NORDLAKS OPPDRETT AS 03.02.2022

Sluttrapport

Prosjekt Havfarm 1

Sluttrapport

Prosjekt Havfarm 1

Rapportnummer
01-2022

Prosjektleder
Bjarne Johansen

Forfattere
Camilla Robertsen
Bjarne Johansen

Selskap
Nordlaks Oppdrett AS

Dato
03.02.2022

Oppsummering
Denne sluttrapporten oppsummerer resultatene fra prosjekt Havfarm 1, frem til 14. januar 2022. Rapporten oppsummerer resultater fra første driftssyklus, og inneholder også mer detaljerte resultater fra andre driftssyklus. Avslutningsvis er det også gjort en evaluering av prosjektet.

Utgiver
Nordlaks Oppdrett AS
Postboks 224
8455 Stokmarknes
Telefon: 76 11 81 00
E-post: firmapost@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.

© 2022 Nordlaks Oppdrett AS

Innholdsfortegnelse

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 26

3.3. Havfarmens tekniske prestasjon 28

3.4. Havfarmens påvirkning på det ytre miljø 32

4. Evaluering av Havfarm 1-prosjektet **38**

5. Referanser **40**

6. Vedleggsliste **41**

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. Den 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 målkriterium 5 i tilsagn om utviklingstillatelser, 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 driften i havfarmen gjennom to driftssykluser, fra 25. juli 2020 til 14. januar 2022.

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 perioden fram til 14. januar 2022 er det produsert totalt 5 fiskegrupper med totalt om lag 4,7 millioner laks, fordelt over to driftssykluser.
I løpet av perioden har det blitt utført et betydelig antall undersøkelser for å dokumentere fiskehelse og fiskevelferd, samt fiskens biologiske prestasjon. I første driftssyklus oppstod det forøket avgang og følgelig nedsatt fiskevelferd, spesielt på en av fiskegruppene. Dette relatert til sårutvikling, samt gjelle- og hjertehelse. Det var klare forskjeller i dødelighet mellom fiskegruppene (7.07 % for merde 1 og 2, gruppe 1.1 og 25.39 % for merde 3-6, gruppe 1.2). Resultatene fra andre driftssyklus indikerer lavere grad av helseutfordringer, lavere dødelighet og bedre tilvekst. Gjennom undersøkelser og registreringer gjort i første og andre driftssyklus har vi ikke klart å påvise en negativ effekt av havfarmteknologien eller den eksponerte lokaliteten på fisken. Resultatene fra miljømessige fiskevelferdsindikatorer har vist at fisken hovedsakelig har hatt gode miljøforhold i havfarmen i begge driftssyklusene.

Havfarmens driftsmessige prestasjon har vært god, og i henhold til våre forventninger gjennom hele perioden. Dette gjelder også erfaringene knyttet til havfarmens særegne utstyr og operasjoner. Det ble identifisert en del forbedringspunkter gjennom første driftssyklus. Disse ble i det alt vesentlige utbedret i løpet av første driftssyklus, og omfanget vurderes 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 eller utsatt grunnet vær.
I henhold til analyser utført av NSK og deres underleverandører 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 en ny metode for strukturovervåking installert og validert av SAP. Denne viser seg å være pålitelig, og vil blant annet bli brukt i forbindelse med levetidsvurderinger og vår risikobaserte tilnærming til strukturinspeksjoner. Systemet brukes også i forbindelse med ballastoperasjoner, for å kontrollere og verifisere at operasjonene gjennomføres innenfor trygge rammer med tanke på havfarmens strukturelle integritet. 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.

Miljøovervåkningsprogrammet har inkludert en overvåking av spredning av organiske utslipp fra havfarmen samt fysiske miljøundersøkelser. Resultatene fra miljøundersøkelsene har vist at lokaliteten har gode miljøforhold, og er godt egnet for oppdrettsvirksomhet. Det er gjennomført en rekke forundersøkelser og tre oppfølgende miljøundersøkelser under drift. Spredningsovervåkingen har vist at havfarmens turretløsning med svaifortøyning bidrar til at havfarmen bruker hele lokalitetsarealet, og dermed sprer organisk utslipp over et betydelig større område enn det som ville vært tilfellet ved en fast fortøyning. Dette reduserer risikoen for lokal akkumulering av organisk materiale på bunnen, og har gitt seg utslag i at samtlige miljøundersøkelser har fått tilstand «1: meget god» eller «2: god».

