsene er beskrevet i Norsk Standard 9410:2016.

B-undersøkelsen er en trendovervåkning av bunnforholdene under og i den umiddelbare nærheten et akvakulturanlegg. Sedimentprøver tas ved hjelp av en grabb (min. 250 cm^2). Hvert grabbhogg blir undersøkt med hensyn på tre grupper av sedimentparametre; faunaundersøkelse, kjemisk undersøkelse (pH og redoks potensial) og en sensorisk undersøkelse (forekomst av gassbobler, lukt, sedimentets konsistens og farge, samt tykkelse av deponert slam). Sedimentparametrene gis poeng (skala fra 1 - 4) etter hvor mye sedimentet er påvirket av tilførsler av organisk stoff, jfr. Tabell 1. Antall prøvestasjoner bestemmes av lokalitetens MTB, og det er et samlet gjennomsnitt for alle prøvene som fastsetter lokalitetstilstanden. På bakgrunn av klassifiseringen avgjøres det videre overvåkningsnivået.

Tabell 1. Frekvens for B-undersøkelse i lokalitetens anleggssone i forhold til lokalitetstilstand på lokaliteten.

Lokalitetstilstand ved maksimal organisk belastning	**Overvåkningsfrekvens for B-undersøkelse**
1-meget god	Ved neste maksimale belastning.
2-god	Før utsett og igjen ved maksimal belastning.
3-dårlig	Før utsett Dersom undersøkelse før utsett gir: - tilstand 1 – undersøkelse gjennomføres ved neste maksimale belastning; - tilstand 2 – undersøkelse gjennomføres ved half maksimal belastning og ved maksimal belastning; - tilstand 3 – undersøkelse gjennomføres ved half maksimal belastning og ved maksimal belastning. I forhold til neste produksjonssyklus planlegges tiltak. Dersom noen av undersøkelsene viser tilstand 4, vil det være overbelastning.
4-meget dårlig	Overbelastning

2.1 Utstyr

Følgende utstyr ble anvendt i denne undersøkelsen:
Grabb: Van Veen grabb (0,025 m^2)
Sikt 1 mm: Akvaplan-niva
pH måler: Elektrode, YSI Professional Plus
Redox-måler: Elektrode, YSI Professional Plus
Posisjonsbestemmelse – GPS map 62s. For posisjon på stasjoner.
Digital kamera

3 Lokalitetsbeskrivelse og bunntopografi

3.1 Drift

Det er ingen drift på lokaliteten, og har ikke vært drift i resipienten tidligere.

3.2 Nåværende og tidligere undersøkelser

Det har ikke vært gjennomført B – undersøkelser på lokaliteten tidligere.

Tabell 2 viser resultat og dato for gjennomføringen av nåværende B-undersøkelse på lokaliteten Ytre Hadseløya.

Tabell 2. Nåværende B-undersøkelse ved Ytre Hadseløya.

Dato prøvetaking	Rapportnummer	Type undersøkelse	Lokalitetstilstand
27.11.2017 og 06.12.2017	APN-9238.01 (Remen, 2018)	B – undersøkelse (ny lokalitet)	1

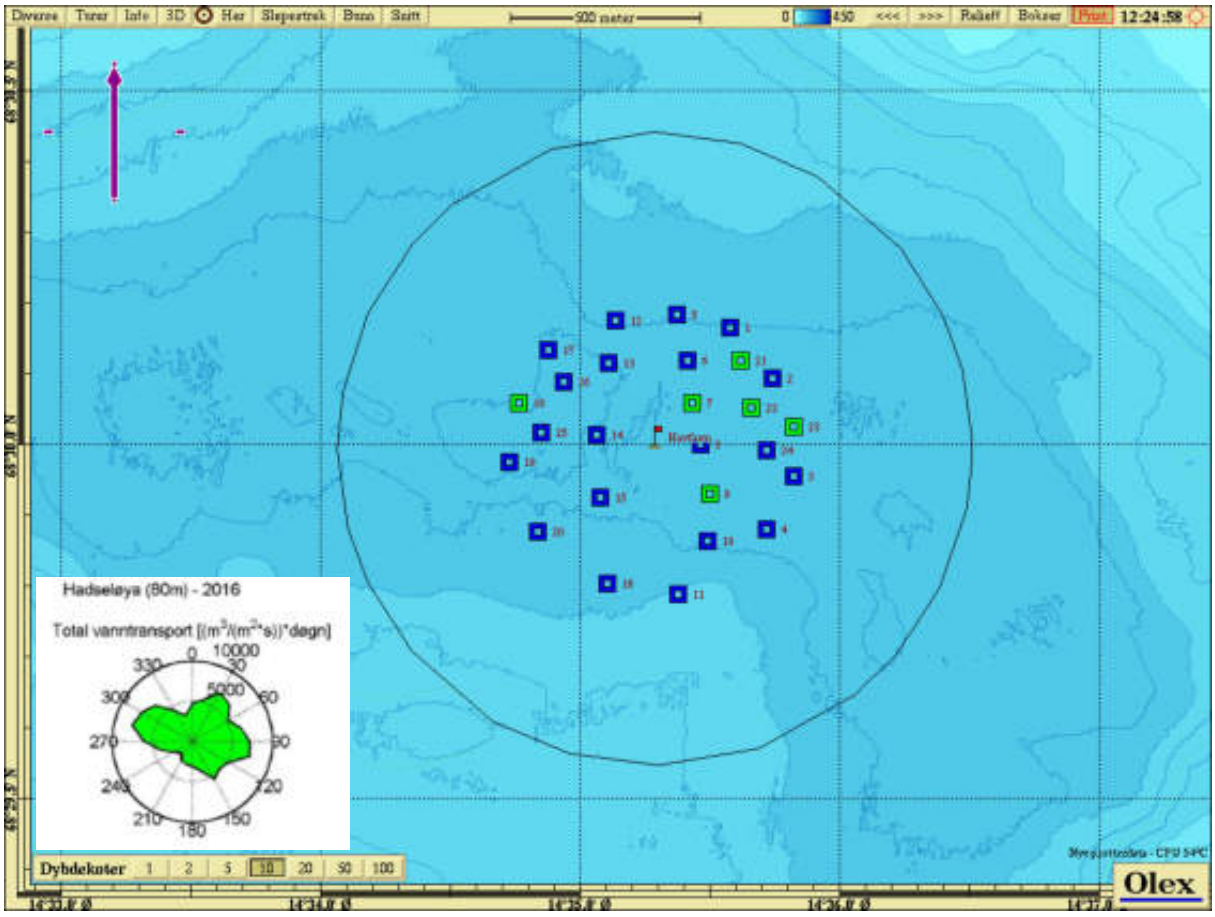
3.3 Spredningsstrøm

Resultater fra strømmålinger viser at hovedstrømsretning ved spredningsdyp (80 m) ikke er klart definert. Målingene ved spredningsdyp viser vanntransport i nordvestlig-, nordøstlig-, østlig- og sørøstlig- retning, med høyeste vanntransport mot nordvest (285 grader). Gjennomsnittlig strømhastighet er målt til 4,7 cm/s. Høyeste strømhastighet er målt til 18,8 cm/s og 3,7 % av målingene er < 1 cm/s (Heggem, 2017).

3.4 Stasjonsopplysninger

Lokaliteten ligger på vestsiden av Hadseløya i Hadsel kommune i Nordland. Det planlagte anleggsområdet ligger over dyp som variere fra 119 meter til 140 meter. Resipienten er omgitt av holmer og skjær i nordvest og i sørøst, og bunntopografien i disse områdene er kupert med flere grunnområder. Mot Vesterålsfjorden, ca. 7,4 km vest for lokaliteten, blir området grunnere med en bred terskelformasjon hvor største dyp er på 85 meter. Mot øst grenser resipienten mot Hadselfjorden. Bunnsedimentet innenfor anleggsarealet domineres av bløtbunn (silt, sand og leire) med innslag av skjellsand (Mannvik & Guneriussen, 2016).

Stasjonene som ble undersøkt er beskrevet i Figur 2 og Tabell 3. Antall stasjoner og plasseringen av stasjonene ble utført etter krav og veiledning fra Fylkesmannen i Nordland og Fiskeridirektoratet, og valgt ut fra forundersøkelser av lokalitetens bunntopografi og konfigurasjon. De 26 Stasjonene skulle være jevnt fordelt på anleggsarealet. Stasjonene ble hentet fra dyp som varierte fra 119 meter (st. 11) som grunnest og 138 meter (st.3) som dypest.



Figur 2. Stasjonsoversikt ved Ytre Hadseløya, 2017. Prøvetakingsstasjonene st.1 – 26 er tegnet inn med fargekoder som beskriver tilstand iht. NS 9410:2016, kap 7.11. Spredningsstrøm er målt på 80 m (Heggem, 2017).

Tabell 3. Posisjon og dybde for prøvetakningsstasjonene som inngår i undersøkelsen ved Ytre Hadseløya, 2017.

Stasjonsnummer	Nordlig bredde	Østlig lengde	Dyp (m)
1	68°30,164	14°35,575	131
2	68°30,092	14°35,739	137
3	68°29,953	14°35,823	138
4	68°29,879	14°35,717	136
5	68°30,183	14°35,373	130
6	68°30,118	14°35,412	134
7	68°30,057	14°35,431	136
8	68°29,999	14°35,465	135
9	68°29,930	14°35,501	135
10	68°29,862	14°35,492	131
11	68°29,787	14°35,376	119
12	68°30,174	14°35,137	130
13	68°30,114	14°35,109	130
14	68°30,013	14°35,065	136
15	68°29,924	14°35,077	133
16	68°29,802	14°35,102	129
17	68°30,133	14°34,875	129
18	68°30,057	14°34,763	130
19	68°29,974	14°34,728	131
20	68°29,875	14°34,836	126
21	68°30,117	14°35,616	135
22	68°30,051	14°35,658	136
23	68°30,024	14°35,823	137
24	68°29,990	14°35,718	136
25	68°30,016	14°34,848	129
26	68°30,088	14°34,936	128

4 Resultater

Resultatene fra klassifiseringen er vist i Tabell 4. Fullstendig utfylt prøveskjema med utregning av karakter på prøvene ligger som vedlegg.

Tabell 4. Resultat fra klassifisering av anleggssonen ved Ytre Hadseløya, 2017.

Parameter	Tilstand
Gruppe II - parametere (pH/Eh)	1
Gruppe III – parametere, (sensorisk)	2
Gruppe II + III – parametere (middelverdi)	1
LOKALITETSTILSTAND	1

Ytre Hadseløya er en bløtbunnslokalitet, hvor det i hovedsak var mye sediment i grabbprøvene (grabbvolum > ¾), og kun på stasjon 13 var volumet i grabben < ¼. Det ble studert fauna og gjort pH/Eh målinger på alle stasjonene.

På samtlige stasjoner ble det registrert dyr, og det var forholdsvis store mengder børstemark i prøvene. I tillegg ble det registrert noen pigghuder (slangestjerner og sjømus) og skjell på enkelte stasjoner. Totalt ble det tatt 34 grabbskudd fordelt på 26 stasjoner.

Det mineralske sedimentet i prøvene ble i hovedsak definert til å være silt, med innslag av skjellsand, og i enkelttilfeller også litt sand, grus og småstein.

På 13 stasjoner ble det registrert lukt (H_2S) i nedre lag i sedimentet, og av disse ble det registret sterk lukt på stasjon 9, 21, 22 og 23.

Det ble ikke registrert gassbobler, bakteriebelegg, fôrrester eller fekalier i noen av prøvene.

Resultatene for gruppe II og III parametere ga tilstand 2 – «God» for stasjon 7, 9, 18, 21, 22 og 23. De øvrige stasjonene fikk tilstand 1 – «Meget god».

Samlet tilstand for lokaliteten ble 1 – «Meget god».

5 Sammenfattende vurdering

Ut fra vurderingskriteriene i NS 9410:2016 er det dokumentert at lokaliteten på prøvetidspunktet fikk tilstand 1 – «Meget god». Det ble gjennomført totalt 34 grabbskudd med Van Veen grabb (0,025 m^2), fordelt på 26 stasjoner innfor den reelle svairadiusen på 400 meter (anleggsarealet). 20 stasjoner fikk karakteren 1 – «Meget god» og seks stasjoner fikk karakteren 2 – «God».

Lokaliteten er en 100 % bløtbunnslokalitet med siltig mykt sediment, og faunaen domineres av børstemarker.

Det ble registrert H_2S – lukt i nedre lag av prøvesedimentet på 13 av 26 stasjoner. Strømmålingene på lokaliteten viser meget god vannutskiftning i områder med gjennomsnittlig strømhastighet over 4,5 cm/s gjennom hele vannsøyla. Vi vil særlig vise til bunnmålingene med en gjennomsnittlig strømhastighet på 9,1 cm/s og med en maksimal strømhastighet på 51,4 cm/s. Dette viser at det er liten mulighet for negative sedimenteringsforhold på lokaliteten. Sedimentoverflaten har mørk farge, men det er ikke registrert H_2S – lukt fra overflaten og heller ikke negative pH registreringer. Vi har derfor ingen fullgod forklaring på H_2S – lukten nede i sedimentene. Registreringen av lukt inngår i de sensoriske parameterne (Gr. III), og slik B.1-skjemaet er utformet vil registering av lukt i de nedre lag kunne være utslagsgivende for beregning av tilstand for enkeltprøver, og for en samlet lokalitetstilstand. I undersøkelsen er middelverdien for gruppe II og III 0,83. Dette viser at innslaget av H_2S – lukt ikke er av en slik karrakter at det har fått negative følger for lokalitetstilstanden. Vi har ingen erfaring med den type anlegg som er planlagt på lokaliteten (anlegg på svai). Men fra erfaringen med lignende lokaliteter og stedsstabile anlegg, vurderer vi at lokaliteten er godt egnet for oppdrettsvirksomhet.

Lokaliteten gis lokalitetstilstand 1 "Meget god" i henhold til beregninger i henhold til metodikk beskrevet i NS 9410:2016 og prøveskjema Tabell B.1 og B.2 (se kap.7 Vedlegg).

6 Litteratur

Forskrift om drift av akvakulturanlegg (akvakulturdriftsforskriften) §§ 35 og 36.

Heggem, T., 2017. Nordlaks Oppdrett AS. Strømmålinger Hadseløya. 5, 15, 80 og 134 meter. APN-8042.02. 12 s. + vedlegg

ISO 5667-19, 2004. Guidance on sampling of marine sediments.

Mannvik, H.P. & Guneriussen, A., 2017. Nordlaks AS. Miljøundersøkelse Ytre Hadseløya, 2016. APN-8038.01. 16 s. + vedlegg

Norsk Standard NS 9410:2016. Miljøovervåking av bunnpåvirkning fra marine akvakulturanlegg.

7 Vedlegg:

7.1 Skjema (B.1 og B.2) NS 9410:2016

Prøveskjema B.1

Firma:	Nordlaks Oppdrett AS	Dato:	27.11 og 06.12.2017
Lokalitet:	Havfarm	Lokalitetsnr:	Ny lokalitet
Prøvetakingsansvarlig:	Vera Remen		

Gr	Parameter		Poeng	Prøvenummer									
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Bunntype: B (bløt) eller H (hard)			B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
I	Dyr > 1mm	Ja (0) Nei (1)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
II	pH	verdi		7,66	7,66	7,66	7,57	7,68	7,78	7,68	7,82	7,84	7,58
	Eh (mV)	verdi		122,8	119,9	156,9	184,0	130,1	121,9	72,7	153,7	174,3	182,1
		+ ref. verdi											
	pH/Eh	fra figur		0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
		Tilstand, prøve		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
					Buffer-temp		Sjø-temp		Sediment-temp				
					pH sjø	8,0	Eh sjø	207,1	Referanse-elektrode				
III	Gassbobler	Ja (4) Nei (0)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Farge	Lys/grå (0)											
		Brun/sort (2)		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	Lukt	Ingen (0)		0	0			0					
		Noe (2)				2	2		2	2	2		2
		Sterk (4)										4	
	Konsistens	Fast (0)											
		Myk (2)		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
		Løs (4)											
	Grabb-volum (v)	v < 1/4 (0)											
		1/4 < v < 3/4 (1)											
		v > 3/4 (2)		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	Tykkelse på slamlag	t < 2 cm (0)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		2 < t < 8 cm (1)											
		t > 8 cm (2)											
		Sum		6,0	6,0	8,0	8,0	6,0	8,0	8,0	8,0	10,0	8,0
		Korrigert (*0,22)		1,3	1,3	1,8	1,8	1,3	1,8	1,8	1,8	2,2	1,8
		Tilstand prøve		2	2	2	2	2	2	2	2	3	2
		Middelverdi gruppe II og III		0,7	0,7	0,9	0,9	0,7	0,9	1,4	0,9	1,1	0,9
		Tilstand prøve		1	1	1	1	1	1	2	1	2	1

Grabb ID	K-4
pH / pE ID	10

Signatur prøvetakningsanvsarlig: Vera Remen

Prøveskjema B.1

Firma:	Nordlaks Oppdrett AS	Dato:	27.11 og 06.12.2017
Lokalitet:	Havfarm	Lokalitetsnr:	Ny lokalitet
Prøvetakingsansvarlig:	Vera Remen		

Parameter		Poeng	Prøvenummer									
			11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Bunntype: B (bløt) eller H (hard)			B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
Dyr > 1mm	Ja (0) Nei (1)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
pH	verdi		7,45	7,69	7,61	7,57	7,52	7,53	7,60	7,47	7,56	7,58
Eh (mV)	verdi		146,7	137,4	137,4	156,1	152,6	150,7	142,1	78,0	161,8	155,4
	+ ref. verdi											
pH/Eh	fra figur		0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
	Tilstand prøve		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
				Buffer-temp	0,0	Sjø-temp	0,0	Sediment-temp		0,0		
				pH sjø	8,0	Eh sjø	207,1	Referanse-elektrode		0,0		
Gassbobler	Ja (4) Nei (0)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Farge	Lys/grå (0)											
	Brun/sort (2)		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Lukt	Ingen (0)			0	0	0		0	0	0	0	0
	Noe (2)		2				2					
	Sterk (4)											
Konsistens	Fast (0)											
	Myk (2)		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	Løs (4)											
Grabb-volum (v)	v < 1/4 (0)				0							
	1/4 < v < 3/4 (1)											
	v > 3/4 (2)		2	2		2	2	2	2	2	2	2
Tykkelse på slamlag	t < 2 cm (0)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2 < t < 8 cm (1)											
	t > 8 cm (2)											
	Sum		8,0	6,0	4,0	6,0	8,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
	Korrigert (*0,22)		1,8	1,3	0,9	1,3	1,8	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
	Tilstand prøve		2	2	1	2	2	2	2	2	2	2
	Middelverdi gruppe II og III		0,9	0,7	0,4	0,7	0,9	0,7	0,7	1,2	0,7	0,7
	Tilstand prøve		1	1	1	1	1	1	1	2	1	1

Grabb ID	K-4
pH / pE ID	10

Signatur prøvetakningsansvarlig: Vera Remen

Prøveskjema B.1

Firma:	Nordlaks Oppdrett AS
Lokalitet:	Havfarm
Prøvetakingsansvarlig:	Vera Remen

Dato:	27.11 og 06.12.2017
Lokalitetsnr:	Ny lokalitet

Gr	Parameter	Poeng	Prøvenummer										Index	
			21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	B%	H%
	Bunntype: B (bløt) eller H (hard)		B	B	B	B	B	B					100	0
I	Dyr > 1mm	Ja (0) Nei (1)	0	0	0	0	0	0						
II	pH	verdi	7,62	7,80	7,69	7,64	7,58	7,57						
	Eh (mV)	verdi	117,0	163,5	153,7	161,5	162,8	123,1						
		+ ref. verdi												
	pH/Eh	fra figur	0	0	0	0	0	0					0,1	
		Tilstand prøve	1	1	1	1	1	1						
		Tilstand, gruppe II	1	Buffer-temp	0,0	Sjø-temp	0,0	Sediment-temp		0,0				
				pH sjø	8,0	Eh sjø	207,1	Referanse-elektrode		0,0				
III	Gassbobler	Ja (4) Nei (0)	0	0	0	0	0	0						
	Farge	Lys/grå (0)												
		Brun/sort (2)	2	2	2	2	2	2						
	Lukt	Ingen (0)					0	0						
		Noe (2)				2								
		Sterk (4)	4	4	4									
	Konsistens	Fast (0)												
		Myk (2)	2	2	2	2	2	2						
		Løs (4)												
	Grabb-volum (v)	v < 1/4 (0)												
		1/4 < v < 3/4 (1)												
		v > 3/4 (2)	2	2	2	2	2	2						
	Tykkelse på slamlag	t < 2 cm (0)	0	0	0	0	0	0						
		2 < t < 8 cm (1)												
		t > 8 cm (2)												
		Sum	10,0	10,0	10,0	8,0	6,0	6,0						
		Korrigert (*0,22)	2,2	2,2	2,2	1,8	1,3	1,3					1,59	
		Tilstand prøve	3	3	3	2	2	2						
		Tilstand gruppe III	2											
		Middelverdi gruppe II og III	1,1	1,1	1,1	0,9	0,7	0,7					0,83	
		Tilstand prøve	2	2	2	1	1	1						
		Tilstand gruppe II og III	1											

pH/Eh **Korr.sum** **Indeks** **Middelverdi**	**Tilstand**
< 1,1	1
1,1 - <2,1	2
2,1 - <3,1	3
≥3,1	4

LOKALITETSTILSTAND: 1

Grabb ID	K-4
pH / pE ID	10

Signatur prøvetakningsanvarlig: Vera Remen

Skjema for prøvetakingspunkt, B.2

Firma:	Nordlaks Oppdrett AS		Dato:	27.11 og 06.12.2017	
Lokalitet:	Havfarm		Lokalitetsnr:	Ny lokalitet	
Prøvetakingsansvarlig:	Vera Remen				

Prøvetakingssted (nummer)		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Dyp (m)		131	137	138	136	130	134	134	135	135	131
Antall forsøk		1	1	6	1	1	1	1	1	1	1
Bobling (i prøve)											
Sedimenttype	Leire										
	Silt	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Sand										
	Grus								(X)		
	Skjellsand	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Fjellbunn											
Steinbunn											
Pigghuder, antall								2		1	
Krepsdyr, antall											
Skjell, antall			6					1		2	
Børstemark, antall		100+	100+	100+	100+	100+	100+	100+	100+	100+	100+
Andre dyr, antall											
Beggiatoa											
Fôr											
Fekalier											

Kommentar

Generelt utfordringer pga. mye sjø/bølger/vind på begge dagene været tillot å gjennomføre prøvetaking. De fleste av prøvene hadde penetrering av sediment i grabblukene. Lukt registrert i prøvene er H_2S-lignende. St. 3; Forsøk på prøvetaking på to ulike datoer. Tre bomskudd med kun vann i grabb, trolig fordi grabb har lukket seg på vei ned pga. dønninger. To bomskudd hvor grabb ikke var utløst, trolig kombinasjon av at vi drifter noe pga. vind/bølger og oppdrift i tau slik at grabb lander på siden. Byttet til grabbtau med mindre oppdrift, og fikk prøve. St. 8; Litt småstein i prøven, derfor utkryssing på "grus".

Grabb	Areal [m^2]	0,025	Grabb ID	K-4
Signatur prøvetakingsansvarlig:	Vera Remen			

Skjema for prøvetakingspunkt, B.2

Firma:	Nordlaks Oppdrett AS	Dato:	27.11 og 06.12.2017
Lokalitet:	Havfarm	Lokalitetsnr:	Ny lokalitet
Prøvetakingsansvarlig:	Vera Remen		

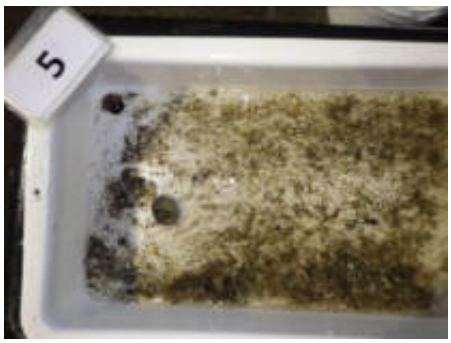
Prøvetakingssted (nummer)		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Dyp (m)		119	130	130	136	133	129	129	130	131	126
Antall forsøk		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Bobling (i prøve)											
Sedimenttype	Leire										
	Silt	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Sand				(X)						
	Grus			(X)	(X)						
	Skjellsand	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Fjellbunn											
Steinbunn											
Pigghuder, antall		1	1		1	2	1				
Krepsdyr, antall		1									
Skjell, antall				1		1		2			2
Børstemark, antall		100+	100+	100+	100+	100+	100+	100+	100+	100+	100+
Andre dyr, antall											
Beggiatoa											
Fôr											
Fekalier											
Kommentar											
Grabb	Areal [m^2]	0,025			Grabb ID			K-4			
Signatur prøvetakingsansvarlig:		Vera Remen									

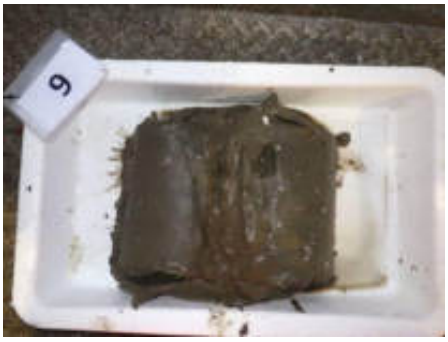
Skjema for prøvetakingspunkt, B.2

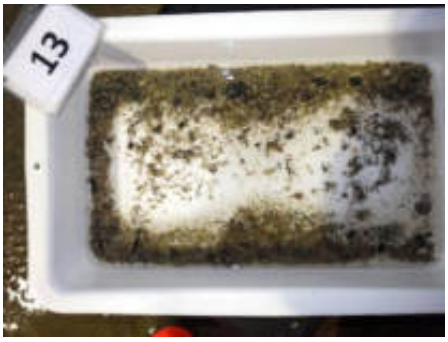
Firma:	Nordlaks Oppdrett AS	Dato:	27.11 og 06.12.2017
Lokalitet:	Havfarm	Lokalitetsnr:	Ny lokalitet
Prøvetakingsansvarlig:	Vera Remen		

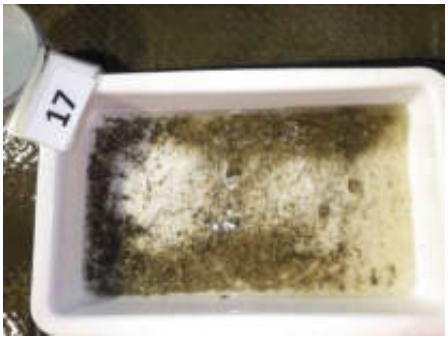
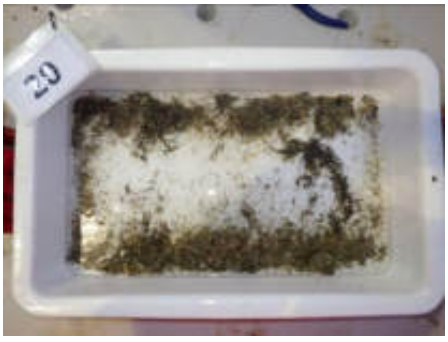
Prøvetakingssted (nummer)		21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Dyp (m)		135	136	137	136	129	128				
Antall forsøk		1	1	1	3	2	1				
Bobling (i prøve)											
Sedimenttype	Leire										
	Silt	X	X	X	X	X	X				
	Sand					(X)					
	Grus					(X)					
	Skjellsand	X	X	X	X	X	X				
Fjellbunn											
Steinbunn											
Pigghuder, antall				1	1	2	1				
Krepsdyr, antall											
Skjell, antall						1					
Børstemark, antall		100+	100+	100+	100+	100+	100+				
Andre dyr, antall											
Beggiatoa											
Fôr											
Fekalier											
Kommentar		St. 24; to bomskudd med kun vann i prøven, trolig fordi grabb har utløst seg på vei ned pga. bølger/dønninger. St. 25; ett bomskudd med kun vann i prøven (samme årsak som for st. 24).									
Grabb		Areal [m^2]	0,025			Grabb ID	K-4				
Signatur prøvetakingsansvarlig:		Vera Remen									

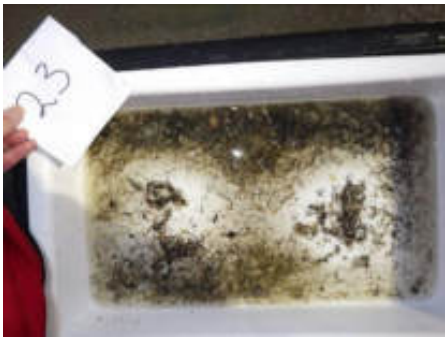
7.2 Bilder av prøver ved Ytre Hadseløya

St 1		
St 2		
St 3		
St 4		
St 5		

St 6		
St 7		
St 8		
St 9		
St 10		

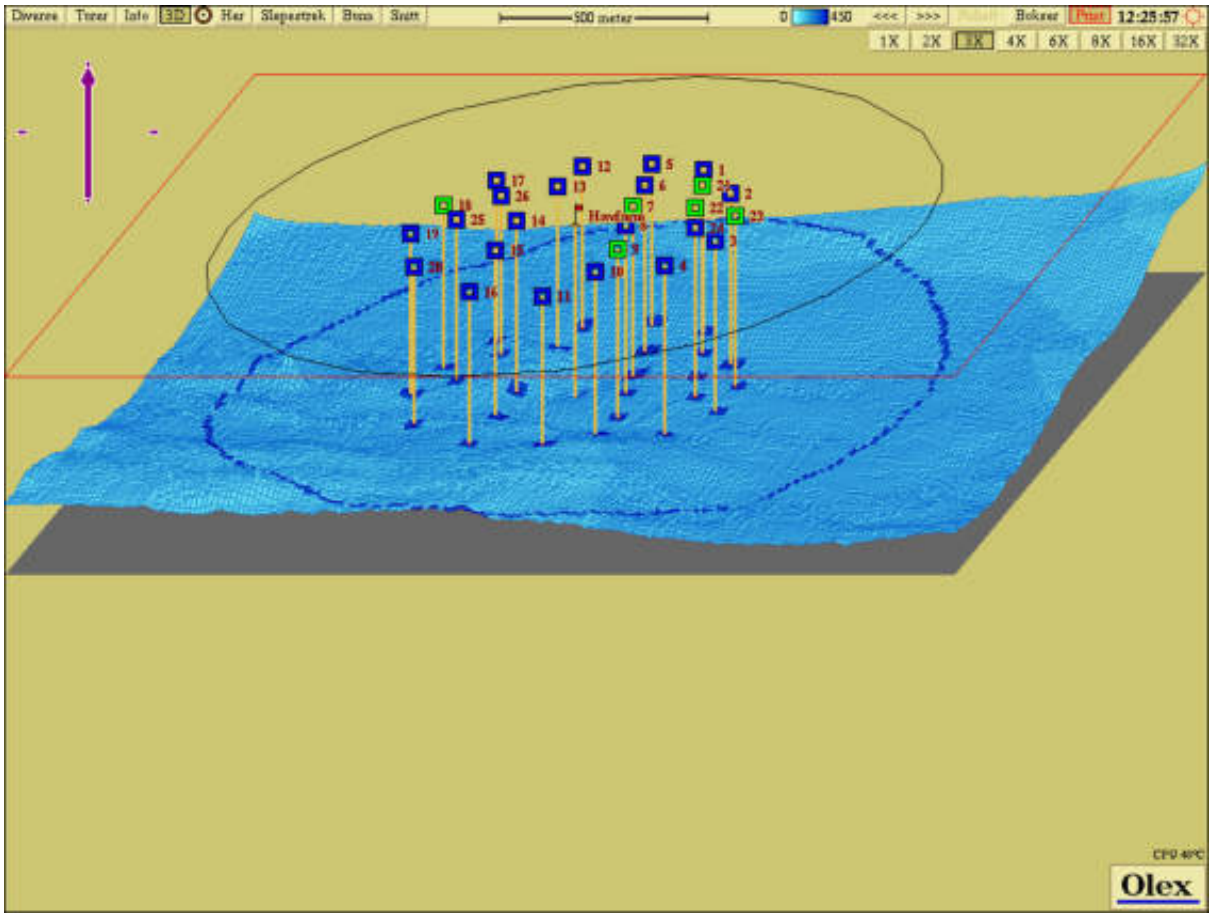
St 11		
St 12		
St 13		
St 14		
St 15		

St 16		
St 17		
St 18		
St 19		
St 20		

St 21		
St 22		
St 23		
St 24		
St 25		

St 26		

7.3 Bunntopografi og 3D visning



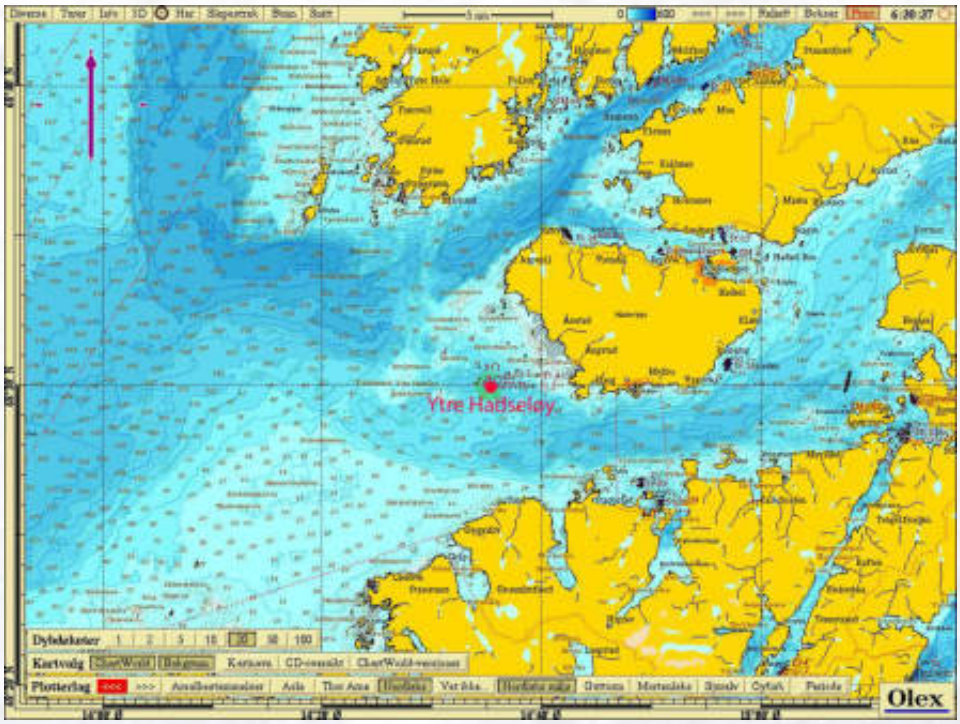
Figur 3. Visning bunntopografi 3D for lokaliteten Ytre Hadseløya, 2017. Nummererte stasjoner gjengitt i Figur 2.

Akvaplan niva

Rapport Report

Nordlaks Oppdrett AS

C-undersøkelse på oppdrettslokaliteten Ytre Hadseløya, 2017.



NORSK AKKREDITERING TEST 079

Akvaplan-niva AS Rapport: 9239.01

Akvaplan-niva AS
Rådgivning og forskning innen miljø og akvakultur
Org.nr: NO 937 375 158 MVA
Framsenteret
9296 Tromsø
Tlf: 77 75 03 00, Fax: 77 75 03 01
www.akvaplan.niva.no

Rapporttittel / Report title

Nordlaks Oppdrett AS. C-undersøkelse på oppdrettslokaliteten Ytre Hadseløya, 2017.

Forfatter(e) / Author(s)
Roger Velvin
Vera Remen
Asle Guneriussen

Akvaplan-niva rapport nr / report no
9239.01

Dato / Date
09.03.2018

Antall sider / No. of pages
15 + Vedlegg

Distribusjon / Distribution
Gjennom oppdragsgiver

Oppdragsgiver / Client
Nordlaks Oppdrett AS, 8455 Stokmarknes

Oppdragsg. referanse / Client's reference
Bjarne Johansen

Sammendrag / Summary

Resultatene fra overvåkingen ved oppdrettslokaliteten Ytre Hadseløya i 2017 viste at sedimentet på stasjonen nærmest anlegget (Ha6) fikk klasse II. De tre andre undersøkte stasjonene var belastet med organisk karbon i tilstandsklasse IV og V. Økologisk tilstandsklassifisering ga imidlertid klasse II for alle undersøkte bløtbunnsamfunn. Det ble ikke registrert forurensningsindikatorer blant topp-10 på noen av stasjonene. Oksygenmetningen i november 2017 var god i hele vannsøylen med 70 % i bunnvannet.

Ettersom klassifiseringen av stasjonen ytterst i overgangssonen (Ha7) ga tilstand II "God" skal neste C-undersøkelse utføres ved den kommende tredje produksjonssyklus (jfr. kap. 8.7 i NS 9410).

Prosjektleder / Project manager

Asle Guneriussen

Kvalitetskontroll / Quality control

Hans-Petter Mannvik

© 2018 Akvaplan-niva AS. Rapporten kan kun kopieres i sin helhet. Kopiering av deler av rapporten (tekstutsnitt, figurer, tabeller, konklusjoner, osv.) eller gjengivelse på annen måte, er kun tillatt etter skriftlig samtykke fra Akvaplan-niva AS.

INNHOLDSFORTEGNELSE

FORORD 2

1 OPPSUMMERINGSTABELL C-UNDERSØKELSE 3

2 INNLEDNING 4

2.1 Bakgrunn og formål 4
2.2 Drift og fôrforbruk 4
2.3 Tidligere undersøkelser 4

3 MATERIALE OG METODE 6

3.1 Faglig program 6
3.2 Resipientbeskrivelse og stasjonsplassering 6
3.3 Hydrografi og oksygen 7
3.3.1 Sedimentundersøkelse 7
3.3.2 Undersøkelse av bløtbunnfauna 8

4 RESULTATER 10

4.1 Hydrografi og oksygen 10
4.2 Sediment 10
4.2.1 TOM, TOC, TN, kornfordeling og pH/Eh 10
4.3 Bløtbunnfauna 11
4.3.1 Faunaindekser og økologisk tilstandsklassifisering 11
4.3.2 NS 9410 vurdering av bunndyrsamfunnet nærmest anlegget, Ha6 11
4.3.3 Geometriske klasser 12
4.3.4 Clusteranalyser 12
4.3.5 Artssammensetning 13

5 SAMMENFATTENDE VURDERINGER 14

5.1 Sammendrag 14
5.2 Konklusjon og sammenligning 14
5.2.1 Konklusjon 14
5.2.2 Sammenligning med 2016 undersøkelse 14

6 REFERANSER 15

7 VEDLEGG 16

Vedlegg 1 Bunndyrsstatistikk og artslister 16
Vedlegg 2. Analysebeviser 28
Vedlegg 3. Resultater fra tidligere rapport 31

Forord

Akvaplan-niva AS har gjennomført en miljøovervåking type C ved oppdrettslokaliteten Ytre Hadseløya. Oppdragsgiver har vært Nordlaks Oppdrett AS. Undersøkelsen inngår i selskapets miljøovervåking av mulig bunnpåvirkning fra det planlagte anlegget. Den er en utvidet C, som skal vurderes i sammenheng med resultatene fra en C undersøkelse i 2016 (Mannvik & Guneriussen, 2016).

Følgende personer har deltatt:

Asle Guneriussen	Akvaplan-niva	Prosjektleder. Planlegging.
Vera Remen	Akvaplan-niva	Feltarbeid. Rapport.
Roger Velvin	Akvaplan-niva	Identifisering bunndyr (Varia). Rapport, faglige vurderinger og fortolkninger.
Rune Palerud	Akvaplan-niva	Identifisering bunndyr (krepsdyr). Statistikk.
Thomas Hansen	Akvaplan-niva	Identifisering bunndyr (børstemark).
Jesper Hansen	Akvaplan-niva	Identifisering bunndyr (bløtdyr).
Hans-Petter Mannvik	Akvaplan-niva	Identifisering bunndyr (pigghuder). KS rapport, faglige vurderinger og fortolkninger.
Thomas Heggem	Akvaplan-niva	Sondegrafikk. Kart.
Kristine H Sperre	Akvaplan-niva	Koordinering av bunndyrsortering.
Ingar H. Wasbotten	Akvaplan-niva	Koordinering av geokjemiske analyser.

Akvaplan niva AS vil takke Nordlaks Oppdrett AS ved Bjarne Johansen for godt samarbeid.

Akkreditert virksomhet:

Undersøkelsen er utført av Akvaplan-niva AS.

NORSK AKKREDITERING TEST 079	Akvaplan-niva AS er akkreditert av Norsk Akkreditering for feltinnsamlinger av sediment og fauna, analyser av TOC, TOM, TN, kornstørrelse, makrofauna og faglig vurderinger og fortolkninger, akkrediteringsnr. TEST 079. Akkrediteringen er i hht. NS-EN ISO/IEC 17025.

Tromsø, 09.03.2018

Asle Guneriussen

Prosjektleder

1 Oppsummeringstabell C-undersøkelse

Informasjon oppdragsgiver			
Tittel :	C- undersøkelse Ytre Hadseløya, 2017.		
Rapport nr.	9239.01	Lokalitet:	Ytre Hadseløya
Lokalitet nr.	Ny	Kartkoordinater (anlegg):	68º29,993 N 14º35,288 Ø
Fylke:	Nordland	Kommune:	Hadsel
MTB-tillatelse:	Ikke omsøkt	Driftsleder:	Ikke bestemt
Oppdragsgiver:	Nordlaks Oppdrett AS		

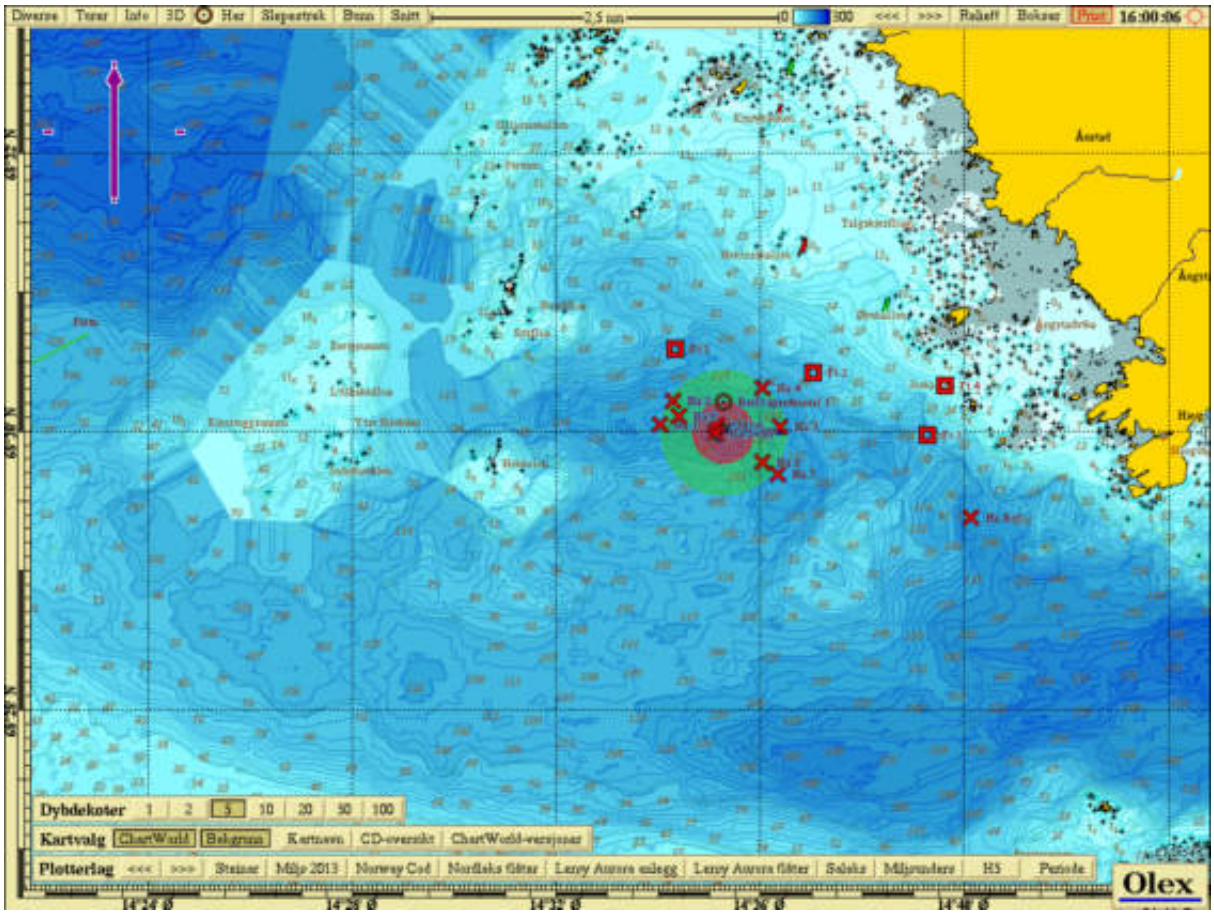
Biomasse/produksjonsstatus ved undersøkelsesdato 27.11.2017			
Fiskegruppe:	Laks	Biomasse ved undersøkelse:	0 tonn
Utfôret mengde:	0 tonn	Produsert mengde:	0 tonn
Type/tidspunkt for undersøkelse			
Maks biomasse:		Oppfølgende undersøkelse:	
Brakklegging:		Ny lokalitet:	x

Resultat fra C undersøkelse /NS 9410 (2016) - Hovedresultat bløtbunnfauna			
Faunaindeks nEQR (Veileder 02:2013)		**Økologisk tilstandsklassifisering (Veileder 02:2013)**	
Fauna Ha6	0,764	Fauna Ha6	II God
Fauna Ha7	0,700	Fauna Ha7	II God
Fauna Ha8	0,721	Fauna Ha8	II God
Fauna HaRef	0,702	Fauna HaRef	II God
Dato feltarbeid:	27.11.2017	**Dato rapport:**	09.03.2018
Merknader til andre resultater (sediment, pH/Eh, oksygen)			TOC i klasse II (Ha6), IV (Ha8), V (Ha7, HaRef). pH/Eh poeng 0 (Ha6, Ha7, Ha8), poeng1 (HaRef) O_2-forholdene var gode i hele vannsøylen.
Ansvarlig feltarbeid:	Vera Remen	Signatur:	

2 Innledning

2.1 Bakgrunn og formål

Bakgrunnen for C-undersøkelsen er at bedriften ønsker å gjennomføre en forundersøkelse for å søke om lokalitet og konsesjon for produksjon av laks i en flytende merdekonstruksjon i stål. Konstruksjonen skal ha form av et tilnærmet båtskrog som skal ligge på svai. Et oversiktskart med Ytre Hadseløya er vist i Figur 1. I kartet er et grønt sirkelareal avmerket. Dette arealet er dekkende for det planlagte arealet som vil være omfattet av oppdrettsvirksomheten.