Lusenivået har til enhver tid vært under maksimalt tillatte grenseverdier i løpet av begge driftssyklusene. I første driftssyklus valgte vi ved ett tilfelle å iverksette tiltak mot lakselus. I andre driftssyklus gjennomførte vi en begrenset avlusing på ca. 10% av fisken, blant annet for å verifisere beredskapen vår knyttet til avlusing ved skip-skip-operasjoner. Erfaringene fra denne operasjonen var god. Data fra havfarmen og andre lokaliteter med tilsvarende fiskegrupper i området, inkludert søskengrupper til havfarmfisken i andre syklus, underbygger at havfarmens eksponerte plassering med stor avstand til andre lokaliteter gjør havfarmen mindre utsatt for lusesmitte. Dette har medført at havfarmen har hatt mindre behov for tiltak mot lakselus enn nærliggende lokaliteter med tilsvarende fiskegrupper. Selv om havfarmen ikke har vært lusefri, noe vi heller ikke hadde forventet, indikerer dette at havfarmen, og den eksponerte lokaliteten, kan bidra til økt produksjon av laks uten at behovet for aktive tiltak mot lakselus øker tilsvarende.

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.

Nordlaks ble 22. desember 2016 innvilget tilsagn om 10 utviklingstillatelser til prosjekt Havfarm. Nærings- og fiskeridepartementet endret 8. september 2017 dette til blant annet å omfatte tilsagn om 13 tillatelser til realisering av prosjekt Havfarm 1. Havfarm 1 ble satt i drift i slutten av juli 2020, og første driftssyklus ble avsluttet i starten av juni 2021. Den 10. juni, 2021 publiserte Nordlaks en rapport (Robertsen m.fl. 2021a) basert på resultatene fra første driftssyklus.
Utsett til andre driftssyklus startet 13. juli 2021. Første merd var tømt 23. oktober 2021. I den forbindelse utarbeidet Nordlaks en sammendragsrapport for andre driftssyklus, datert 5. november 2021. I forbindelse med avslutning av prosjektet, med tilhørende søknad om konvertering av utviklingstillatelsene til kommersielle tillatelser, er det utarbeidet en sluttrapport for prosjektet med utgangspunkt i resultatene fra første driftssyklus, og andre driftssyklus til og med 14. januar 2022.

Denne sluttrapporten oppsummerer resultatene fra samtlige arbeidspakker i prosjektet for begge driftssyklusene. Detaljerte resultater er i denne rapporten begrenset til resultatene fra andre driftssyklus. For detaljerte resultater for første driftssyklus henviser vi til rapporten skrevet av Robertsen m.fl. (2021a).

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.

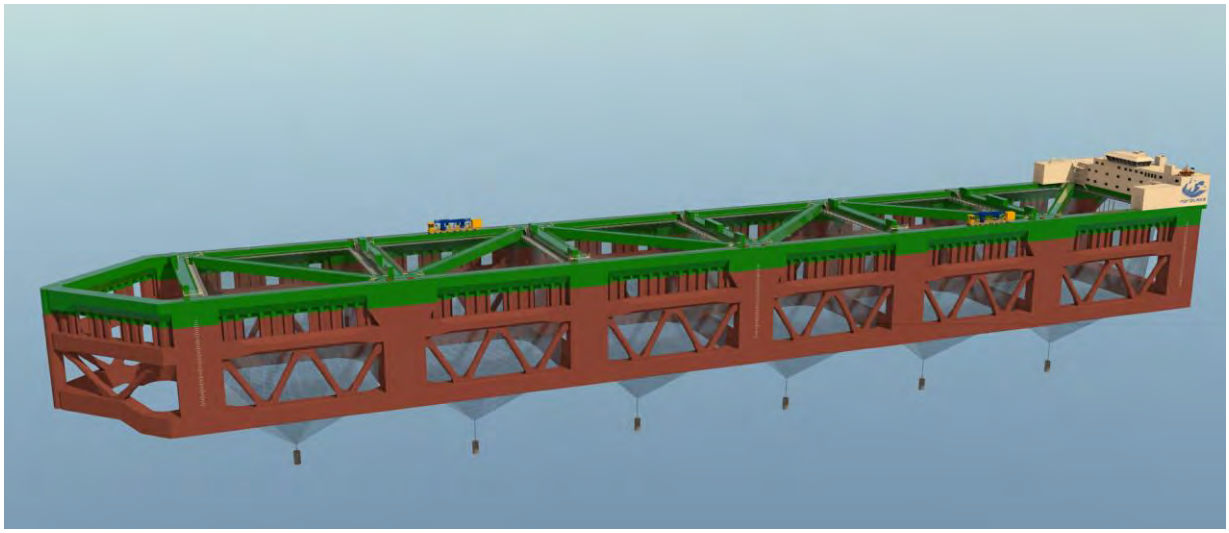
Med en slik produksjonsstrategi vil Nordlaks oppnå kortere produksjonstid i sjø. Den mest intensive delen av produksjonsfasen skjer på mer eksponerte lokaliteter, og både havfarmens- og oppvekstlokaliteten kan brakklegges hyppigere enn hva som er mulig i tradisjonelle driftsmønstre.