Figur 1. Oversiktskart med utsnitt av Hadselfjorden med plassering av lokaliteten Ytre Hadseløya (grønt og rødt sirkelareal).

2.2 Drift og fôrforbruk

Det har ikke vært drift på lokaliteten.

2.3 Tidligere undersøkelser

I april og juli 2016 ble det gjennomført C-undersøkelse på lokalitet Ytre Hadseløya (Mannvik & Guneriussen 2016). Til sammen ni bløtbunnstasjoner (Ha1-Ha5) og (Fi1-Fi4) ble undersøkt. Resultatene fra denne undersøkelsen er vist i Vedlegg 3. I foreliggende undersøkelse er fire ekstra stasjoner (Ha5, Ha7. Ha8 og HaRef) undersøkt, som en utvidet C undersøkelse etter krav fra Fylkesmannen.

En oversikt over tidligere gjennomførte undersøkelse på Ytre Hadseløya er vist i Tabell 1.

Tabell 1. Tidligere gjennomførte undersøkelser ved Ytre Hadseløya.

Dato prøvetaking	Rapportnummer (Forfatter, år)	Produksjon inneværende generasjon (tonn)	Lokalitetstilstand
04.05 og 06.07.2016. Hydrografi 01.06.2016	C-undersøkelse rapport nr. 8038.01. (Mannvik & Guneriussen, 2016)	0 tonn	Varierende grad av organisk belastning av sedimenter (klasse II-V). Ingen metallbelastninger i sedimentene. God oksygenmetning i vannsøylen.

3 Materiale og metode

3.1 Faglig program

Valg av undersøkelsesparametere, stasjonsplasseringer og type innsamlingsprogram for bunnprøvetakinger og andre registreringer er gjort i henhold til NS 9410:2016. En oversikt over det faglige programmet er gitt i Tabell 2. Det er ikke analysert for kobber i sediment på noen av stasjonene.

For gjennomføring og opparbeiding er følgende standarder og kvalitetssikringssystemer benyttet:

- ISO 5667-19:2004: *Guidance on sampling of marine sediments.*
- ISO 16665:2014. *Water quality – Guidelines for quantitative sampling and sample processing of marine soft-bottom macro fauna.*
- NS 9410:2016. *Miljøovervåking av bunnpåvirkning fra marine oppdrettsanlegg.*
- Interne prosedyrer. *Kvalitetshåndbok for Akvaplan-niva.*
- Veileder 02:2013 (revidert 2015). *Klassifisering av miljøtilstand i vann*. Norsk klassifiseringssystem for vann i henhold til Vannforskriften. Veileder fra Direktoratgruppen.
- M-608/2016. Grenseverdier for klassifisering av vann, sediment og biota. Miljødirektoratet, 2016.

Tabell 2. Faglig program på stasjonene ved Ytre Hadseløya, 2017. TOM = totalt organisk materiale, TOC = total organisk karbon, N-Kjeldahl = totalt nitrogen, Korn = kornfordeling. pH/Eh = Surhetsgrad og redokspotensial. Type analyser endres eventuelt iht. gjennomført program.

Stasjon /lokalitet	Type undersøkelse
Ha6	Kvantitativ bunndyrsanalyse. TOM. TOC. Korn. N-Kjeldahl. pH/Eh.
Ha7	Kvantitativ bunndyrsanalyse. TOM. TOC. Korn. N-Kjeldahl. Hydrografi/O_2. pH/Eh.
Ha8	Kvantitativ bunndyrsanalyse. TOM. TOC. Korn. N-Kjeldahl. pH/Eh.
HaRef	Kvantitativ bunndyrsanalyse. TOM. TOC. Korn. N-Kjeldahl. pH/Eh.

Feltarbeidet ble gjennomført 27.11.2017

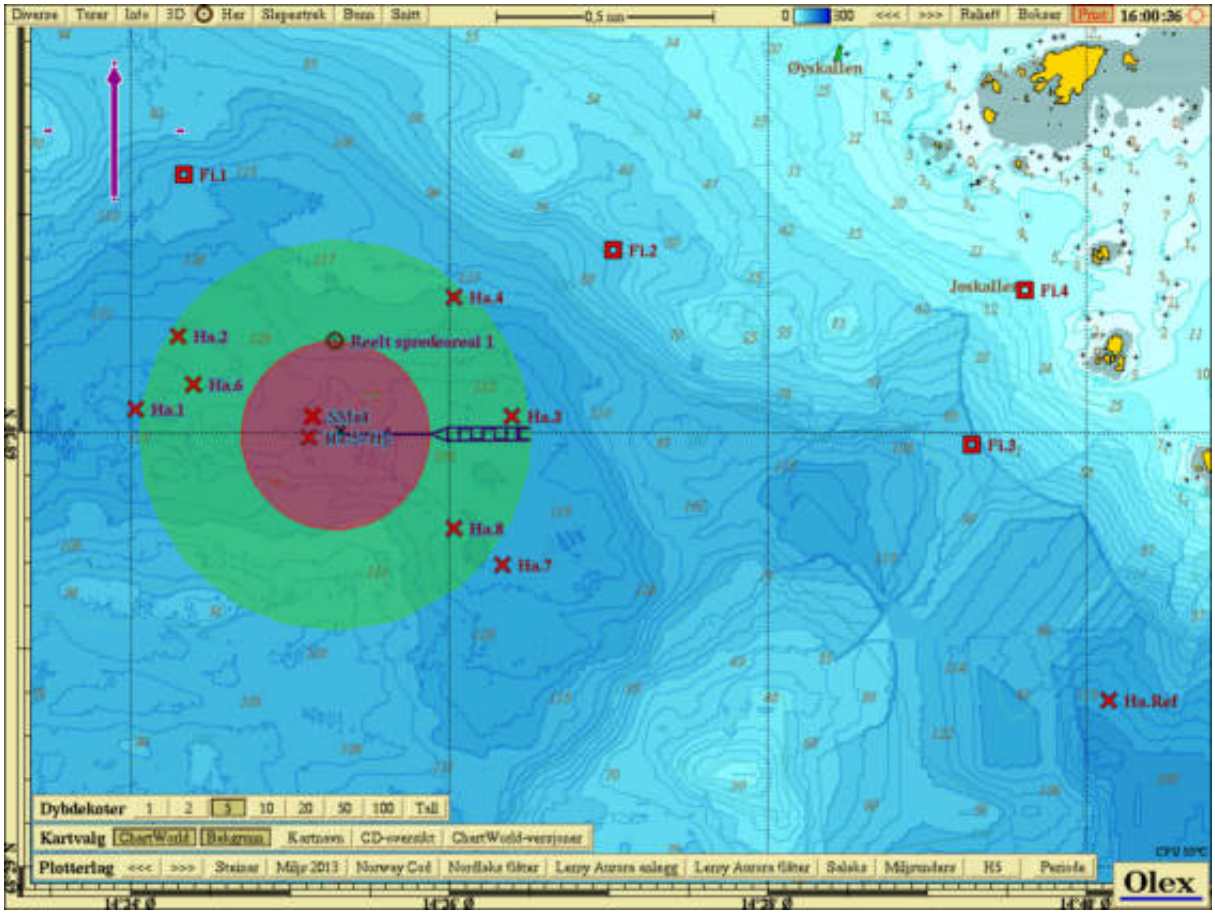
3.2 Resipientbeskrivelse og stasjonsplassering

En oversikt over stasjonsdyp og GPS-koordinater er gitt i Tabell 3. Stasjonsplasseringene er vist i Figur 2.

Lokaliteten ligger på vestsiden av Hadseløya i Hadsel kommune i Nordland. Lokaliteten er mest eksponert for vind fra vest til sørvest. Største dyp i resipienten er ca 140 m og befinner seg i området for strømmålinger merket SMx4, stasjon for hydrografiske målinger merket Ha7. Ca. 7,4 km vest for lokaliteten befinner det seg et grunnere område med en bred terskelformasjon med et største dyp på ca. 85 m ut mot Vesterålsfjorden. Mot øst er minste dyp over 100 m i Hadselfjorden. Prøvetakingsstasjonene for C-undersøkelsen i foreliggende rapport er plassert i henhold til krav fra Fylkesmannen i Nordland v/Maria Seivåg. Stasjonene har benevning Ha6, Ha7, Ha8 og Ha.Ref. Øvrige stasjoner hører inn under rapport Ytre Hadseløya 2016 nr. 8038.01 (Mannvik & Guneriussen, 2016).

Tabell 3. Stasjonsdyp og -koordinater, Ytre Hadseløya, 2017.

Stasjon	Ha.6	Ha.7	Ha.8	Ha.Ref
GPS	68°30,109 N 14°34,394 Ø	68°29,692 N 14°36,334 Ø	68°29,777 N 14°36,029 Ø	68°29,382 N 14°40,137 Ø
Dyp (m)	136	140	136	135
Avst. merd (m)	**Innenfor svaiområdet**	**Utenfor svaiområdet**	**Innenfor svaiområdet**	**Ca. 1800 m fra svaiområdet**



Figur 2. Stasjonskart, Ytre Hadseløya, 2017. Grønt areal viser svaiareal for merdekonstruksjonen. Rødt areal er reelt spredningsareal. Stasjonene Ha6, Ha7, Ha8 og Ha.Ref. er stasjoner som inngår i foreliggende rapport. Øvrige stasjoner hører inn under rapport Ytre Hadseløya 2016 nr. 8038.01 (Mannvik & Guneriussen, 2016).

3.3 Hydrografi og oksygen

På dypeste stasjon Ha7 ble det gjennomført hydrografiske registreringer for vertikalprofiler med hensyn til saltholdighet, temperatur, tetthet og oksygenmetning fra overflate til bunn. Disse ble gjennomført ved hjelp av en Sensordata CTDO 202 sonde.

3.3.1 Sedimentundersøkelse

3.3.1.1 Feltinnsamlinger

Prøvene ble hentet med en 0,1 m^2 bunngrabb (van Veen). Prøvematerialet ble tatt ut gjennom inspeksjonsluker etter at sedimentoverflaten var godkjent. Prøver for TOC, TOM, TN og Cu ble tatt av fra øverste 1 cm av sedimentet, og for kornfordelingsanalyser fra de øverste 5 cm ved hjelp av rør. Kun prøver med uforstyrret overflate ble godkjent, og prøvematerialet ble frosset for videre bearbeidelse i laboratorium.

3.3.1.2 Total organisk materiale (TOM)

Mengden av TOM i sediment ble bestemt ved vekttap etter forbrenning ved 495 °C. Vekttapet i prosent etter forbrenning ble beregnet. Reproduserbarheten av TOM-analysene er sjekket i opparbeidingsperioden ved å bruke et husstandardsediment som inneholder TOM med kjent nivå. Standard kalsiumkarbonat ble brent sammen med prøvene som kontroll på at karbonat ikke ble forbrent i prosessen.

3.3.1.3 Total nitrogen (TN) - Kjeldahl nitrogenbestemmelse

Sedimentene blir mineralisert ved 420 °C med svovelsyre og bruk av katalysatorer. Natriumhydroksid tilsettes i overskudd for å mineralisere prøvene. Deretter destilleres prøven og kondensatet går inn i en løsning med svovelsyre. Innholdet av organisk bundet nitrogen og ammoniakk/ammonium i prøven kvantifiseres spektrofotometrisk vha. en metode basert på reaksjonen mellom ammoniumioner, natriumsalicylat og trinatriumcitrat.

3.3.1.4 Total organisk karbon (TOC) og kornfordeling

Andelen finstoff, dvs. fraksjonen mindre enn 63 µm, ble bestemt gravimetrisk etter våtsikting av prøvene. Resultatene er angitt som andel finstoff på tørrvektbasis.

Etter tørking ble innhold av total organisk karbon (TOC) bestemt ved IR deteksjon (LECO IR 212) etter behandling med konsentrert saltsyre (HCl) og katalytisk forbrenning ved 480 °C. For å kunne klassifisere miljøtilstanden basert på innhold av TOC, er de målte konsentrasjonene normalisert for andel finstoff (nTOC) ved bruk av ligningen: nTOC = TOC + 18(1 – F), hvor TOC og F står for henholdsvis målt TOC verdi og andel finstoff (%) i prøven (Aure *m.fl.,* 1993).

Klassifisering av miljøtilstanden for sedimentene er basert på normalisert TOC, og ble gjennomført i henhold til Veileder 02:2013 (revidert 2015).

Tilstandsklassifisering for organisk innhold i marine sediment.

nTOC, mg/g	< 20 I Svært god	20 - 27 II God	27 - 34 III Moderat	34 - 41 IV Dårlig	> 41 V Svært dårlig

3.3.1.5 Redoks- og pH målinger

På alle stasjoner ble det utført en kvantitativ kjemisk undersøkelse av sedimentet. Surhetsgrad (pH) og redokspotensial (Eh) ble målt ved hjelp av elektroder og instrumentet YSI Professional Plus.

3.3.2 Undersøkelse av bløtbunnfauna

3.3.2.1 Om organisk påvirkning av bunndyrssamfunn

Utslipp av organisk materiale fra oppdrettsanlegg kan bidra til forringede livsvilkår for mange av de bunnlevende organismene. Negative effekter i bunndyrsamfunnet kan best vurderes gjennom kvantitative bunndyranalyser. Fordi de fleste bløtbunnartene er lite mobile, vil faunasammensetningen i stor grad gjenspeile de stedsegnede miljøforholdene. Endringer i bunndyrssamfunnene er god indikasjon på uønskede belastninger. Under naturlige forhold består samfunnene av mange arter. Høyt artsmangfold (diversitet) er blant annet betinget av gunstige forhold for faunaen. Likevel kan eksempelvis moderate økninger i organisk belastning stimulere faunaen og eventuelt øke artsmangfoldet noe. Større belastning gir dårligere forhold der opportunistiske arter øker sine individtall, mens ømfintlige slås ut. Dette betyr redusert artsmangfold. Endringer i artsmangfold i nærheten av utslippspunkt kan i stor grad knyttes til endringer av organisk innhold (fôr og fekalier) i sedimentet.

3.3.2.2 Innsamling og fiksering

Alle bunndyrprøvene ble tatt med en 0,1 m^2 van Veen grabb. Kun grabbskudd hvor grabben var fullstendig lukket og overflaten uforstyrret ble godkjent. Etter godkjenning ble innholdet

vasket i en 1 mm sikt og gjenværende materiale fiksert med 4 % formalin tilsatt fargestoffet bengalrosa og nøytralisert med boraks. På laboratoriet ble dyrene sortert ut fra gjenværende sediment.

3.3.2.3 Kvantitative bunndyrsanalyser

På alle stasjonene ble det innsamlet to prøver (replikater) iht. retningslinjene i NS 9410 (2016). Sortert materiale ble opparbeidet kvantitativt. Bunndyrene ble identifisert til fortrinnsvis artsnivå eller annet hensiktsmessig taksonomisk nivå og kvantifisert av spesialister (taksonomer). De kvantitative artslistene inngikk i statistiske analyser. Se Vedlegg 1 for beskrivelse av analysemetoder. For å klassifisere miljøtilstanden er Direktoratgruppens veileder 02:2013 (revidert 2015) benyttet. Følgende statistiske metoder ble benyttet for å beskrive samfunnenes struktur og for å vurdere likheten mellom ulike samfunn:

- Shannon-Wiener diversitetsindeks (H')
- Hurlberts diversitetsindeks (ES_{100}) - forventet antall arter pr. 100 individer
- Pielou's jevnhetsindeks (J)
- Ømfintlighetsindeks (ISI_{2012}), uegnet ved lavt individ/artstall
- Indeks for individtetthet (DI), benyttes ved lavt individtall
- Sensitivitetsindeks (NSI)
- Sammensatt indeks for artsmangfold og ømfintlighet (NQI1)
- Ømfintlighetsindeks som inngår i NQI1 (AMBI)
- Normalisert EQR (nEQR)
- Antall arter plottet mot antall individer i geometriske artsklasser
- Clusteranalyser
- De ti mest dominerende taksa pr. stasjon (topp-ti)

Indeksene er beregnet som snitt av to replikater.

Økologisk tilstandsklassifisering basert på observert verdi av indeks (fra Veileder 02:2013 rev. 2015).

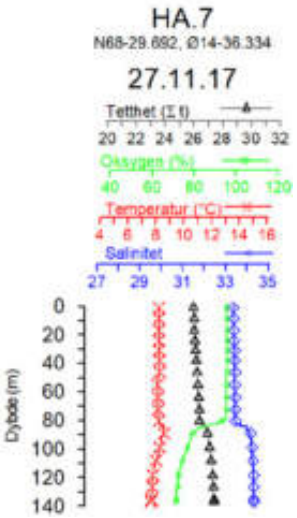
Indeks	I Svært god	II God	III Moderat	IV Dårlig	V Svært dårlig
NQI1	0.9 - 0.82	0,82 - 0.63	0.63 - 0.49	0.49 - 0.31	0.31 - 0
H´	5.7 - 4.8	4.8 - 3.0	3.0 - 1.9	1.9 - 0.9	0.9 - 0
ES_{100}	50 - 34	34 - 17	17 - 10	10 - 5	5 - 0
ISI_{2012}	13 - 9.6	9.6 - 7.5	7.5 - 6.2	6.1 - 4.5	4.5 - 0
NSI	31 - 25	25 - 20	20 - 15	15 - 10	10 - 0
DI	0 - 0,30	0,30 - 0,44	0,44 - 0,60	0,60 - 0,85	0,85 - 2,05
nEQR	1,0 – 0,8	0,8 – 0,6	0,6 – 0,4	0,4 – 0,2	0,2 – 0,0

4 Resultater

4.1 Hydrografi og oksygen

Vertikalprofilene for temperatur, salinitet, tetthet og oksygenmetning ved Ytre Hadseløya i november 2017 er vist i Figur 3.

Det ble registrert et sprangsjikt på 90 meters dyp. Over sprangsjiktet lå temperaturen jevnt på 8°C. Under sank den ned til 7°C ved bunnen. Saliniteten var i overkant av 33 over sjiktet og steg derfra til nærmere 35 over bunnen. Oksygenmetningen lå jevnt i underkant av 100 % ned til sprangsjiktet og sank herfra til 70 % ved bunnen.



Figur 3. Vertikalprofiler. Temperatur, saltholdighet, tetthet og oksygen på stasjonene ved Ytre Hadseløya, 2017.

4.2 Sediment

4.2.1 TOM, TOC, TN, kornfordeling og pH/Eh

Nivåer av total organisk materiale (TOM), total organisk karbon (TOC), total nitrogen (TN), C/N forholdet, kornfordeling og pH/Eh i sedimentene er presentert i Tabell 4.

TOM-nivåene varierte fra 4,6 % på Ha6 og 13,0 % på HaRef. TN-nivåene var lave (0,99 – 5,2 mg/g). Det samme var C/N-forholdene (8,0 - 11,9). TOC var lett forhøyet i tilstandsklasse II "God" på stasjon Ha6 og tydelig forhøyet på de andre stasjonene. Ha8 lå i tilstandsklasse IV "Dårlig", mens Ha7 og HaRef lå i klasse V "Svært dårlig". Sedimentene var moderat grov- til moderat finkornet med pelittandeler mellom 27 og 57 %.

Redoksmålingene (pH/Eh) ga poeng 0 (Ha6, Ha7 og Ha8) og 1 på HaRef iht. Tillegg D i NS 9410:2016.

Tabell 4. Sedimentbeskrivelse, TOM (%), TOC(mg/g), TN (mg/g), C/N, kornfordeling (pelittandel % <0,063 mm) og pH/Eh. Ytre Hadseløya, 2017.

St.	Sedimentbeskrivelse	TOM	TOC	nTOC*	Tilst.kl.*	TN	C/N	Pelitt	pH/Eh
Ha6	Myk brun og siltig overflate. Noe skjellsand etter sikting. Noe avvikende lukt (H_2S)	4,6	11,8	25,0	II God	0,99	11,9	26,8	7,6/141
Ha7	Myk brun, siltig og forstyrret.overflate. Mer kompakt leire under. Noe skjellsand etter sikting. Sterk avvikende lukt (H_2S).	10,2	37,8	45,9	V Svært dårlig	4,80	8,0	55,3	7,6/124
Ha8	Myk brun og siltig overflate. Noe skjellsand etter sikting. Sterk avvikende lukt (H_2S).	6,9	25,9	37,1	IV Dårlig	3,10	8,3	38,1	7,6/134
HaRef	Myk brun, siltig forstyrret overflate. Noe skjellsand og grus etter sikting. Noe avvikende lukt (H_2S).	13,0	43,4	51,5	V Svært dårlig	5,20	8,3	57,1	7,7/70

** Tilstandsklassifisering (Veileder 02:203 rev. 2015) basert på TOC forutsetter at konsentrasjonen av TOC i sedimentet standardiseres for teoretisk 100% finstoff (pelitt < 0.063 mm) iht. til formelen: Normalisert TOC = målt TOC + 18 x (1-F), hvor F er andel av finstoff (Aure* m.fl.*, 1993).*

4.3 Bløtbunnfauna

4.3.1 Faunaindekser og økologisk tilstandsklassifisering

Resultatene fra de kvantitative bunndyrsanalysene er presentert i Tabell 5. Faunaindeksen nEQR i tabellen er presentert uten tetthetsindeksen DI etter anbefaling fra Miljødirektoratet.

Antall individ varierte fra 931 (Ha7) til 1612 (Ha8) og antall arter fra 67 (Ha7) til 94 (Ha6). På Ha6 og Ha7 viste de fleste faunaindeksene, inklusiv nEQR, økologisk tilstandsklasse II "God". ISI_{2012} ga klasse I "Svært god". På de to andre stasjonene viste alle indeksene klasse II "God".

J (Pielous jevnhetsindeks) er et mål på hvor likt individene er fordelt mellom artene, og vil variere mellom 0 og 1. En stasjon med lav verdi har en "skjev" individfordeling mellom artene, og indikerer at bunndyrssamfunnet er forstyrret. Individfordelingen var relativ jevn på alle stasjonene med indekser mellom 0,69 og 0,72.

Tabell 5. Antall arter og individer pr. 0,2 m^2, H´ = Shannon-Wieners diversitetsindeks. ES_{100} = Hurlberts diversitetsindeks. NQI1 = sammensatt indeks (diversitet og ømfintlighet). ISI_{2012} = ømfintlighetsindeks. NSI = sensitivitetsindeks. J = Pielous jevnhetsindeks. AMBI = ømfintlighetsindeks (inngår i NQI1). nEQR = normalisert EQR (ekskl. DI). DI = tetthetsindeks. Ytre Hadseløya, 2017. Økologisk tilstandsklassifisering basert på observert verdi av indeks (snitt av to replikater) iht. Veileder 02:2013.

St.	Ant. ind.	Ant. arter	H´	ES_{100}	NQI1	ISI_{2012}	NSI	nEQR	DI	AMBI	J
Ha6	1446	94	4,27	26,8	0,79	9,74	24,70	0,764	0,80	1,757	0,70
Ha7	931	67	3,95	25,4	0,69	9,95	20,42	0,700	0,61	2,891	0,70
Ha8	1612	79	4,03	25,1	0,74	9,47	22,35	0,721	0,86	2,161	0,69
HaRef	743	76	3,99	27,9	0,69	9,27	20,93	0,702	0,47	2,929	0,72

I Svært god	II God	III Moderat	IV Dårlig	V Svært dårlig

4.3.2 NS 9410 vurdering av bunndyrsamfunnet nærmest anlegget, Ha6

I følge NS 9410 kan klassifisering av miljøtilstanden i anleggssonen baseres på antallet arter vurdert mot dominansforhold i bunndyrsamfunnet (se kap. 8.6.2. i NS 9410:2016). Tabell 6 viser antall arter, kumulativ prosent for dominerende taksa og klassifisering av miljøtilstanden for bløtbunnsamfunnet på innerste stasjonen Ha6.

Bløtbunnsamfunnet ble klassifisert til miljøtilstand 1 "Meget god". Kriteriet for tilstand 1 er tilstedeværelse av minst 20 arter/0,2 m^2 og at ingen av disse utgjør mer enn 65 % av individene. Data for antall arter og dominerende taksa på anleggssonestasjonene er hentet fra Tabell 5 og Tabell 7.

Tabell 6. NS 9410:2016. Klassifisering av miljøtilstand i bløtbunnsamfunnene på innerste stasjon Ha6, Ytre Hadseløya, 2017.

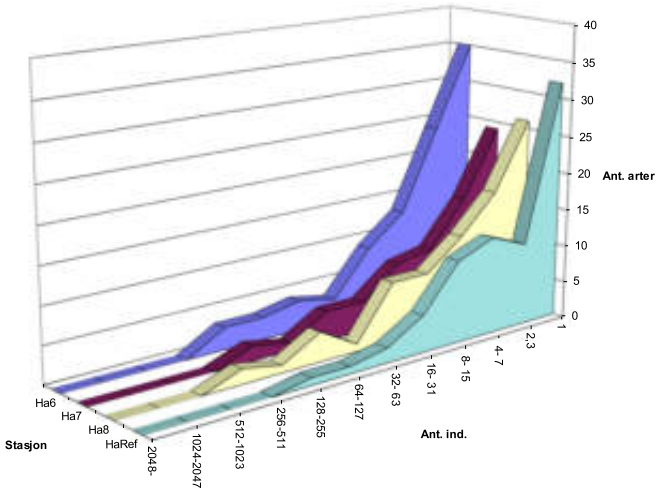
Stasjon	Lokalitet	Ant. arter	Dominerende taksa -%	Miljøtilstand-NS 9410
Ha6	Ytre Hadseløya	94	Owenia sp. -17 %	1 Meget god

4.3.3 Geometriske klasser

Figur 4 viser antall arter plottet mot antall individer, der antallet individer er delt inn i geometriske klasser.

Det vises til Vedlegg 1 for en forklaring av begrepet geometriske klasser og beskrivelse av metoden. Bakgrunnen for analysen er at et upåvirket samfunn består av mange arter med lavt individtall, slik at kurven starter høyt på y-aksen. Et forstyrret samfunn har færre arter og noen få av dem svært tallrike, slik at kurven flater ut og strekker seg mot høyere klasser.

Alle kurvene hadde naturlig høye startpunkter og ingen av dem strakk seg nevneverdig langt ut mot høyere klasser. Ingen av kurveforløpene ga indikasjoner på faunaforstyrrelse.

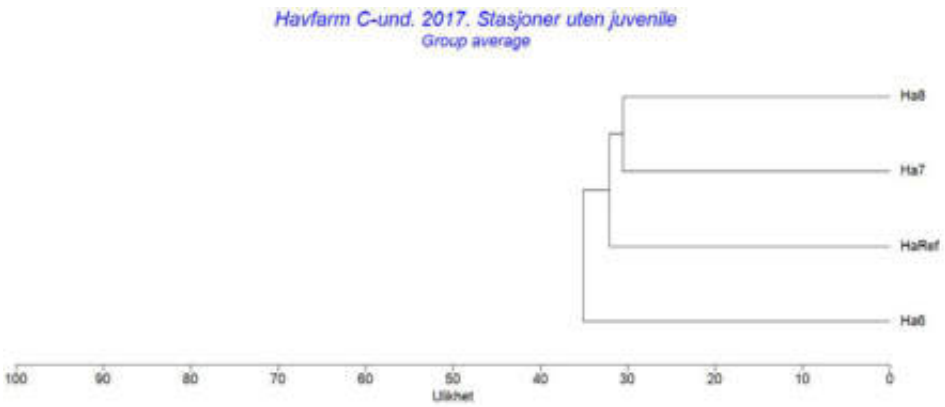


Figur 4. Bløtbunnfauna vist som antall arter mot antall individer pr. art i geometriske klasser for bunndyrsstasjonene ved Ytre Hadseløya, 2017 (pr. 0,2 m^2).

4.3.4 Clusteranalyser

For å undersøke likheten i faunasammensetning mellom stasjonene ble den multivariate teknikken clusteranalyse benyttet (se metodebeskrivelse i Vedlegg 1). Resultatene fra denne er presentert i dendrogram i Figur 5. I dendrogrammet er graden av ulikhet mellom stasjonene uttrykt langs den horisontale aksen. To stasjoner med identisk arts- og individfordeling vil få 0 (0 %) ulikhet, mens to stasjoner uten like arter, vil få 100 (100 %) ulikhet. Metoden gjør det dermed mulig å identifisere grupper av stasjoner med like arts- og individforhold. I tillegg gjør den det lettere å synliggjøre eventuelle avvik som for eksempel kan knyttes til antropogene påvirkninger av bunndyrssamfunnet.

Faunasammensetningen var mer enn 65 % lik på stasjonene i undersøkelsen.



Figur 5. Stasjonsvis clusterplott for bløtbunnfaunaen ved Ytre Hadseløya, 2017.

4.3.5 Artssammensetning

Hovedtrekkene i artssammensetningen er vist i form av en "topp ti" artsliste fra hver stasjon i Tabell 7. I Rygg og Norling (2013) inndeles artene i fem økologiske grupper (Ecological groups; EG) basert på verdien av sensitivitetsindeksene. Disse gruppene går fra sensitive arter (gruppe I) til forurensningsindikatorer (pollution indicator species; gruppe V).

På Ha6 lå den nøytrale børstemarken *Owenia* sp. øverst med 17 % av individene. Ellers var det flest sensitive taksa blant de med kjent økologisk gruppering, men også to opportunister og en tolerant art. Det var ikke forurensingsindikatorer på topp-ti listen.

På Ha7, Ha8 og HaRef dominerte den opportunistiske børstemarken *Pseudopolydora paucibranchiata* med hhv. 25, 19 og 28 %. Det var mange andre opportunister blant topp-ti, men også tolerante og nøytrale arter, men ingen forurensningsindikatorer på stasjonene. På de to sistnevnte stasjonene ble det registrert forekomster av sensitive arter.

Tabell 7. Antall individer, kumulativ prosent og økologisk gruppe for de ti mest dominerende artene på stasjonene. Ytre Hadseløya, 2017.*

Ha6	Ant.	Kum.	EG	Ha7	Ant.	Kum.	EG
Owenia sp.	240	17 %	II	Pseudopolydora paucibranchiata	233	25 %	IV
Nothria hyperborea	222	32 %	ik	Galathowenia oculata	179	44 %	III
Myriochele olgae	196	45 %	ik	Maldane sarsi	71	52 %	IV
Galathowenia fragilis	114	53 %	I	Myriochele olgae	61	58 %	ik
Pseudopolydora paucibranchiata	89	59 %	IV	Owenia sp.	41	63 %	II
Galathowenia oculata	88	65 %	III	Praxillella praetermissa	40	67 %	II
Heteromastus filiformis	56	69 %	IV	Heteromastus filiformis	38	71 %	IV
Glyphanostomum pallescens	48	73 %	ik	Thyasira sarsii	27	74 %	IV
Chone sp.	43	76 %	I	Lumbrineris mixochaeta	22	76 %	IV
Streblosoma intestinale	38	78 %	I	Spiophanes kroyeri	18	78 %	III
Ha8	**Ant.**	**Kum.**	**EG**	**HaRef**	**Ant.**	**Kum.**	**EG**
Pseudopolydora paucibranchiata	303	19 %	IV	Pseudopolydora paucibranchiata	209	28 %	IV
Owenia sp.	287	37 %	II	Spiophanes kroyeri	109	42 %	III
Myriochele olgae	214	50 %	ik	Galathowenia oculata	42	48 %	III
Nothria hyperborea	127	58 %	ik	Chirimia biceps	36	53 %	II
Galathowenia oculata	91	63 %	III	Heteromastus filiformis	22	56 %	IV
Heteromastus filiformis	73	68 %	IV	Glyphanostomum pallescens	21	58 %	ik
Galathowenia fragilis	66	72 %	I	Owenia sp.	19	61 %	II
Maldane sarsi	55	75 %	IV	Rhodine gracilior	19	63 %	I
Maldanidae indet.	29	77 %	II	Thyasira sarsii	19	66 %	IV
Streblosoma intestinale	26	79 %	I	Maldane sarsi	15	68 %	IV

*Økologiske grupper: EG I = sensitive arter. EG II = nøytrale arter. EG III = tolerante arter. EG IV = opportunistiske arter. EG V = forurensningsindikatorer (pollution indicator species). Fra Rygg og Norling, 2013. Ik = ikke kjent gruppe.

5 Sammenfattende vurderinger

5.1 Sammendrag

Resultatene fra miljøovervåkingen (type C) ved Ytre Hadseløya, 2017, kan sammenholdes som følger:

- Det ble ikke registrert oksygenkritiske forhold i vannsøylen på dypeste stasjon Ha7. Oksygenmetningen i bunnvannet var 70 % i november 2017.
- TOM-nivåene varierte fra 4,6 % på Ha6 og 13,0 % på HaRef. TN-nivåene var lave. Det samme var C/N-forholdene. TOC var lett forhøyet i tilstandsklasse II "God" på stasjon Ha6 og tydelig forhøyet på de andre stasjonene. Ha8 lå i tilstandsklasse IV "Dårlig", mens Ha7 og HaRef lå i klasse V "Svært dårlig". Sedimentene var moderat grov- til moderat finkornet med pelittandeler mellom 27 og 57 %.
- Klassifisering av økologisk tilstand, basert på faunaindeksene i veileder 02:2013, viste klasse II "God" for alle undersøkte bløtbunnsamfunn. NS 9410:2016-vurdering av samfunnet nærmest anlegget viste miljøtilstand 1 (Meget god). Det ble ikke registrert forurensningsindikatorer blant topp-10 på noen av stasjonene.

5.2 Konklusjon og sammenligning

5.2.1 Konklusjon

Resultatene fra overvåkingen ved oppdrettslokaliteten Ytre Hadseløya i 2017 viste at sedimentet på stasjonen nærmest anlegget (Ha6) fikk klasse II. De tre andre undersøkte stasjonene var belastet med organisk karbon i tilstandsklasse IV og V. Økologisk tilstandsklassifisering ga imidlertid klasse II for alle undersøkte bløtbunnsamfunn. Det ble ikke registrert forurensningsindikatorer blant topp-10 på noen av stasjonene. Oksygenmetningen i november 2017 var god i hele vannsøylen med 70 % i bunnvannet.

Ettersom klassifiseringen av stasjonen ytterst i overgangssonen (Ha7) ga tilstand II "God" skal neste C-undersøkelse utføres ved den kommende tredje produksjonssyklus (jfr. kap. 8.7 i NS 9410).

5.2.2 Sammenligning med 2016 undersøkelse

I 2016 ble det gjennomført C-undersøkelse på lokalitet Ytre Hadseløya, som da ble kalt Ytre Hadseløya (Mannvik & Guneriussen, 2016). Her ble det undersøkt ni bløtbunnstasjoner (Ha1-Ha5) og (Fi1-Fi4), og resultatene er vist i Vedlegg 3. De fire nye stasjonene (Ha5, Ha7. Ha8 og HaRef) i foreliggende undersøkelse har andre koordinater og dyp, men ligger i samme resipient for Ytre Hadseløya som i 2016.

Resultatene fra 2016 viste at oksygenforholdene var gode i hele vannsøylen. TOC-nivået var lett forhøyet (tilstandsklasse II) på Fi4, som lå lengst unna anleggslokaliseringen (se stasjonskart i Vedlegg 3). Der var sedimentet var meget grovt. Sediment- og fauna-sammensetningen på denne stasjonen skilte seg tydelig fra de andre stasjonene i undersøkelsen. På de andre stasjonene var TOC-nivået i sedimentene forhøyet og mest på stasjonene Ha2, Ha3 og Ha4 (klasse V). Det ble ikke funnet entydige tegn på faunaforstyrrelser på stasjonene, klasse I og II. Relativt rike forekomster av opportunistiske arter på stasjon Ha3, Ha5 og Fi1 kan imidlertid indikere at bunndyrsamfunnet var noe preget av god tilgang på organisk materiale.

En sammenligning med dagens resultater viste at miljøforholdene i resipienten for lokaliteten i grove trekk var de samme. Den organiske belastningen i anleggsområdet var tydelig, med TOC i klasse IV og V på tre av fire stasjoner. Økologisk tilstandsklassifisering viste klasse II for bløtbunnsamfunnene, som for de aller fleste stasjonene i 2016.

6 Referanser

Aure, J., Dahl, E., Green, N., Magnusson. J., Moy, F., Pedersen, A., Rygg, B & Walday, M., 1993. Langtidsovervåking av trofiutviklingen i kystvannet langs Sør-Norge. Årsrapport 1990 og samlerapport 1990-91. Statlig program for forurensningsovervåking. *Rapport 510/93.*

Direktoratgruppen, 2013. Klassifisering av miljøtilstand i vann. Veileder 02:2013 (rev. 2015). 263 s.

ISO 5667-19:2004. Guidance on sampling of marine sediments.

ISO 16665:2014. Water quality – Guidelines for quantitative sampling and sample processing of marine soft-bottom macrofauna.

Mannvik, H-P. & A. Guneriussen, 2016. Nordlaks AS. Miljøundersøkelse Ytre Hadseløya, 2016. *Akvaplan-niva rapport 8038.01*

Miljødirektoratet, 2016. Grenseverdier for klassifisering av vann, sediment og biota. M-608/2016. 24 s.

NS 9410:2016. Norsk standard for miljøovervåking av bunnpåvirkning fra marine akvakulturanlegg.

Rygg, B. & K. Norling, 2013. Norwegian Sensitive Index (NSI) for marine macroinvertebrates, and an update of Indicator Species Index (ISI). NIVA report SNO 6475-2013. 48 p.

7 Vedlegg

Vedlegg 1 Bunndyrsstatistikk og artslister

Diversitetsmål

Diversitet er et begrep som uttrykker mangfoldet i dyre- og plantesamfunnet på en lokalitet. Det finnes en rekke ulike mål for diversitet. Noen tar mest hensyn til artsrikheten (mål for artsrikheten), andre legger mer vekt på individfordelingen mellom artene (mål for jevnhet og dominans). Ulike mål uttrykker derved forskjellige sider ved dyresamfunnet. Diversitetsmål er "klassiske" i forurensningsundersøkelser fordi miljøforstyrrelser typisk påvirker samfunnets sammensetning. Svakheten ved diversitetsmålene er at de ikke alltid fanger opp endringer i samfunnsstrukturen. Dersom en art blir erstattet med like mange individer av en ny art, vil ikke det gjøre noe utslag på diversitetsindeksene.

Shannon-Wieners indeks (Shannon & Weaver, 1949) er gitt ved formelen:

$$H' = -\sum_{i=1}^{s} \frac{n_i}{N} \log_2 \left(\frac{n_i}{N} \right)$$

der n_i = antall individer av art i i prøven
N = total antall individer
s = antall arter

Indeksen tar hensyn både til antall arter og mengdefordelingen mellom artene, men det synes som indeksen er mest følsom for individfordelingen. En lav verdi indikerer et artsfattig samfunn og/eller et samfunn som er dominert av en eller få arter. En høy verdi indikerer et artsrikt samfunn.

Pielous mål for jevnhet (Pielou, 1966)

har følgende formel, der symbolene er som i Shannon-Wieners indeks

$$J = \frac{H'}{\log_2 s}$$

Hurlberts diversitetskurver

Grafisk kan diversiteten uttrykkes i form av antall arter som funksjon av antall individer. Med utgangspunkt i total antall arter og individer i en prøve søker man å beregne hvor mange arter man ville vente å finne i delprøver med færre individer. Diversitetsmålet blir derved uavhengig av prøvestørrelsen og gjør at lokaliteter med ulik individtetthet kan sammenlignes direkte. Hurlbert (1971) har gitt en metode for å beregne slike diversitetskurver basert på sannsynlighetsberegning.

ES_n er forventet antall arter i en delprøve på n tilfeldig valgte individer fra en prøve som inneholder total N individer og s arter og har følgende formel:

$$ES_n = \sum_{i=1}^{s} \left[1 - \frac{\binom{N-N_i}{n}}{\binom{N}{n}} \right]$$

der N = total antall individ i prøven
N_i = antall individ av art i
n = antall individ i en gitt delprøve (av de N)
s = total antall arter i prøven

Plott av antall arter i forhold til antall individer

Artene deles inn i grupper/klasser etter hvor mange individer som er registrert i en prøve. Det vanlige er å sette klasse I = 1 individ pr. art, klasse II = 2-3 individer, klasse III = 4-7 individer, klasse IV = 8-15 individer, osv., slik at de nedre klassegrensene danner en følge av ledd på formen 2^x, x=0,1,2, … En slik følge kalles en geometrisk følge, derfor kalles klassene for geometriske klasser. Hvis antall arter innenfor hver klasse plottes mot klasseverdien på en lineær skala, vil det fremkomme en kurve som uttrykker individfordelingen mellom artene i samfunnet. Det har vist seg at i prøver fra upåvirkede samfunn vil det være mange arter med lavt individantall og få arter med høyt individantall, slik at vi får en entoppet, asymmetrisk kurve med lang "hale" mot høye klasseverdier. Denne kurven vil være godt tilpasset en log-normal fordelingskurve.

Ved moderat forurensing forsvinner en del av de individfattige artene, mens noen som blir begunstiget, øker i antall. Slik flater kurven ut, og strekker seg mot høyere klasser eller den får ekstra topper. Under slike forhold mister kurven enhver likhet med den statistiske log-normalfordelingen. Derfor kan avvik fra log-normalfordelingen tolkes som et resultat av en påvirkning/forurensing. Det har vist seg at denne metoden tidlig gir utslag ved miljøforstyrrelse. Ved sterk forurensning blir det bare noen få, men ofte svært tallrike arter tilbake. Log-normalfordelingskurven vil da ofte gjenoppstå, men med en lavere topp og spredt over flere klasser enn for uforstyrrede samfunn.

Faunaens fordelingsmønster

Variasjoner i faunaens fordelingsmønster over området beskrives ved å sammenligne tettheten av artene på hver stasjon. Til dette brukes multivariate klassifikasjons- og ordinasjons-analyser (Cluster og MDS).

Analysene i denne undersøkelsen ble utført ved hjelp av programpakken PRIMER v5. Inngangsdata er individantall pr. art, pr. prøve. Prøvene kan være replikater eller stasjoner. Det tas ikke hensyn til hvilke arter som opptrer. Forut for klassifikasjons- og ordinasjonsanalysene ble artslistene dobbelt kvadratrot-transformert. Dette ble gjort for å redusere avviket mellom høye og lave tetthetsverdier og dermed redusere eventuelle effekter av tallmessig dominans hos noen få arter i datasettet.

Clusteranalyse

Analysen undersøker faunalikheten mellom prøver. For å sammenligne to prøver ble Bray-Curtis ulikhetsindeks benyttet (Bray & Curtis, 1957):

$$d_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^{n} \left| X_{ki} - X_{kj} \right|}{\sum_{k=1}^{n} (X_{ki} + X_{kj})}$$

der n = antall arter sammenlignet
X_{ki} = antall individ av art k i prøve nr. i
X_{kj} = antall individ av art k i prøve nr. j

Indeksen avtar med økende likhet. Vi får verdien 1 hvis prøvene er helt ulike, dvs. ikke har noen felles arter. Identiske arts- og individtall vil gi verdien 0. Prøver blir gruppert sammen etter graden av likhet ved å bruke "group-average linkage". Forholdsvis like prøver danner en gruppe (cluster). Resultatet presenteres i et trediagram (dendrogram).

Ømfintlighet (AMBI, ISI og NSI)

Ømfintligheten bestemmes ved indeksene ISI og AMBI. Beregning av ISI er beskrevet av Rygg (2002). Sensitivitetsindeksen AMBI (Azti Marin Biotic Index) tilordner en ømfintlighetsklasse (økologisk gruppe, EG): EG-1: sensitive arter, EG-II: indifferente arter, EG-III: tolerante arter, EG-IV: opportunistiske arter, EG-V: forurensningsindikerende arter. Sammensetningen av makroevertebratsamfunnet i form av andelen av økologiske grupper indikerer omfanget av en forurensningspåvirkning.

NSI er en sensitivitetsindeks som ligner AMBI, men er utviklet med basis i norske faunadata og ved bruk av en objektiv statistisk metode. En prøves NSI verdi beregnes ved gjennomsnittet av sensitivitetsverdiene av alle individene i prøven.

Sammensatte indekser (NQI1 og NQI2)

Sammensatte indekser NQI1 og NQI2 bestemmes både ut fra artsmangfold og ømfintlighet. NQI1 er brukt i NEAGIG (den nordøst-atlantiske interkalibreringen). De fleste land bruker nå sammensatte indekser av samme type som NQI1 og NQI2.

NQI1 indeksen er beskrevet ved hjelp av formelen:

NQI1 (Norwegian quality status, version 1) = [0.5* (1-AMBI/7) + 0.5*(SN/2.7)* (N/(N+5)]

Diversitetsindeksen SN = lnS/ln(lnN), hvor S er antall arter og N er antall individer i prøven

Referanser:

Bray, R.T. & J.T. Curtis, 1957. An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin. *Ecol. Monogr.*, 27:325-349.
Hurlbert, S.N., 1971. The non-consept of the species diversity: A critique and alternative parameters. *Ecology* 52:577-586.
Pielou, E. C., 1966. Species-diversity and pattern-diversity in the study of ecological succession. *Journal of Theoretical Biology* 10, 370-383.
Rygg, B., 2002. Indicator species index for assessing benthic ecological quality in marine water of Norway. *NIVA report* SNO 4548-2002. 32 p.
Shannon, C.E. & W. Weaver, 1949. The Mathematical Theory of Communication. *Univ Illinois Press*, Urbana 117 s.

Statistikk resultater Ytre Hadseløya, 2017:

Antall arter og individer per stasjon

st.nr.	tot.	Ha6	Ha7	Ha8	HaRef
no. ind.	4732	1446	931	1612	743
no. spe.	140	94	67	79	76

Bunndyrindekser per replikat

st.nr.	tot.	Ha6_01	Ha6_02	Ha7_01	Ha7_02	Ha8_01	Ha8_02	HaRef_01	HaRef_02
no. ind.	4732	589	857	571	360	856	756	536	207
no. spe.	140	67	72	56	43	63	53	70	32
Shannon-Wiener:		4,5	4,0	4,1	3,8	4,0	4,0	4,5	3,4
Pielou		0,74	0,66	0,70	0,71	0,67	0,71	0,74	0,69
ES100		28	26	26	25	25	25	33	23
SN		2,27	2,24	2,18	2,12	2,17	2,10	2,31	2,07
ISI-2012		9,98	9,50	9,90	10,00	9,57	9,37	9,44	9,09
AMBI		1,991	1,523	2,751	3,03	1,802	2,52	2,538	3,32
NQI1		0,77	0,80	0,70	0,67	0,77	0,71	0,74	0,64
NSI		24,4	25,0	20,9	20,0	23,2	21,5	22,0	19,8
DI		0,720	0,883	0,707	0,506	0,882	0,829	0,679	0,266

Bunndyrindekser, gjennomsnitt per stasjon

st.nr.	Ha6	Ha7	Ha8	HaRef
Shannon-Wiener:	4,27	3,95	4,03	3,99
Pielou	0,70	0,70	0,69	0,72
ES100	26,8	25,4	25,1	27,9
SN	2,25	2,15	2,13	2,19
ISI-2012	9,74	9,95	9,47	9,27
AMBI	1,757	2,891	2,161	2,929
NQI1	0,79	0,69	0,74	0,69
NSI	24,70	20,42	22,35	20,93
DI	0,80	0,61	0,86	0,47
Tilstandsklasse nEQR *)	0,764	0,700	0,721	0,702

*) Tilstandsklassen nEQR er beregnet uten DI

Geometriske klasser

int.	Ha6	Ha7	Ha8	HaRef
1	35	24	26	32
2,3	24	15	17	11
4- 7	13	9	12	13
8- 15	9	8	8	11
16- 31	3	4	8	5
32- 63	4	4	1	2
64-127	3	1	4	1
128-255	3	2	1	1
256-511	0	0	2	0
512-1023	0	0	0	0

Rekke	Klasse	Orden	Art/Taxa	01	02	Sum
Stasjonsnr.: Ha6						
FORAMINIFERA						
			Foraminifera indet.	-1	-1	-2
NEMERTINI						
			Nemertea indet.	6	2	8
NEMATODA						
			Nematoda indet.	2	1	3
ECHIURIDA						
			Echiurus echiurus		1	1
SIPUNCULIDA						
			Golfingiidae indet.		1	1
			Phascolion strombus	4	3	7
			Sipunculida indet.		1	1
ANNELIDA						
	Polychaeta					
		Orbiniida				
			Levinsenia gracilis	2	6	8
			Aricidea catherinae	1		1
		Cossurida				
			Cossura longocirrata	1		1
		Spionida				
			Apistobranchus tullbergi	1		1
			Dipolydora sp.	2	1	3
			Prionospio cirrifera	1		1
			Pseudopolydora paucibranchiata	60	29	89
			Spiophanes kroyeri		6	6
			Poecilochaetus serpens	1		1
			Chaetozone sp.	3	6	9
		Capitellida				
			Heteromastus filiformis	35	21	56
			Notomastus latericeus	5	1	6
			Rhodine gracilior	6	13	19
			Chirimia biceps	2		2
			Maldane sarsi	22	6	28
			Praxillella gracilis		1	1
			Praxillella praetermissa	7	9	16
			Maldanidae indet.	5	1	6
		Opheliida				
			Scalibregma inflatum		2	2
		Phyllodocida				
			Eulalia tjalfiensis		1	1
			Phyllodoce groenlandica	2	1	3
			Polynoidae indet.		1	1
			Pholoe assimilis	1	1	2
			Exogone verugera	5	4	9
			Syllidae indet.	1		1
			Ceratocephale loveni		3	3
			Glycera capitata	1		1
			Nephtys ciliata	1	1	2
			Nephtys hystricis		1	1
			Nephtys paradoxa		2	2
		Amphinomida				
			Paramphinome jeffreysii	1	4	5

Rekke	Klasse	Orden	Art/Taxa	01	02	Sum
		Eunicida				
			Nothria hyperborea	40	182	222
			Lumbrineris mixochaeta	2	6	8
		Oweniida				
			Galathowenia fragilis	57	57	114
			Galathowenia oculata	43	45	88
			Myriochele olgae	67	129	196
			Owenia sp.	75	165	240
		Flabelligerida				
			Diplocirrus glaucus	1	3	4
			Diplocirrus longisetosus		1	1
			Pherusa falcata		1	1
		Terebellida				
			Amphictene auricoma	1	3	4
			Anobothrus gracilis		1	1
			Amythasides macroglossus		1	1
			Eclysippe vanelli	2		2
			Glyphanostomum pallescens	27	21	48
			Melinna cristata		2	2
			Melinna elisabethae	8	6	14
			Sabellides octocirrata	3	4	7
			Sosane wireni		1	1
			Laphania boecki	2	5	7
			Phisidia aurea	1		1
			Proclea graffii	1	2	3
			Streblosoma intestinale	18	20	38
			Terebellides sp.	3	6	9
			Trichobranchus roseus		1	1
		Sabellida				
			Chone sp.	24	19	43
			Euchone sp.	1	1	2
			Potamilla neglecta	3	3	6
			Sabella pavonina	2	1	3
			Hydroides norvegicus	1		1
			Siboglinidae indet.	2	4	6
	Hirudinea					
			Hirudinea indet.	1		1
CHELICERATA						
	Pycnogonida					
			Pycnogonida indet.		1	1
CRUSTACEA						
	Ostracoda					
			Ostracoda indet.	4	5	9
	Copepoda					
		Calanoida				
			Calanoida indet.	1	1	2
	Malacostraca					
		Cumacea				
			Eudorella sp.	1	1	2
			Diastylis rathkei	3	8	11
		Amphipoda				
			Haploops sp.		2	2
			Atylus sp.	1	2	3
			Eriopisa elongata	2		2
			Westwoodilla caecula		3	3
			Tiron spiniferus	1		1
MOLLUSCA						
	Bivalvia					
		Nuculoida				
			Nuculana pernula		2	2
			Yoldiella lucida		4	4
		Ostreoidea				
			Similipecten similis	1		1
		Veneroida				
			Adontorhina similis	1	1	2

Rekke	Klasse	Orden	Art/Taxa	01	02	Sum
			Mendicula ferruginosa	1		1
			Thyasira equalis		2	2
			Thyasira flexuosa		1	1
			Thyasira gouldi		1	1
			Thyasira sarsii	3		3
			Parvicardium minimum	2	2	4
			Macoma calcarea	1		1
			Abra nitida	1		1
		Pholadomyoida				
			Cuspidaria subtorta	1		1
	Scaphopoda					
		Dentaliida				
			Antalis sp.	1		1
		Gadilida				
			Pulsellum lofotense	1	1	2
ECHINODERMATA						
	Ophiuroidea					
		Ophiurida				
			Ophiura carnea		1	1
			Ophiura sarsii	2	1	3
			Ophiuroidea indet. juv.	2	3	5
	Holothuroidea					
		Apodida				
			Labidoplax buskii	1		1
			Maks:	75	182	240
			Antall:	71	76	98
			Sum:			1454

Stasjonsnr.: Ha7

FORAMINIFERA						
			Foraminifera indet.	-1		-1
NEMERTINI						
			Nemertea indet.	4	6	10
SIPUNCULIDA						
			Phascolion strombus	2		2
ANNELIDA						
	Polychaeta					
		Orbiniida				
			Leitoscoloplos mammosus	2		2
			Levinsenia gracilis	2	1	3
			Aricidea catherinae	1		1
			Paradoneis eliasoni	1		1
		Cossurida				
			Cossura longocirrata	2		2
		Spionida				
			Prionospio cirrifera	9	7	16
			Pseudopolydora paucibranchiata	118	115	233
			Spiophanes kroyeri	12	6	18
			Chaetozone sp.	5	3	8
		Capitellida				
			Heteromastus filiformis	25	13	38
			Rhodine gracilior		1	1
			Maldane sarsi	52	19	71
			Praxillella gracilis	1	2	3
			Praxillella praetermissa	25	15	40
			Maldanidae indet.	2	1	3
		Phyllodocida				
			Eteone flava/longa		1	1
			Malmgrenia sp.	1		1
			Polynoidae indet.	2		2
			Pholoe assimilis	2		2

Rekke	Klasse	Orden	Art/Taxa	01	02	Sum
			Exogone verugera	7	1	8
			Nephtys ciliata	1		1
			Nephtys paradoxa		1	1
		Amphinomida				
			Paramphinome jeffreysii	1	3	4
		Eunicida				
			Nothria hyperborea	8	3	11
			Lumbrineris mixochaeta	12	10	22
			Ophryotrocha sp.	4		4
		Oweniida				
			Galathowenia fragilis	8	5	13
			Galathowenia oculata	127	52	179
			Myriochele olgae	38	23	61
			Owenia sp.	29	12	41
		Flabelligerida				
			Diplocirrus glaucus	1	1	2
		Terebellida				
			Amage auricula	1		1
			Glyphanostomum pallescens	2	4	6
			Melinna cristata	2	1	3
			Sabellides borealis	1		1
			Sabellides octocirrata		3	3
			Laphania boecki	3	1	4
			Proclea graffii	4		4
			Streblosoma intestinale	1		1
			Terebellidae indet.	1		1
			Terebellides sp.	7	6	13
		Sabellida				
			Chone sp.	1	1	2
			Euchone sp.	1		1
			Laonome kroyeri	2		2
			Siboglinidae indet.	9	1	10
	Oligochaeta					
			Oligochaeta indet.	1		1
CRUSTACEA						
	Ostracoda					
			Ostracoda indet.	2	4	6
	Copepoda					
		Calanoida				
			Calanoida indet.	1	1	2
	Malacostraca					
		Cumacea				
			Eudorella sp.	8	1	9
		Tanaidacea				
			Tanaidacea indet.		1	1
		Amphipoda				
			Lysianassidae indet.	1		1
			Oedicerotidae indet.		1	1
			Paraphoxus oculatus	1		1
		Euphausiacea				
			Euphausiacea indet.		1	1
MOLLUSCA						
	Caudofoveata					
			Caudofoveata indet.	1		1
	Bivalvia					
		Nuculoida				
			Nuculana pernula		1	1
			Yoldiella lucida	2	4	6
			Yoldiella nana		1	1
		Mytiloida				
			Musculus niger	3	1	4
		Ostreoidea				
			Delectopecten vitreus	1		1
		Veneroida				
			Adontorhina similis	3	2	5
			Thyasira equalis		1	1

Rekke	Klasse	Orden	Art/Taxa	01	02	Sum
			Thyasira sarsii	6	21	27
			Astarte crenata		1	1
			Abra nitida	2		2
		Pholadomyoida				
			Cuspidaria subtorta		3	3
ECHINODERMATA						
	Ophiuroidea					
			Ophiuroidea indet. juv.	2	2	4
	Echinoidea					
		Spartangoida				
			Brisaster fragilis	1		1
			Maks:	127	115	233
			Antall:	59	46	71
			Sum:			937

Stasjonsnr.: Ha8

NEMERTINI						
			Nemertea indet.	6	5	11
SIPUNCULIDA						
			Phascolion strombus	4	3	7
ANNELIDA						
	Polychaeta					
		Orbiniida				
			Leitoscoloplos mammosus	2		2
			Levinsenia gracilis	2	3	5
			Paradoneis eliasoni		1	1
		Cossurida				
			Cossura longocirrata		1	1
		Spionida				
			Apistobranchus tullbergi	1		1
			Dipolydora sp.	4		4
			Prionospio cirrifera	4	7	11
			Pseudopolydora paucibranchiata	126	177	303
			Spiophanes kroyeri	15	8	23
			Poecilochaetus serpens		1	1
			Chaetozone sp.	12	11	23
		Capitellida				
			Heteromastus filiformis	34	39	73
			Rhodine gracilior	1		1
			Maldane sarsi	30	25	55
			Praxillella gracilis	3	4	7
			Praxillella praetermissa	11	9	20
			Maldanidae indet.	14	15	29
		Opheliida				
			Ophelina sp.		1	1
		Phyllodocida				
			Eulalia viridis	2		2
			Phyllodoce groenlandica		1	1
			Laetmonice sp.	1		1
			Pholoe assimilis		4	4
			Nereimyra punctata	1	1	2
			Exogone verugera	2	4	6
			Ceratocephale loveni		4	4
			Glycera alba	1		1
			Goniada maculata	1		1
			Nephtys ciliata	2	2	4
		Amphinomida				
			Paramphinome jeffreysii	2	4	6
		Eunicida				
			Nothria hyperborea	66	61	127
			Lumbrineris mixochaeta	10	9	19
		Oweniida				

Rekke	Klasse	Orden	Art/Taxa	01	02	Sum
			Galathowenia fragilis	41	25	66
			Galathowenia oculata	22	69	91
			Myriochele olgae	86	128	214
			Owenia sp.	235	52	287
		Flabelligerida				
			Diplocirrus glaucus	1	1	2
		Terebellida				
			Amythasides macroglossus	3		3
			Glyphanostomum pallescens	11	5	16
			Melinna cristata	1		1
			Melinna elisabethae	1	2	3
			Sabellides octocirrata	7		7
			Sosane wireni	1		1
			Lanassa venusta	1		1
			Laphania boecki		3	3
			Proclea graffii	8	4	12
			Streblosoma intestinale	18	8	26
			Terebellidae indet.	1		1
			Terebellides sp.	3	5	8
		Sabellida				
			Chone sp.	10	5	15
			Euchone sp.	1	2	3
			Hydroides norvegicus	1		1
			Siboglinidae indet.	1	11	12
CRUSTACEA						
	Ostracoda					
			Ostracoda indet.		4	4
	Copepoda					
		Calanoida				
			Calanoida indet.	1		1
	Malacostraca					
		Cumacea				
			Eudorella sp.	8	4	12
			Leucon sp.	1	1	2
			Diastylis rathkei	1		1
		Tanaidacea				
			Tanaidacea indet.		3	3
		Amphipoda				
			Haploops sp.		2	2
			Harpinia pectinata		1	1
		Isopoda				
			Arcturella sp.	1		1
		Euphausiacea				
			Euphausiacea indet.	1	1	2
MOLLUSCA						
	Opistobranchia					
		Cephalaspidea				
			Cylichnina sp.		1	1
	Bivalvia					
		Nuculoida				
			Nuculana pernula	2		2
			Yoldiella lucida	2	2	4
			Yoldiella nana	3		3
		Mytiloida				
			Musculus niger	1		1
		Ostreoidea				
			Delectopecten vitreus	1		1
			Palliolum sp.	2		2
			Heteranomia squamula	1		1
		Veneroida				
			Adontorhina similis	15	6	21
			Mendicula ferruginosa		1	1
			Mendicula sp.	2		2
			Thyasira equalis		2	2
			Thyasira sarsii	3	7	10
			Parvicardium minimum	1	1	2
			Abra nitida	1		1

Rekke	Klasse	Orden	Art/Taxa	01	02	Sum
	Scaphopoda					
		Gadilida				
			Pulsellum lofotense	1		1
ECHINODERMATA						
	Ophiuroidea					
		Ophiurida				
			Ophiocten affinis		1	1
			Ophiuroidea indet. juv.	1	1	2
	Holothuroidea					
			Holothuroidea indet. juv.		1	1
			Maks:	235	177	303
			Antall:	66	56	83
			Sum:			1618

Stasjonsnr.: HaRef

FORAMINIFERA						
			Foraminifera indet.	-1		-1
NEMERTINI						
			Nemertea indet.	5	2	7
SIPUNCULIDA						
			Phascolion strombus	2		2
ANNELIDA						
	Polychaeta					
		Orbiniida				
			Levinsenia gracilis	1		1
			Aricidea catherinae	1		1
		Spionida				
			Prionospio cirrifera	2	1	3
			Pseudopolydora paucibranchiata	128	81	209
			Spio limicola	1		1
			Spiophanes kroyeri	78	31	109
			Poecilochaetus serpens	1		1
			Aphelochaeta sp.	1		1
			Chaetozone sp.	6	1	7
		Capitellida				
			Heteromastus filiformis	16	6	22
			Notomastus latericeus	3		3
			Rhodine gracilior	19		19
			Chirimia biceps	36		36
			Maldane sarsi	8	7	15
			Praxillella gracilis		4	4
			Praxillella praetermissa	2	9	11
			Maldanidae indet.	11		11
		Opheliida				
			Ophelina sp.	1		1
		Phyllodocida				
			Oxydromus sp.	1		1
			Paranaitis katoi	1		1
			Phyllodoce groenlandica	1		1
			Laetmonice sp.	1		1
			Polynoidae indet.	1		1
			Pholoe assimilis	5		5
			Exogone verugera	3	1	4
			Ceratocephale loveni		1	1
			Glycera alba	1		1
			Nephtys ciliata	1		1
			Nephtys paradoxa	1		1
		Amphinomida				
			Paramphinome jeffreysii	4	2	6
		Eunicida				

Rekke	Klasse	Orden	Art/Taxa	01	02			Sum
			Nothria hyperborea	8	1			9
			Eunice pennata	1				1
			Lumbrineris mixochaeta	5	6			11
		Oweniida						
			Galathowenia fragilis	4				4
			Galathowenia oculata	27	15			42
			Myriochele olgae	7	1			8
			Owenia sp.	18	1			19
		Flabelligerida						
			Diplocirrus glaucus	3				3
			Pherusa falcata	1				1
		Terebellida						
			Anobothrus gracilis	2				2
			Amythasides macroglossus	1				1
			Eclysippe vanelli	1				1
			Glyphanostomum pallescens	20	1			21
			Melinna cristata	1				1
			Melinna elisabethae	6				6
			Sabellides octocirrata	11	3			14
			Ampharetidae indet.	1				1
			Laphania boecki	3	2			5
			Proclea graffii	2				2
			Streblosoma intestinale	7				7
			Terebellides sp.	5	4			9
		Sabellida						
			Chone sp.	10				10
			Euchone sp.	2				2
			Siboglinidae indet.		3			3
	Oligochaeta							
			Oligochaeta indet.	1				1
CRUSTACEA								
	Ostracoda							
			Ostracoda indet.	3	1			4
	Malacostraca							
		Cumacea						
			Eudorella sp.	7	4			11
			Leucon sp.	1				1
		Amphipoda						
			Haploops sp.	1				1
			Paroediceros propinquus		1			1
MOLLUSCA								
	Prosobranchia							
		Mesogastropoda						
			Euspira montagui	1				1
	Opistobranchia							
		Cephalaspidea						
			Philine sp.	1				1
	Bivalvia							
		Nuculoida						
			Nuculana pernula	2	1			3
			Yoldiella lucida	7				7
			Yoldiella nana		1			1
			Yoldiella solidula		1			1
		Veneroida						
			Adontorhina similis	4	4			8
			Thyasira equalis	1				1
			Thyasira sarsii	11	8			19
			Thyasiridae indet.	1				1
			Parvicardium minimum	2				2
			Abra nitida	3	2			5
	Scaphopoda							
		Gadilida						
			Pulsellum lofotense	1				1
ECHINODERMATA								
	Ophiuroidea							
		Ophiurida						
			Ophiura sarsii	1	1			2
			Ophiuroidea indet. juv.	8	2			10
			Maks:	128	81			209
			Antall:	72	33			78
			Sum:					752
						TOTAL:	***Maks:***	303
							Sum:	4761

Vedlegg 2. Analysebeviser

Akvaplan niva

Framsenteret
Postboks 6606 Langnes, 9296 Tromsø
Foretaksnr.: NO 937 375 158 MVA
Tel: 77 75 03 00
E-post: kjersti@akvaplan.niva.no

ANALYSERAPPORT
Sedimentprøver

Kunde:	**Nordlaks Oppdrett AS**
Kunde referanse:	**Havfarm AS C-undersøkelse 2017**
Kontaktperson kunde:	
e-post:	
Kontaktperson Akvaplan-niva:	Asle Gunneriussen
	Dato: 26.02.2018
Rapport nr.:	**9239**
Analyseparameter(e):	Korn, TOM, TOC, TN
Kontaktperson:	Ida G. Tveter
Analyseansvarlig:	(sign.)
Underskriftsberettiget:	(sign.)

Prøvene ble sendt/levert til Akvaplan-Niva AS av oppdragsgiver, og merket som angitt i tabellen på side 2.
Resultater av analysene er gitt fra side 3.

MERKNADER:

Analysene gjelder bare for de prøver som er testet. De oppgitte analyseresultat omfatter ikke feil som måtte følge av prøvetagningen, inhomogenitet eller andre forhold som kan ha påvirket prøven før den ble mottatt av laboratoriet. Rapporten får kun kopieres i sin helhet og uten noen form for endringer. En eventuell klage skal leveres laboratoriet senest en måned etter mottak av analyseresultat. Nærmere informasjon om analysemetodene (måleusikkerhet, metodeprinsipp etc.) fås ved henvendelse til Akvaplan-Niva AS

Lab-id.	Kundens id.	Materiale	Beskaffenhet ved mottak	Mottatt lab	Parametere	Analyse-periode
9239/HA-6	HA-6	Sediment	Frossent	09.01.2018	Korn, TOM, TOC, TN	10.01. - 20.02.2018
9239/HA-7	HA-7	Sediment	Frossent	09.01.2018	Korn, TOM, TOC, TN	10.01. - 20.02.2018
9239/HA-8	HA-8	Sediment	Frossent	09.01.2018	Korn, TOM, TOC, TN	10.01. - 20.02.2018
9239/HA-ref	HA-ref	Sediment	Frossent	09.01.2018	Korn, TOM, TOC, TN	10.01. - 20.02.2018

Følgende analysemetoder er benyttet

Parameter	Metodereferanse
Kornfordeling (splitt i to)	Sikting, basert på Bale, A.J. & Kenny, A.J. 2005. Sediment analysis and seabed characterisation . In: Eleftheriou,A; McIntyre, A.D. "Methods for the study of marine benthos", 3rd ed. Blackwell Science, Oxford, UK. ISBN 0-632-05488-3, pp. 43-86
Totalt organisk materiale-TOM	Intern metode basert på NS 4764:1980
Totalt organisk karbon-TOC	NDIR-deteksjon. Intern metode basert på NS-EN 15936:2012, Annex C.
Totalt bundet nitrogen - Total-N	Kjemiluminiscens. Intern metode basert på NS-EN 12260:2003

Resultater

Kundens id.:		HA-6	HA-7	HA-8	HA-ref	
Parameter	Enhet	9239/HA-6	9239/HA-7	9239/HA-8	9239/HA-ref	
> 0,063 mm	vekt %	73,2	44,7	61,9	42,9	
Pelitt (< 0,063 mm)	vekt %	26,8	55,3	38,1	57,1	
TOC	mg/g TS	11,8	37,8	25,9	43,4	
TOC, normalisert**	mg/g TS	25,0	45,9	37,1	51,1	
TOM	% TS	4,6	10,2	6,9	13,0	
Total-N	mg/g TS	0,99	4,8	3,1	5,2	
C/N **		11,9	8,0	8,3	8,3	

** Uakkreditert beregning utført av Akvaplan-niva AS

TOC, normalisert = *mått TOC mg/g + 18*(1-F), der F=andel finstoff (pelitt) gitt ved %pelitt/100.*

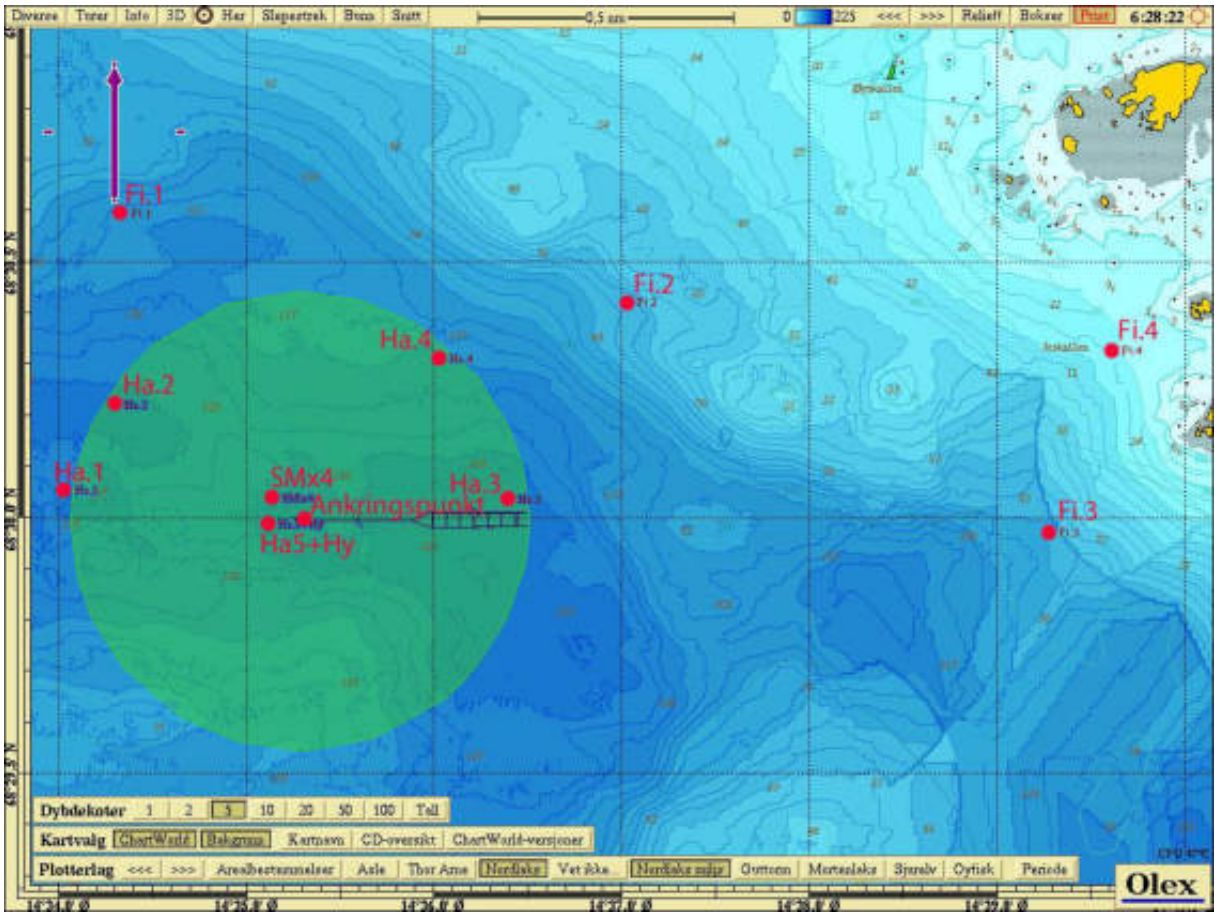
Tilstandsklassifisering for organisk innhold i marine sedimenter ihht. Veileder 02:2013 (rev. 2015):

Normalisert TOC, mg/g TS	< 20 I Svært god	20-27 II God	27-34 III Moderat	34-41 IV Dårlig	> 41 V Svært dårlig

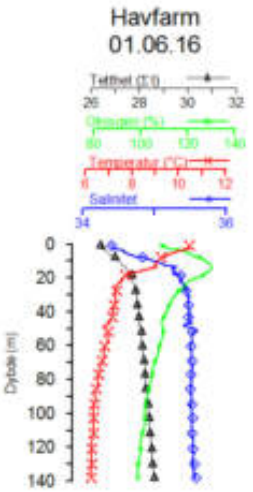
Vedlegg 3. Resultater fra tidligere rapport

Stasjonsdyp og -koordinater, Ytre Hadseløya, 2016.

Stasjon	Ha 1	Ha 2	Ha 3	Ha 4	Ha 5
Dyp (m)	133	137	137	121	141
GPS	68°30,052 14°34,033	68°30,219 14°34,296	68°30,035 14°36,393	68°30,309 14°36,032	68°29,986 14°35,116
Stasjon	**Fi 1**	**Fi 2**	**Fi 3**	**Fi 4**	
Dyp (m)	117	83	89	23	
GPS	68°30.594 14°34,339	68°30,420 14°37,031	68°29,970 14°39,281	68°30,326 14°39,613	



Stasjonskart, Ytre Hadseløya, 2016.



Vertikalprofiler. Temperatur, saltholdighet, tetthet og oksygen på Ha.5+Hy ved Ytre Hadseløya, 2016.

Sedimentbeskrivelse, TOC, kornfordeling (pelittandel = % <0,063 mm) og pH/Eh. Ytre Hadseløya, 2016.

St.	Sedimentbeskrivelse	TOC, mg/g	N-TOC*	Tilstandskl.*	Pelitt (finstoff)	pH/Eh
Ha 1	Lys olivengrønn fin sand/leire med skjellsand. Myk overflate. Ingen lukt.	17,7	31,6	III Mindre god	22,8	7,7/164
Ha 2	Lys olivengrønn fin sand/leire med sand, grus og skjellsand. Myk overflate (øvre cm). Ingen lukt.	30,9	41,3	V Meget dårlig	42,1	7,8/162
Ha 3	Lys olivengrønn, myk fin sand/leire med noe skjellsand. Ingen lukt.	46,4	54,2	V Meget dårlig	56,8	7,7/176
Ha 4	Lys olivengrønn, myk fin sand/leire med noe skjellsand. Ingen lukt.	39,3	48,8	V Meget dårlig	47,4	7,8/230
Ha 5	Lys olivengrønn fin sand/leire med skjellsand. Myk overflate (øvre 1,5 cm). Ingen lukt.	19,2	32,3	III Mindre god	27,3	7,9/227
Fi 1	Olivengrønn leire. Myk øverste cm med fastere leire under. Skjellrester. Ingen lukt.	26,9	36,1	IV Dårlig	48,7	7,8/223
Fi 2	Lys gul, fast finkornet skjellsand. Ingen lukt	11,9	27,5	III Mindre god	12,9	7,8/226
Fi 3	Lys olivengrønn, myk fin sand/leire med skjellrester. Myk overflate. Ingen lukt.	22,0	34,4	IV Dårlig	30,8	7,8/226
Fi 4	Lys gul, grov skjellsand med rugl og stein, hard. Ingen lukt	5,7	23,2	II God	2,9	7,9/226

** Tilstandsklassifisering (SFT - Molvær* m.fl.*, 1997) basert på TOC forutsetter at konsentrasjonen av TOC i sedimentet standardiseres for teoretisk 100% finstoff (pelitt < 0.063 mm) iht. til formelen: Normalisert TOC = målt TOC + 18 x (1-F), hvor F er andel av finstoff (Aure* m.fl.*, 1993).*

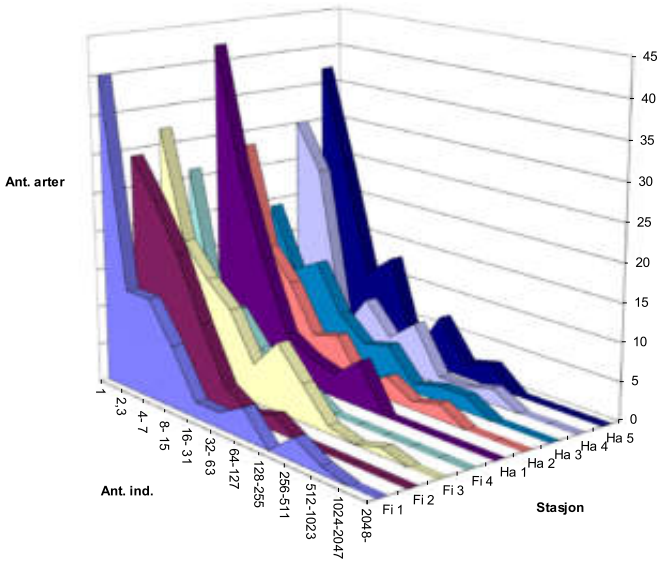
Sedimentanalyser. Total fosfor (TOT-P), sink (Zn) og kobber (Cu), alle i mg/kg TS, Ytre Hadseløya 2016.

St.	TOT-P	Zn	Tilst.klassif. Zn	Cu	Tilst.klassif. Cu
Ha 1	1450	14,0	I Bakgrunn	4,86	I Bakgrunn
Ha 2	1270	23,6	I Bakgrunn	9,42	I Bakgrunn
Ha 3	1080	33,9	I Bakgrunn	13,3	I Bakgrunn
Ha 4	1250	27,2	I Bakgrunn	11,0	I Bakgrunn
Ha 5	1910	20,0	I Bakgrunn	8,1	I Bakgrunn
Fi 1	1330	21,3	I Bakgrunn	8,64	I Bakgrunn
Fi 2	1550	6,5	I Bakgrunn	2,2	I Bakgrunn
Fi 3	1550	16,5	I Bakgrunn	7,17	I Bakgrunn
Fi 4	650	< 1,0	I Bakgrunn	0,26	I Bakgrunn

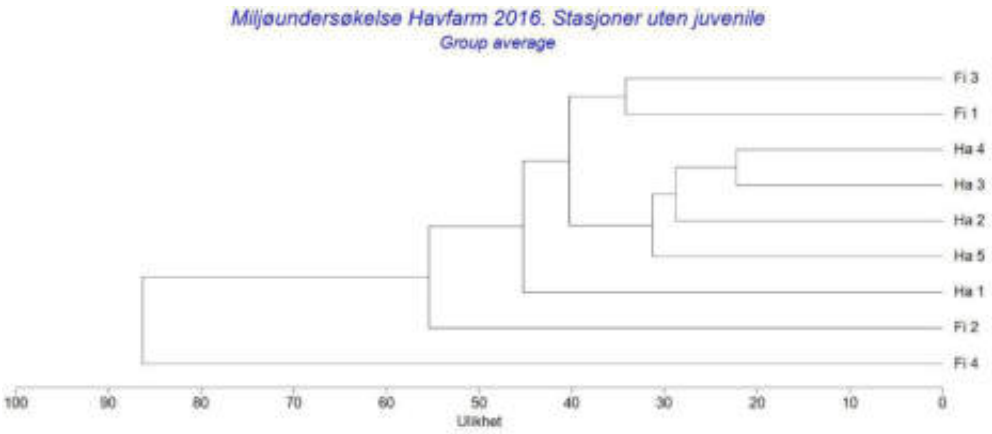
Antall arter og individer pr. 0,2 m^2, H´ = Shannon-Wieners diversitetsindeks. ES_{100} = Hurlberts diversitetsindeks. NQI1 = sammensatt indeks (diversitet og ømfintlighet). ISI_{2012} = ømfintlighetsindeks. NSI = sensitivitetsindeks. J = Pielous jevnhetsindeks. AMBI = ømfintlighetsindeks (inngår i NQI1). nEQR = normalisert EQR (ekskl. DI). DI = tetthetsindeks. Ytre Hadseløya, 2016. Økologisk tilstandsklassifisering basert på observert verdi av indeks (snitt av to replikater) iht. Veileder 02:2013.

St.	Individtall	Ant arter	H´	ES_{100}	NQI1	ISI_{2012}	NSI	nEQR	DI	AMBI	J
Ha 1	1005	102	4,74	32,6	0,809	10,21	26,8	0,81	0,644	1,69	0,77
Ha 2	1841	72	3,45	19,4	0,735	9,69	22,3	0,70	0,909	2,03	0,60
Ha 3	1750	64	3,62	21,6	0,688	9,32	20,4	0,67	0,869	2,66	0,64
Ha 4	1833	80	3,69	22,2	0,750	9,81	21,8	0,71	0,901	1,97	0,63
Ha 5	1356	97	4,43	29,3	0,762	9,89	23,6	0,76	0,771	2,21	0,72
Fi 1	2462	86	3,49	18,8	0,703	9,70	20,2	0,67	1,040	2,56	0,59
Fi 2	570	87	4,91	39,2	0,790	9,45	23,0	0,79	0,390	2,13	0,81
Fi 3	2086	96	4,26	29,2	0,748	9,35	22,1	0,73	0,967	2,27	0,68
Fi 4	309	55	4,44	30,6	0,811	10,85	28,0	0,82	0,232	1,31	0,86

I Svært god	II God	III Moderat	IV Dårlig	V Svært dårlig



Bløtbunnfauna vist som antall arter mot antall individer pr. art i geometriske klasser for bunndyrstasjonene ved Ytre Hadseløya, 2016 (pr. 0,2 m^2).



Stasjonsvis clusterplott for bløtbunnfaunaen ved Ytre Hadseløya, 2016.

Antall individer, kumulativ prosent og økologisk gruppe for de ti mest dominerende artene på stasjonene. Ytre Hadseløya, 2016.*

Ha 1	Ant.	Kum.	EG	Ha 2	Ant.	Kum.	EG
Galathowenia fragilis	116	11 %	I	Galathowenia oculata	491	27 %	III
Owenia polaris	110	22 %	Ik	Myriochele olgae	448	51 %	Ik
Myriochele olgae	91	31 %	Ik	Owenia polaris	249	64 %	Ik
Nothria hyperborea	91	40 %	Ik	Maldane sarsi	123	71 %	IV
Streblosoma intestinale	76	48 %	I	Galathowenia fragilis	79	75 %	I
Galathowenia oculata	70	55 %	III	Heteromastus filiformis	72	79 %	IV
Heteromastus filiformis	41	59 %	IV	Praxillella praetermissa	52	82 %	II
Melinna elisabethae	37	62 %	II	Pseudopolydora paucibranchiata	30	83 %	IV
Chone sp.	36	66 %	I	Chaetozone sp.	29	85 %	III
Chirimia biceps	31	69 %	II	Scoletoma fragilis	28	86 %	II
Ha 3	**Ant.**	**Kum.**	**EG**	**Ha 4**	**Ant.**	**Kum.**	**EG**
Galathowenia oculata	463	26 %	III	Galathowenia oculata	489	26 %	III
Pseudopolydora paucibranchiata	380	48 %	IV	Owenia polaris	393	48 %	Ik
Owenia polaris	227	61 %	Ik	Myriochele olgae	241	61 %	Ik
Myriochele olgae	133	68 %	Ik	Spiophanes kroyeri	88	66 %	III
Heteromastus filiformis	73	73 %	IV	Praxillella praetermissa	60	69 %	II
Thyasira sarsii	45	75 %	IV	Heteromastus filiformis	57	72 %	IV
Praxillella praetermissa	36	77 %	II	Maldane sarsi	54	75 %	IV
Chaetozone sp.	35	79 %	III	Adontorhina similis	44	77 %	II
Maldane sarsi	35	81 %	IV	Galathowenia fragilis	43	79 %	I
Scoletoma fragilis	32	83 %	II	Thyasira sarsii	41	82 %	IV

Tabell fortsetter

Ha 5	Ant.	Kum.	EG	Fi 1			
Galathowenia oculata	248	18 %	III	Galathowenia oculata	656	27 %	III
Pseudopolydora paucibranchiata	172	31 %	IV	Pseudopolydora paucibranchiata	509	47 %	IV
Owenia polaris	155	42 %	Ik	Myriochele olgae	303	59 %	Ik
Myriochele olgae	93	49 %	Ik	Owenia polaris	290	71 %	Ik
Galathowenia fragilis	83	55 %	I	Myriochele danielsseni	105	75 %	Ik
Rhodine gracilior	53	59 %	I	Heteromastus filiformis	96	79 %	IV
Praxillella praetermissa	51	63 %	II	Maldane sarsi	83	83 %	IV
Chaetozone sp.	48	66 %	III	Glyphanostomum pallescens	66	85 %	Ik
Maldane sarsi	41	69 %	IV	Sabellides octocirrata	53	87 %	I
Heteromastus filiformis	40	72 %	IV	Praxillella praetermissa	32	89 %	II
Fi 2	**Ant.**	**Kum.**	**EG**	**Fi 3**	**Ant.**	**Kum.**	**EG**
Poecilochaetus serpens	95	17 %	Ik	Spiophanes kroyeri	666	32 %	III
Paramphinome jeffreysii	80	30 %	III	Owenia polaris	207	42 %	Ik
Heteromastus filiformis	45	38 %	IV	Myriochele olgae	112	47 %	Ik
Chaetozone sp.	25	43 %	III	Chone sp.	96	52 %	I
Rhodine gracilior	21	46 %	I	Galathowenia oculata	95	56 %	III
Thyasira flexuosa	19	50 %	III	Heteromastus filiformis	82	60 %	IV
Tharyx killariensis	13	52 %	II	Maldane sarsi	76	64 %	IV
Myriochele danielsseni	12	54 %	Ik	Myriochele danielsseni	63	67 %	Ik
Nothria hyperborea	12	56 %	Ik	Dipolydora sp.	45	69 %	Ik
Phascolion strombus	12	58 %	II	Glyphanostomum pallescens	43	71 %	Ik

Fi 4	Ant.	Kum.	EG
Echinoida indet. juv.	42	12 %	I
Leptochiton asellus	41	23 %	I
Aonides paucibranchiata	37	33 %	I
Tonicella rubra	25	40 %	Ik
Chone sp.	22	46 %	I
Protodorvillea kefersteini	21	52 %	IV
Aricidea hartmani	16	57 %	Ik
Testudinalia testudinalis	13	60 %	Ik
Pisione remota	11	63 %	I
Galathea sp.	8	65 %	Ik
Nemertea indet.	8	68 %	III
Spirobranchus triqueter	8	70 %	Ik

*Økologiske grupper: EG I = sensitive arter. EG II = nøytrale arter. EG III = tolerante arter. EG IV = opportunistiske arter. EG V = forurensningsindikatorer (pollution indicator species). Fra Rygg og Norling, 2013.
Ik = Ikke kjent gruppe.