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.

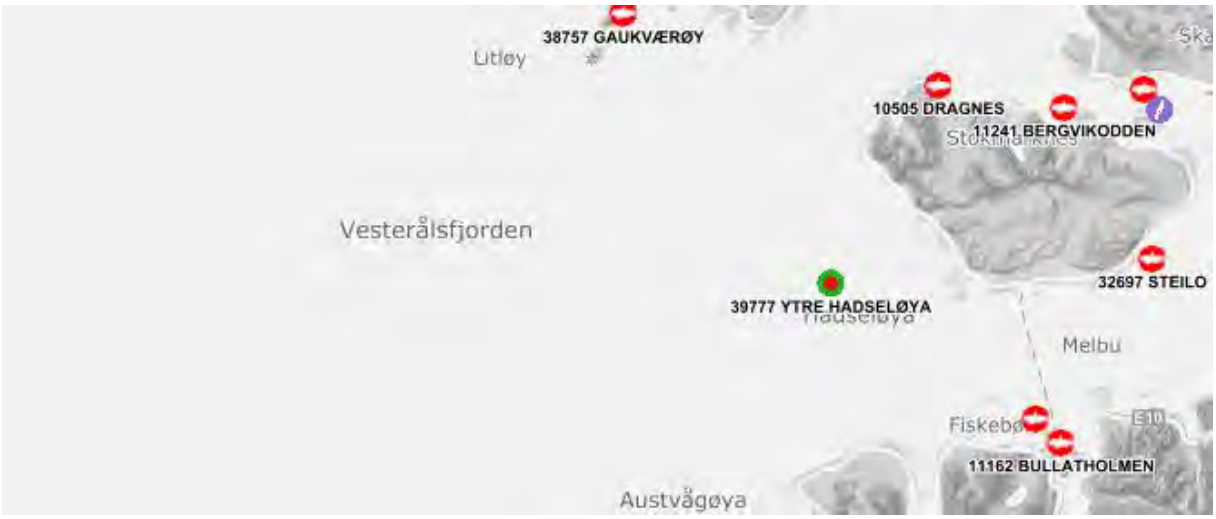
Figur 2. Oversikt over overbygget som blant annet inneholder boenhet og bro.

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 personer.

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 (Robertsen m.fl. 2021, vedlegg A) som har til hensikt å dokumentere erfaringer og resultater i prosjektet. Programmet beskriver hvilke målinger og parametere som inngår. På postsmoltlokalitetene er det gjennomført egne program for oppfølgning.

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.

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. Se tabell 2 for oversikt over samarbeidspartnere og leverandører til Havfarm 1-prosjektet.