Akvaplan-niva AS Rapport: 2020 62637.01

Nordlaks Oppdrett AS

B-undersøkelse, 39777 Ytre Hadseløya, november 2020

Halv belastning

Blank side

Akvaplan-niva AS
Rådgivning og forskning innen miljø og akvakultur
Org.nr: NO 937 375 158 MVA
Framsenteret, Postboks 6066 Langnes, 9296 Tromsø
Tlf: 77 75 03 00
www.akvaplan.niva.no

Informasjon om oppdragsgiver			
Tittel	Nordlaks Oppdrett AS. B-undersøkelse, 39777 Ytre Hadseløya, november 2020 . Halv belastning.		
Rapportnummer	2020 62637.01		
Lokalitetsnummer	39777	Kartkoordinater	68°30,081 N 14°35,140 Ø
Fylke	Nordland	Kommune	Hadsel
MTB-tillatelse	10 000 tonn (midlertidig tillatelse frem til 31.12.2025)	Kontaktperson	Remi Mathisen
Oppdragsgiver	Nordlaks Oppdrett AS		

Biomasse/produksjonsstatus ved undersøkelsesdato			
Biomasse anlegg ved undersøkelse	7472 tonn	Utfôret mengde	5170 tonn
Fiskegruppe	Laks	Produsert mengde	4300 tonn
Bakgrunnen for undersøkelsen	**Angitt ved kryss**	**Merknad**	
Maksimal organisk belastning jfr. kap 7.9	☐	Undersøkelse ved halv organisk belastning iht. utslippstillatelsen.	
Oppfølgende undersøkelse	☐		
Halv organisk belastning	☒		
Før nytt utsett	☐		
Krav fylkesmannen forundersøkelse	☐		
Annet	☐		
Brakklegging:	Planlagt utslaktet i april 2021, med neste utsett i juni 2021.		

Resultat fra B-undersøkelse iht. NS 9410:2016 (hovedresultat)			
Parametergruppe og indeks		**Parametergruppe og tilstand**	
Gr. II. pH/Eh	1,61	Gr. II. pH/Eh	2
Gr. III. Sensorikk	1,35	Gr. III. Sensorikk	2
GR. II + III	1,44	GR. II+ III	2
Dato feltarbeid	26.11.2020	**Dato rapport**	16.12.2020
Lokalitetstilstand (NS 9410:2016):			**2**

Rapport og prosjektledelse	Vera Remen	Signatur	Vera Remen
Kvalitetskontroll	Asle Guneriussen	Signatur	Asle Guneriussen

© 2020 Akvaplan-niva AS. Rapporten kan kun kopieres i sin helhet. Kopiering av deler av rapporten (tekstutsnitt, figurer, tabeller, konklusjoner, osv.) eller gjengivelse på annen måte, er kun tillatt etter skriftlig samtykke fra Akvaplan-niva AS.

INNHOLDSFORTEGNELSE

FORORD 5
1 INNLEDNING 6
2 FAGLIG PROGRAM OG METODIKK 7
2.1 Utstyr 7
3 LOKALITETSBESKRIVELSE, DRIFT OG STASJONSPLASSERING 8
3.1 Lokalitetsbeskrivelse og drift 8
3.2 Nåværende og tidligere undersøkelser 9
3.3 Spredningsstrøm 9
3.4 Stasjonsopplysninger 9
4 RESULTATER 12
5 SAMMENFATTENDE VURDERING 13
6 LITTERATUR 14
7 VEDLEGG 15
7.1 Skjema (B.1 og B.2) NS 9410:2016 15
7.2 Bilder av prøver ved Ytre Hadseløya 23
7.3 Bunntopografi og 3D-visning 30

Forord

Undersøkelsene er etter beste evne gjennomført i henhold til NS 9410:2016 som omfatter sedimentundersøkelser, faunavurderinger og bunntopografiske registreringer. Miljøundersøkelsene reguleres av § 35 i akvakulturdriftsforskriften.

Lokaliteten har i henhold til utslippstillatelsen en midlertidig tillatelse på 10 000 tonn maksimalt tillatt biomasse (MTB). Biomasse er definert som den til enhver tid stående biomasse av levende fisk. Anleggets MTB utløser krav om 26 prøvestasjoner. Etter krav fra Fiskeridirektoratet er det i tillegg prøvetatt ni ekstrastasjoner (pers. medd. Lorentzen), totalt blir dette 35 stasjoner.

Følgende har deltatt:

Vera Remen	Akvaplan-niva AS	Prosjektleder. Feltarbeid. Kart (Olex). Rapport.
Asle Guneriussen	Akvaplan-niva AS	Kvalitetssikring.

Akkreditert virksomhet: Følgende deler av denne rapporten er utført etter akkrediterte metoder:

Innsamling og behandling av bløtbunnsprøver for sedimentanalyser, samt vurderinger og fortolkninger.

	Akvaplan-niva AS er akkreditert av Norsk Akkreditering for prøvetaking og faglig vurderinger og fortolkninger, akkrediteringsnummer TEST 079. Akkrediteringen er iht. NS-EN ISO/IEC 17025 Akkrediteringen omfatter bla. NS 9410, NS-EN ISO 5667-19 og NS-EN ISO 16665.

Akvaplan-niva AS vil takke Nordlaks Oppdrett AS, ved Remi Mathisen og Bjarne Johansen, og mannskap på MS Rognkjeksen (NOR Maritime Service AS) for samarbeidet med undersøkelsen og feltarbeidet.

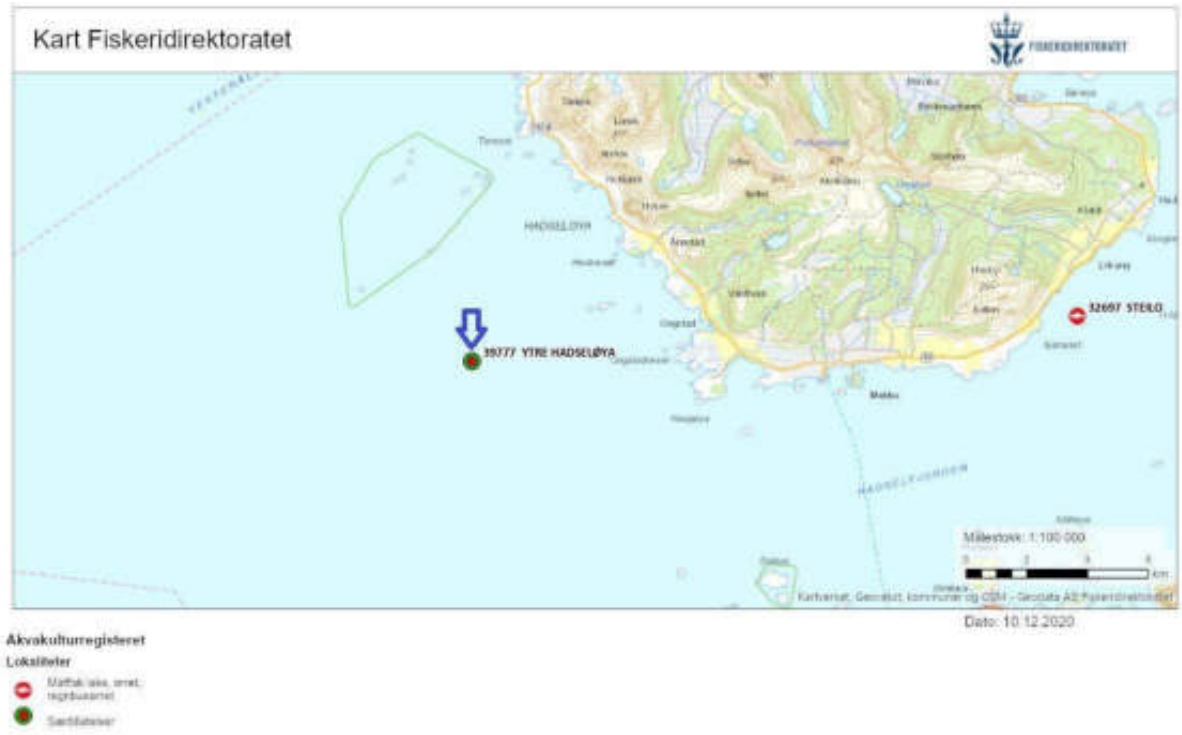
1 Innledning

Foreliggende undersøkelse er gjennomført av Akvaplan-niva AS på oppdrag fra Nordlaks Oppdrett AS i forbindelse med bedriftens oppdrettsvirksomhet på lokaliteten 39777 Ytre Hadseløya i Hadselfjorden, Hadsel kommune i Nordland fylke.

Formålet med B-undersøkelsen er å dokumentere miljøtilstanden i lokalitetens anleggssone i henhold til NS 9410:2016 som omfatter sedimentundersøkelser, faunavurderinger og bunntopografiske registreringer. I dette tilfellet er anleggssonen definert som anleggsarealet og/eller anleggssirkelen.

Undersøkelsene vurderer lokalitetenes tilstand mht. organisk belastning, samt egnethet for oppdrettsvirksomhet.

Figur 1 viser et kartutsnitt av Hadselfjorden der lokaliteten Ytre Hadseløya ligger.



Figur 1. Oversiktskart for området ved Ytre Hadseløya (blå pil). Oppdrettsanleggene er markert med lokalitetsnummer og navn. Kart fra www.fiskeridir.no Fiskeridirektoratet, målestokk 1:100 000.

2 Faglig program og metodikk

Miljøovervåkning av bunnpåvirkning fra marine akvakulturanlegg er et system for standardisering av miljøovervåking for oppdrettsanlegg i sjø. Alle lokaliteter som er i bruk, skal regelmessig overvåkes. Overvåkningsprogrammet er hjemlet i akvakulturdriftsforskriften § 35 og metodikk for undersøkelsene er beskrevet i NS 9410:2016.

B-undersøkelsen er en trendovervåkning av bunnforholdene under og i den umiddelbare nærheten av et akvakulturanlegg. Sedimentprøver tas ved hjelp av en grabb (min. 250 cm^2). Hvert grabbhogg blir undersøkt med hensyn på tre grupper av sedimentparametre; faunaundersøkelse, kjemisk undersøkelse (pH og redoks-potensial) og en sensorisk undersøkelse (forekomst av gassbobler, lukt, sedimentets konsistens og farge, samt tykkelse av deponert slam). Sedimentparametrene gis poeng (skala fra 1-4) etter hvor mye sedimentet er påvirket av tilførsler av organisk stoff, jfr. Tabell 1. Antall prøvestasjoner bestemmes av lokalitetens MTB, og det er et samlet gjennomsnitt for alle prøvene som fastsetter lokalitetstilstanden. På bakgrunn av klassifiseringen avgjøres det videre overvåkningsnivået.

Tabell 1. Frekvens for B-undersøkelse i lokalitetens anleggssone i forhold til lokalitetstilstand på lokaliteten.

Lokalitetstilstand ved maksimal organisk belastning	Overvåkingsfrekvens for B-undersøkelse
1-meget god	Ved neste maksimale belastning
2-god	Før utsett og igjen ved maksimal belastning
3-dårlig	Før utsett Dersom undersøkelse før utsett gir: - Tilstand 1 – undersøkelse gjennomføres ved neste maksimale belastning - Tilstand 2 – undersøkelse gjennomføres ved halv maksimal belastning og ved neste maksimale belastning - Tilstand 3 – undersøkelse gjennomføres ved halv maksimal belastning og ved maksimal belastning. I forhold til neste produksjonssyklus planlegges tiltak. Dersom noen av undersøkelsene viser tilstand 4 vil det være overbelastning.
4-meget dårlig	Overbelastning

2.1 Utstyr

Følgende utstyr ble anvendt i denne undersøkelsen:
Grabb: Van Veen grabb (0,04 m^2)
Sikt 1 mm: Akvaplan-niva
pH måler: Elektrode, YSI Professional Plus
Redox-måler: Elektrode, YSI Professional Plus
Posisjonsbestemmelse – GPS map 62s. For posisjon på stasjoner.
Digitalkamera

3 Lokalitetsbeskrivelse, drift og stasjonsplassering

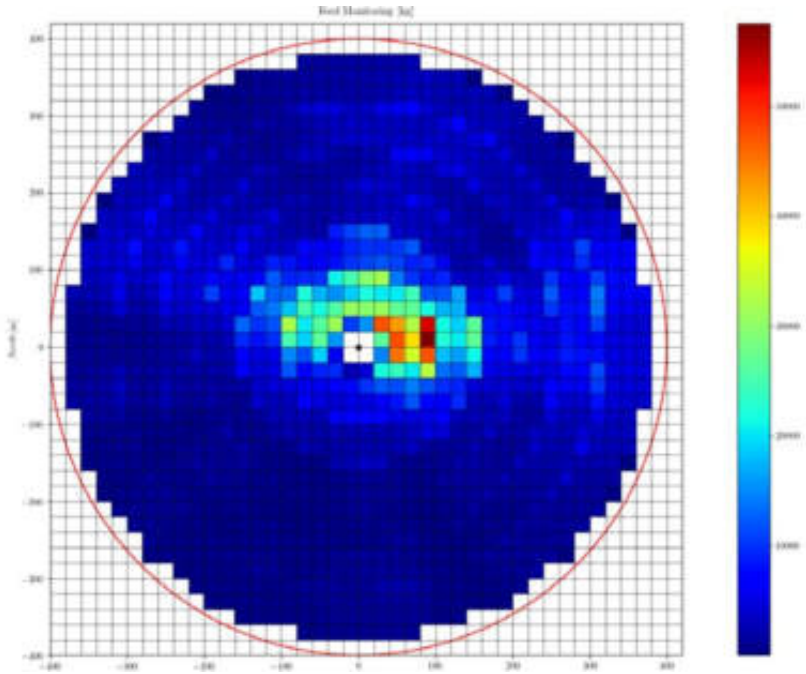
3.1 Lokalitetsbeskrivelse og drift

Lokaliteten ligger ytterst i Hadselfjorden, og er plassert omlag 5 km sørvest for Hadseløya. Anleggsområdet ligger over et dypområde i resipienten, og innenfor anleggssirkelen varierer dypet fra omlag 120 meter til 140 meter. Resipienten er omgitt av holmer og skjær i nordvest og sørøst, og bunntopografien i disse områdene er kupert med flere grunnområder. Det er også et noe grunnere område sør for lokaliteten med dyp fra ca. 90 – 110 meter. Det er ingen terskeldannelser mellom lokaliteten og største dyp i resipienten.

Anleggskonstruksjonen på Ytre Hadseløya er særskilt i sitt slag, hvor seks merder er plassert i havfarmen "Jostein Albert". Havfarmen er 385 m lang og ca. 60 m bred. Den ligger fast forankret på svai rundt lokalitetens senterpunkt, og kan bevege seg innenfor en gitt anleggssirkel med radius på ca. 400 m.

Driften på lokaliteten var nyoppstartet på sensommeren 2020. Merdene er på 50 x 50 meter, og alle hadde vært benyttet i produksjonen da undersøkelsen ble gjennomført. Første generasjon av fisk ble satt ut i havfarmen fra 25.07.2020, og da med snitt vekt på ca. 2 kg. Ved tidspunktet for undersøkelsen var stående biomasse på 7472 tonn, med snittvekt på ca. 3,4 kg, og totalt utfôret mengde i produksjonssyklusen var på 50 % (pers. medd. Mathisen).

Oppdretter har utviklet et system som sørger for en detaljert loggføring av utfôringen innenfor anleggssirkelen, og ved å plassere grid (20 x 20 m) over anleggssirkelen har de mulighet til å kvantifisere utfôringen i hvert enkelt gridpunkt nøyaktig. Figur 2 viser totalt forbruk av fôr per gridpunkt i anleggssirkelen på lokaliteten for perioden 17. juli – 18. november 2020, og Tabell 2 viser produksjon og fôrforbruk for første (inneværende) generasjon på lokaliteten.



Figur 2. Grafisk fremstilling av fôrforbruk per gridpunkt i perioden 17. juli – 18. november 2020 ved lokaliteten Ytre Hadseløya. Gridpunktene er 20 x 20 meter. Fôrmengde (kg) er beskrevet i farge skala fra blå til rød, hvor blå farge viser lavest utfôring og rød farge høyest utfôring. Figur er innhentet fra oppdragsgiver.

Tabell 2. Produksjon og fôrforbruk for lokaliteten Ytre Hadseløya, data er innhentet fra oppdragsgiver.

Generasjon av fisk	Produksjon (tonn)	Fôrforbruk (tonn)
Inneværende generasjon	4300	5170

3.2 Nåværende og tidligere undersøkelser

Tabell 3 viser resultater og dato for B-undersøkelsene som er gjennomført på lokaliteten.

Tabell 3. Foreliggende og tidligere gjennomførte B-undersøkelser ved lokaliteten.

Dato prøvetaking	Rapportnummer	Type undersøkelse	Lokalitetstilstand
26.11.2020	APN-62637.01 (Remen, 2020)	Halv belastning	2
11.03.2019	APN-61043.01 (Heggem, 2019)	Ekstra prøvepunkter ifm. ny lokalitet (krav fra Fylkesmannen i Nordland og Fiskeridirektoratet)	1
27.11.2017 og 06.12.2017	APN-9238.01 (Remen, 2018)	Ny lokalitet (Forundersøkelse)	1

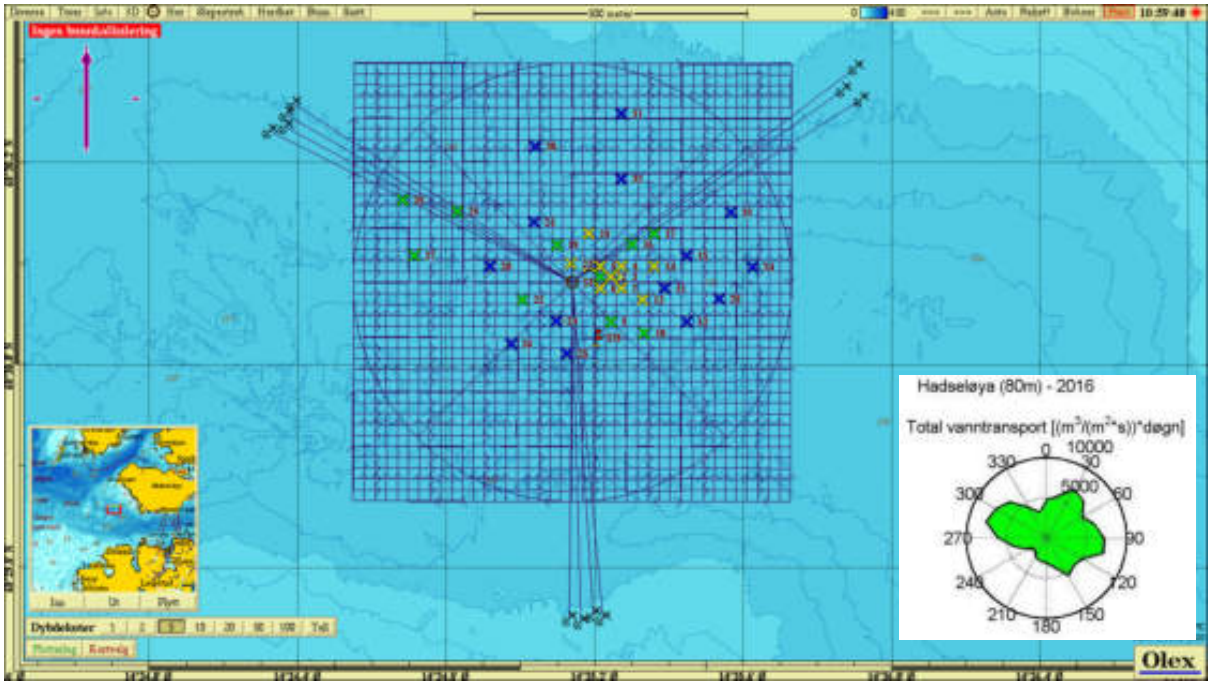
3.3 Spredningsstrøm

Dominerende strømretning på spredningsdyp (80 m) er noe uklart definert. Målingene ved spredningsdypet viser vanntransport mot nordvest, nordøst, øst og sørøst, med høyest vanntransport mot nordvest (285 grader). Gjennomsnittlig strømhastighet er målt til 4,7 cm/s. Høyeste strømhastighet er målt til 18,8 cm/s og 3,7 % av målingene er < 1 cm/s (Heggem, 2017).

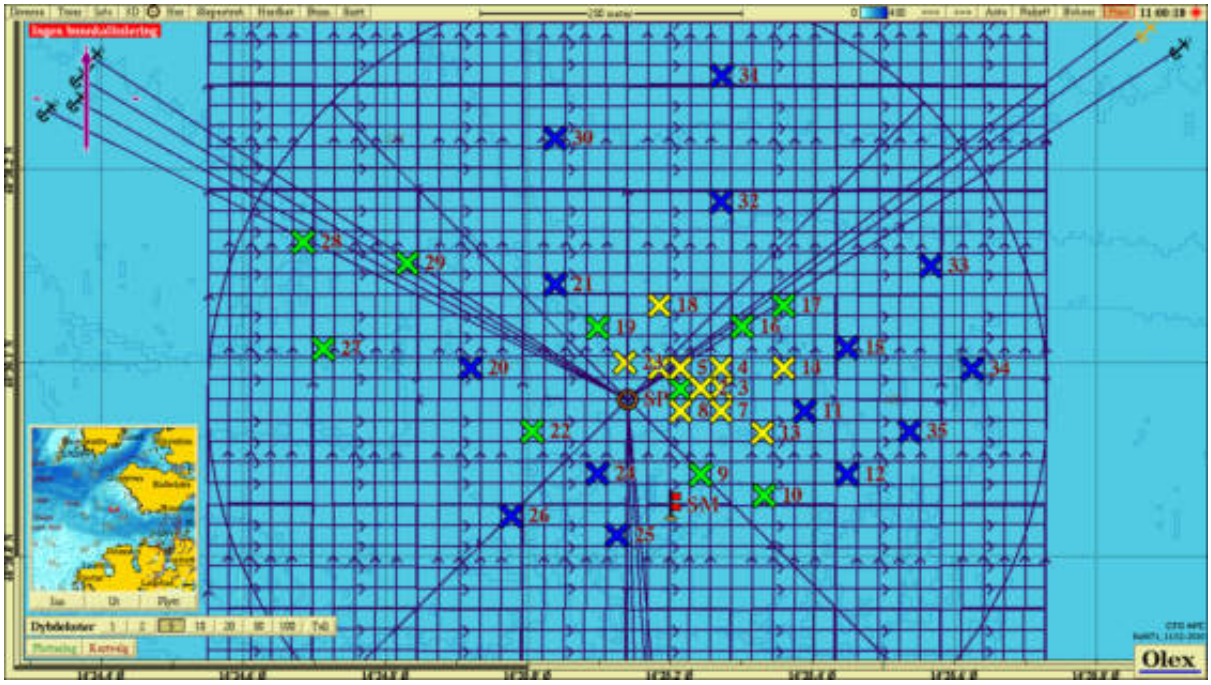
3.4 Stasjonsopplysninger

Valg av stasjonsplassering er gjort iht. utslippstillatelsen og i samråd med Fiskeridirektoratet. Kart med stasjonene som inngikk i undersøkelsen er vist i Figur 3, med nærbilde i Figur 4. Det er plassert grid (20 x 20 meter) over anleggssirkelen, og oppdretter har laget en grafisk fremstilling av det totale forbruket av fôr per gridpunkt for perioden 17. juli – 18. november 2020 (Figur 2). Stasjon 1 – 26 ble plassert utfra hvor utfôringen hadde vært størst, og slik at et større område rundt senterpunkt ble dekket. Ekstrastasjonene, stasjon 27 – 35 ble fordelt i områdene hvor merdene hadde vært lengre ut i anleggssirkelen, for å få kunnskap om spredning av partikkelutslipp fra anlegget. Koordinater og dyp, samt utfôret mengde for gridpunktene hvor stasjonene ble plassert er vist i Tabell 4. Stasjon 23 ble flyttet noe på i felt slik at den kom klar av havfarmen, dette iht. avtale med Fiskeridirektoratet.

Det er valgt å ikke tegne in situ posisjon for havfarmen i figurene. Dette fordi havfarmen flyttet seg noe i løpet av tiden feltarbeidet ble gjennomført, og fordi det blir mye "støy" i figurene siden det er gridpunkter i anleggssirkelen og mange stasjoner som skal synliggjøres. Ved tidspunktet for undersøkelsen var havfarmen stort sett på vestlige side av senterpunktet.



Figur 3. Stasjonsoversikt. Ytre Hadseløya, november 2020. Prøvetakingsstasjonene er tegnet inn med fargekode som beskriver tilstand iht NS 9410:2016 (1 = blå, 2 = grønn, 3 = gul, 4 = rød). Strømrose (til høyre) viser retning av vanntransport ved spredningsdyp på lokaliteten (Heggem, 2017). Rødt flagg viser plassering av strømmåler.



Figur 4. Stasjonsoversikt, nærbilde, Ytre Hadseløya, november 2020. Prøvetakingsstasjonene er tegnet inn med fargekode som beskriver tilstand iht NS 9410:2016 (1 = blå, 2 = grønn, 3 = gul, 4 = rød). Strømrose er vist i Figur 3. Rødt flagg viser plassering av strømmåler.

Tabell 4. Posisjon, dybde og utfôret mengde (for perioden 17.07 – 18.11.2020) for prøvetakningsstasjonene som inngår i undersøkelsen ved Ytre Hadseløya, november 2020.

Stasjonsnummer	Nordlig bredde	Østlig lengde	Dyp (m)	Utfôret mengde (Kg)
1	68°30,086	14°35,214	125	47617
2	68°30,086	14°35,243	131	38678
3	68°30,086	14°35,275	131	57555
4	68°30,097	14°35,271	131	52909
5	68°30,097	14°35,214	124	42805
6	68°30,097	14°35,184	124	47269
7	68°30,074	14°35,272	131	47435
8	68°30,074	14°35,214	131	45235
9	68°30,042	14°35,242	135	11786
10	68°30,031	14°35,332	132	2772
11	68°30,075	14°35,389	130	6729
12	68°30,042	14°35,448	131	2097
13	68°30,063	14°35,329	131	12298
14	68°30,097	14°35,359	130	26692
15	68°30,107	14°35,448	128	5670
16	68°30,108	14°35,301	131	12095
17	68°30,129	14°35,359	130	3392
18	68°30,129	14°35,184	124	31533
19	68°30,118	14°35,098	124	15302
20	68°30,097	14°34,918	125	12832
21	68°30,140	14°35,038	124	5888
22	68°30,064	14°35,006	125	12038
23	68°30,100	14°35,137	127	10372
24	68°30,042	14°35,097	126	3962
25	68°30,010	14°35,125	139	2128
26	68°30,020	14°34,975	128	1642
27	68°30,107	14°34,712	130	2036
28	68°30,162	14°34,684	128	3980
29	68°30,151	14°34,830	125	4262
30	68°30,215	14°35,038	120	3214
31	68°30,247	14°35,272	123	4109
32	68°30,183	14°35,271	123	4075
33	68°30,150	14°35,566	127	11011
34	68°30,096	14°35,624	129	4762
35	68°30,064	14°35,536	130	7649

4 Resultater

Resultatene fra klassifiseringen er vist i Tabell 5. Fullstendig utfylt prøveskjema med utregning av karakter på prøvene ligger som vedlegg 7.1.

Tabell 5. Resultat fra klassifisering av anleggssonen lokaliteten Ytre Hadseløya, november 2020.

Parameter	Tilstand
Gruppe II - parametere (pH/Eh)	2
Gruppe III – parametere, (sensorisk)	2
Gruppe II + III – parametere (middelverdi)	2
LOKALITETSTILSTAND	2

Totalt ble det tatt 39 grabbskudd fordelt på 35 stasjoner, og det ble registret 94 % bløtbunn og 6 % hardbunn på lokaliteten. Primærsediment ble i hovedsak definert til å være silt, med innslag av sand, grus, skjellsand og noe stein.

Det ble målt pH/redoks-verdier på 33 av stasjonene. For de stasjonene det ikke var tilstrekkelig med sediment i prøven til å kunne gjøre pH/redoks målingene ble gruppe II parametere i B.1 skjema satt som "ut", og det ble gjort vurderinger av gruppe III parameterne.

Det ble registrert dyr på alle stasjonene. Dominerende dyregruppe var børstemark, men det ble også observert individer av kommakreps.

Registrering av lukt i prøvene var basert på lukten i øverste laget i prøvematerialet. I prøvematerialet på 17 av stasjonene ble det registrert noe avvikende lukt, og på de resterende 18 stasjonene ble det ikke registrert avvikende lukt. Det er forøvrig kommentert i B.2 – skjema at det var noe flyktig H_2S-lukt i nedre lag i sedimentet på enkelte stasjoner (stasjon 10, 12 og 30 – 35).

På stasjon 2, 20, 24 og 26 ble det registrert fôrrester i prøvematerialet. Det ble ikke registrert gassbobler, bakteriebelegg eller fekalier i noen av prøvene.

Resultatene fra gruppe II og gruppe III parameterne ga tilstand 1 – "Meget god" på 14 stasjoner, tilstand 3 – "Dårlig" på 11 stasjoner og tilstand 2 – "God" på 10 stasjoner.

Samlet tilstand for lokaliteten ble 2– "God"

5 Sammenfattende vurdering

Ut fra vurderingskriteriene i NS 9410:2016 er det dokumentert at lokaliteten på prøvetidspunktet fikk tilstand 2 – "God".

Det ble totalt gjennomført 39 grabbskudd med Van Veen grabb (0,04 m²), fordelt på 35 stasjoner. Prøvepunktene ble plassert innenfor anleggssirkelen i henhold til beskrivelse i utslippstillatelsen, samt i samråd med Fiskeridirektoratet region Nordland. 14 stasjoner fikk karakteren 1 – "Meget god", 10 stasjoner fikk karakteren 2 – "God" og 11 stasjoner fikk karakteren 3 – "Dårlig".

I henhold til NS 9410:2016, kap. 7.10 defineres Ytre Hadseløya som en bløtbunnslokalitet, med 94 % bløtbunn og 6 % hardbunn.

Undersøkelsen ble gjennomført ved halv organisk belastning på lokaliteten, da utfôret mengde var 50 % av beregnet total utfôring.

Registrering av lukt i prøvene ble basert på lukten i øverste laget i prøvematerialet. Bakgrunnen for dette er at det ved forundersøkelsen ble registrert H_2S-lukt i nedre lag av prøvesedimentet på flere stasjoner, uten at det er noen fullgod forklaring på dette (Remen, 2018). Det ansees derfor at flyktig H_2S-lukt i nedre lag i sedimentet er naturlig for den bunntypen som er på lokaliteten og i storparten av resipienten. Det anbefales at det tas høyde for dette ved fremtidige B-undersøkelser. Beskrivelse av sedimentet i C-delen av forundersøkelsen (Velvin m.fl., 2018) støtter teorien om at det er naturlig lukt i sedimentet, da det også her ble registrert H_2S-lukt i prøvematerialet.

Fra et miljømessig synspunkt og i henhold til metodikk er det registrert organisk belastning fra oppdrettsvirksomheten på lokaliteten. Resultatene viser særlig belastning i områdene for stasjonene som ligger i nordlig og østlig retning for senterpunktet. Dette sammenfaller trolig med at det er i dette området utfôringer har vært størst. Det er også noe belastning lengre ut i anleggssirkelen mot nordvest, som er i et området med jevnt over relativ lav utfôring (Figur 2). Hovedstrømsretning for spredningsstrøm viser høyest vanntransport mot nordvest, og dette er trolig med på å bidra til at nedfall fra havfarmen spres i denne retningen. Det anbefales derfor at området mot nordvest vurderes for videre oppfølging ved neste B-undersøkelse.

Ettersom dette er første undersøkelse etter oppstart av drift på lokaliteten, er det ingen direkte sammenlignbare undersøkelser som kan trekkes frem. Det ble gjennomført to B-undersøkelser i forbindelse med forundersøkelsen på lokaliteten (Remen, 2018 og Heggem, 2019), og ved begge undersøkelsen ble den samlede tilstanden 1 –"Meget god". Ved foreliggende undersøkelse ble det tilstand 2 – "God", og det er en dårligere tilstand på lokaliteten nå enn det var før produksjonen ble igangsatt. Det er i midlertidig for tidlig å si om dette er en trend mot økt belastning. Dersom resultater ved neste undersøkelse viser en fortsatt nedadgående trend, bør det vurderes å gå i dybden av enkeltfaktorer i produksjonen.

I henhold til utslippstillatelsen skal neste undersøkelse gjennomføres ved maksimal organisk belastning.

Lokaliteten gis tilstand 2 "God". I henhold til frekvens for B-undersøkelser angitt i NS 9410:2016, skal lokaliteten ha ny undersøkelse før neste utsett og ved neste maksimale belastning.

6 Litteratur

Forskrift om drift av akvakulturanlegg (akvakulturdriftsforskriften) §§ 35 og 36.

Heggem, T., 2017. Nordlaks Oppdrett AS. Strømmålinger Hadseløya. 5, 15, 80 og 134 meter. APN-8042.02.

Heggem, T., 2019. Nordlaks Oppdrett AS. Ekstra prøvepunkt, Ytre Hadseløya, 2019. APN-61043.01.

ISO 5667-19:2004. Guidance on sampling of marine sediments.

Norsk Standard NS 9410:2016. Miljøovervåking av bunnpåvirkning fra marine akvakulturanlegg.

Remen, V., 2018. Nordlaks Oppdrett AS. B-undersøkelse, Ytre Hadseløya 2017. Ny lokalitet. APN-9238.01.

Velvin, R., Remen, V. & Guneriussen, A., 2018. Nordlaks Oppdrett AS. C-undersøkelse på oppdrettslokaliteten Ytre Hadseløya, 2017. APN-9239.01.

Pers. medd. Kari Lorentzen, Rådgiver, Fiskeridirektoratet.

Pers. medd. Remi Mathisen, Prosjektleder, Nordlaks Oppdrett AS.

www.fiskeridir.no

7 Vedlegg

7.1 Skjema (B.1 og B.2) NS 9410:2016

Prøveskjema B.1

Firma:	Nordlaks Oppdrett AS	Dato:	26.11.2020
Lokalitet:	Ytre Hadseløya	Lokalitetsnr:	39777
Prøvetakingsansvarlig:	Vera Remen		

Gr	Parameter		Poeng	Prøvepunkt 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Bunntype: B (bløt) eller H (hard)			B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
I	Dyr > 1mm		Ja (0) Nei (1)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
II	pH		verdi	7,20	6,90	6,90	7,00	6,90	7,00	7,00	7,00	7,50	7,60
	Eh (mV)		ORP	-166	-290	-240	-268	-255	-245	-260	-241	-143	-131
			med ref. verdi	34	-90	-40	-68	-55	-45	-60	-41	57	69
	pH/Eh		fra figur	2	3	3	3	3	3	3	3	1	1
			Tilstand, prøve	2	3	3	3	3	3	3	3	1	1
			Buffer-temp	18,0 C		Sjø-temp	7,0 C			Sediment-temp		C	
		pH sjø	7,90	ORP sjø	204 mV		Eh sjø	404 mV		Referanse-elektrode		200,0 mV	
III	Gassbobler		Ja (4) Nei (0)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Farge		Lys/grå (0)										
			Brun/sort (2)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	Lukt		Ingen (0)									0	0
			Noe (2)	2	2	2	2	2	2	2	2		
			Sterk (4)										
	Konsistens		Fast (0)										
			Myk (2)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
			Løs (4)										
	Grabb-volum (v)		v < 1/4 (0)			0							
			1/4 < v < 3/4 (1)						1				
			v > 3/4 (2)	2	2		2	2		2	2	2	2
	Tykkelse på slamlag		t < 2 cm (0)	0		0	0	0	0	0	0	0	0
			2 < t < 8 cm (1)		1								
			t > 8 cm (2)										
			Sum	8,0	9,0	6,0	8,0	8,0	7,0	8,0	8,0	6,0	6,0
			Korrigert (*0,22)	1,8	2,0	1,3	1,8	1,8	1,5	1,8	1,8	1,3	1,3
			Tilstand prøve	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	Middelverdi gruppe II og III			1,9	2,5	2,2	2,4	2,4	2,3	2,4	2,4	1,2	1,2
	Tilstand prøve			2	3	3	3	3	3	3	3	2	2

Grabb ID	K-4
pH / Eh ID	23

side 1 av 8 sider

Prøveskjema B.1

Firma:	Nordlaks Oppdrett AS
Lokalitet:	Ytre Hadseløya
Prøvetakingsansvarlig:	Vera Remen

Dato:	26.11.2020
Lokalitetsnr:	39777

Gr	Parameter	Poeng	Prøvepunkt	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	Bunntype: B (bløt) eller H (hard)			H	B	B	B	B	B	B	B	B	B
I	Dyr > 1mm	Ja (0) Nei (1)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
II	pH	verdi	ut	7,50	7,00	7,00	7,60	7,20	7,40	7,00	7,10	7,30	
	Eh (mV)	verdi	ut	-90	-223	-287	-97	-210	-148	-226	-230	-118	
		med ref. verdi		110	-23	-87	103	-10	52	-26	-30	82	
	pH/Eh	fra figur	ut	0	3	3	0	2	1	3	2	1	
		Tilstand prøve	ut	1	3	3	1	2	1	3	2	1	
			Buffer-temp	18,0 C		Sjø-temp	7,0 C		Sediment-temp	C			
		pH sjø 7,9	ORP sjø	204 mV		Eh sjø	404 mV		Referanse-elektrode	200 mV			
III	Gassbobler	Ja (4) Nei (0)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Farge	Lys/grå (0)	0									0	
		Brun/sort (2)		2	2	2	2	2	2	2	2		
	Lukt	Ingen (0)	0	0					0			0	
		Noe (2)			2	2	2	2		2	2		
		Sterk (4)											
	Konsistens	Fast (0)	0										
		Myk (2)		2	2	2	2	2	2	2	2	2	
		Løs (4)											
	Grabb-volum (v)	v < 1/4 (0)	0										
		1/4 < v < 3/4 (1)											
		v > 3/4 (2)		2	2	2	2	2	2	2	2	2	
	Tykkelse på slamlag	t < 2 cm (0)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		2 < t < 8 cm (1)											
		t > 8 cm (2)											
		Sum	0,0	6,0	8,0	8,0	8,0	8,0	6,0	8,0	8,0	4,0	
		Korrigert (*0,22)	0,0	1,3	1,8	1,8	1,8	1,8	1,3	1,8	1,8	0,9	
		Tilstand prøve	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	
		Middelverdi gruppe II og III	0,0	0,7	2,4	2,4	0,9	1,9	1,2	2,4	1,9	0,9	
		Tilstand prøve	1	1	3	3	1	2	2	3	2	1	

Grabb ID	K-4
pH / Eh ID	23

side 2 av 8 sider

Prøveskjema B.1

Firma:	Nordlaks Oppdrett AS	Dato:	26.11.2020
Lokalitet:	Ytre Hadseløya	Lokalitetsnr:	39777
Prøvetakingsansvarlig:	Vera Remen		

Gr	Parameter		Poeng	Prøvepunkt									
				21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
	Bunntype: B (bløt) eller H (hard)			H	B	B	B	B	B	B	B	B	B
I	Dyr > 1mm		Ja (0) Nei (1)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
II	pH		verdi	ut	7,10	7,00	7,50	7,40	7,40	7,20	7,10	7,20	7,50
	Eh (mV)		verdi	ut	-208	-227	-75	-142	-172	-188	-207	-176	-45
			med ref. verdi		-8	-27	125	58	28	12	-7	24	155
	pH/Eh		fra figur	ut	2	3	0	1	1	2	2	2	0
	Tilstand prøve			ut	2	3	1	1	1	2	2	2	1
				Buffer-temp	18,0 C		Sjø-temp	7,0 C		Sediment-temp		C	
		pH sjø	7,9	ORP sjø	204 mV		Eh sjø	404 mV		Referanse-elektrode		200 mV	
III	Gassbobler		Ja (4) Nei (0)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Farge		Lys/grå (0)	0				0					
			Brun/sort (2)		2	2	2		2	2	2	2	2
	Lukt		Ingen (0)	0			0	0	0	0	0		0
			Noe (2)		2	2						2	
			Sterk (4)										
	Konsistens		Fast (0)	0									
			Myk (2)		2	2	2	2	2	2	2	2	2
			Løs (4)										
	Grabb-volum (v)		v < 1/4 (0)	2									
			1/4 < v < 3/4 (1)			1	1		1				
			v > 3/4 (2)		2			2		2	2	2	2
	Tykkelse på slamlag		t < 2 cm (0)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			2 < t < 8 cm (1)										
			t > 8 cm (2)										
			Sum	2,0	8,0	7,0	5,0	4,0	5,0	6,0	6,0	8,0	6,0
			Korrigert (*0,22)	0,4	1,8	1,5	1,1	0,9	1,1	1,3	1,3	1,8	1,3
			Tilstand prøve	1	2	2	2	1	2	2	2	2	2
	Middelverdi gruppe II og III			0,4	1,9	2,3	0,6	0,9	1,1	1,7	1,7	1,9	0,7
	Tilstand prøve			1	2	3	1	1	1	2	2	2	1

Grabb ID	K-4
pH / Eh ID	23

side 3 av 8 sider

Prøveskjema B.1

Firma:	Nordlaks Oppdrett AS
Lokalitet:	Ytre Hadseløya
Prøvetakingsansvarlig:	Vera Remen

Dato:	26.11.2020
Lokalitetsnr:	39777

Gr	Parameter	Poeng	Prøvepunkt 31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	Indeks B%	H%
	Bunntype: B (bløt) eller H (hard)		B	B	B	B	B						94	6
I	Dyr > 1mm	Ja (0) Nei (1)	0	0	0	0	0							
II	pH	verdi	7,70	7,60	7,60	7,60	7,60							
	Eh (mV)	verdi	-25	-34	-69	-30	-11							
		med ref. verdi	175	166	131	170	189							
	pH/Eh	fra figur	0	0	0	0	0						1,61	
	Tilstand prøve		1	1	1	1	1							
	Tilstand, gruppe II		2	Buffer-temp	18,0 C		Sjø-temp	7,0 C		Sediment-temp	C			
	pH sjø	7,9	ORP sjø	204 mV		Eh sjø	404 mV		Referanse-elektrode		200 mV			
III	Gassbobler	Ja (4) Nei (0)	0	0	0	0	0							
	Farge	Lys/grå (0)	0	0	0	0	0							
		Brun/sort (2)												
	Lukt	Ingen (0)	0	0	0	0	0							
		Noe (2)												
		Sterk (4)												
	Konsistens	Fast (0)												
		Myk (2)	2	2	2	2	2							
		Løs (4)												
	Grabb-volum (v)	v < 1/4 (0)												
		1/4 < v < 3/4 (1)	2	2	2	2	2							
		v > 3/4 (2)												
	Tykkelse på slamlag	t < 2 cm (0)	0	0	0	0	0							
		2 < t < 8 cm (1)												
		t > 8 cm (2)												
		Sum	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0							
		Korrigert (*0,22)	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9						1,35	
		Tilstand prøve	1	1	1	1	1							
		Tilstand gruppe III	2											
		Middelverdi gruppe II og III	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4						1,44	
		Tilstand prøve	1	1	1	1	1							
		Tilstand gruppe II og III	2											

pH/Eh Korr.sum Indeks Middelverdi	**Tilstand**
< 1,1	1
1,1 - <2,1	2
2,1 - <3,1	3
≥3,1	4

LOKALITETSTILSTAND: 2

Grabb ID	K-4
pH / Eh ID	23

side 4 av 8 sider

Prøveskjema B.2

Firma:	Nordlaks Oppdrett AS	Dato:	26.11.2020
Lokalitet:	Ytre Hadseløya	Lokalitetsnr:	39777
Prøvetakingsansvarlig:	Vera Remen		

Prøvepunkt		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Dyp (m)		125	131	131	131	124	124	131	131	135	132
Antall forsøk		2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Bobling (i prøve)											
Sedimenttype	Leire										
	Silt	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Sand	(X)	(X)	(X)	(X)	(X)	(X)	(X)	(X)	(X)	(X)
	Grus			(X)			(X)	(X)	(X)	(X)	(X)
	Skjellsand	(X)	(X)		(X)	(X)	(X)	(X)	(X)	(X)	(X)
Fjellbunn											
Steinbunn											
Pigghuder, antall											
Krepsdyr, antall										10	
Skjell, antall											
Børstemark, antall		30	70	50	100+	100+	100+	100+	70	100+	100+
Andre dyr, totalt antall											
Beggiatoa											
Fôr			(X)								
Fekalier											
Kommentar		**Registrering av lukt i prøvene er basert på lukten som er i øverste laget i prøvematerialet. Ved forundersøkelsen på lokaliteten (APN-9238.01) var det registrert lukt i nedre laget i sedimentet, og det antas derfor at lukt i nedre lag i sedimentet er naturlig. St 1:** Første forsøk, bomskudd; grabb ikke utløst. Trolig for mye oppdrift i grabbtau pga. dypet. Henger på ekstra lodd. Neste forsøk, ok. Noe mudder. **St 2 - 8:** Noe mudder i overflatelaget. St 2 har noe fôrrester. **St 9:** Noe terrestrisk materiale. Krepsdyr = kommakreps. **St 10:** Noe flyktig H_2S lukt i nedre lag. Dette samsvarer med det som ble registrert ved forundersøkelsen, og ansett som naturlig i sedimentet. Karakteren på lukt for denne stasjoneen er derfor satt til "0".										
Grabb		Areal [m^2]	0,04			Grabb ID		K-4			

Prøveskjema B.2

Firma:	Nordlaks Oppdrett AS	Dato:	26.11.2020
Lokalitet:	Ytre Hadseløya	Lokalitetsnr:	39777
Prøvetakingsansvarlig:	Vera Remen		

Prøvepunkt		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Dyp (m)		130	131	131	130	128	131	130	124	124	125
Antall forsøk		3	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Bobling (i prøve)											
Sedimenttype	Leire										
	Silt		X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Sand	(X)	(X)	(X)	(X)	(X)	(X)	(X)	(X)	(X)	(X)
	Grus									(X)	
	Skjellsand		(X)	(X)	(X)	(X)	(X)	(X)	(X)	(X)	(X)
Fjellbunn		(X)									
Steinbunn											
Pigghuder, antall											
Krepsdyr, antall				1							
Skjell, antall											
Børstemark, antall		2	100+	100+	100+	100+	100+	100+	100+	100+	100+
Andre dyr, totalt antall											
Beggiatoa											
Fôr											(X)
Fekalier											
Kommentar		**Registrering av lukt i prøvene er basert på lukten som er i øverste laget i prøvematerialet. Ved forundersøkelsen på lokaliteten (APN-9238.01) var det registrert lukt i nedre lag i sedimentet, og det antas derfor at lukt i nedre lag i sedimentet er naturlig. St 11:** Første og andre forsøk, kun vann i grabben. Tredje forsøk, skrap fra fjell. Ikke nok til å måle pH/Eh, men vurdert gr.III paramatere. **St 12:** Noe lukt i nedre lag, se kommentar for st. 10. Karakteren for lukt er satt til "0". **St 13:** Første forsøk kun vann. Andre forsøk, ok. Noe mudder. Krepsdyr = kommakreps. **st 14 - 17:** Noe mudder. **St 18 og 19:** Noe mudder. Noe slim. **St 20:** Noe mudder. Noe fôrrester. Naturlig olivengrønn farge på sedimentet gir karakter "0" på farge.									
Grabb		Areal [m^2]	0,04			Grabb ID		K-4			

Prøveskjema B.2

Firma:	Nordlaks Oppdrett AS	Dato:	26.11.2020
Lokalitet:	Ytre Hadseløya	Lokalitetsnr:	39777
Prøvetakingsansvarlig:	Vera Remen		

Prøvepunkt		21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Dyp (m)		124	125	127	126	139	128	130	128	125	120
Antall forsøk		2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Bobling (i prøve)											
Sedimenttype	Leire										
	Silt		X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Sand	(X)	(X)	(X)	(X)	(X)		(X)	(X)	(X)	(X)
	Grus			X	X	(X)	X				
	Skjellsand		(X)			(X)		(X)	(X)	(X)	(X)
Fjellbunn		X									
Steinbunn											
Pigghuder, antall											
Krepsdyr, antall											
Skjell, antall											
Børstemark, antall		10	100+	100+	100+	100+	100+	100+	100+	100+	100+
Andre dyr, totalt antall											
Beggiatoa											
Fôr					(X)		(X)				
Fekalier											
Kommentar		**Registrering av lukt i prøvene er basert på lukten i øverste laget i prøvematerialet. Ved forundersøkelsen på lokaliteten (APN-9238.01) var det registrert lukt i nedre lag i sedimentet, og det antas derfor at lukt i nedre lag i sedimentet er naturlig. St 21:** Første forsøk, kun vann. Andre forsøk, skrap fra fjell. Ikke nok til å måle pH/Eh, men vurdert gr.III parameterne. **St 22:** Noe mudder. **St 24:** Noe stein. Noe fôrrester. **St 25:** Noe stein. Noe mudder. Naturlig farge på sedimentet, og karakteren for farge er derfor satt til "0". **St 26:** Noe fôrrester. **St 27 - 29:** Noe mudder. **St 30:** Noe mudder. Noe lukt i nedre lag. se kommentar st. 10. Karakteren for lukt er satt til "0".									

Grabb	Areal [m^2]	0,04	Grabb ID	K-4

Prøveskjema B.2

Firma:	Nordlaks Oppdrett AS	Dato:	26.11.2020
Lokalitet:	Ytre Hadseløya	Lokalitetsnr:	39777
Prøvetakingsansvarlig:	Vera Remen		

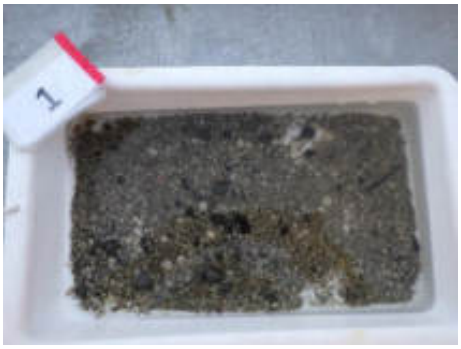
Prøvepunkt		31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
Dyp (m)		123	123	127	129	130					
Antall forsøk		1	1	1	1	1					
Bobling (i prøve)											
Sedimenttype	Leire										
	Silt	X	X	X	X	X					
	Sand	(X)	(X)	(X)	(X)	(X)					
	Grus										
	Skjellsand	(X)	(X)	(X)	(X)	(X)					
Fjellbunn											
Steinbunn											
Pigghuder, antall											
Krepsdyr, antall											
Skjell, antall											
Børstemark, antall		100+	100+	100+	100+	100+					
Andre dyr, totalt antall											
Beggiatoa											
Fôr											
Fekalier											

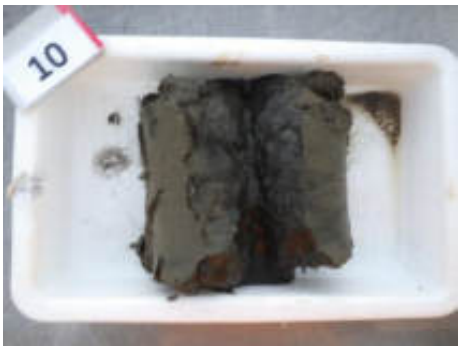
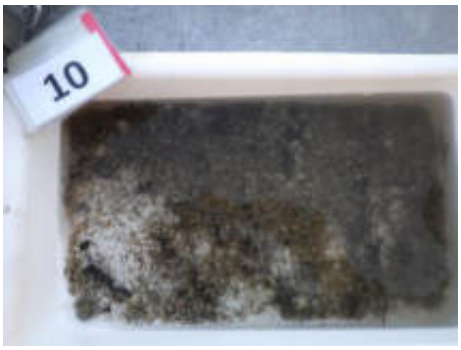
Kommentar

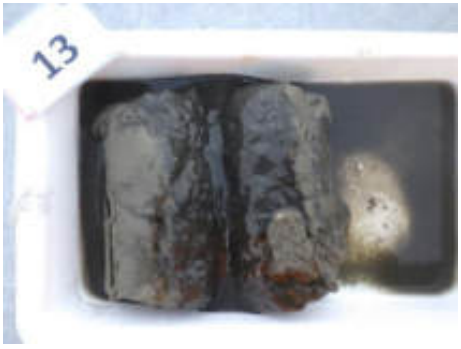
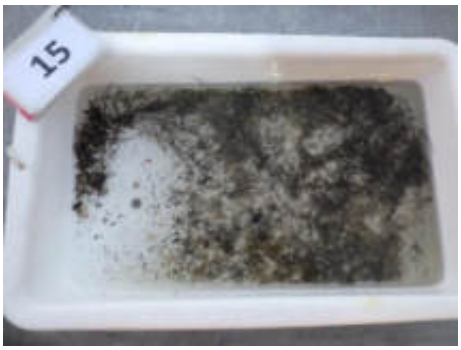
Registrering av lukt i prøvene er basert på lukten som er i øverste laget i prøvematerialet. Ved forundersøkelsen (APN-9238.01) var det registrert lukt i nedre lag i sedimentet, og det antas derfor at lukt i nedre lag i sedimentet er naturlig. St 31 - 35: Noe mudder. Naturlig farge på sedimentet, og karakteren for farge er derfor satt til "0". Noe lukt i nedre lag. Se kommentar st. 10. Karakteren for lukt er satt til "0".

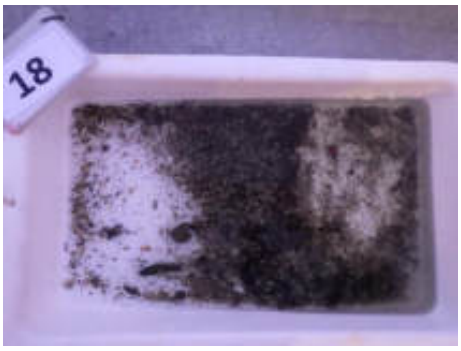
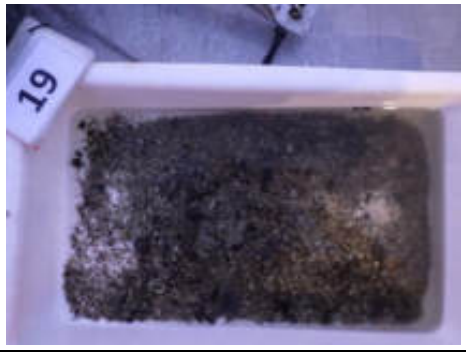
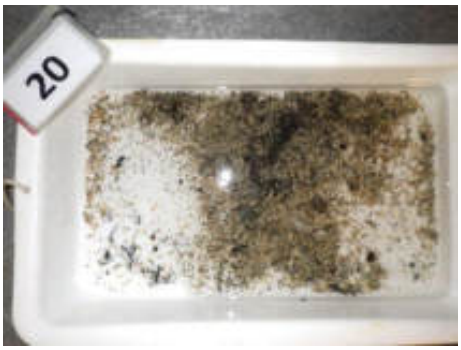
Grabb	Areal [m^2]	0,04	Grabb ID	K-4
Signatur prøvetakingsansvarlig:	Vera Remen			side 8 av 8 sider

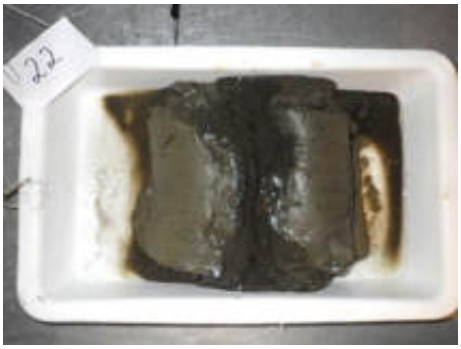
7.2 Bilder av prøver ved Ytre Hadseløya

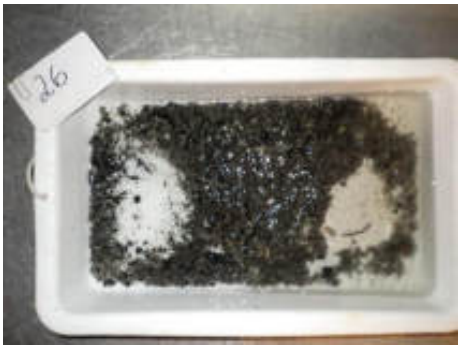
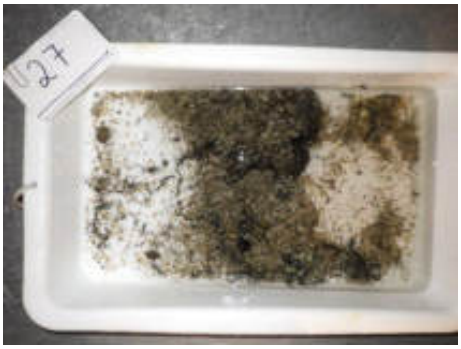
St	Bilde før sikting	Bilde etter sikting
1		
2		
3		
4		
5		

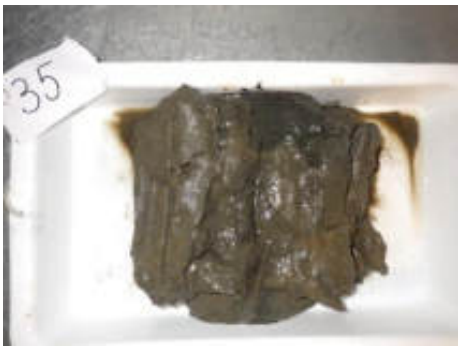
St	Bilde før sikting	Bilde etter sikting
6		
7		
8		
9		
10		

St	Bilde før sikting	Bilde etter sikting
11		Ingen bilde
12	Ingen bilde	
13		
14		
15		

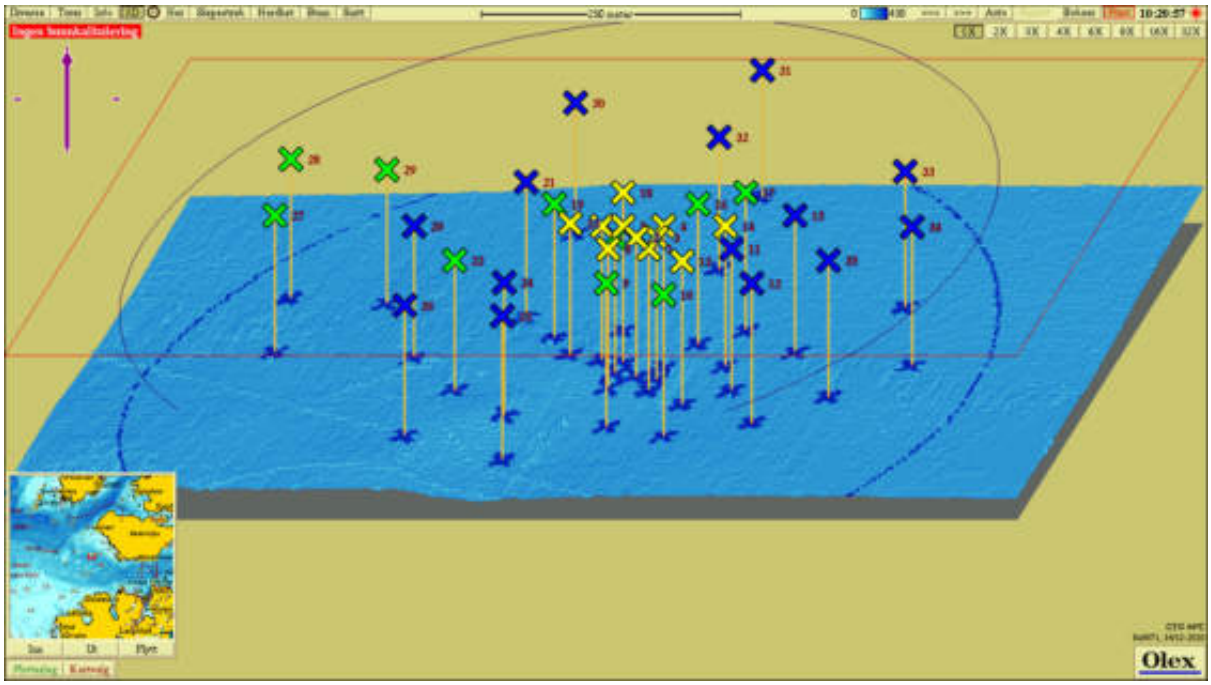
St	Bilde før sikting	Bilde etter sikting
16		
17		
18		
19		
20		

St	Bilde før sikting	Bilde etter sikting
21		Ingen bilde
22		
23		
24		
25		

St	Bilde før sikting	Bilde etter sikting
26		
27		
28		
29		
30		

St	Bilde før sikting	Bilde etter sikting
31		
32		
33		
34		
35		

7.3 Bunntopografi og 3D-visning



Figur 5. 3-D visning av bunntopografi ved Ytre Hadseløya, november 2020. Nummererte stasjoner er gjengitt i Figur 3, Figur 3 og Tabell 4.

Akvaplan-niva AS Rapport: 2021 62897.02

Nordlaks Oppdrett AS

B-undersøkelse, 39777 Ytre Hadseløya, 2021

Høyeste belastning

Blank side

Akvaplan-niva AS
Rådgivning og forskning innen miljø og akvakultur
Org.nr: NO 937 375 158 MVA
Framsenteret, Postboks 6066 Langnes, 9296 Tromsø
Tlf: 77 75 03 00
www.akvaplan.niva.no

Informasjon om oppdragsgiver			
Tittel	Nordlaks Oppdrett AS: B-undersøkelse, 39777 Ytre Hadseløya, 2021 . Høyeste belastning		
Rapportnummer	2021 62897.02		
Lokalitetsnummer	39777	Kartkoordinater	68°30,081 N 14°35,140 Ø
Fylke	Nordland	Kommune	Hadsel
MTB-tillatelse	10 000 tonn (midlertidig tillatelse frem til 31.12.2025)	Kontaktperson	Remi Mathisen
Oppdragsgiver	Nordlaks Oppdrett AS		

Biomasse/produksjonsstatus ved undersøkelsesdato			
Biomasse anlegg ved undersøkelse	8352 tonn	Utfôret mengde	8188 tonn
Fiskegruppe	Laks	Produsert mengde	6880 tonn
Bakgrunnen for undersøkelsen	**Angitt ved kryss**	**Merknad**	
Maksimal organisk belastning jfr. kap 7.9	☒	Denne rapporten erstatter APN rapportnummer 62897.01. Det er gjort korrigeringer i data for produksjonstall etter ny informasjon fra oppdretter.	
Oppfølgende undersøkelse	☐		
Halv maksimal biomasse	☐		
Før nytt utsett	☐		
Krav fylkesmannen forundersøkelse	☐		
Annet	☐		
Brakklegging:	Planlagt utslaktet i mai 2021 (uke 21), med neste utsett i juli 2021.		

Resultat fra B-undersøkelse iht. NS 9410:2016 (hovedresultat)			
Parametergruppe og indeks		**Parametergruppe og tilstand**	
Gr. II. pH/Eh	0,48	Gr. II. pH/Eh	1
Gr. III. Sensorikk	1,06	Gr. III. Sensorikk	1
GR. II + III	0,75	GR. II+ III	1
Dato feltarbeid	25 – 26.02.2021	**Dato rapport**	23.03.21
Lokalitetstilstand (NS 9410:2016):			**1**

Rapport og prosjektledelse	Vera Remen	Signatur	Vera Remen
Kvalitetskontroll	Gyda W. Lorås	Signatur	Gyda Wuttudal Lorås Digitally signed by Gyda Wuttudal Lorås Date: 2021.03.23 12:52:56 +01'00'

© 2021 Akvaplan-niva AS. Rapporten kan kun kopieres i sin helhet. Kopiering av deler av rapporten (tekstutsnitt, figurer, tabeller, konklusjoner, osv.) eller gjengivelse på annen måte, er kun tillatt etter skriftlig samtykke fra Akvaplan-niva AS.

INNHOLDSFORTEGNELSE

FORORD 5
1 INNLEDNING 6
2 FAGLIG PROGRAM OG METODIKK 7
2.1 Utstyr 7
3 LOKALITETSBESKRIVELSE, DRIFT OG STASJONSPLASSERING 8
3.1 Lokalitetsbeskrivelse og drift 8
3.2 Nåværende og tidligere undersøkelser 9
3.3 Spredningsstrøm 9
3.4 Stasjonsopplysninger 9
4 RESULTATER 12
5 SAMMENFATTENDE VURDERING 13
6 LITTERATUR 14
7 VEDLEGG 15
7.1 Skjema (B.1 og B.2) NS 9410:2016 15
7.2 Bilder av prøver ved Ytre Hadseløya 23
7.3 Bunntopografi og 3D-visning 29

Forord

Undersøkelsene er etter beste evne gjennomført i henhold til NS 9410:2016 som omfatter sedimentundersøkelser, faunavurderinger og bunntopografiske registreringer. Miljøundersøkelsene reguleres av § 35 i akvakulturdriftsforskriften.

Lokaliteten har i henhold til utslippstillatelsen en midlertidig tillatelse på 10 000 tonn maksimalt tillatt biomasse (MTB). Biomasse er definert som den til enhver tid stående biomasse av levende fisk. Anleggets MTB utløser krav om 26 prøvestasjoner.

Følgende har deltatt:

Vera Remen	Akvaplan-niva AS	Prosjektleder. Feltarbeid. Kart (Olex). Rapport.
Gyda W. Lorås	Akvaplan-niva AS	Kvalitetssikring

Akkreditert virksomhet: Følgende deler av denne rapporten er utført etter akkrediterte metoder:

Innsamling og behandling av bløtbunnsprøver for sedimentanalyser, samt vurderinger og fortolkninger.

	Akvaplan-niva AS er akkreditert av Norsk Akkreditering for prøvetaking og faglig vurderinger og fortolkninger, akkrediteringsnummer TEST 079. Akkrediteringen er iht. NS-EN ISO/IEC 17025 Akkrediteringen omfatter bla. NS 9410, NS-EN ISO 5667-19 og NS-EN ISO 16665.

Akvaplan-niva AS vil takke Nordlaks Oppdrett AS, Ved Remi Mathisen og Bjarne Johansen, og mannskap på MS Rognkjeksen (NOR Maritime Service AS) for samarbeidet med undersøkelsen og feltarbeidet.

Denne rapporten erstatter APN rapportnummer 62897.01. Etter ny informasjon fra oppdretter er det gjort korrigeringer i data for stående biomasse, produksjon og utfôret mengde ved tidspunktet for undersøkelsen.

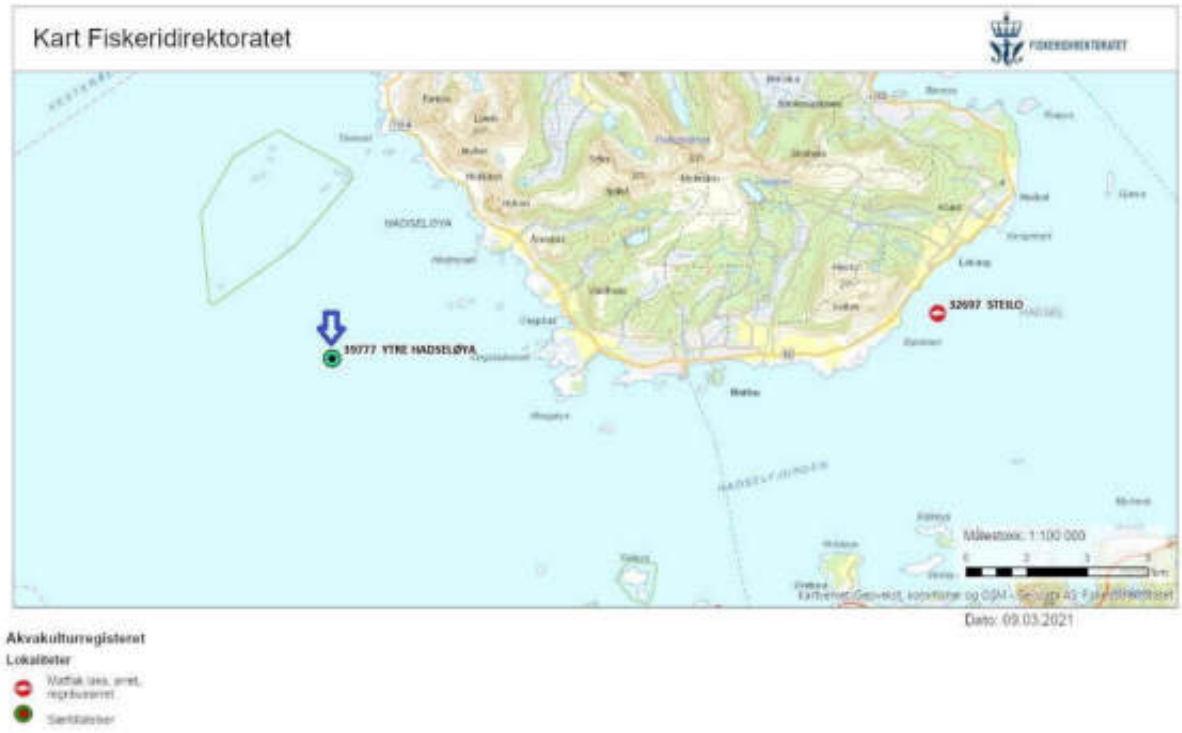
1 Innledning

Foreliggende undersøkelse er gjennomført av Akvaplan-niva AS på oppdrag fra Nordlaks Oppdrett AS i forbindelse med bedriftens oppdrettsvirksomhet på lokaliteten 39777 Ytre Hadseløya i Hadselfjorden, Hadsel kommune i Nordland fylke.

Formålet med B-undersøkelsen er å dokumentere miljøtilstanden i lokalitetens anleggssone i henhold til NS 9410:2016 som omfatter sedimentundersøkelser, faunavurderinger og bunntopografiske registreringer. I dette tilfellet er anleggssonen definert som anleggsarealet og/eller anleggssirkelen som anlegget befinner seg i.

Undersøkelsene vurderer lokalitetenes tilstand mht. organisk belastning, samt egnethet for oppdrettsvirksomhet.

Figur 1 viser et kartutsnitt av Hadselfjorden der Lokaliteten Ytre Hadseløya ligger.



Figur 1. Oversiktskart for området ved Ytre Hadseløya (blå pil). Oppdrettsanleggene er markert med lokalitetsnummer og navn. Kart fra www.fiskeridir.no Fiskeridirektoratet, målestokk 1:100 000.

2 Faglig program og metodikk

Miljøovervåkning av bunnpåvirkning fra marine akvakulturanlegg er et system for standardisering av miljøovervåking for oppdrettsanlegg i sjø. Alle lokaliteter som er i bruk, skal regelmessig overvåkes. Overvåkningsprogrammet er hjemlet i akvakulturdriftsforskriften § 35 og metodikk for undersøkelsene er beskrevet i NS 9410:2016.

B-undersøkelsen er en trendovervåkning av bunnforholdene under og i den umiddelbare nærheten av et akvakulturanlegg. Sedimentprøver tas ved hjelp av en grabb (min. 250 cm^2). Hvert grabbhogg blir undersøkt med hensyn på tre grupper av sedimentparametre; faunaundersøkelse, kjemisk undersøkelse (pH og redoks-potensial) og en sensorisk undersøkelse (forekomst av gassbobler, lukt, sedimentets konsistens og farge, samt tykkelse av deponert slam). Sedimentparametrene gis poeng (skala fra 1-4) etter hvor mye sedimentet er påvirket av tilførsler av organisk stoff, jfr. Tabell 1. Antall prøvestasjoner bestemmes av lokalitetens MTB, og det er et samlet gjennomsnitt for alle prøvene som fastsetter lokalitetstilstanden. På bakgrunn av klassifiseringen avgjøres det videre overvåkningsnivået.

Tabell 1. Frekvens for B-undersøkelse i lokalitetens anleggssone i forhold til lokalitetstilstand på lokaliteten.

Lokalitetstilstand ved maksimal organisk belastning	Overvåkingsfrekvens for B-undersøkelse
1-meget god	Ved neste maksimale belastning
2-god	Før utsett og igjen ved maksimal belastning
3-dårlig	Før utsett Dersom undersøkelse før utsett gir: - Tilstand 1 – undersøkelse gjennomføres ved neste maksimale belastning - Tilstand 2 – undersøkelse gjennomføres ved halv maksimal belastning og ved neste maksimale belastning - Tilstand 3 – undersøkelse gjennomføres ved halv maksimal belastning og ved maksimal belastning. I forhold til neste produksjonssyklus planlegges tiltak. Dersom noen av undersøkelsene viser tilstand 4 vil det være overbelastning.
4-meget dårlig	Overbelastning

2.1 Utstyr

Følgende utstyr ble anvendt i denne undersøkelsen:
Grabb: Van Veen grabb (0,04 og 0,1 m^2)
Sikt 1 mm: Akvaplan-niva
pH måler: Elektrode, YSI Professional Plus
Redox-måler: Elektrode, YSI Professional Plus
Posisjonsbestemmelse – GPS map 62s. For posisjon på stasjoner.
Digitalkamera

3 Lokalitetsbeskrivelse, drift og stasjonsplassering

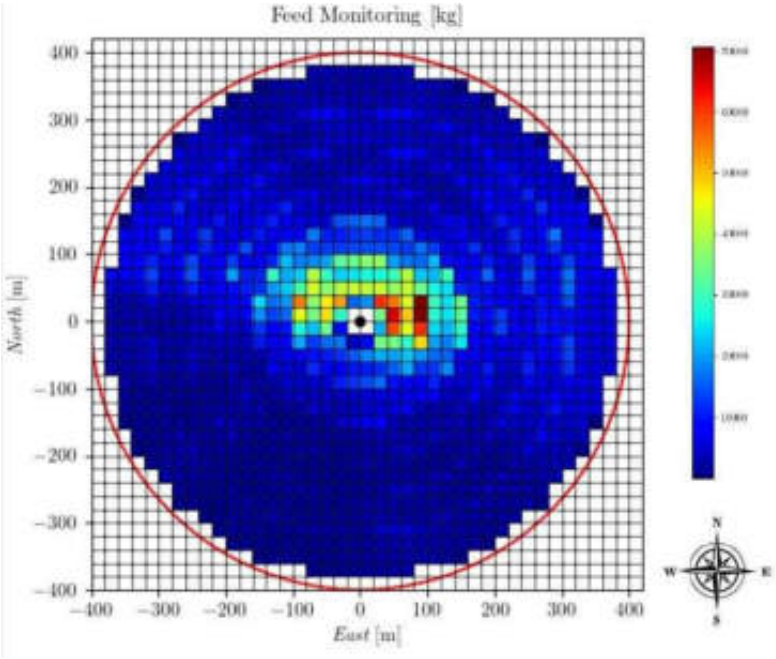
3.1 Lokalitetsbeskrivelse og drift

Lokaliteten ligger ytterst i Hadselfjorden, og er plassert omlag 5 km sørvest for Hadseløya. Anleggsområdet ligger over et dypområde i resipienten, og innenfor anleggssirkelen varierer dypet fra omlag 120 meter til 140 meter. Resipienten er omgitt av holmer og skjær i nordvest og sørøst, og bunntopografien i disse områdene er kupert med flere grunnområder. Det er også et noe grunnere område sør for lokaliteten med dyp fra ca. 90 – 110 meter. Det er ingen terskeldannelser mellom lokaliteten og største dyp i resipienten.

Anleggskonstruksjonen på Ytre Hadseløya er særskilt i sitt slag, hvor seks merder er plassert i havfarmen "Jostein Albert". Havfarmen er 385 m lang og ca. 60 m bred. Den ligger fast forankret på svai rundt lokalitetens senterpunkt, og kan bevege seg innenfor en gitt anleggssirkel med radius på ca. 400 m.

Driften på lokaliteten var nyoppstartet på sensommeren 2020. Merdene er på 50 x 50 meter, og alle hadde vært benyttet i produksjonen da undersøkelsen ble gjennomført. Første generasjon av fisk ble satt ut i perioden 24. juli – 6. september 2020, og da med snitt vekt på 1300 – 2000 gram. Ved tidspunktet for undersøkelsen var stående biomasse på ca. 8352 tonn, med snittvekt på ca. 4,34 kg, og totalt utfôret mengde i produksjonssyklusen lå mellom 75 % - 90 % (pers. medd. Mathisen).

Oppdretter har utviklet et system som sørger for en detaljert loggføring av utfôringen innenfor anleggssirkelen, og ved å plassere grid (20 x 20 m) over anleggsområdet har de mulighet til å kvantifisere utfôringen i hvert enkelt gridpunkt nøyaktig. Figur 2 viser en grafisk fremstilling av totalt forbruk av fôr per gridpunkt i anleggssirkelen for perioden 17. juli 2020 – 14. februar 2021, og Tabell 2 viser produksjon og fôrforbruk for første (inneværende) generasjon på lokaliteten.



Figur 2. Grafisk fremstilling av fôrforbruk per gridpunkt i perioden 17. juli 2020 – 14. februar 2021 ved lokaliteten Ytre Hadseløya. Gridpunktene er 20 x 20 meter. Fôrmengde (Kg) er beskrevet i fargeskala fra blå til rød, hvor blå farge viser lavest utfôring og rød farge høyest utfôring. Figur er innhentet fra oppdragsgiver.

Tabell 2. Produksjon og fôrforbruk for lokaliteten Ytre Hadseløya, data er innhentet fra oppdragsgiver.

Generasjon av fisk	Produksjon (tonn)	Fôrforbruk (tonn)
Inneværende generasjon	6880	8188

3.2 Nåværende og tidligere undersøkelser

Tabell 3 viser resultat og dato for prøvetaking ved de siste B-undersøkelsene på lokaliteten.

Tabell 3. Foreliggende og tidligere gjennomførte B-undersøkelser ved lokaliteten.

Dato prøvetaking	Rapportnummer	Type undersøkelse	Lokalitetstilstand
25 – 26.02.2021	APN-62897.02 (Remen, 2021)	Høyeste belastning	1
26.11.2020	APN-62637.01 (Remen, 2020)	Halv belastning	2
11.03.2019	APN-61043.01 (Heggem, 2019)	Ekstra prøvepunkter ifm. ny lokalitet (krav fra Fylkesmannen i Nordland og Fiskeridirektoratet)	1
27.11.2017 og 06.12.2017	APN-9238.01 (Remen, 2018)	Ny lokalitet (Forundersøkelse)	1

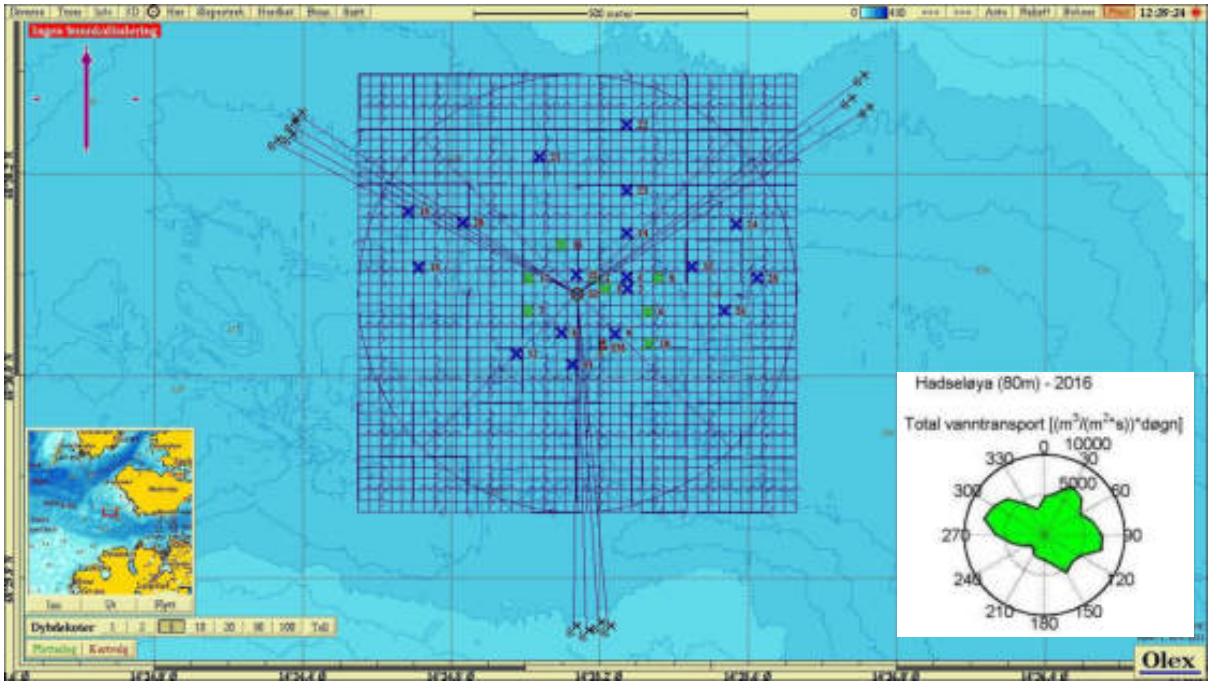
3.3 Spredningsstrøm

Dominerende strømretning på spredningsdyp (80 m) er noe uklart definert. Målingene ved spredningsdypet viser vanntransport mot nordvest, nordøst, øst og sørøst, med høyest vanntransport mot nordvest (285 grader). Gjennomsnittlig strømhastighet er målt til 4,7 cm/s. Høyeste strømhastighet er målt til 18,8 cm/s og 3,7 % av målingene er < 1 cm/s (Heggem, 2017).

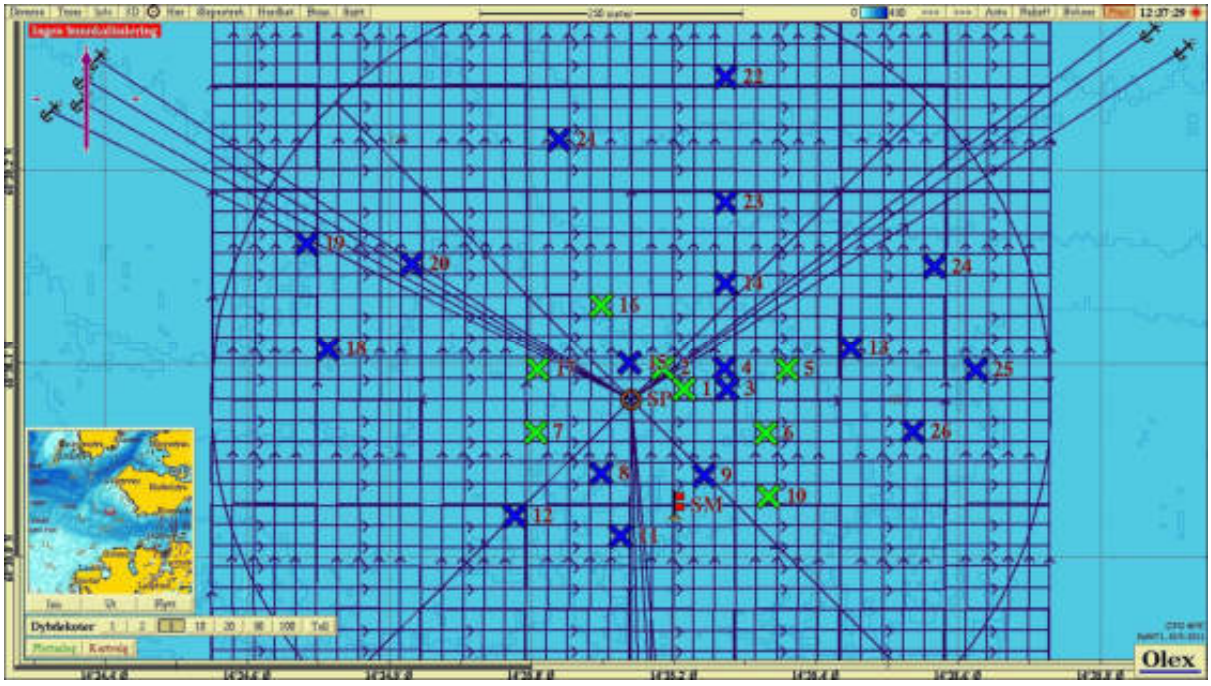
3.4 Stasjonsopplysninger

Valg av stasjonsplassering er gjort iht. utslippstillatelsen og i samråd med Fiskeridirektoratet. Kart med stasjonene som inngikk i undersøkelsen er vist i Figur 3, med nærbilde i Figur 4. Det er plassert grid (20 x 20 meter) over anleggssirkelen, og oppdretter har laget en grafisk fremstilling av det totale forbruket av fôr per gridpunkt for perioden 17. juli 2020 – 14. februar 2021 (Figur 2). Etter avtale med Fiskeridirektoratet v/Anette Ellingsen ble det benyttet fôrdata hentet ut for perioden 17.07.2020 - 14.02.2021 som grunnlag for stasjonsplasseringene. Stasjonene ble plassert utfra hvor utfôringen hadde vært størst, og slik at et større område rundt senterpunkt ble dekket. I tillegg ble det fordelt stasjoner i områdene hvor merdene hadde vært lengre ut i anleggssirkelen, for å få kunnskap om spredning av partikkelutslipp fra anlegget. Koordinater og dyp, samt utfôret mengde for gridpunktene hvor stasjonene ble plassert er vist i Tabell 4.

Det er valgt å ikke tegne in situs posisjon for havfarmen i figurene. Dette fordi havfarmen flyttet seg noe i løpet av tiden feltarbeidet ble gjennomført, og fordi det blir mye "støy" i figurene siden det er gridpunkter i anleggssirkelen og mange stasjoner som skal synliggjøres. Ved tidspunktet for undersøkelsen var havfarmen stort sett på øst- og sørlige side av senterpunktet.



Figur 3. Stasjonsoversikt. Ytre Hadseløya, februar 2021. Prøvetakingsstasjonene er tegnet inn med fargekode som beskriver tilstand iht NS 9410:2016 (1 = blå, 2 = grønn, 3 = gul, 4 = rød). Strømrose (til høyre) viser retning av vanntransport ved spredningsdyp på lokaliteten (Heggem, 2017). Rødt flagg viser plassering av strømmåler.



Figur 4. Stasjonsoversikt, nærbilde, Ytre Hadseløya, februar 2021. Prøvetakingsstasjonene er tegnet inn med fargekode som beskriver tilstand iht. NS 9410:2016 (1 0 blå, 2 = grønn, 3 = gul, 4 = rød). Strømrose er vist i Figur 3. Rødt flagg viser plassering av strømmåler.

Tabell 4. Posisjon, dybde og utfôret mengde (for perioden 17.07.2020 – 14.02.2021) for prøvetakningsstasjonene som inngår i undersøkelsen ved Ytre Hadseløya, februar 2021. Fôrdata er innhentet fra oppdragsgiver.

Stasjonsnummer	Nordlig bredde	Østlig lengde	Dyp (m)	Utfôret mengde (Kg)
1	68°30,086	14°35,214	125	65186
2	68°30,097	14°35,184	124	60802
3	68°30,086	14°35,275	131	70669
4	68°30,097	14°35,271	131	70239
5	68°30,097	14°35,359	130	33905
6	68°30,063	14°35,329	131	50942
7	68°30,064	14°35,006	125	20893
8	68°30,042	14°35,097	126	7089
9	68°30,042	14°35,242	135	20483
10	68°30,031	14°35,332	132	6077
11	68°30,010	14°35,125	139	4119
12	68°30,020	14°34,975	128	3507
13	68°30,107	14°35,448	128	7704
14	68°30,141	14°35,271	134	16860
15	68°30,100	14°35,137	127	16156
16	68°30,129	14°35,097	132	32947
17	68°30,097	14°35,007	126	54735
18	68°30,107	14°34,712	130	5400
19	68°30,162	14°34,684	128	7343
20	68°30,151	14°34,830	125	6613
21	68°30,215	14°35,038	120	6338
22	68°30,247	14°35,272	123	5154
23	68°30,183	14°35,271	123	4873
24	68°30,150	14°35,566	127	17114
25	68°30,096	14°35,624	129	6764
26	68°30,064	14°35,536	130	9214

4 Resultater

Resultatene fra klassifiseringen er vist i Tabell 5. Fullstendig utfylt prøveskjema med utregning av karakter på prøvene ligger som vedlegg.

Tabell 5. Resultat fra klassifisering av anleggssonen ved lokaliteten Ytre Hadseløya, februar 2021.

Parameter	Tilstand
Gruppe II - parametere (pH/Eh)	1
Gruppe III – parametere, (sensorisk)	1
Gruppe II + III – parametere (middelverdi)	1
LOKALITETSTILSTAND	1

Totalt ble det tatt 43 grabbskudd fordelt på 26 stasjoner, og det ble registret 81 % bløtbunn og 19 % hardbunn på lokaliteten. Primærsediment ble i hovedsak definert til å være silt, med innslag av sand, grus, skjellsand og stein.

Det ble målt pH/redoks-verdier på 21 av stasjonene. Stasjoner hvor det ikke var tilstrekkelig med sediment i prøven til å kunne gjøre pH/redoks-målinger ble definert som hardbunn, målingene av gruppe II parametere i B.1 skjema ble satt som "ut", og det ble gjort vurderinger av gruppe III parameterne.

Det ble registrert dyr på 24 av stasjonene. Dominerende dyregruppe var børstemark og skjell.