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	
ATLA Aquaculture lab	Rådgivning og laboratorietjenester
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 rådgivning
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

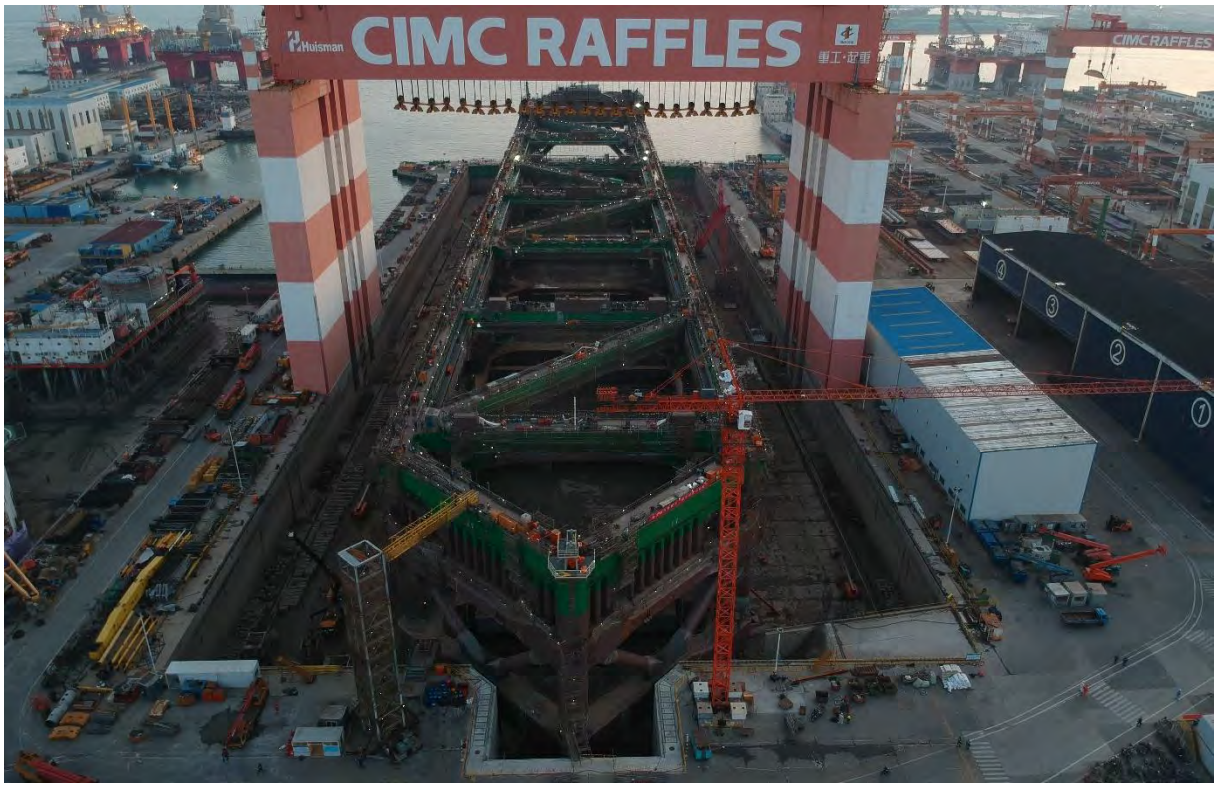
I den innledende prosjektfasen var fokus på avklaring av rammebetingelser og dimensjoneringskriterier, samt prinsipielle avklaringer av teknisk art knyttet til vesentlig utstyr som nøter og fortøyning. Offentlige myndigheter samt et bredt spekter av fagmiljøer ble også tidlig involvert for å definere 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 resultater og erfaringer innenfor områdene biologisk, driftsmessig og teknisk prestasjon, samt for havfarmens påvirkning på det ytre miljø. Rapporten baserer seg på data og resultater fra andre utsett, til og med 14. januar 2022. I tillegg er det inkludert en oppsummering fra tilsvarende erfaringer og resultater fra første driftssyklus. For nærmere utdypinger relatert til første driftssyklus, samt vedlegg, vises det Robertsen m.fl. (2021a).

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.

Resultatene er i dette kapitlet i stor grad presentert på fiskegruppenivå relatert til opphav, hvor merdene 1 – 4 utgjør gruppe 2.1, merde 5 utgjør gruppe 2.2, og merde 6 utgjør gruppe 2.3. Per 14. januar 2022 var to av tre fiskegrupper (merdene 3, 5 og 6), slaktet ut, og resultatene for disse merdene er følgelig basert på slaktedata.