Registrering av lukt i prøvene var basert på lukten i øverste laget i prøvematerialet. I prøvematerialet på 10 av stasjonene ble det registrert noe avvikende lukt, og på de resterende 16 stasjonene ble det ikke registrert avvikende lukt. Det er forøvrig kommentert i B.2 – skjema at det var noe flyktig H_2S-lukt i nedre lag i sedimentet på enkelte stasjoner (stasjon 21 – 26).

På stasjon 15 ble det registrert bakteriebelegg på stein. Det ble ikke registrert gassbobler, fôrrester eller fekalier i noen av prøvene.

Ut fra middelverdiene for gruppe II og gruppe III parameterne fikk 18 stasjoner tilstand 1 – "Meget god" og åtte stasjoner tilstand 2 – "God".

Samlet tilstand for lokaliteten ble 1– "Meget god"

5 Sammenfattende vurdering

Ut fra vurderingskriteriene i NS 9410:2016 er det dokumentert at lokaliteten på prøvetidspunktet fikk tilstand 1 – "Meget god".

Det ble totalt gjennomført 43 grabbskudd med Van Veen grabb (0,04 og 0,1 m²), fordelt på 26 stasjoner. Prøvepunktene ble plassert innenfor anleggssirkelen i henhold til beskrivelse i utslippstillatelsen, samt i samråd med Fiskeridirektoratet region Nordland. 18 stasjoner fikk karakteren 1 – "Meget god" og åtte stasjoner fikk karakteren 2 – "God".

På enkelte stasjoner var det utfordringer med å få opp sediment, og en forklaring kan være at det er områder med blandingsbunn, hvor det også er forekomster av stein (se bilder i vedlegg 7.3, Figur 5). Dette kan medføre at stein forhindrer grabb i å lukke seg korrekt, og sediment renner ut av grabben under opphalingen.

I henhold til NS 9410:2016, kap. 7.10 defineres Ytre Hadseløya som en bløtbunnslokalitet, med 81 % bløtbunn og 19 % hardbunn.

Undersøkelsen ble gjennomført ved maksimal organisk belastning på lokaliteten, og utfôret mengde var 75 % - 90 % av beregnet total utfôring.

Registrering av lukt i prøvene ble basert på lukten i øverste laget i prøvematerialet. Bakgrunnen for dette er at det ved forundersøkelse før etablering av lokaliteten ble registrert H_2S-lukt i nedre lag av prøvesedimentet på flere stasjoner, uten at det er noen fullgod forklaring på dette (Remen, 2018). Det ansees derfor at flyktig H_2S-lukt i nedre lag i sedimentet er naturlig for bunntypen på lokaliteten og i storparten av tilhørende resipienten. Det anbefales at det tas høyde for dette ved fremtidige B-undersøkelser. Beskrivelse av sedimentet i forundersøkelsens del som omhandler overgangssonen, støtter teorien om at det er naturlig lukt i sedimentet, da det også her ble registrert H_2S-lukt i prøvematerialet (Velvin m.fl., 2018).

I henhold til metodikk er det samlet sett en meget god tilstand på lokaliteten. Fra et miljømessig synspunkt er det for øvrig registrert områder i indre del av anleggssirkelen med noe organisk belastning, hvor resultatene viser tilstand 2 – "God". Dette er i hovedsak områdene hvor merd 1 og 2 har vært plassert, og sammenfaller trolig med at det har vært høyere utfôringer her enn i de andre merdene. I og med at havfarmens forankring gjør at den ligger på svai rundt et senterpunkt vil merd 1 og 2, som er de to innerste merdene, ha et mindre område å bevege seg over enn de ytre merdene. Dermed vil også akkumulering fra disse to merdene fordele seg på et mer begrenset område. Det kan derfor vurderes å vektlegge bruk av de ytterste merdene i større grad, for å få best mulig spredning av nedfall utover anleggssirkelen.

Ettersom dette er første undersøkelse gjennomført på høyeste belastning på lokaliteten, er det ingen direkte sammenlignbare undersøkelser som kan trekkes frem. I november 2020 ble det gjennomført en B-undersøkelse på halv maksimal belastning (Remen, 2020), og lokaliteten fikk da tilstand 2 – "God". Sammenlignet med foreliggende undersøkelse er det en bedre tilstand på lokaliteten nå enn det var i samme produksjonssyklus ved halv belastning. Det er kun tre måneder mellom de to undersøkelsene, og en forbedring av resultatene på den korte tiden er en positivt trend for oppdrettsvirksomheten på lokaliteten, samt for resipientens restitusjonsevne.

Innen det er vedtatt et nytt overvåkingsprogram for anleggssonen skal neste undersøkelse gjennomføres ved halv maksimal organisk belastning i neste produksjonssyklus (jfr. utslippstillatelsen, 12.1.3).

6 Litteratur

Forskrift om drift av akvakulturanlegg (akvakulturdriftsforskriften) §§ 35 og 36.

Heggem, T., 2017. Nordlaks Oppdrett AS. Strømmålinger Hadseløya. 5, 15, 80 og 134 meter. APN-8042.02.

Heggem, T., 2019. Nordlaks Oppdrett AS. Ekstra prøvepunkt, Ytre Hadseløya, 2019. APN-61043.01.

ISO 5667-19:2004. Guidance on sampling of marine sediments.

Norsk Standard NS 9410:2016. Miljøovervåking av bunnpåvirkning fra marine akvakulturanlegg.

Remen, V., 2018. Nordlaks Oppdrett AS. B-undersøkelse, Ytre Hadseløya 2017. Ny lokalitet. APN-9238.01.

Remen, V., 2020. Nordlaks Oppdrett AS. B-undersøkelse, 39777 Ytre Hadseløya, november 2020. Halv belastning. APN-62637.01.

Velvin, R., Remen, V. & Guneriussen, A., 2018. Nordlaks Oppdrett AS. C-undersøkelse på oppdrettslokaliteten Ytre Hadseløya, 2017. APN-9239.01.

Pers med. Remi Mathisen, Prosjektleder, Nordlaks Oppdrett AS.

Utslippstillatelse Ytre Hadseløya, 2019. Saksnummer 2015/47.

Utslippstillatelse Ytre Hadseløya, 2020. Innvilget søknad om endringer av vilkår. Referansenummer 2020/6490.

www.fiskeridir.no

7 Vedlegg

7.1 Skjema (B.1 og B.2) NS 9410:2016

Prøveskjema B.1

Firma:	Nordlaks Oppdrett AS	Dato:	25-26.02.21
Lokalitet:	Ytre Hadseløya	Lokalitetsnr:	39777
Prøvetakingsansvarlig:	Vera Remen		

Gr	Parameter		Poeng	Prøvepunkt 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Bunntype: B (bløt) eller H (hard)			B	B	H	H	B	B	B	H	H	B
I	Dyr > 1mm		Ja (0) Nei (1)	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
II	pH		verdi	7,10	7,50	ut	ut	7,40	7,30	7,40	ut	ut	7,50
	Eh (mV)		ORP	-206	-193	ut	ut	-157	-131	-157	ut	ut	-142
			med ref. verdi	-6	7			43	69	43			58
	pH/Eh		fra figur	2	1	ut	ut	1	1	1	ut	ut	1
	Tilstand, prøve			2	1	ut	ut	1	1	1	ut	ut	1
			Buffer-temp	18,0 C			Sjø-temp	5,3 C		Sediment-temp		C	
		pH sjø	7,70	ORP sjø	218 mV		Eh sjø	418 mV		Referanse-elektrode		200,0 mV	
III	Gassbobler		Ja (4) Nei (0)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Farge		Lys/grå (0)				0				0		
			Brun/sort (2)	2	2	2		2	2	2		2	2
	Lukt		Ingen (0)			0	0				0	0	0
			Noe (2)	2	2			2	2	2			
			Sterk (4)										
	Konsistens		Fast (0)			0	0				0	0	
			Myk (2)	2	2			2	2	2			2
			Løs (4)										
	Grabb-volum (v)		v < 1/4 (0)		0	0	0				0	0	
			1/4 < v < 3/4 (1)										
			v > 3/4 (2)	2				2	2	2			2
	Tykkelse på slamlag		t < 2 cm (0)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			2 < t < 8 cm (1)										
			t > 8 cm (2)										
			Sum	8,0	6,0	2,0	0,0	8,0	8,0	8,0	0,0	2,0	6,0
			Korrigert (*0,22)	1,8	1,3	0,4	0,0	1,8	1,8	1,8	0,0	0,4	1,3
	Tilstand prøve			2	2	1	1	2	2	2	1	1	2
	Middelverdi gruppe II og III			1,9	1,2	0,4	0,0	1,4	1,4	1,4	0,0	0,4	1,2
	Tilstand prøve			2	2	1	1	2	2	2	1	1	2

Grabb ID	K-4 og K-18
pH / Eh ID	23

side 1 av 8 sider

Prøveskjema B.1

Firma:	Nordlaks Oppdrett AS
Lokalitet:	Ytre Hadseløya
Prøvetakingsansvarlig:	Vera Remen

Dato:	25-26.02.21
Lokalitetsnr:	39777

Gr	Parameter	Poeng	Prøvepunkt									
			11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	Bunntype: B (bløt) eller H (hard)		B	B	B	B	H	B	B	B	B	B
I	Dyr > 1mm	Ja (0) Nei (1)	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
II	pH	verdi	7,60	7,80	7,80	7,80	ut	7,50	7,60	7,80	7,90	7,80
	Eh (mV)	verdi	-112	41	42	58	ut	-187	-158	-4	37	45
		med ref. verdi	88	241	242	258		13	42	196	237	245
	pH/Eh	fra figur	1	0	0	0	ut	1	1	0	0	0
	Tilstand prøve		1	1	1	1	ut	1	1	1	1	1
			Buffer-temp	18,0 C		Sjø-temp	5,3 C		Sediment-temp	C		
	pH sjø	7,7	ORP sjø	218 mV		Eh sjø	418 mV		Referanse-elektrode	200 mV		
III	Gassbobler	Ja (4) Nei (0)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Farge	Lys/grå (0)	0	0			0			0	0	0
		Brun/sort (2)			2	2		2	2			
	Lukt	Ingen (0)	0	0						0	0	0
		Noe (2)			2	2	2	2	2			
		Sterk (4)										
	Konsistens	Fast (0)					0					
		Myk (2)	2	2	2	2		2	2	2	2	2
		Løs (4)										
	Grabb-volum (v)	v < 1/4 (0)					0					
		1/4 < v < 3/4 (1)		1								
		v > 3/4 (2)	2		2	2		2	2	2	2	2
	Tykkelse på slamlag	t < 2 cm (0)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		2 < t < 8 cm (1)										
		t > 8 cm (2)										
		Sum	4,0	3,0	8,0	8,0	2,0	8,0	8,0	4,0	4,0	4,0
		Korrigert (*0,22)	0,9	0,7	1,8	1,8	0,4	1,8	1,8	0,9	0,9	0,9
		Tilstand prøve	1	1	2	2	1	2	2	1	1	1
		Middelverdi gruppe II og III	0,9	0,3	0,9	0,9	0,4	1,4	1,4	0,4	0,4	0,4
		Tilstand prøve	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1

Grabb ID	K-4 og K-18
pH / Eh ID	23

side 2 av 8 sider

Prøveskjema B.1

Firma:	Nordlaks Oppdrett AS	Dato:	25-26.02.21
Lokalitet:	Ytre Hadseløya	Lokalitetsnr:	39777
Prøvetakingsansvarlig:	Vera Remen		

Gr	Parameter	Poeng	Prøvepunkt									
			21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
	Bunntype: B (bløt) eller H (hard)		B	B	B	B	B	B				
I	Dyr > 1mm	Ja (0) Nei (1)	0	0	0	0	0	0				
II	pH	verdi	7,80	7,80	7,80	7,80	7,70	7,80				
	Eh (mV)	verdi	13	114	89	110	117	86				
		med ref. verdi	213	314	289	310	317	286				
	pH/Eh	fra figur	0	0	0	0	0	0				
	Tilstand prøve		1	1	1	1	1	1				
			Buffer-temp	18,0 C		Sjø-temp	5,3 C		Sediment-temp		C	
		pH sjø 7,7	ORP sjø	218 mV		Eh sjø	418 mV		Referanse-elektrode		200 mV	
III	Gassbobler	Ja (4) Nei (0)	0	0	0	0	0	0				
	Farge	Lys/grå (0)	0	0	0	0	0	0				
		Brun/sort (2)										
	Lukt	Ingen (0)	0	0	0	0	0	0				
		Noe (2)										
		Sterk (4)										
	Konsistens	Fast (0)										
		Myk (2)	2	2	2	2	2	2				
		Løs (4)										
	Grabb-volum (v)	v < 1/4 (0)										
		1/4 < v < 3/4 (1)										
		v > 3/4 (2)	2	2	2	2	2	2				
	Tykkelse på slamlag	t < 2 cm (0)	0	0	0	0	0	0				
		2 < t < 8 cm (1)										
		t > 8 cm (2)										
		Sum	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0				
		Korrigert (*0,22)	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9				
		Tilstand prøve	1	1	1	1	1	1				
	Middelverdi gruppe II og III		0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4				
	Tilstand prøve		1	1	1	1	1	1				

Grabb ID	K-4 og K-18
pH / Eh ID	23

side 3 av 8 sider

Prøveskjema B.1

Firma:	Nordlaks Oppdrett AS
Lokalitet:	Ytre Hadseløya
Prøvetakingsansvarlig:	Vera Remen

Dato:	25-26.02.21
Lokalitetsnr:	39777

Gr	Parameter	Poeng	Prøvepunkt 31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	Indeks B%	H%
	Bunntype: B (bløt) eller H (hard)												81	19
I	Dyr > 1mm	Ja (0) Nei (1)												
II	pH	verdi												
	Eh (mV)	verdi												
		med ref. verdi												
	pH/Eh	fra figur											0,48	
		Tilstand prøve												
		Tilstand, gruppe II	1	Buffer-temp	18,0 C		Sjø-temp	5,3 C		Sediment-temp	C			
		pH sjø 7,7	ORP sjø	218 mV		Eh sjø	418 mV		Referanse-elektrode		200 mV			
III	Gassbobler	Ja (4) Nei (0)												
	Farge	Lys/grå (0)												
		Brun/sort (2)												
	Lukt	Ingen (0)												
		Noe (2)												
		Sterk (4)												
	Konsistens	Fast (0)												
		Myk (2)												
		Løs (4)												
	Grabb-volum (v)	v < 1/4 (0)												
		1/4 < v < 3/4 (1)												
		v > 3/4 (2)												
	Tykkelse på slamlag	t < 2 cm (0)												
		2 < t < 8 cm (1)												
		t > 8 cm (2)												
		Sum												
		Korrigert (*0,22)											1,06	
		Tilstand prøve												
		Tilstand gruppe III	1											
		Middelverdi gruppe II og III											0,75	
		Tilstand prøve												
		Tilstand gruppe II og III	1											

pH/Eh Korr.sum Indeks Middelverdi	Tilstand
< 1,1	1
1,1 - <2,1	2
2,1 - <3,1	3
≥3,1	4

LOKALITETSTILSTAND: 1

Grabb ID	K-4 og K-18
pH / Eh ID	23

side 4 av 8 sider

Prøveskjema B.2

Firma:	Nordlaks Oppdrett AS	Dato:	25-26.02.21
Lokalitet:	Ytre Hadseløya	Lokalitetsnr:	39777
Prøvetakingsansvarlig:	Vera Remen		

Prøvepunkt		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Dyp (m)		125	124	131	131	130	131	125	126	135	132
Antall forsøk		1	2	2	3	2	1	2	3	4	1
Bobling (i prøve)											
Sedimenttype	Leire										
	Silt	X	X			X	X	X		(X)	X
	Sand			(X)	(X)					(X)	
	Grus	(X)	(X)								
	Skjellsand	(X)				(X)		(X)			
Fjellbunn				(X)	(X)					(X)	
Steinbunn				(X)	(X)				X	(X)	
Pigghuder, antall											
Krepsdyr, antall											
Skjell, antall							7				
Børstemark, antall		100+	20	1	1	100+	100+	100+		5	100+
Andre dyr, totalt antall											
Beggiatoa											
Fôr											
Fekalier											

Kommentar	**St 2:** Første forsøk; kun små mengder sediment i grabb. Neste forsøk; ok. Litt tang. **St 3, 4 og 9:** Flere forsøk med kun små mengder sediment i grabb. Kan være stein i kjeften som har gjort at sediment rant ut på vei opp. Ikke nok til å måle Ph/Eh, men vurdert gr III. **St 5 og 7:** Første forsøk; kun små mengder sediment i grabb. Neste forsøk; ok. **St 8:** Første forsøk; kun små mengder sediment i grabb. De to andre forsøkene hadde stein i grabbkjeften og ingen sediment i grabb.

Grabb	Areal [m²]	0,04 og 0,1	Grabb ID	K-4 og K-18

Prøveskjema B.2

Firma:	Nordlaks Oppdrett AS	Dato:	25-26.02.21
Lokalitet:	Ytre Hadseløya	Lokalitetsnr:	39777
Prøvetakingsansvarlig:	Vera Remen		

Prøvepunkt		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Dyp (m)		139	128	128	134	127	132	126	130	128	125
Antall forsøk		1	1	5	1	3	1	1	1	1	1
Bobling (i prøve)											
Sedimenttype	Leire										
	Silt	X	X	X	X		X	X	X	X	X
	Sand	(X)	(X)								
	Grus	(X)	(X)								
	Skjellsand	(X)	(X)	(X)			(X)	(X)	(X)	(X)	(X)
Fjellbunn											
Steinbunn						X					
Pigghuder, antall											
Krepsdyr, antall											
Skjell, antall		20	3	10			10		20	20	20
Børstemark, antall		100+	100+	100+	100+		100+	100+	100+	100+	100+
Andre dyr, totalt antall											
Beggiatoa						(X)					
Fôr											
Fekalier											
Kommentar		**St 12:** Noe stein. **St 13:** Fire forsøk med kun små mengder med sediment i grabb. Femte forsøk; ok. **St 15:** To forsøk med bomskudd pga. stein i grabbkjeften. Ett forsøk med stor stein i grabb, bakteriebelegg på stein.									
Grabb		Areal [m²]		0,04 og 0,1		Grabb ID			K-4 og K-18		

Prøveskjema B.2

Firma:	Nordlaks Oppdrett AS	Dato:	25-26.02.21
Lokalitet:	Ytre Hadseløya	Lokalitetsnr:	39777
Prøvetakingsansvarlig:	Vera Remen		

Prøvepunkt		21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Dyp (m)		120	123	123	127	129	130				
Antall forsøk		1	1	1	2	1	1				
Bobling (i prøve)											
Sedimenttype	Leire										
	Silt	X	X	X	X	X	X				
	Sand										
	Grus										
	Skjellsand	(X)	(X)	(X)	(X)	(X)	(X)				
Fjellbunn											
Steinbunn											
Pigghuder, antall											
Krepsdyr, antall											
Skjell, antall											
Børstemark, antall											
Andre dyr, totalt antall											
Beggiatoa											
Fôr											
Fekalier											
Kommentar		St 24: Første forsøk; kun vann. Neste forsøk; ok. St 21 - 26: H_2S lukt i nedre lag; ansees som naturlig for denne type sediment, og er ikke tatt med i B1-skjemaet. Jfr. tidligere B-undersøkelser og forundersøkelser på lokaliteten.									
Grabb		Areal [m²]	0,04 og 0,1			Grabb ID		K-4 og K-18			

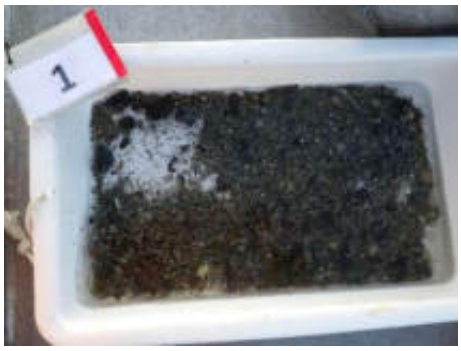
Prøveskjema B.2

Firma:	Nordlaks Oppdrett AS	Dato:	25-26.02.21
Lokalitet:	Ytre Hadseløya	Lokalitetsnr:	39777
Prøvetakingsansvarlig:	Vera Remen		

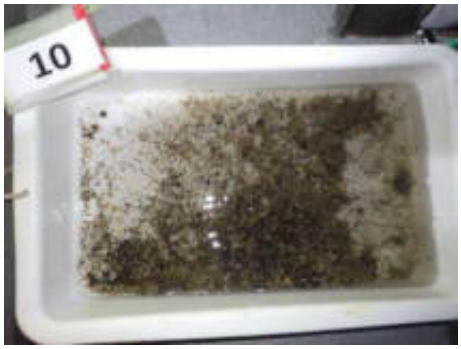
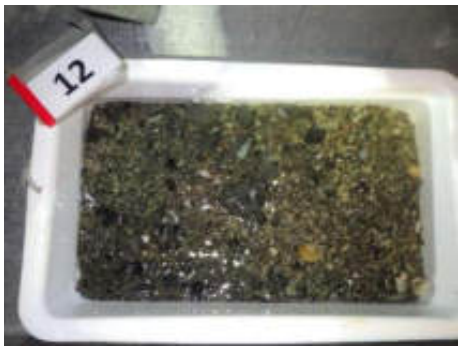
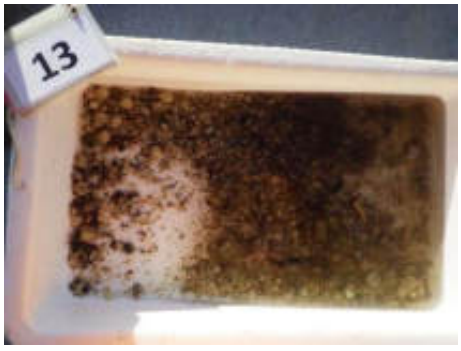
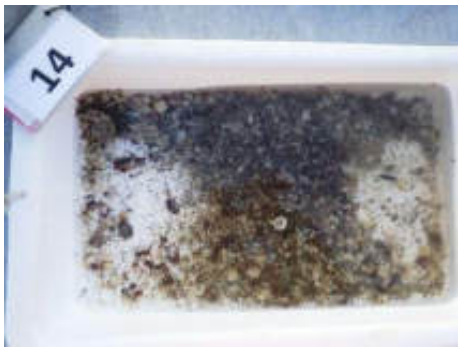
Prøvepunkt		31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
Dyp (m)											
Antall forsøk											
Bobling (i prøve)											
Sedimenttype	Leire										
	Silt										
	Sand										
	Grus										
	Skjellsand										
Fjellbunn											
Steinbunn											
Pigghuder, antall											
Krepsdyr, antall											
Skjell, antall											
Børstemark, antall											
Andre dyr, totalt antall											
Beggiatoa											
Fôr											
Fekalier											
Kommentar											

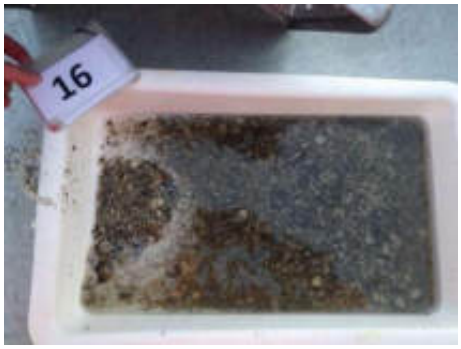
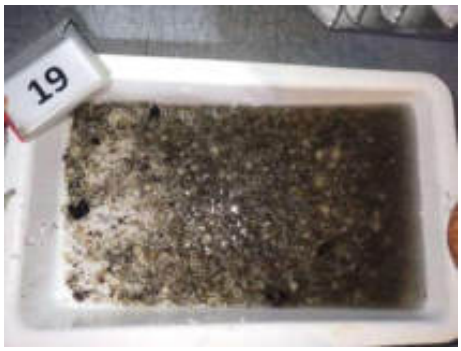
Grabb	Areal [m²]	0,04 og 0,1	Grabb ID	K-4 og K-18
Signatur prøvetakingsansvarlig:	Vera Remen			side 8 av 8 sider

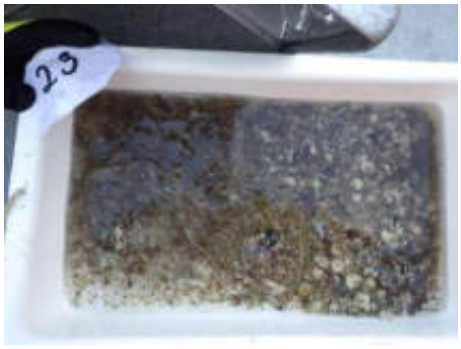
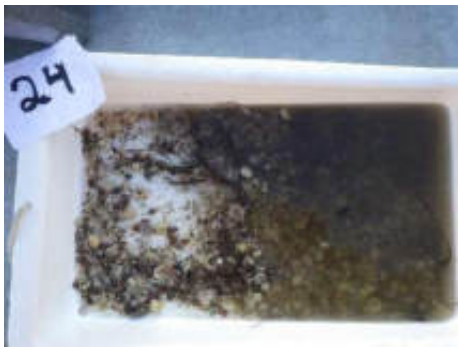
7.2 Bilder av prøver ved Ytre Hadseløya

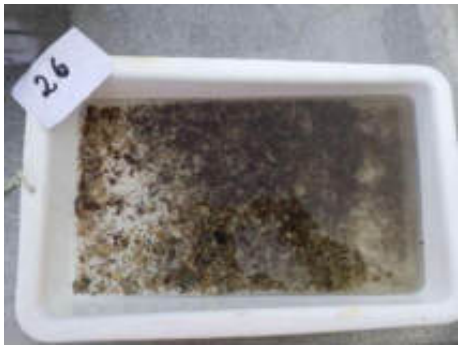
St	Bilde før sikting	Bilde etter sikting
1		
2		
3		Ingen bilde
4		Ingen bilde

St	Bilde før sikting	Bilde etter sikting
5		
6		
7		
8		Ingen bilde
9		Ingen bilde

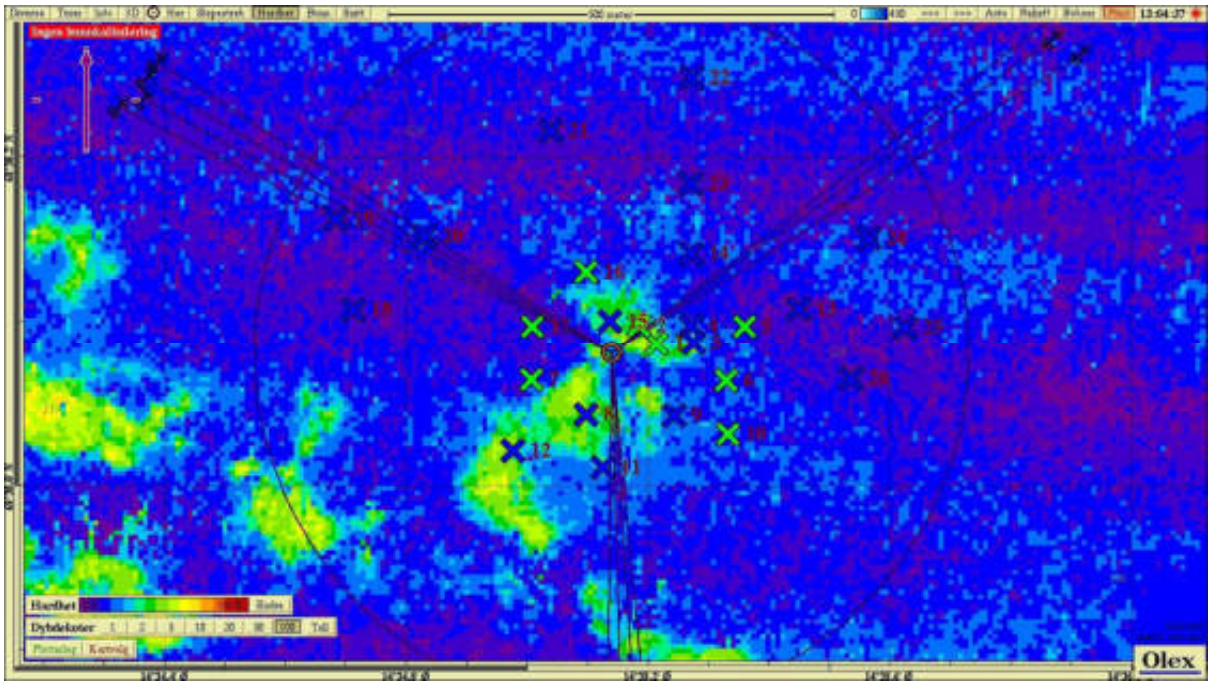
St	Bilde før sikting	Bilde etter sikting
10		
11		
12		
13		
14		

St	Bilde før sikting	Bilde etter sikting
15		Ingen bilde
16		
17		
18		
19		

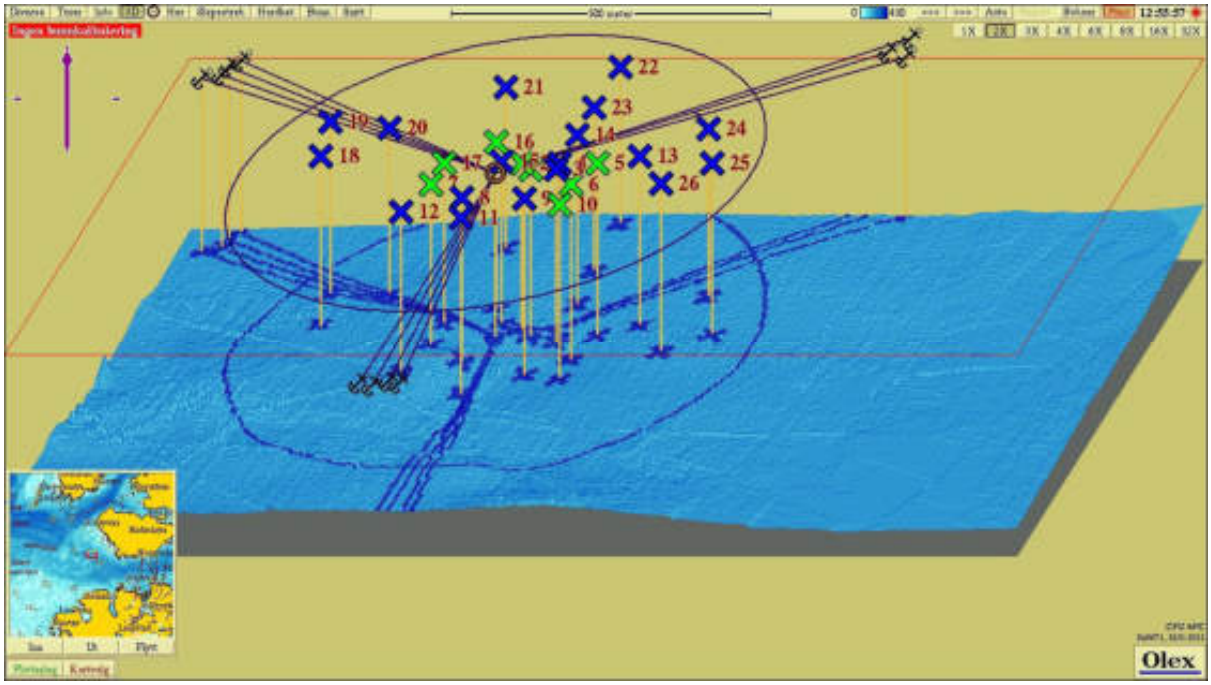
St	Bilde før sikting	Bilde etter sikting
20		
21		
22		
23		
24		

St	Bilde før sikting	Bilde etter sikting
25		
26		

7.3 Bunntopografi og 3D-visning



Figur 5. Stasjonsplassering og substrattype / relativ hardhet. Ytre Hadseløya, februar 2021. Gul/grønne områder indikerer blandingsbunn.



Figur 6. 3-D visning av bunntopografi ved Ytre Hadseløya, februar 2021. Nummererte stasjoner er gjengitt i Figur 3 og Tabell 4.

Akvaplan niva

Rapport Report

Miljøkonsekvenser av Havfarm for sjøfugl i Ulvøyværet naturreservat, Hadsel kommune, Nordland

Akvaplan-niva AS Rapport: 8641 -

Akvaplan-niva AS er et forsknings- og rådgivingsselskap som baserer sine råd på kunnskap. Vi gjør våre vurderinger av miljøtilstanden og gir råd basert på gjeldende regler og standarder. Våre vurderinger er uhildet. Akvaplan-niva AS har mer enn 30 års erfaring fra miljørådgivning og er avhengig av tillit hos myndigheter, så vel som hos oppdragsgivere. Vi utfører våre oppdrag i dialog med oppdragsgiver, men våre råd og konklusjoner kan ikke påvirkes, uavhengig om oppdragsgiver er offentlige myndigheter eller private aktører.

Akvaplan-niva AS
Rådgivning og forskning innen miljø og akvakultur
Org.nr: NO 937 375 158 MVA
Framsenteret
Postboks 6606 Langnes, 9296 Tromsø
Tlf: 77 75 03 00, Fax: 77 75 03 01
www.akvaplan.niva.no

Rapporttittel / Report title

Miljøkonsekvenser av Havfarm for sjøfugl i Ulvøyværet naturreservat, Hadsel kommune, Nordland.

Forfatter(e) / Author(s)
Kjetil Sagerup

Akvaplan-niva rapport nr / report no
8641 -

Dato / Date
27.01.2017

Antall sider / No. of pages
38 inklusiv vedlegg

Distribusjon / Distribution
Gjennom oppdragsgiver

Oppdragsgiver / Client
Nordlaks Oppdrett AS

Oppdragsg. referanse / Client's reference
Bjarne Johansen

Sammendrag / Summary
Etablering av Havfarm vest av Hadseløya er et tiltak for å møte nasjonale mål om produksjon av sjømat. Dette gjennom å utvikle teknologi som gjør det mulig å benytte mer eksponerte områder til havbruk, og samtidig bidra til å løse utfordringen knyttet til lakselus. Utredningen viser manglene forskning på effekter på sjøfugl fra akvakulturanlegg. Noen av sjøfuglartene fra Ulvøyvær naturreservat vil bruke området hvor havfarmen er tenkt plassert. Det er uklart om havfarmen vil ha en positiv eller negativ konsekvens for artene som overlapper geografisk med havfarmen. Fire av 23 vurderte arter har lav påvirkningsgrad, mens de resterende 19 artene har ingen påvirkning. Avbøtende tiltak er å bruke tildekningsnett som hindrer sjøfugl å sette seg fast og at tilfartsleien øst for Hadseløya forbi Melbu blir hovedferdselsåre i forbindelse med manskapsbytte på havfarmen.

Prosjektleder / Project manager

Kjetil Sagerup

Kvalitetskontroll / Quality control

Asle Guneriussen

© 2017 Akvaplan-niva AS. Rapporten kan kun kopieres i sin helhet. Kopiering av deler av rapporten (tekstutsnitt, figurer, tabeller, konklusjoner, osv.) eller gjengivelse på annen måte, er kun tillatt etter skriftlig samtykke fra Akvaplan-niva AS.

INNHOLDSFORTEGNELSE

1 INNLEDNING 3
2 METODE 4
3 NATURMILJØET I VESTERÅLSFJORDEN OG ULVØYVÆR NATURRESERVAT 5
3.1 Forekomst og konsekvenser for fugl 11
4 HØRINGSUTTALELSER OM PROGRAMPLANEN OG SVAR PÅ UTTALELSENE 17
5 KONKLUSJON 21
5.1 Avbøtende tiltak 22
6 REFERANSER 23
VEDLEGG 24

Forord

Akvaplan-niva AS fikk i oppdrag fra Nordlaks Oppdrett AS å utrede mulige miljøpåvirkninger etableringen av Havfarm på lokaliteen "Ytre Hadseløya" kunne ha på naturmiljøet med fokus på sjøfugl og andefugl i området Ulvøyværet naturreservat. Bakgrunn for oppdraget var at Hadsel kommunestyre ønsket mer informasjon i forbindelse med behandlingen av dispensasjonssøknad fra kommuneplanens arealdel. Kommunestyret mente at mulige innvirkninger på fuglebestandene i Ulvøyværet naturreservat var mangelfullt utredet. I henhold til Hadsel kommunes vedtak, samt dialog med Hadsel kommune, er det kun momenter knyttet til fugler i Ulvøyværet naturreservat som skal utredes. Dette fordi oppdrettsanlegg normalt ikke omfattes av kravet om KU (Kommunal- og moderniseringsdepartementet 2015) og at momentene framsatt i en klagen fra Norsk ornitologisk forening (NOF) Nordland bare etterspør mulige konsekvenser for fugler i Ulvøyværet naturreservat. Denne utredningen vil derfor kun omhandle Havfarmens mulige påvirkninger på ande- og sjøfuglbestandene i Ulvøyvær naturreservat.

1 Innledning

Nordlaks Oppdrett AS har søkt om dispensasjon fra kommuneplanens arealdel for etablering av utviklingskonseptet Havfarm vest av Hadseløya, lokalitet "Ytre Hadseløya". Kommunestyret i Hadsel har behandlet saken to ganger. Den 23.06.2016 ble dispensasjon fra kommuneplanens arealdel gitt. Deretter ble vedtaket påklaget fra Norsk ornitologisk forening (NOF) Nordland som ba kommunen gjøre om vedtaket og finne en annen lokalitet for Havfarmen. Kommunestyret behandlet klagen og gjorde den 29.09.2016 følgende endringsvedtak og uttalelse til fylkesmannen i Nordland (jf. tidligere vedtak i sak 49/2016 av 23/6-2016):

> *"Kommunen slutter seg til rådmannens vurdering og forslag til vedtak og uttalelse som følger:*
>
> 1. *Kommunestyret tar klagen fra Norsk ornitologisk forening, Nordland til delvis til følge ved at Nordlaks oppdrett pålegges å konsekvensutrede tiltaket etter plan- og bygningslovens kapittel 14, slik at konsekvensene for natur og biologisk mangfold redegjøres for. Nordlaks oppdrett AS skal i sin konsekvensutredning også foreslå avbøtende tiltak der dette er mulig.*
> 2. *Kommunestyret tar ikke til følge kravet om å flytte anlegget all den tid kunnskapsgrunnlaget- og konsekvensene ikke er redegjort for.*
> 3. *Dersom konsekvensutredningen- og forslag til avbøtende tiltak viser at slikt anlegg kan etableres i omsøkt område, og nødvendige tillatelser gis av Fiskeridirektoratet gir Hadsel kommune Nordlaks oppdrett AS dispensasjon fra kommuneplanens arealdel til etablering av havbruksfarm sørvest for Hadseløya.*
> 4. *I henhold til plan- og bygningsloven oversendes klagen til fylkesmannen i Nordland for endelig behandling".*

På bakgrunn av dette vedtaket utformet Nordlaks Oppdrett AS et utredningsprogram (Vedlegg 1). Dette ble presentert for Hadsel kommune og lagt ut til offentlig høring i perioden 20.12.2016 til 03.02.2017 i henhold til plan- og bygningsloven § 14-2. Melding om høring ble annonsert i Bladet Vesterålen, på Nordlaks Oppdrett AS sitt nettsted www.havfarm.no og på Hadsel kommune sitt nettsted www.hadsel.kommune.no under menyvalgene "selvbetjening" og "høringer".

Det kom inn fire (4) høringsuttalelser som behandles i kapittel 4.

2 Metode

Havfarmens påvirkning på sjøfugl (Table 3) er i denne rapporten vurdert ut fra verdi (Table 1) multiplisert med konsekvens (Table 2). Verdivurderingen for sjøfugl følger metode beskrevet av Systad (2011) for http://www.havmiljo.no/. Verdisettingen settes ut fra artens nasjonale rødlistestatus (Henriksen og Hilmo 2015). Gjeldende kategorier fra rødlista er kritisk truet (CR), sterkt truet (EN), sårbar (VU) og nær truet (NT). I tillegg finnes kategoriene regionalt utdødd (RE) og datamangel (DD), men disse er ikke aktuell for sjøfugl fra området Vesterålen. Rødlistekategoriene skåres med 1 for NT, 2 for VU eller EN og 3 for CR (Systad 2011), http://www.havmiljo.no/.

Konsekvenskategorier gis etter en skjønnsmessig vurdering i henhold til en firedelt skala (Table 2). I utgangspunktet vurderes overlappende geografisk bruk av området i forhold til artens økologi, hvor områdebruk knyttet til kyst eller åpent hav og beitemønsteret overflate eller dykk tas med i vurderingen. I forhold til konsekvens vurderes det ikke om overlappende bruk virker i positiv eller negativ retning for arten.

Havfarmen er søkt plassert til lokaliteten "Ytre Hadseløya" ca 4 km fra grensen til Ulvøyværet naturreservat. Det er ikke gjort befaringer i felt for utforming av denne rapporten. Alle vurderinger baserer seg derfor på vitenskapelig litteratur, offentlige tilgjengelige rapporter og databaser (se referanser).

Table 1: Verdi av sjøfugl settes ut fra rødlistestatus (Systad 2011) oppdatert i 2015 (Henriksen og Hilmo 2015).

Verdi	Beskrivelse
0 Ingen	Arten er ikke rødlistet.
1 Lav	Oppført som NT i rødlisten.
2 Middels	Oppført som EN eller VU i rødlisten.
3 Stor	Oppført som CR i rødlisten.

Table 2: Konsekvensene er vurdert i henhold til en firedelt skala (0-3).

Konsekvens	Beskrivelse
0 Ingen	Ingen påvisbar konsekvens/ Ikke relevant.
1 Lav	Liten påvisbar konsekvens.
2 Middels	En klar påvisbar konsekvens.
3 Stor	Sterkt påvisbar konsekvens.

Table 3: Matrise for påvirkning, verdi (Table 1) multiplisert med konsekvens (Table 2).

Verdi / Konsekvens	0 Ingen	1 Lav	2 Middels	3 Stor
0 Ingen	0	0	0	0
1 Lav	0	1	2	3
2 Middels	0	2	4	6
3 Stor	0	3	6	9

3 Naturmiljøet i Vesterålsfjorden og Ulvøyvær naturreservat

Vesterålsfjorden som ligger på nordsiden av Lofoten strekker seg inn mot Hadseløya før den deles i to fjorder, Eidsfjorden på nordsiden av Hadseløya og Hadselfjorden på sørsiden. Havfarmen er planlagt plassert vest av Hadseløya og vil da bli liggende i grenseland mellom Vesterålsfjorden og Hadselfjorden (Figure 1).

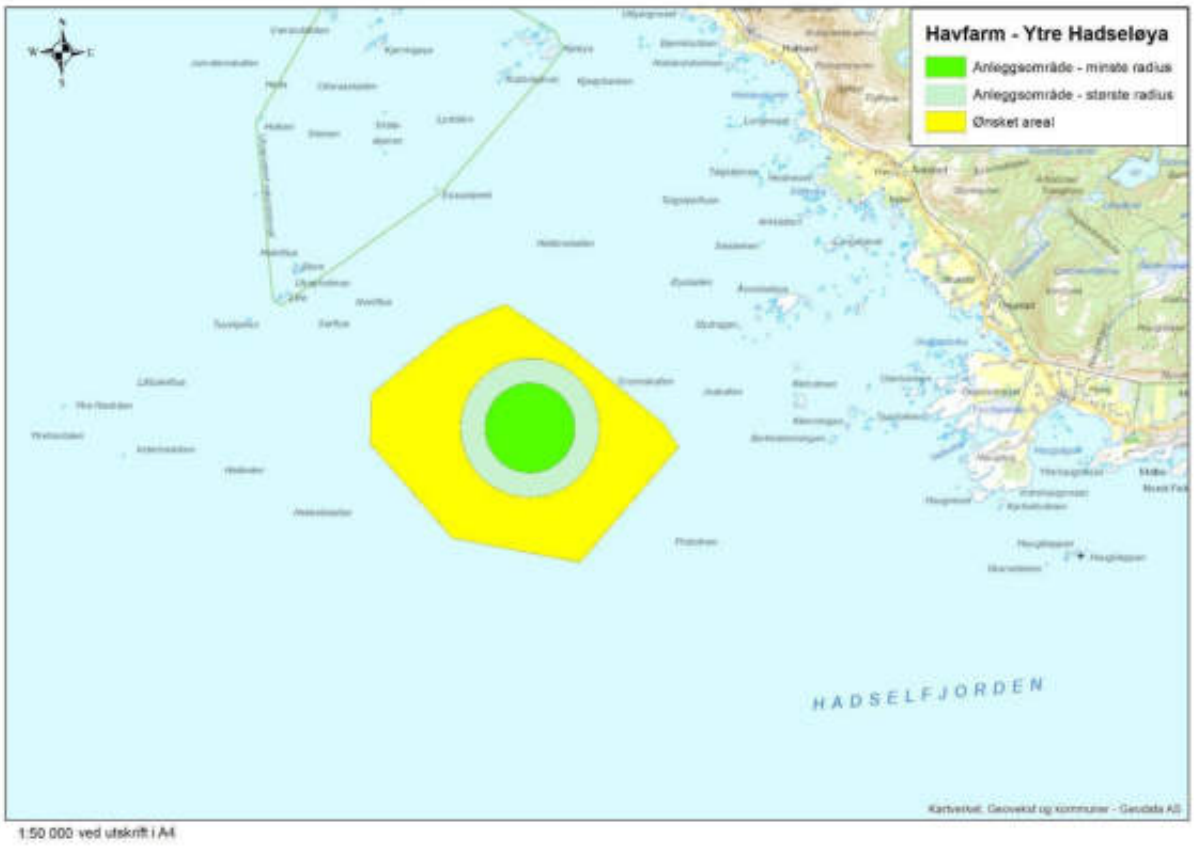


Figure 1: Havfarmens plassering, kart fra Nordlaks Oppdrett AS sin søknad til Hadsel kommune (14.04.2016).

Skyggerelieff med dybdekurver fra Havforskningsinstituttets (HI) sin karttjeneste (http://www.imr.no/geodata/geodataHI.html) gir et illustrativt bilde av dybdeforholdene i fjorden (Figure 2).

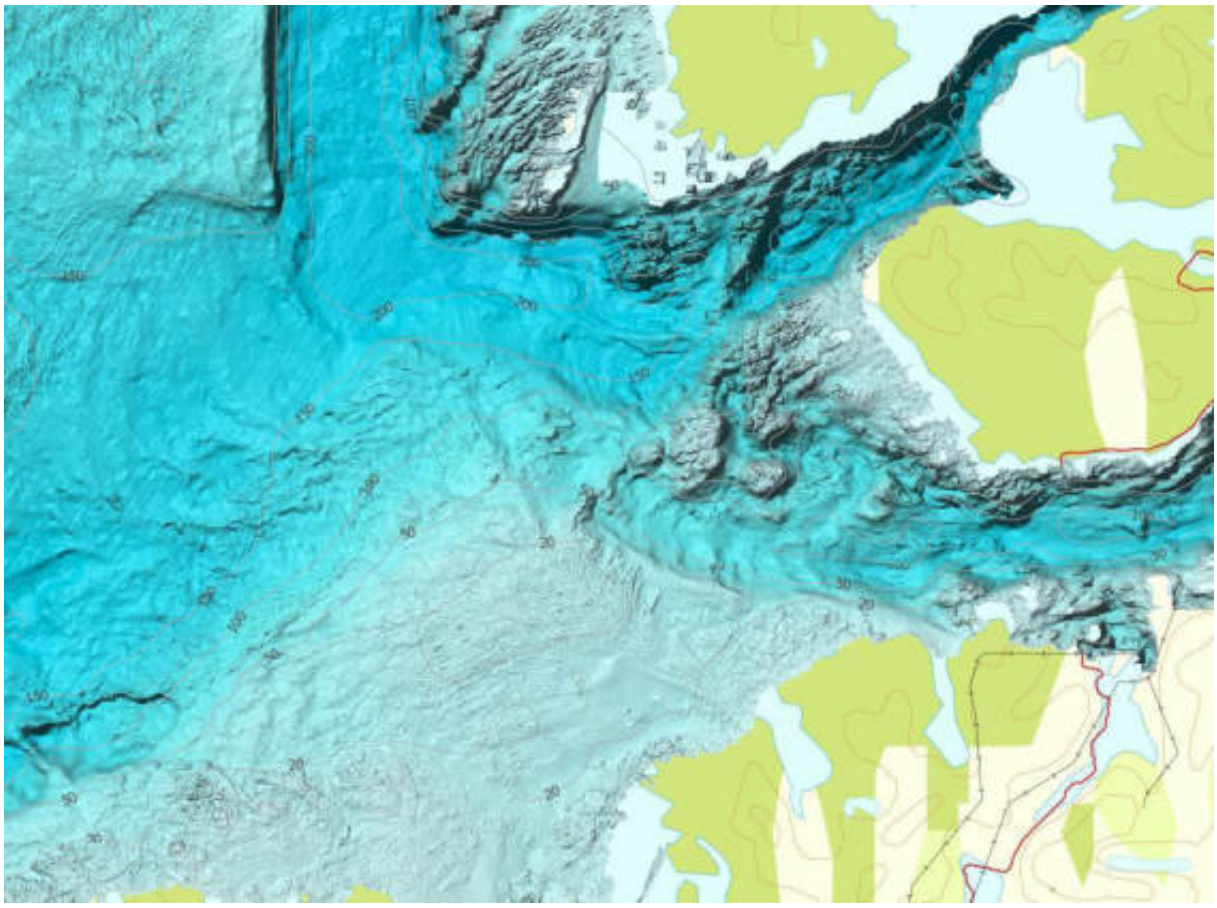


Figure 2: Skyggerelieff med dybdekoter for Vesterålsfjorden (http://www.imr.no/geodata/geodataHI.html).

Merkevaren for Lofoten og Vesterålen er vårtorskefiske etter Nordøstatlantisk torsk (*Gadus morhua*, skrei). Skreien kommer trekkende fra Barentshavet i perioden januar til mars og gyter i mars og april. Skreien søker etter ideell vann-temperatur for gyting og finner dette vanligvis i Vestfjorden sør for rekken av øyer som danner Lofoten. Kysttorsk er, i motsetning til skrei, mye mer lokal og holder seg ved kysten hele året. Kysttorsk gjør ikke de samme lange vandringene som skreien og gyter spredt langs det meste av kysten. Kartene til HI viser at Vesterålsfjorden ikke har viktige gyteområder for skrei (Figure 3) og heller ikke for kysttorsk (Figure 4).

Figure 3: Gyteområde for Nordøstatlantisk torsk (skrei) (http://www.imr.no/geodata/geodataHI.html).

Figure 4: Gyteområde for kysttorsk (http://www.imr.no/geodata/geodataHI.html).

Rognkjeks (*Cyclopterus lumpus*) gyter langs hele kysten fra Novaja Semlja i øst til Portugal i vest, i store deler av Østersjøen, langs kysten av Storbritannia og Island og langs store deler av Grønlandskysten (Figure 5). Gyteområde til rognkjeks overlapper derfor med plasseringen av Havfarm.

Figure 5: Gyteområde for rognkjeks (http://www.imr.no/geodata/geodataHI.html).

I tilknytning til Vesterålsfjorden finnes det mange mindre lakseførende vassdrag (Figure 6). Til disse vassdragene kan de anadrome artene laks (*Salmo salar*), ørret (*Salmo trutta*) og røye (*Salvelinus alpinus*) være verter for lakselus (*Lepeophtheirus salmonis*) som er en utfordring for lakseoppdretterne langs kysten.

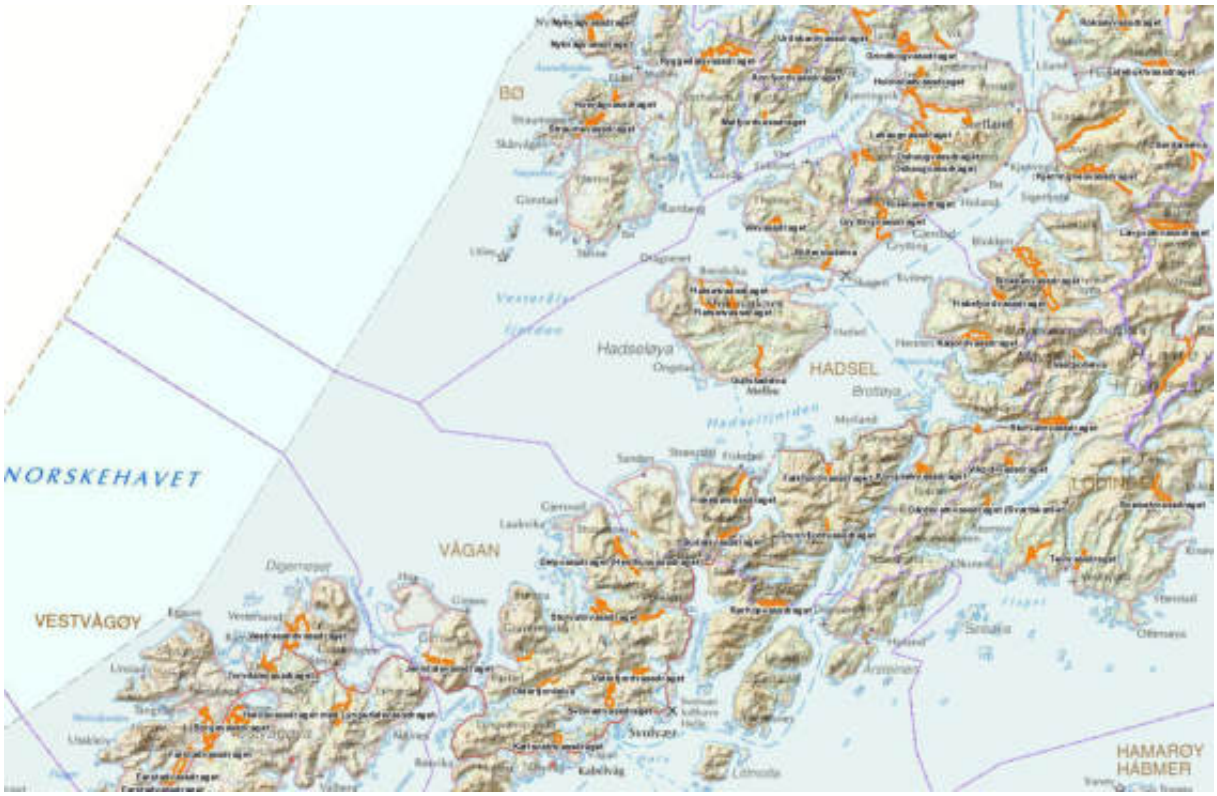


Figure 6: Lakseførende vassdrag (røye, ørret og/ eller laks) (http://www.imr.no/geodata/geodataHI.html).

I Ulvøyvær naturreservat var det registrert 50 individer av steinkobbe (*Phoca vitulina*) i 1988 (Naturbase - http://www.miljodirektoratet.no/). Steinkobbe bruker øyene i naturreservatet hele året til hvileplass, kasteplass og hårfellingsplass og de har høy tetthet i indre deler av Vesterålsfjorden (Figure 7). Steinkobbe er knyttet til kystlinjen og vil bruke området rundt Havfarmen til matsøk.

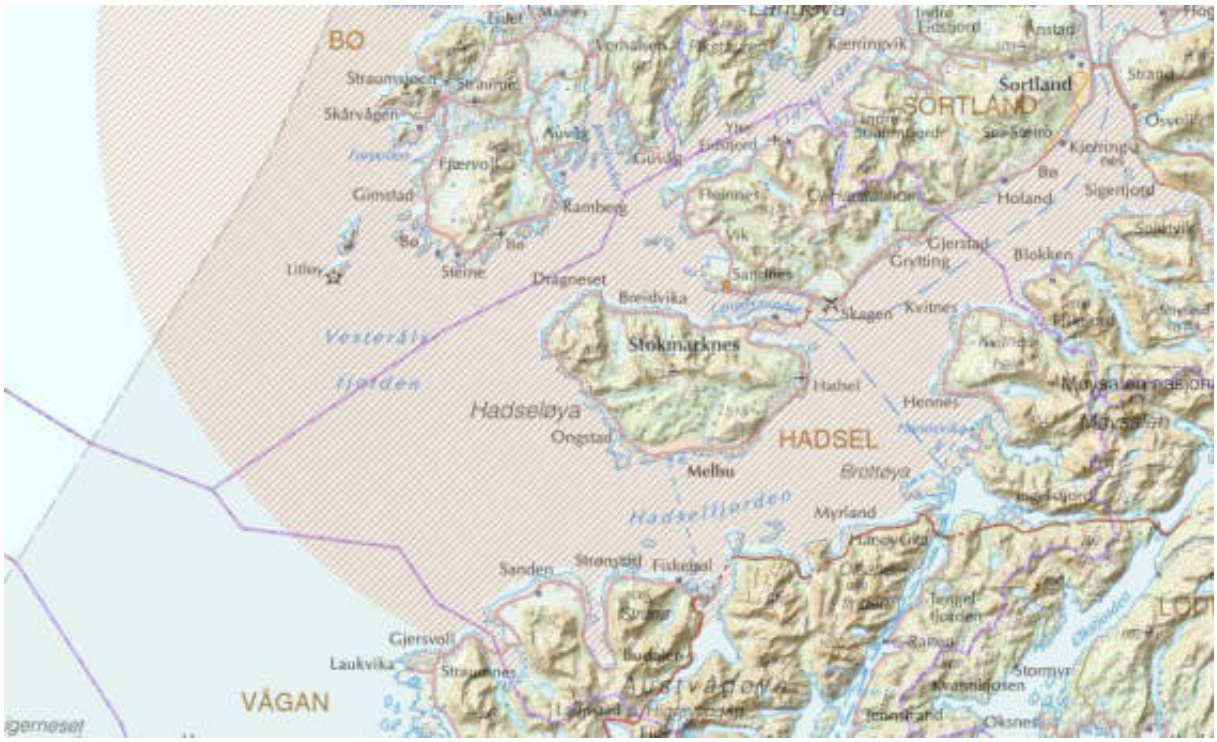


Figure 7: Steinkobbe høy tetthet (http://www.imr.no/geodata/geodataHI.html).

Hadsel kommune er en fiskeri- og havbrukskommune. Lofotfiskeriene har en lang historie og Figure 8 viser tilrettelegging for høy aktivitet av Akvakultur i kommunen.

Figure 8: Akvakulturlokaliteter i Hadsel kommune (https://kart.fiskeridir.no/).

3.1 Forekomst og konsekvenser for fugl

Kysten av Lofoten og Vesterålen er viktig for sjøfugl i Norge (Figure 9, Figure 10). Sjøfugl hekker spredt langs kysten og samlet sett er alle lokalitetene viktig siden nær halvparten av sjøfuglartene i norske farvann er rødlistet (Henriksen og Hilmo 2015). Arter som har fått en truethetskategori på rødlista har vist tilbakegang for bestandene, slik at det er en risiko for at de skal dø ut.

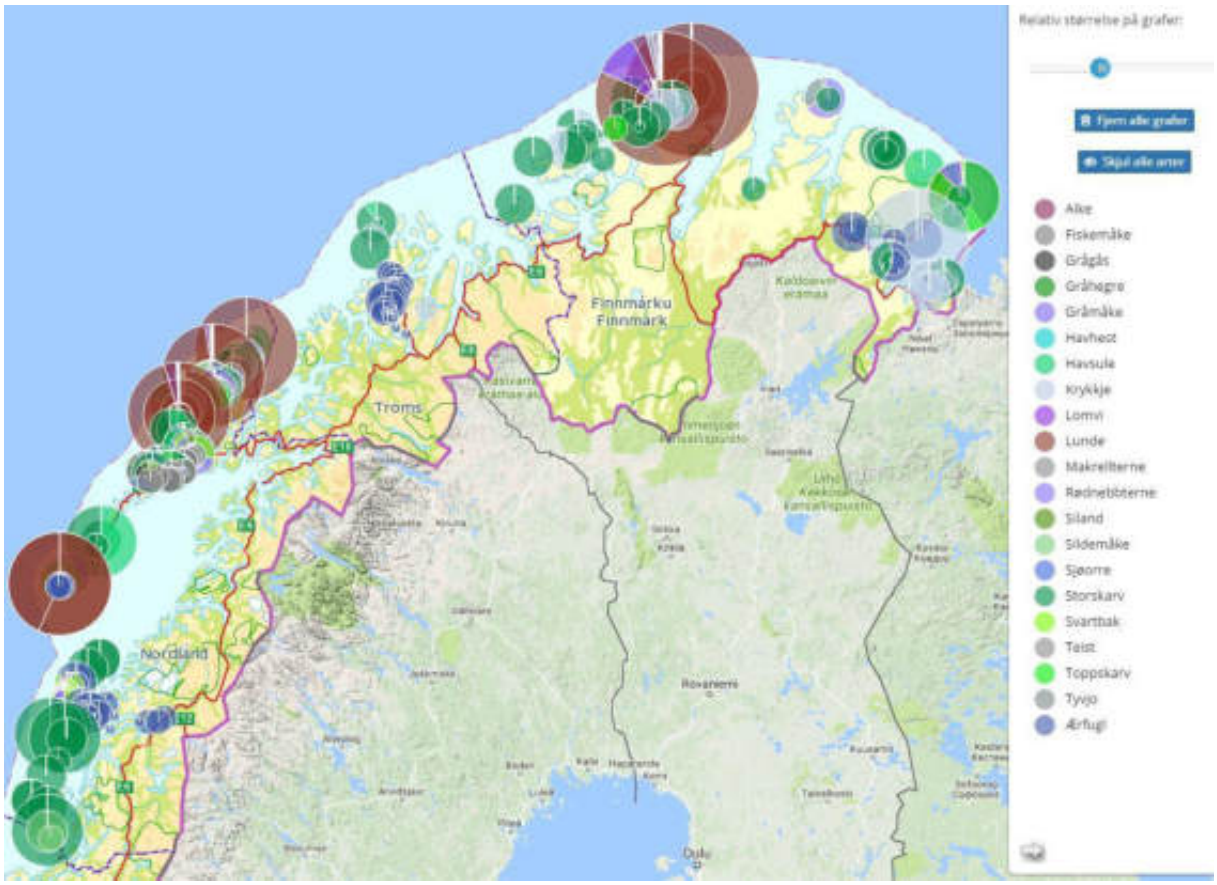


Figure 9: Eksempelkart på fordeling av sjøfuglkolonier og utvalgte andearter for kysten av Nordland, Troms og Finnmark (http://www.seapop.no/no/).

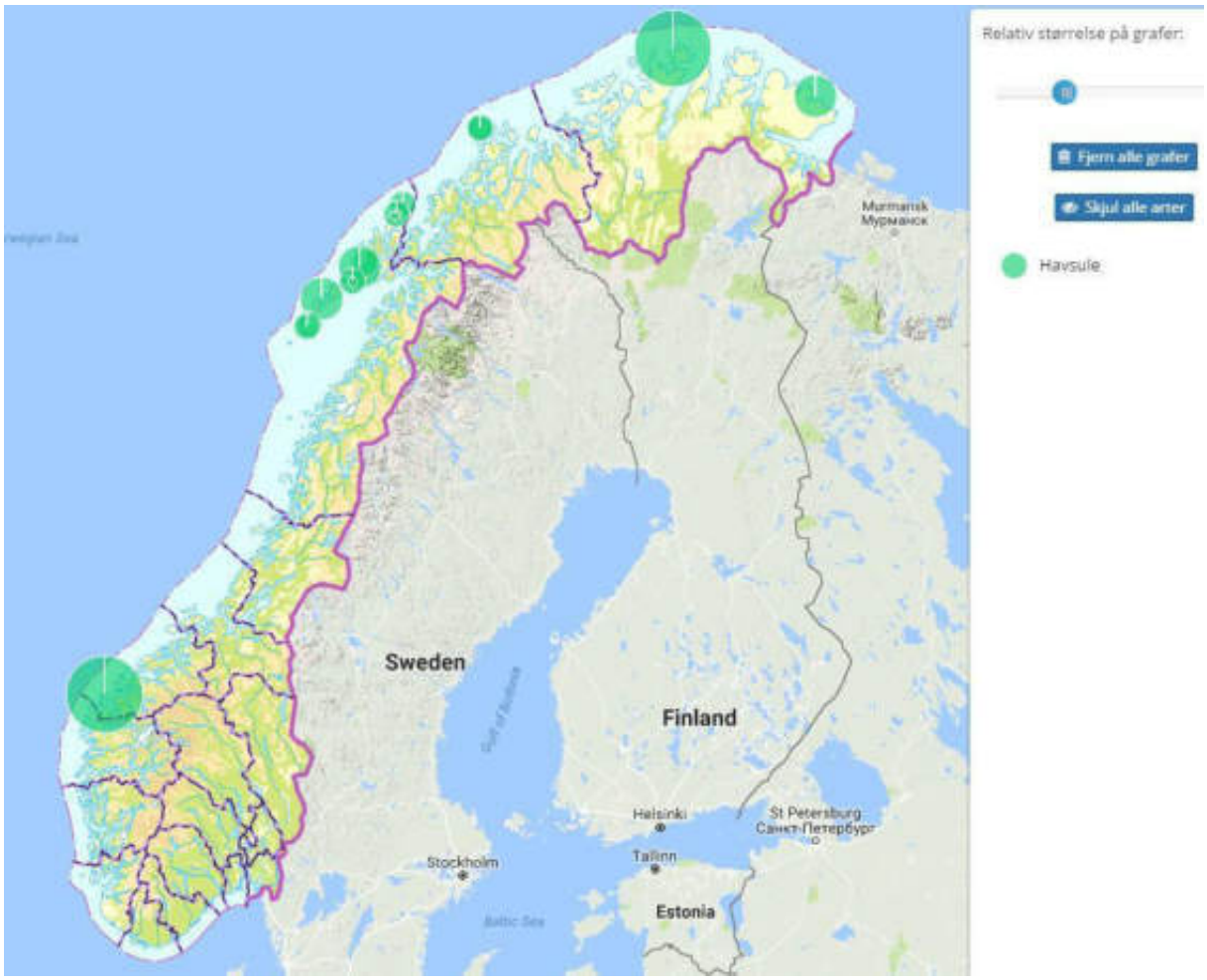


*Figure 10: Kart over kolonier av havsule (*Morus bassanus*) langs Norges kyst. Sirklene viser relativt størrelsesforhold mellom koloniene (http://www.seapop.no/no/).*

Det er registrert 22 fuglearter i Ulvøyvær naturreservat. I tillegg er en liten koloni med krykkje (*Rissa tridactyla*) som hekker på Haugkleppan tatt med i vurderingene (Table 4). Av disse 23 artene er det kun grågås (*Anser anser*) og tjeld (*Haematopus ostralegus*) som ikke bruker havområdet (pelagisk) til næringssøk. Åtte av disse artene (35 %) har en sårbarhetskategori i rødlista. Lomvi (*Uria aalge*) er kritisk truet (CR), krykkje og alke (*Alca torda*) er sterkt truet (EN), teist (*Cepphus grylle*) er sårbar (VU), mens fiskemåke (*Larus canus*), ærfugl (*Somateria mollissima*) og havelle (*Clangula hyemalis*) regnes som nær truet (NT) (Anker-Nilssen med fl. 2016), Table 4.

Table 4: Fuglearter registrert i Ulvøyværet naturreservat. Sårbare arter angitt med rød tekst.

Norsk navn	Vitenskapelig navn	Kilde	* Rødliste kategori (Henriksen og Hilmo 2015)	År / antall / vurdering	Kommentar
Havsule	*Morus bassanus*	Naturbase	LC	2013 / 319 (par) **	
Storskarv	*Phalacrocorax carbo*	Naturbase	LC	2011 / 339 (individer) 2013 / 0 (ingen hekking) **	
Gråmåke	*Larus argentatus*	Naturbase	LC	2011 / 300 (individer) **	
Svartbak	*Larus marinus*	Naturbase	LC	2011 / 200 (individer) **	
Fiskemåke	*Larus canus*	Naturbase	NT	"viktig" ***	
Teist	*Cepphus grylle*	Naturbase	VU	"viktig" ***	
Ærfugl	*Somateria mollissima*	Naturbase	NT	"viktig" ***	
Grågås	*Anser anser*	Naturbase	LC	"mindre bestand" ***	
Rødnebbterne	*Sterna paradisaea*	Naturbase	LC	"mindre bestand" ***	
Toppskarv	*Phalacrocorax aritotelis*	Naturbase	LC	"mindre bestand" ***	
Lunde	*Fratercula arctica*	Naturbase	VU		
Laksand	*Mergus merganser*	Naturbase	LC		
Alke	*Alca torda*	Hadsel kom.	EN		
Lomvi	*Uria aalge*	Hadsel kom.	CR		
Tjeld	*Haematopus ostralegus*	SEAPOP	LC		
Siland	*Mergus serrator*	Artsobs.	LC		
Storlom	*Gavia arctica*	Artsobs.	LC		
Havelle	*Clangula hyemalis*	Hadsel kom.	NT		
Praktærfugl	*Somateria spectabilis*	Hadsel kom.	NA - Ikke egnet til vurdering		Vinter
Grålire	*Puffinus griseus*	Artsobs.	Ikke vurdert		På trekk. Aug.- okt.
Storjo	*Stercorarius skua*	Artsobs.	LC		
Havørn	*Haliaeetus albicilla*	Hadsel kom.	LC		
Krykkje	*Rissa tridactyla*	SEAPOP	EN	2011 / 30	Haugkleppan
Ender	-	Naturbase	-	"viktig myteområde"	
Gjess	-	Naturbase	-	"viktig myteområde"	

* Truethetskategori i synkende rekkefølge; kritisk truet (CR), sterkt truet (EN), sårbar (VU), nær truet (NT) og livskraftig (LC).
** SEAPOP (http://www.seapop.no/no/)
*** Naturbase (http://www.miljodirektoratet.no/no/Tjenester-og-verktoy/Database/Naturbase/)

Problemstillinger for sjøfugl knyttet til akvakultur er i første omgang knyttet til areal (Garsberg med fl. 2011). Anlegget vil okkupere et gitt areal som da ikke blir tilgjengelig for sjøfugl. Arealbeslaget for et enkelt anlegg er vanligvis i seg selv lite i forhold til tilgjengelig tilsvarende areal i fjord. Det er derfor lite trolig at et arealbeslag i seg selv kan gi vesentlig påvirkning på sjøfuglbestandene. Imidlertid kan det tenkes at det totale beslaglagte arealet i et område kan ha betydning, men det finnes tilnærmet ingen forskning på dette området (Garsberg med fl. 2011, Follestad 2015). Follestad (2015) gjorde et litteraturstudium av all tilgjengelig forskning om forstyrrelser på fugl og sjøpattedyr fra akvakulturanlegg. Det eneste studiet som er gjort i Norge er en masteroppgaven fra Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU) om

forstyrrelser fra båttrafikk til og fra et akvakulturanlegg. Studiet viser at mytende ærfugler (juli-august) vil svømme unna båter som nærmer seg allerede på en avstand opp mot 700 meter (Skei 2014). Havforskningsinstituttet oppdaterer risikovurderingen for norsk fiskeoppdrett hvert år. Risiko for påvirkning av sjøfugl vurderes som ikke eksisterende. Ordet fugl er kun brukt to ganger i risikovurderingen, i et parrantes som økt risiko for predasjon av ung fisk (smolt) og som potensiell smittetransportør av et fiskevirus (Svåsand med fl. 2016).

Havfarmen vil ligge i et område hvor dybden er 100 – 130 meter. Ved fôring av laksen i anlegget vil noe av fôret kunne finne veien ut av merden og bli tilgjengelig mat for fisk og sjøfugl. Havfarmen kan derfor trekke til seg vill fisk og sjøfugl som beiter på fôr-rester eller fisk som samler seg rundt anlegget. Opportunistiske arter som måser (fiskemåke, krykkje, gråmåke (*Larus argentatus*) og svartbak (*Larus marinus*)), skarv (storskarv (*Phalacrocorax carbo*) og toppskarv (*Phalacrocorax aritotelis*) kan tiltrekkes havfarmen for å beite. Det forventes ikke at lunde (*Fratercula arctica*) og lomvi (*Uria aalge*) vil tiltrekkes havfarmen siden disse søker ut mot åpent hav for å beite (Garsberg med fl. 2011). Tjeld og grågås beiter på land og i fjæreområdene og vil derfor ikke bruke området rundt havfarmen til næringssøk. Teist er en fisk- og krepsespisende sjøfugl, men siden teisten oppholder seg primært i områder med mindre enn 30 meters dybde (Kovacs og Lydersen 2006) forventes det ikke at den skal finnes i området rundt havfarmen. Ærfugl og praktærfugl som spiser føde fra havbunnen dykker vanligvis ikke dypere enn 40 meter (Kovacs og Lydersen 2006). Disse observeres ofte rundt akvakulturanlegg, hvor de beiter på begroing som blåskjell på bøyer og tauverk og de har vært et problem for skjelloppdrettere (Garsberg med fl. 2011). Havfarmen har lagt opp til periodisk rengjøring av begroing. Dette sammen med at ærfugl ikke kan dykke ned til bunnen hvor havfarmen ligger tilsier at ærfugl og praktærfugl i svært liten grad vil bruke området.

Krykkjer varierer sitt matsøk i hekkeperioden i forhold til hvor de finner mat, noe som gjør at områder til næringssøk kan variere mellom år (Anker-Nilssen med fl. 2014). Dette betyr i praksis at krykkjen tilpasser seg næringssituasjonen og vil ikke bruke et område hvor det ikke finnes mat. Det er ukjent hvorvidt en matkilde i form av overskudds fôr fra oppdrettsanlegg har betydning for krykkjebestanden, men det er vanskelig å se at ekstra fôrtilgang skal virke negativt.

Havsule (*Morus bassanus*) etablerte seg i Norge først på midten av 1940-tallet på Runde i Møre og Romsdal (Barrett 2008). Etter denne første etableringen har havsule fortsatt å etablere seg langs kysten og økt til mer enn 4500 par i 2010 (Pettex med fl. 2015). Antallet havsuler i Lofoten og Vesterålen økte frem mot ca 1990, antallet sank deretter for så å stige igjen etter 2006. Det ser ut til at det er en del fleksibilitet og forflytningsevne hos voksne fugler siden alle voksne merkede fugler fra Store Ulvøyholmen (n=20) var fra to andre forlatte kolonier i Lofoten og Vesterålen (Pettex med fl. 2015). Antallet tilsynelatende okkuperte reir på Store Ulvøyholmen har vært talt alle år i perioden 1997 – 2010. I 1997 var der mindre enn 20 reir som så vokste eksponentielt frem til 2004 hvor tett over 400 reir ble registrert. Deretter har populasjonen gradvis sunket litt og holdt seg stabil på litt over 300 par (Pettex med fl. 2015). Havsule fôrer ungene sine hovedsakelig med sild (*Clupea harengus*), makrell (*Scomber scombrus*), sil (*Ammodytidae sp.*) og sei (*Pollachius virens*) (Barrett 2016). Dette viser at havsule har stor fleksibilitet i næringstilgang. GPS-studier av beitevandringer hos havsule fra Store Ulvøyholmen viser at de bruker et ca 1000 km^2 stort område som strekker seg fra Hadseløya ut hele Vesterålsfjorden og ut til eggakanten i ungeperioden (Pettex med fl. 2012). Plotting av GPS dataene og utregning av relativ tetthet av turene viser at havsule også benytter seg av området hvor havfarmen tenkes plasser. Dette betyr overlapp i areal, men siden havsule stuper etter fisk med svært stor presisjon er det vanskelig å se for seg at havfarmen skal skape problemer for havsulen.

For de resterende ni artene listet i Table 4 er det usikkert i hvilken grad de vil overlappe med havfarmen. Ut i fra disse artenes biologi antas det at laksand (*Mergus merganser*), siland (*Mergus serrator*) og alke (*Alca torda*) i svært liten grad vil bruke området. Laksand og siland oppholder seg nærmere land og alke søker i større grad ut fra kysten. Rødnebbterne (*Sterna paradisaea*), havelle (*Clangula hyemalis*), storjo (*Stercorarius skua*) og havørn (*Haliaeetus albicilla*) vil kunne bruke området, men det er lite som tyder på at de tiltrekkes aktiviteten rundt et akvakulturanlegg. Storlom (*Gavia arctica*) og grålire (*Puffinus griseus*) bruker området bare kortere perioder i året.

Bestanden av storskarv var på over 300 individer i 2011 for så å forsvinne helt i 2013 (http://www.seapop.no/no/). Årsaken til at storskarven har forsvunne helt fra Ulvøyværet er ikke kjent, men det faller sammen med mer enn halvering av den norske storskarvbestanden det siste 10-året (Fauchald med fl. 2015).

Det er gjort få undersøkelser av oppdrettsanlegg sin påvirkning på sjøfugl (Garsberg med fl. 2011). I følge Garsberg med fl. (2011) vil oppdrettsanlegg tiltrekke seg opportunistiske sjøfugler som nevnt i avsnittet ovenfor. Disse vil søke etter mat i og ved anlegget. Så lenge det brukes mørkt og tykk tråd i nett over merdene vil sjøfuglene i liten grad sette seg fast. Det vil derfor kunne bli en liten aggregering av sjøfugl rundt et hvert akvakulturanlegg. Dette kan potensielt føre til konflikt siden oppdretter kan se på sjøfuglene som plagsomme og at de griser til anlegget med guano (skitt), men så lenge oppdretter reduserer fôrspill, kan sjøfuglkonfliktene mest sannsynlig holdes på et akseptabelt nivå.

I to rapporter fra Norsk institutt for naturforskning (Garsberg med fl. 2011, Follestad 2015) konkluderes det med at det er mangelfull kunnskap for å kvantifisere konsekvensene av akvakultur på sjøfugl. De største forstyrrelsene kommer oftest fra båttrafikk. Dette anlegget vil øke båttrafikken i området siden det trengs båttransport for manskapsbytte. Garsberg med fl. (2011) konkluderer i sin rapport at akvakulturanlegg ikke har noen konsekvenser for alke, lomvi og krykkje, mens konsekvensen er satt til lav for storskarv og toppskarv og ærfugl, men angir samtidig at kunnskapsnivået er fra middels til dårlig.

4 Høringsuttalelser om programplanen og svar på uttalelsene

Programplanen for konsekvensutredningen har vært på offentlig høring i perioden 20.12.2016 – 03.02.2017 i henhold til plan- og bygningsloven § 14-2, forskrift om konsekvensutredning, og kommunestyrets vedtak 29/9-2016 i sak 82/2016. Meldingen om høring ble annonsert i Bladet Vesterålen, på Nordlaks Oppdrett AS sitt nettsted www.havfarm.no og på Hadsel kommune sitt nettsted www.hadsel.kommune.no under menyvalgene "selvbetjening", "høringer" og "kunngjøringer". Planen redegjorde for hva som skulle tas med i utredningen og presenteres i sin helhet i vedlegg 1.

Det kom inn fire (4) høringsuttalelser. Disse var fra Nordland fylkes fiskarlag (vedlegg 2), fylkesmannen i Nordland (vedlegg 3), Nordland fylkeskommune (vedlegg 4) og Kystverket (vedlegg 5).

Nordland fylkes fiskarlag (vedlegg 2) er positiv til konsekvensutredningen, men mener at konsekvenser for samfunnet også burde utredes. Videre er fiskarlaget kritisk til at planen for havfarmen ikke har vært til høring hos fiskarlaget, men at lokale fiskere er hørt i saken. Dette summeres opp til tre punkter som fiskarlaget mener skulle vært med i konsekvensutredningen.

- Forholdet til fiskerinæringen med hensyn på arealbeslaget.
- Utslipp av næringssalter.
- Bruk av luseskjørt og behov for utredning av hvordan alle kjente lusemidler vil slå ut for havmiljøet.

Plan- og bygningsloven med forskrift beskriver hvilke tiltak som skal utredes og hvilke elementer en konsekvensutredning skal inneholde. Et akvakulturanlegg er et tiltak hvor det ikke settes krav til konsekvensutredning. Det er derfor opp til myndighetene, i dette tilfelle Hadsel kommune, å bestemme om et tiltak skal utredes og hvilke elementer utredningen skal inneholde. Denne utredningen inneholder en beskrivelse av naturmiljøet og vurderinger i forhold til mulige konsekvenser på sjøfugl. De samfunnsmessige konsekvensene var beskrevet i søknaden til Nordlaks Oppdrett AS. Kommunestyret sluttet seg til disse vurderingene.

I henhold til fiskarlaget sitt ønske vises AIS-tracing av norske fiskebåter over 15 meter som holder 1-5 knops fart for 2012 – 2015 (Figure 11,

Figure 12, Figure 13, Figure 14). Kartene er tatt ut fra Fiskeridirektoratets kartverk og filtrert slik at skip som ligger stille, eller er i transitt ikke er tatt med. Dette er direktoratets metode for å kartlegge aktivt fiske. Noe støy i form av registreringer nær kysten og ved havner er forventet. Videre er det i dag ikke gode metoder for å registrere fiskefartøy under 15 meter. Kartene er derfor ikke representative for alle båter ved kysten. Kartene viser at det er lav aktivitet på lokaliteten hvor Havfarm tenkes lagt, noe som stemmer godt overens med de lokale fiskernes uttalelser som er vedlagt søknaden til Hadsel kommune.

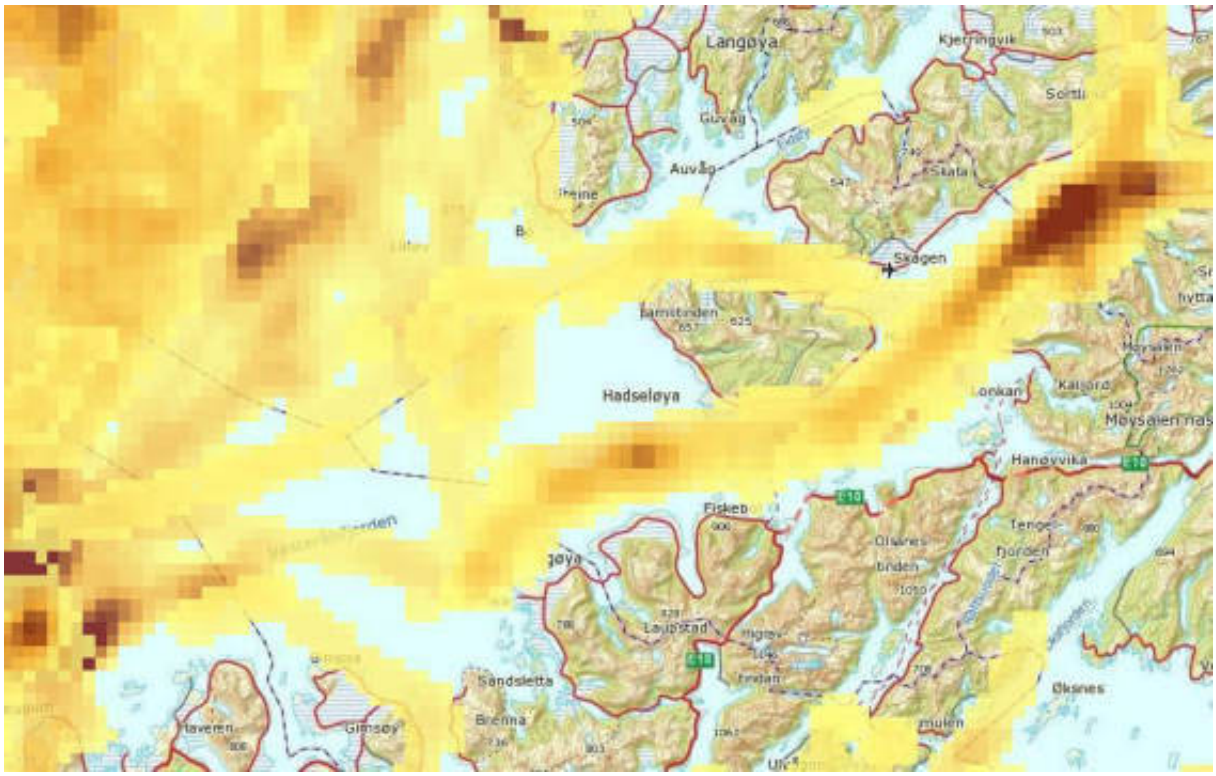


Figure 11: Fiskeriaktivitet av båter over 15 meter, hastighet 1-5 knop for hele året 2012 (https://kart.fiskeridir.no/fiskeri).

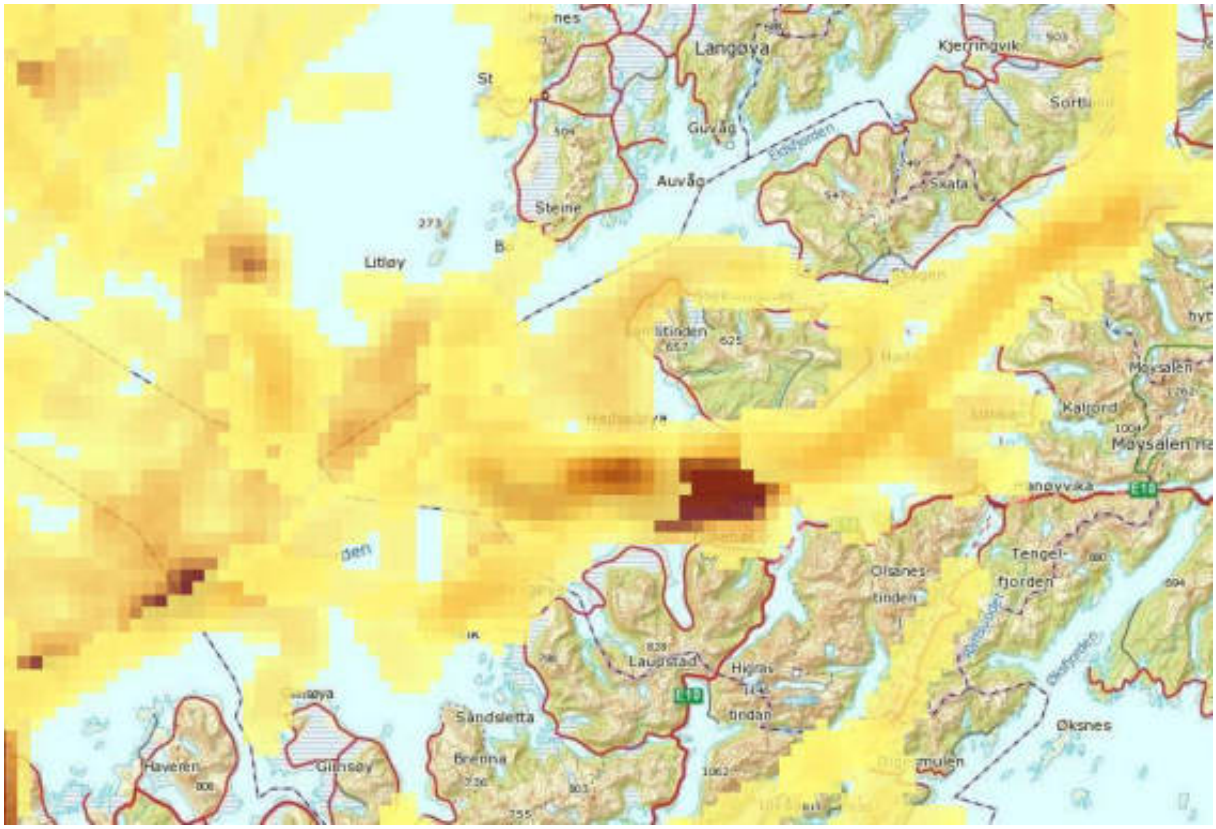


Figure 12: Fiskeriaktivitet av båter over 15 meter, hastighet 1-5 knop for hele året 2013 (https://kart.fiskeridir.no/fiskeri).

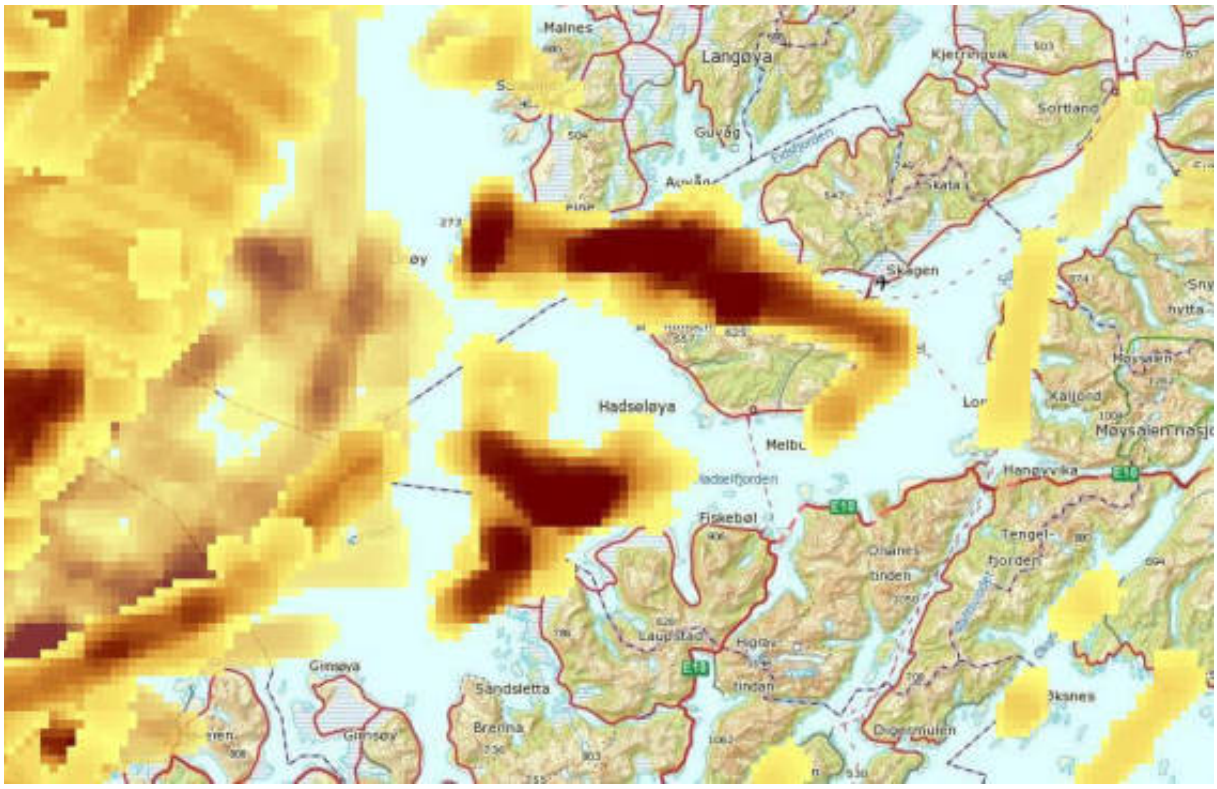


Figure 13: Fiskeriaktivitet av båter over 15 meter, hastighet 1-5 knop for hele året 2014 (https://kart.fiskeridir.no/fiskeri).

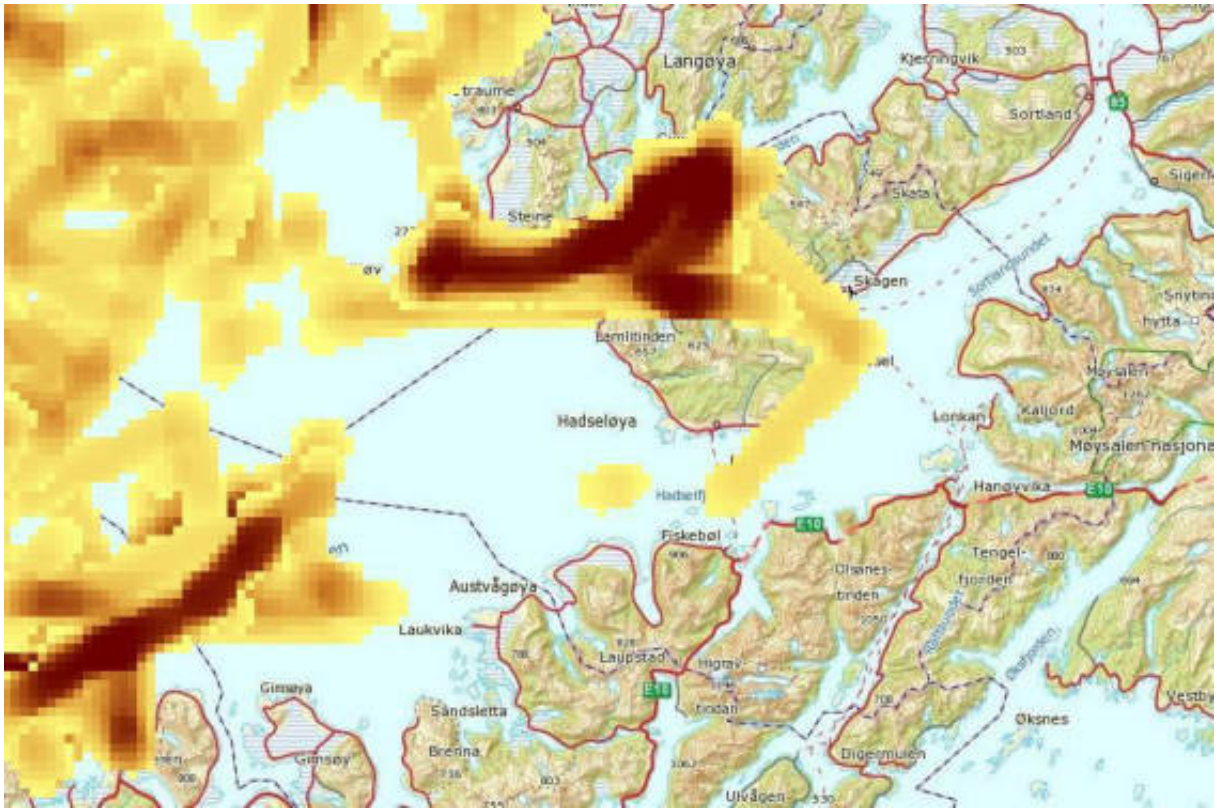


Figure 14: Fiskeriaktivitet av båter over 15 meter, hastighet 1-5 knop for hele året 2015 (https://kart.fiskeridir.no/fiskeri).

Havfarmen vil som alle akvakulturanlegg slippe ut næringssalter. Havfarmen må søke om utslippstillatelse på lik linje med alle akvakulturanlegg. Dette vil bli gjort i henhold til gjeldende regelverk. En utvidet grunnlagsundersøkelser etter innspill fra lokale fiskere av vannsøyle og resipient (bunn) er gjennomført for området. Oppfølging av disse undersøkelser vil bli gjennomført etter de til enhver tid gjeldende regler og rapportert til vannportalen i henhold til vannforskriften.

Bruken av luseskjørt og mulige konsekvenser av dette var behandlet i søknad til Hadsel kommune. Nordlaks Oppdrett AS mener at det er en nasjonal oppgave å forske på eller utrede hvordan alle kjente lusemidler vil påvirke havmiljøet. Oppdrettsnæringens forskingsfond har dette som et satsningstema. Nordlaks Oppdrett AS mener derfor at næringen har tatt et samfunnsansvar for å gi mulighet til utvikling på dette feltet.

Fylkesmannen i Nordland (vedlegg 3) er positiv til utredningen, men poengterer at metodene som brukes må være etterprøvbare. Metodene er beskrevet i kapittel 2 og følger retningslinjene til http://www.havmiljo.no/ utviklet av Systad (2011).

Nordland fylkeskommune (vedlegg 4) vektlegger Hadsel kommunens sin rolle i forbindelse med behandlingen av saken. Videre mener fylkeskommunen at deler av Nordland fylkes fiskarlag uttalelse må tas hensyn til og at metodene må være etterprøvbare. I kapittel 3 er naturmiljøet inklusiv gyteområder behandlet. Uttalelser fra fiskarlaget og fylkesmannen er behandlet i avsnittene over.

Kystverket har på bakgrunn av sakens karakter og Kystverkets myndighetsområde ingen kommentar eller innvendinger til planen (vedlegg 5).

5 Konklusjon

Etablering av Havfarm vest av Hadseløya er et tiltak for å møte nasjonale mål om produksjon av sjømat. Dette gjennom å utvikle teknologi som gjør det mulig å benytte mer eksponerte områder til havbruk, og samtidig bidra til å løse utfordringen knyttet til lakselus. Havfarmen blir å ligge i et område med 100 – 130 meters havdyp og siden den er ankeret opp i et punkt i baugen vil den sirkle om dette punket og slippe ut næringssalter og organiske partikler i et område minimum 29 ganger så stort som selve arealet av anlegget. Denne utredningen viser at vi mangler forskning på effekter på sjøfugl fra akvakulturanlegg. Videre viser utredningen at noen av sjøfuglartene fra Ulvøyvær naturreservat vil bruke området hvor havfarmen er tenkt plassert. Det er uklart om havfarmen vil ha en positiv eller negativ konsekvens for de sjøfuglartene som overlapper med arealbruken. Det kan tenkes at konsekvensen er negativ siden mindre areal blir tilgjengelig, men motsatt kan sjøfugl profitere på at det er mer næring i form av fôrspill og ansamling av villfisk rundt anlegget.

Siden konsekvenskonstanten ikke kan angi om fortegnet er positivt eller negativt, vil påvirkningskonstanten (Table 5) heller ikke vise positiv eller negativ retning. Fire av 23 vurderte arter kommer i påvirkningskategori "lav" (1-3), mens de resterende 19 artene viser "ingen" (0) påvirkning (Table 5). Havfarmen vil derfor ha ingen til lav påvirkning på sjøfuglbestanden i Ulvøyvær naturreservat.

Table 5: Oppsummerende tabell om påvirkning av sjøfugl fra Havfarm.

Norsk navn	Vitenskapelig navn	Rødliste kategori (Henriksen og Hilmo 2015)	Verdi (Table 1)	Konsekvens* (Table 2)	Påvirkning (Table 3)
Havsule	*Morus bassanus*	LC	0	1	0
Storskarv	*Phalacrocorax carbo*	LC	0	2	0
Gråmåke	*Larus argentatus*	LC	0	2	0
Svartbak	*Larus marinus*	LC	0	2	0
Fiskemåke	*Larus canus*	NT	1	2	2
Teist	*Cepphus grylle*	VU	2	0	0
Ærfugl	*Somateria mollissima*	NT	1	0	0
Grågås	*Anser anser*	LC	0	0	0
Rødnebbterne	*Sterna paradisaea*	LC	0	1	0
Toppskarv	*Phalacrocorax aritotelis*	LC	0	2	0
Lunde	*Fratercula arctica*	VU	2	0	0
Laksand	*Mergus merganser*	LC	0	1	0
Alke	*Alca torda*	EN	2	1	2
Lomvi	*Uria aalge*	CR	3	0	0
Tjeld	*Haematopus ostralegus*	LC	0	0	0
Siland	*Mergus serrator*	LC	0	1	0
Storlom	*Gavia arctica*	LC	0	0	0
Havelle	*Clangula hyemalis*	NT	1	1	1
Praktærfugl	*Somateria spectabilis*	NA - Ikke egnet til vurdering	-	0	-
Grålire	*Puffinus griseus*	Ikke vurdert	-	1	-
Storjo	*Stercorarius skua*	LC	0	1	0
Havørn	*Haliaeetus albicilla*	LC	0	1	0
Krykkje	*Rissa tridactyla*	EN	1	2	2
Ender	-	-	-	0	-
Gjess	-	-	-	0	-

* Ikke overlapp = 0, mulig/usikker overlapp = 1, sikker overlapp = 2, stor grad av overlapp = 3.

5.1 Avbøtende tiltak

Opportunistiske sjøfugler som fiskemåke, gråmåke, svartbak, storskarv, toppskarv og sannsynligvis krykkje vil kunne trekke til anlegget for å søke etter mat. Anlegget er vanligvis tildekket med et nett for å hindre sjøfugl adgang til merden. Ved å benytte støtter som hindrer nedtynging av nettet og at dette nettet er laget av mørkt og tykt materiale begrenser man mengden sjøfugl som vil kunne sette seg fast og dø på grunn av dette.

Båttrafikk kan gi forstyrrelser på sjøfugl som ligger på vannet og på arter som er sky på hekkeplass. I hovedsak gjelder dette for mytende gjess og andefugler (juli og august) og storskarv på hekkeplass (juni og juli). Som et avbøtende tiltak vil Nordlaks Oppdrett AS bruke tilfartsleien øst for Hadseløya forbi Melbu for å unngå å krysse på innsiden av eller gjennom Ulvøyvær naturreservat. Leien på østsiden av Hadseløya vil benyttes hvis være tilsier at denne av sikkerhetshensyn må brukes.

6 Referanser

Anker-Nilssen, T., R. T. Barrett, S. Christensen-Dalsgaard, S. Descamps, K. E. Erikstad, S. A. Hanssen, S. H. Lorentsen, E. Lorentzen, B. Moe, M. S. Myksvoll, H. Strøm, og G. H. Systad. 2014. Sjøfugl i Norge 2013. Trondheim.

Anker-Nilssen, T., S. Christensen-Dalsgaard, S. Descamps, S. A. Hanssen, S. H. Lorentsen, E. Lorentzen, B. Moe, T. K. Reiertsen, H. Strøm, og G. H. Systad. 2016. Sjøfugl i Norge 2015.

Barrett, R. T. 2008. Recent establishments and extinctions of Northern Gannet Morus bassanus colonies in North Norway, 1995-2008. Ornis Norvegica 31:172-182.

Barrett, R. T. 2016. Diet of Northern Gannet Morus bassanus chicks in North Norway. Ornis Norvegica 39:45-52.

Fauchald, P., T. Anker-Nilssen, R. Barrett, J. O. Bustnes, B.-J. Bårdsen, S. Christensen-Dalsgaard, S. Descamps, S. Engen, K. E. Erikstad, og S. A. Hanssen. 2015. The status and trends of seabirds breeding in Norway and Svalbard.

Follestad, A. 2015. Effekter av forstyrrelser på fugl og pattedyr fra akvakulturanlegg i sjø – en litteraturstudie. Norsk institutt for nautrforskning, Trondheim.

Garsberg, G., S. Christensen-Dalsgaard, S. H. Lorentsen, G. H. Systad, og T. Anker-Nilssen. 2011. Tverrsektoriell vurdering av konsekvenser for sjøfugl. Grunnlagsrapport til en helhetlig forvaltningsplan for Nordsjøen og Skagerrak. Norsk institutt for naturforskning, Trondheim.

Henriksen, S., og O. Hilmo. 2015. Rødlista - hva, hvem, hvorfor? Norsk rødliste for arter 2015.

Kommunal- og moderniseringsdepartementet. 2015. Forskrift om konsekvensutredninger for planer etter plan- og bygningsloven.

Kovacs, K. M., og C. Lydersen. 2006. Svalbards fugler og pattedyr. Norsk polarinstitutt, Tromsø.

Pettex, E., R. T. Barrett, S.-H. Lorentsen, F. Bonadonna, L. Pichegru, J.-B. Pons, og D. Grémillet. 2015. Contrasting population trends at seabirds colonies: is food limitation a factor in Norway? Journal of Ornithology 156:397-406.

Pettex, E., S.-H. Lorentsen, D. Grémillet, O. Gimenez, R. T. Barrett, J.-B. Pons, C. Le Bohec, og F. Bonadonna. 2012. Multi-scale foraging variability in Northern gannet (Morus bassanus) fuels potential foraging plasticity. Marine Biology 159:2743-2756.

Skei, J. 2014. Exploring Moulting Common Eider (Somateria mollissima) Escape Responses towards Ship Traffic. NTNU.

Svåsand, T., Ø. Karlsen, B. O. Kvamme, L. H. Stien, G. L. Taranger, og K. K. Boxaspen. 2016. Risikovurdering norsk fiskeoppdrett 2016. Havforskningsinstituttet.

Systad, G. H. 2011. Miljøverdi og sjøfugl. Metodebeskrivelse. Norsk institutt for naturforskning.

Internettreferanser

Kart: https://kart.fiskeridir.no/
http://www.imr.no/geodata/geodataHI.html

Data: http://www.seapop.no/no/
http://www.havmiljo.no/
http://www.miljodirektoratet.no/no/Tjenester-og-verktoy/Database/Naturbase/
http://www.artsdatabanken.no/

Vedlegg

Vedlegg 1: Utredningsprogram

Akvaplan-niva

Deres ref.:	
Deres dato:	
Vår ref.:	864 I/KDA
Konsulent:	Kjetil Sagerup
Direkte tlf.:	
Mobil:	48069976
E-post:	kjetil.sagerup@akvaplan.niva.no
Dato:	Tromsø, 16.12.2016

Nordlaks Oppdrett AS

Miljøkoordinator Bjarne Johansen

Plan for konsekvensutredning naturverdier Ulvøyværet i forhold til prosjektet Havfarm

Akvaplan-niva har på bakgrunn av Nordlaks Oppdrett sin henvendelse til oss utarbeidet en plan for utredning av naturressursen fugl og mulig påvirkning etableringen av anlegget Havfarm kan ha på sjøfugl og andefugl i området Ulvøyværet naturreservat.

I henhold til klage på kommunestyrets vedtak 49/2016 - dispensasjon fra kommuneplanens arealdel for etablering av havfarm utenfor Hadseløya fattet kommunestyret i Hadsel den 29.09.2016 følgende endringsvedtak og uttalelse til fylkesmannen i Nordland (jf. tidligere vedtak i sak 49/2016 av 23/6-2016):

"Kommunen slutter seg til rådmannens vurdering og forslag til vedtak og uttalelse som følger:

1. Kommunestyret tar klagen fra Norsk ornitologisk forening, Nordland til delvis til følge ved at Nordlaks oppdrett pålegges å konsekvensutrede tiltaket etter plan- og bygningslovens kapittel 14, slik at konsekvensene for natur og biologisk mangfold redegjøres for. Nordlaks oppdrett AS skal i sin konsekvensutredning også foreslå avbøtende tiltak der dette er mulig.
2. Kommunestyret tar ikke til følge kravet om å flytte anlegget all den tid kunnskapsgrunnlaget- og konsekvensene ikke er redegjort for.
3. Dersom konsekvensutredningen- og forslag til avbøtende tiltak viser at slikt anlegg kan etableres i omsøkt område, og nødvendige tillatelser gis av Fiskeridirektoratet gir Hadsel kommune Nordlaks oppdrett AS dispensasjon fra kommuneplanens arealdel til etablering av havbruksfarm sørvest for Hadseløya.
4. I henhold til plan- og bygningsloven oversendes klagen til fylkesmannen i Nordland for endelig behandling."

Nedenfor gjengis en del av rådmannen i Hadsel sine vurderinger:
"Det er registrert 23 ulike arter i Ulvøyværet naturreservat som ligger nord for planlagt anlegg (se vedlegg 2), og 11 arter i retning sørover mot anlegget. I naturreservatet er her registrert 3 arter som klassifiseres som nært truet, 2 arter som er sårbare, 1 art som er sterkt truet og 1 som er kritisk truet, til sammen 7 arter som er truet. Mot havbruksanleggets fremtidige plassering er her 2 arter som er nært truet og 1 som er sterkt truet. Det faktum at her befinner seg et rikt biologisk mangfold av ulike arter i nærheten av anlegget, at en del av disse er truet, at vi har et lite kunnskapsgrunnlag i forhold til konsekvensene av slikt tiltak og det faktum at staten har opprettet et reservat i nærheten av anlegget for å beskytte fuglene tilsier, etter rådmannens skjønn, at interessen har slik art og styrke at klagen bør behandles."

"Rådmannen vurderer konsekvensen til å være middels, og vil samtidig vise til intensjonen i forskriften i utviklingstillatelser som sier at et av de områdene som skal søkes løst er miljøforhold, noe som medfører at her blir bli etablert et anlegg som skal vise miljøhensyn. Dette trekker i positiv retning."

Akvaplan-niva AS
Rådgivning og forskning innen miljø og akvakultur
Org.nr: NO 937 375 158 MVA
www.akvaplan.niva.no
Norge – Island – Frankrike – Russland – Spania

Hovedkontor:
Framsenteret
Postboks 6606 Langnes, 9296 Tromsø
Tel.: 77 75 03 00
Fax: 77 75 03 01
Epost: tromso@akvaplan.niva.no

Tromsø-kontoret (svaradresse)
Framsenteret
Postboks 6606 Langnes, 9296 Tromsø
Tlf: 77 75 03 00
Fax: 77 75 03 01
E-post: tromso@akvaplan.niva.no

Melding med forslag til utredningsprogram

Nordlaks Oppdrett AS er av Hadsel kommune bedt om å utrede hvilke effekter en etablering av utviklingsprosjektet Havfarm kan ha for naturmiljøet. Utgangspunktet for søknaden om utviklingstillatelser er planene om å teste ny teknologi og driftsform som kan løse noen av dagens utfordringer i oppdrettsnæringen, for eksempel problemer knyttet opp til lakselus og arealtilgang. Nordlaks Oppdrett AS ønsker med Havfarm å bidra til utvikling av oppdrettsnæringen for en mer optimal utnyttelse av arealet og bedring av naturmiljøet, noe som er en forutsetning for å nå Stortingets ambisjon om betydelig vekst i fremtidig matproduksjon og verdiskapning innen sjømatindustrien.

I henhold til plan- og bygningslovens kapittel 14 vil Nordlaks Oppdrett AS med dette melde om oppstart av konsekvensutredning (KU) av prosjektet Havfarm til Hadsel kommune. Planen som presenteres nedenfor er laget med bakgrunn i kommunestyrets vedtak i sak 49/2016 den 29. september 2016.

Utredningsprogram

1. Redegjørelse for tiltaket

Bakgrunn og formål for tiltaket er utførlig beskrevet i søknad om dispensasjon fra Hadsel kommunes arealplan for etablering av lokalitet "Ytre Hadseløya" i forbindelse med prosjektet Havfarm av 14.04.2016. Kommunestyret mente imidlertid at mulige innvirkninger på fuglebestandene i Ulvøyværet naturreservat var mangelfullt utredet. KU vil derfor fokusere på virkninger det planlagte anlegget vil ha for fugl. KU vil ta utgangspunkt i tilgjengelig litteratur om temaet, både vitenskapelige artikler og offentlige rapporter.

2. Tiltakets virkning for miljø og helse

I henhold til forskrift om konsekvensutredninger for planer etter plan- og bygningsloven (Kommunal-og-moderniseringsdepartementet, 2015) skal en KU identifisere, beskrive og vurdere de direkte og indirekte vesentlige effekter tiltaket kan få for:

a) befolkning og helse,
b) naturmangfold,
c) land, jordsmonn, vann, luft og klima,
d) materielle verdier, kulturminner og landskap, og
e) samvirke mellom faktorene nevnt over.

I henhold til Hadsel kommunes vedtak, samt dialog med Hadsel kommune i etterkant av dette, er det kun momenter knyttet til bokstav b), herunder det som går på fuglelivet i Ulvøyværet naturreservat, som skal konsekvensutredes. Dette fordi oppdrettsanlegg normalt ikke omfattes av kravet om KU (Kommunal-og-moderniseringsdepartementet, 2015) og at momentene framsatt i klagen fra NOF Nordland går på hensynet til fuglelivet i Ulvøyværet naturreservat. Det er derfor naturlig at denne utredningen setter fokus på mulige virkninger anlegget kan få for naturmiljøet med spesiell fokus på ande- og sjøfuglbestandene i Ulvøyvær naturreservat. Nordlaks Oppdrett AS vil i utredning foreslå avbøtende tiltak der dette er mulig og/eller nødvendig.

Temaene naturmangfold vil bli belyst etter følgende plan:

Høringsuttalelse fra NOF avdeling Nordland etterspør mulige virkninger av etableringen Havfarm kan ha for Ulvøyværet naturreservat.
Anlegget plasseres med minimum 2 km avstand til Ulvøyværet naturreservat. Formålet med Ulvøyværet naturreservat er "å ivareta et verdifullt kystområde, med det naturlig tilknyttede plante- og dyreliv. Området har spesiell verdi som hekkeområde for en rekke arter sjøfugl." (http://www.miljodirektoratet.no/). KU vil fokusere på tilgjengelig litteratur som beskriver forstyrrelser fra menneskelig aktivitet og relatere dette til påvirkningsfare som Havfarm vil ha på naturreservatet. Det vil særlig bli satt fokus på sjøfugl og andefugl siden disse er de eneste som kan benytte seg av sjøarealet som Havfarm vil legge beslag på. Det vil bli gjort vurderinger for hver enkelt art som er registrert i Ulvøyværet naturreservat. Arter som er registrert hekkende og som myter i området vil bli vektlagt (tabell 1).

Tabell 1: Miljødirektoratets naturbase nevner følgende arter av sjøfugl og ender i beskrivelsen av Ulvøyværet naturreservat.

Art	År / antall	År / antall
Havsule	2013 / 319 (par)	
Storskarv	2011 / 339 (individer)	2013 / 0 (ingen hekking)
Gråmåke	2011 / 300 (individer)	
Svartbak	2011 / 200 (individer)	
Fiskemåke	"viktig"	
Teist	"viktig"	
Ærfugl	"viktig"	
Grågås	"mindre bestand"	
Rødnebbterne	"mindre bestand"	
Toppskarv	"mindre bestand"	
Ender	"viktig myteområde"	
Gjess	"viktig myteområde"	

I tillegg har rådmannen i Hadsel utarbeidet en liste med 22 arter fugl som er registrert i Ulvøyværet naturreservat. Denne listen, tabell 1 og annet tilgjengelig materiale fra offentlige databaser (miljødirektoratet, miljødatabanken eller sjøfuglprosjektet SEAPOP (www.seapop.no) vil bli brukt som underlag for artsvurderingen i KU. Til vurderingen vil vitenskapelig litteratur og offentlige rapporter bli brukt. Eksempler på litteratur som kan bli brukt som vurderingsgrunnlag er; påvirkninger fra oppdrettsanlegg (Garsberg et al., 2011; Lorentsen and Follestad, 2014), påvirkning fra annen industri (Systad and Hanssen, 2016) og andre menneskelige forstyrrelser (Ronconi and Clair, 2002; Sandvik and Barrett, 2001).

3. Avbøtende tiltak

Under planleggingen av prosjekt Havfarm, herunder valg av lokalitet, har det blitt tatt hensyn til andre interesser i området, samt sårbare og truede naturtyper og arter. Det har vært gjennomført dialog med sektormyndighetene, herunder Fylkesmannens miljøvernavdeling i Nordland, samt lokale fiskere som bruker området aktivt. Denne prosessen har sannsynliggjort at valget av lokalitet ikke vil medføre betydelig risiko verken for naturtyper og arter, eller annen virksomhet i området. I den grad konsekvensutredningen avdekker negative forhold knyttet til fuglelivet i Ulvøyværet naturreservat, vil mulige avbøtende tiltak vurderes og listes opp.

Med vennlig hilsen,
For Akvaplan-niva AS

PhD Kjetil Sagerup
Seniorkonsulent

Side 3 av 4

Referanser

Garsberg, G., Christensen-Dalsgaard, S., Lorentsen, S.H., Systad, G.H., Anker-Nilssen, T., 2011. Tverrsektoriell vurdering av konsekvenser for sjøfugl. Grunnlagsrapport til en helhetlig forvaltningsplan for Nordsjøen og Skagerrak, NINA rapport. Norsk institutt for naturforskning, Trondheim, p. 145.

Kommunal-og-moderniseringsdepartementet, 2015. Forskrift om konsekvensutredninger for planer etter plan- og bygningsloven.

Lorentsen, S.H., Follestad, A., 2014. Effekter av forstyrrelse på kolonihekkende fugl og effekter av avbøtende tiltak - en litteraturstudie, NINA Rapport. Norsk institutt for naturforskning, Trondheim, p. 37.

Ronconi, R.A., Clair, C.C.S., 2002. Management options to reduce boat disturbance on foraging black guillemots (Cepphus grylle) in the Bay of Fundy. Biol. Conserv. 108, 265-271.

Sandvik, H., Barrett, R.T., 2001. Effect of investigator disturbance on the breeding success of the black-legged kittiwake, J. Field Ornithol.

Systad, G.H., Hanssen, S.A., 2016. Krykkje på Melkøya. Sjøfugl i et industrianlegg, NINA Rapport. Norsk institutt for naturforskning, Bergen, p. 34.

Internettreferanser

Miljødirektoratet, 2016. Naturbase. Beskrivelse av Ulvøyværet. http://www.miljodirektoratet.no/.

SEAPOP, 2016. SEAPOP, om sjøfugl – for et rikere hav. http://www.seapop.no/no/.

Vedlegg 2: Høringsuttalelse fra Nordland fylkes Fiskarlag.

nordland fylkes fiskarlag

Storgt. 38, Boks 103, 8001 Bodø
Telefon: 75 54 40 70
E-post: nordland@fiskarlaget.no
No 938 275 606

Akvaplan-Niva AS, v/Kjetil Sagerup
kjetil.sagerup@akvaplan.niva.no

Bodø, den 02.01.17
Ark. 16/359-2/548.1/SJ

Kopi til:
Se liste

FORSLAG TIL PLANPROGRAM FOR KONSEKVENSUTREDNING – HAVFARM I HADSEL KOMMUNE

Hadsel kommune sin behandling av søknaden fra Nordlaks AS

Det vises til forslag til planprogram for konsekvensutredning for Havfarm i Hadsel kommune. Bakgrunn for saken er Nordlaks AS sin søknad om etablering av oppdrettsanlegg basert på utviklingskonsesjoner. Planen er å etablere et "oppdrettsskip" liggende på svai. Det arealet som vil måtte brukes til anlegget er i følge søknaden beregnet til å være opptil ca 2,3 km² liggende innenfor en sirkel med diameter opp til 850 meter.

Kommunestyret behandlet i møte 23. juni 2016 en søknad fra Nordlaks AS om dispensasjon fra kommuneplanens arealdel. Søknaden ble innvilget. Imidlertid anket Norsk Ornitologisk Forening avd. Nordland kommunestyrets vedtak om dispensasjon. Den direkte bakgrunnen for anken var hensynet til hvilke innvirkninger etableringen av Havfarm kan ha for fuglelivet i Ulvøyværet naturreservat som ligger like i nærheten av den omsøkte oppdrettslokaliteten.

Da klagen ble behandlet av kommunestyret i Hadsel den 29.09.2016 ble det fattet følgende endringsvedtak:

"Kommunen slutter seg til rådmannens vurdering og forslag til vedtak og uttalelse som følger:

1. *Kommunestyret tar klagen fra Norsk ornitologisk forening, Nordland delvis til følge ved at Nordlaks oppdrett pålegges å konsekvensutrede tiltaket etter plan- og bygningsloven's kapittel 14, slik at konsekvensene for natur og biologisk mangfold redegjøres for. Nordlaks oppdrett AS skal i sin konsekvensutredning også foreslå avbøtende tiltak der dette er mulig.*

1

2. *Kommunestyret tar ikke til følge kravet om å flytte anlegget all den tid kunnskapsgrunnlaget- og konsekvensene ikke er redegjort for.*
3. *Dersom konsekvensutredningen- og forslag til avbotende tiltak viser at slikt anlegg kan etableres i omsøkt område, og nødvendige tillatelser gis av Fiskeridirektoratet gir Hadsel kommune Nordlaks oppdrett AS dispensasjon fra kommuneplanens arealdel til etablering av havbruksfarm sørvest for Hadseløya.*
4. *I henhold til plan- og bygningsloven oversendes klagen til fylkesmannen i Nordland for endelig behandling."*

Forslaget til planprogram

Kommunestyret i Hadsel har vedtatt *"at Nordlaks oppdrett pålegges å konsekvensutrede tiltaket etter plan- og bygningslovens kapittel 14, slik at konsekvensene for natur og biologisk mangfold redegjøres for."*

I forslaget til planprogram som nå er på høring beskriver Akvaplan Niva AS sin arbeidsordre slik:

"Nordlaks Oppdrett AS er av Hadsel kommune bedt om å utrede hvilke effekter en etablering av utviklingsprosjektet Havfarm kan ha for naturmiljøet."

Forannevnte har Nordlaks AS, etter dialog med Hadsel kommune oppfattet som at det kun er en utredning av naturmangfoldet med spesielt fokus på fuglelivet som skal utredes.

Vi vil minne om at formålet med en konsekvensutredning etter Plan- og bygningsloven er at hensynet til miljø og samfunn blir tatt i betraktning under forberedelsen av tiltaket etter planen. Selv om kommunestyret fattet sitt endringsvedtak i møte 29. sept. 2016 med bakgrunn i en klage fra Ornitologiforeningen så kommer en ikke bort fra at det er konsekvenser for både miljø og samfunn som skal utredes. Nordlaks AS har dermed ikke tatt høyde for i sitt forslag til utredningsprogram at det er mange flere forhold enn hensynet til fuglelivet som skal utredes.

Under den kommunale behandlingen av saken ble det fra Nordland Fylkes Fiskarlag sin side kommentert at lokaliteten er planlagt i et område der det drives fiske. Dette innspillet tok ikke kommunestyret hensyn til da saken ble behandlet første gang. Her skjuler kommunestyret seg bak at Nordlaks AS har kontaktet en del lokale fiskere som mente at det ikke var fiskeriaktivitet i området eller at denne var ganske liten. Nordland Fylkes Fiskarlag er kritisk til at ikke Nordlaks AS i stedet tok kontakt med lokale fiskarlag i området eller oss i fylkesfiskarlaget i og med at vi er høringspart i denne typen saker.

Å gå ut og forhandle / diskutere med utvalgte enkeltpersoner virker ikke til å være særlig betryggende saksbehandling i en så vidt stor og vidtfavnende sak som dette er der søknaden var en biomasse på rundt 30.000 tonn MTB, mens Fiskeridirektoratet nå har gitt tillatelse til inntil 7.800 tonn. I tillegg er som nevnt arealet som anlegget vil omslutte på opptil 2,3 km². Disse opplysningene burde alene ha vært tilstrekkelige til at det ble iverksatt en beslutning om konsekvensutredning uten at en av partene hadde anket saken.

Som nevnt er formålet med Kapittel 14 om Konsekvensutredninger for tiltak og planer etter annet leddverk i Plan- og bygningsloven at hensynet til miljø og samfunn skal tas i betraktning under forberedelsen av tiltaket. En kan ikke forstå dette på annet vis enn at kommunestyret

har ønsket å se totaliteten i saken og at alle sider ved søknaden og saken skulle konsekvensutredes.

Konklusjon / forslag

Nordland Fylkes Fiskarlag mener at følgende tema også må implementeres i utredningsprogrammet og følgelig konsekvensutredes:

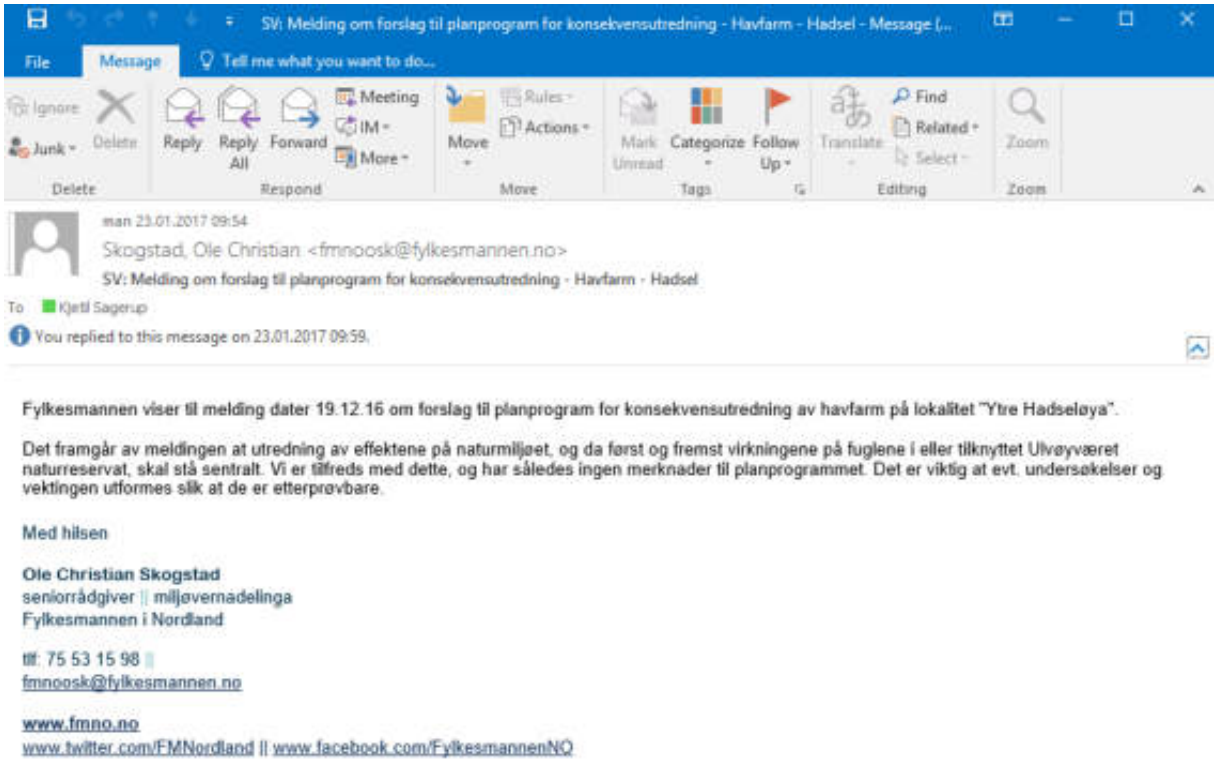
- Forholdet til fiskerinæringen med hensyn til arealbeslag. Herunder må det kartlegges hvilke fiskerier som har foregått i dette området i minst de siste 10 årene.
- Dette er et stort anlegg med mye fisk og de totale utslippene av næringssalter vil være store. Imidlertid vil også spredningen av næringssaltene være større enn det som er normalt. Vi registrerer påstander om at miljøpåvirkningene fra anlegget vil være små. Likevel mener Nordland Fylkes Fiskarlag at det vil være behov for å få utredet hvilke konsekvenser utslippene vil ha for havmiljøet generelt i området og spesielt for havbunnsmiljøet.
- Bruk av såkalte luseskjørt er en del av konseptet. Dette er likevel ingen garanti for at det ikke vil være behov for avlusing på lokaliteten. En mener derfor at det er behov for å få utredet hvordan bruk av alle kjente lusemidler vil slå ut for havmiljøet.

Med hilsen
NORDLAND FYLKES FISKARLAG

Steinar Jonassen

Kopi til:
Hadsel kommune, 8450 Stokmarknes
Fiskeridirektoratet Region Nordland, 5804 Bergen
Nordland Fylkeskommune, 8948 Bodø
Fylkesmannen i Nordland, 8002 Bodø
Vågan Fiskarlag v. Leif Karlsen, Strømsnes, 8315 Laukvik
Sortland Fiskarlag v. Willy Olsen, Åsauva. 3, 8400 Sortland
Nordlaks Oppdrett AS v. Bjarne Johansen bjarne.johansen@nordlaks.no

Vedlegg 3: Høringsuttalelse fra Fylkesmannen i Nordland



Fylkesmannen viser til melding dater 19.12.16 om forslag til planprogram for konsekvensutredning av havfarm på lokalitet "Ytre Hadseløya".

Det framgår av meldingen at utredning av effektene på naturmiljøet, og da først og fremst virkningene på fuglene i eller tilknyttet Ulvøyværet naturreservat, skal stå sentralt. Vi er tilfreds med dette, og har således ingen merknader til planprogrammet. Det er viktig at evt. undersøkelser og vektingen utformes slik at de er etterprøvbare.

Med hilsen

Ole Christian Skogstad
seniorrådgiver || miljøvernadelinga
Fylkesmannen i Nordland

tlf: 75 53 15 98 ||
fmnoosk@fylkesmannen.no

www.fmno.no
www.twitter.com/FMNordland || www.facebook.com/FylkesmannenNO

Vedlegg 4: Høringsuttalelse fra Nordland fylkeskommune

Nordland FYLKESKOMMUNE

Vår dato: 03.02.2017
Vår referanse: 17/6412
Deres dato: 19.12.2016
Deres referanse:

Org.nr: 964 982 953

Nordlaks Oppdrett AS
Bjarne Johansen

Uttalelse - Forslag til planprogram for konsekvensutredning - Havfarm i Hadsel kommune

Nordlaks oppdrett AS melder om oppstart av konsekvensutredning med forslag til planprogram for etablering av Havfarm i Hadsel kommune. Det er planlagt at Havfarmen skal plasseres sørvest for Hadseløya. Det er søkt om dispensasjon for et område på 7,5 km², men selve anlegget vil ligge innenfor et areal på mellom 0,95 – 2,25 km². Tiltaket er ikke i tråd med kommuneplanens arealdel, hvor området er avsatt til *Bruk og vern av sjø og vassdrag med tilhørende strandsone*, med underformål *fiske*.

Med bakgrunn i lov om kulturminner, naturmangfoldloven og plan- og bygningsloven, herunder fylkesplanen og rikspolitiske retningslinjer, gir Nordland fylkeskommune følgende uttalelse:

Planfaglig
Det opplyses i oversendt brev at kommunestyret har pålagt at tiltaket må konsekvensutredes på grunn av eventuelle konsekvenser for fugleliv. Hvis konsekvensutredningen og forslag til avbøtende tiltak viser at anlegget kan etableres i området, og fiskeridirektoratet gir nødvendige tillatelser, vil Hadsel kommune gi dispensasjon fra kommuneplanens arealdel.

Gjeldende Fylkesplan for Nordland, kapittel 8. *Arealpolitikk i Nordland,* inneholder klare mål for arealpolitikken i perioden. Vi ber om at det tas hensyn til disse i planarbeidet og viser spesielt til *kap. 8.3 Naturressurser, kulturminner og landskap* som bl.a. sier:

b) Viktige naturområder må forvaltes slik at områdets kvalitet ikke forringes. Naturmangfoldet bør være kartlagt som grunnlag for kommunal planlegging.

Fylkeskommunen mener at det er positivt at konsekvensene for fuglelivet skal utredes, slik at viktige naturområder slik som Ulvøyværet naturreservat kan bevares. Det opplyses om at det er kun konsekvenser knyttet til fuglelivet som skal konsekvensutredes.

Vi vil derfor videre vise til *kap. 8.5 Kystsonen:*

k) I gyte- og oppvekstområder for fisk skal det ikke igangsettes virksomhet som kan skade disse områdene. Hensynet til marint biologisk mangfold skal vektlegges i forvaltningen.

Fylkeskommunen mener at konsekvensene for fiskere og livet i havet også bør utredes, ettersom Nordland fylkes fiskarlag opplyser i sitt brev av 12.05.16 at det er et viktig fiskeområde og det er registrert gyte- og oppvekstområder i nærheten. I konsekvensutredningen må det også gis en

Adresse: Postmottak, Fylkeshuset, 8048 Bodø
Tlf.: 75 65 00 00
E-post: post@nfk.no
Besøksadresse: Moloveien 16
Kultur, miljø og folkehelse
Plan og miljø
Mari Hulleberg
Tlf: 75 65 05 89

beskrivelse og vurdering av konsekvenser for vannmiljø, jf. relevante bestemmelser i vannforskriften.

Det bes om at metoden(e) som blir brukt i forbindelse med konsekvensutredningen beskrives detaljert for å sikre etterprøvbarhet og forståelse i prosessen. Videre vil vi be om at naturmangfoldlovens prinsipper §§ 8-12 ivaretas i konsekvensutredningen og i videre beslutningstaking.

Hvis kommunen her finner grunnlag for dispensasjon bes det om at det settes vilkår til dispensasjonen som styrer utforming og omfang av omsøkt tiltak, samt allmennhetens tilgang og ferdsel jf. arealpolitiske retningslinjer i Fylkesplan for Nordland (2013-2025). Vi ber om når det fattes vedtak i saken, at dette blir oversendt til Nordland fylkeskommune.

Kulturminnefaglig vurdering
Kulturminner i Nordland har ingen merknader til saken.

Vi gjør imidlertid oppmerksom på at det er Tromsø Museum som er kulturminnemyndighet for kulturminner under vann.

Kulturminnefaglig vurdering: Arkeolog Tor-Kristian Storvik, tlf – 93245986.

Med vennlig hilsen

Katrine Erikstad
seksjonsleder for Plan og miljø

Mari Hulleberg
rådgiver

Dette dokumentet er elektronisk godkjent og har derfor ikke underskrift.

Hovedmottakere:
Nordlaks Oppdrett AS

Kopi til:
Tromsø Museum - Universitetsmuseet Postboks 6050 Langnes 9037 TROMSØ

2

Vedlegg 5: Høringsuttalelse fra Kystverket

KYSTVERKET
Nordland

Akvaplan-Niva AS

Deres ref.:	Vår ref.:	Arkiv nr.:	Saksbehandler:	Dato:
	2016/1520-6		Thomas M. Jensen	02.02.2017

Uttalelse - forslag til planprogram for konsekvensutredning - Havfarm i Hadsel kommune

Vi viser til oversendte dokumenter vedrørende forslag til planprogram for konsekvensutredning for etablering av Havfarm utenfor Hadseløya. Nordlaks AS er pålagt å utarbeide en plan for utredning av naturressursen fugl og mulig påvirkning etableringen av anlegget Havfarm kan ha på sjøfugl og andefugl i området Ulvøyværet naturreservat. Kystverket Nordland har på bakgrunn av sakens karakter og vårt myndighetsområde ingen kommentarer til forslaget som foreligger.

Med hilsen

Fridtjof Wangsvik
regiondirektør

Thomas M. Jensen
seniorrådgiver

Dokumentet er elektronisk godkjent

Region Kystverket Nordland

Sentral postadresse:	Kystverket Postboks 1502 6025 ÅLESUND	Telefon:	+47 07847	Internett: E-post:	www.kystverket.no post@kystverket.no
For besøksadresse se	www.kystverket.no	Bankgiro:	7694 05 06766	Org.nr.:	NO 874 783 242

Brev, sakskorrespondanse og e-post bes adressert til Kystverket, ikke til avdeling eller enkeltperson