3.1.1 Oppsummering av havfarmens biologiske prestasjon gjennom første driftssyklus

I løpet av havfarmens første driftssyklus ble det benyttet visuelle registreringer og fysiske prøver for å dokumentere fiskebaserte velferdsindikatorer. Resultatene fra adferds- og velferdsregistreringene viste at fisken hovedsakelig hadde god fiskevelferd og normal adferd i første del av driftsfasen. Fra og med senhøsten 2020 var det imidlertid en negativ utvikling, med forhøyet dødelighet. Den forhøyede dødeligheten ble satt i sammenheng med kompleks gjellelidelse, hjertelidelser (CMS/HSMB) og sårproblematikk. Produksjonsresultatene målt gjennom første driftssyklus var i sum under Nordlaks sine interne målsetninger for tilsvarende fiskegrupper i tradisjonelle anlegg.

Akkumulert avgang i havfarmen ved første driftssyklus var 19.18 %. Det var imidlertid klare forskjeller mellom fiskegruppene, både med hensyn til total avgang i havfarmen, men også med hensyn til dødelighetsårsaker. Det var flere faktorer vi vurderte kunne være med å forklare forskjellene mellom fiskegruppene: De ulike merdene hadde ulikt opphav (smoltgrupper og settefiskanlegg), og ulike forhold ved oppvekstlokalitetene kan også ha bidratt. Dette basert på resultatene fra smittekartleggingen ved slutten av oppvekstfasen. Merde 1 og 2 hadde samme genetiske opphav, og ble satt ut til samme postsmoltlokalitet. Akkumulert avgang i havfarmen var for denne gruppen 7.07 %. Øvrige merder hadde samme genetiske opphav, og i denne gruppen var akkumulert avgang 25.39 %. Resultatene fra havfarmen, sammenholdt med erfaringer fra tilsvarende fiskegrupper på andre Nordlakslokaliteter, indikerte at ulikt opphav kan bidra til å forklare forskjellene i sykdomsutvikling mellom merdene.

Resultatene fra miljømessige fiskevelferdsindikatorer viste at fisken hovedsakelig hadde gode miljøforhold i havfarmen. Oksygenmetningen var i korte perioder suboptimale. Dette var knyttet til

manglede automatisk styring av thrusterne i tidlig fase av driften, samtidig som det var relativt høye temperaturer, lav strømhastighet og relativt høy biomasse. Det ble ikke avdekket sprangsjikt i vannsøylen og fisken opplevde ikke strømhastighet over kjente tålegrenser for laks.

Avgangen og den reduserte velferden i havfarmen under første driftssyklus var i sum over Nordlaks sine mål og forventinger i vårt dyrehold. Det var likevel ingen funn fra fiskebaserte eller miljøbaserte velferdsindikatorer som indikerte at det var særegne forhold ved havfarmens konstruksjon, drift eller lokasjon som bidro til dette.

3.1.2 Postsmoltfasen før andre utsett til havfarmen

Fisken som ble satt ut i havfarmen mellom 13. juli og 9. august 2021, kommer fra postsmoltlokalitetene 13782 Helgeneshamn (10 merder), 13936 Sørvika (to merder), samt 35677 Brottøy (to merder). Fisken fra Helgeneshamn utgjør én fiskegruppe (gruppe 2.1), og kommer opprinnelig fra settefiskanlegget 15315 Mastermovika II, i Sørfold kommune. Fisken fra Sørvika og Brottøy utgjør hver sin fiskegruppe (henholdsvis gruppe 2.2. og 2.3), og kommer begge fra settefiskanlegget 11296 Innhavet, i Hamarøy kommune. Samtlige postsmoltlokaliteter er plassert nord i Raftsundet, i Hadsel kommune. Nøkkelinformasjon om fisken på postsmoltlokalitetene, herunder utsettsinformasjon, produksjonsdata, diagnoselister og smittekartlegging, samt dødelighetskategorier, er presentert i vedlegg B, tabell 1 – 6, samt figurene 1 - 3.

Oppsummert hadde fisken god tilvekst og normal fôrfaktor på postsmoltlokalitetene. Dødeligheten var lav til normal i løpet av produksjonen, med unntak av en periode med forøket avgang relatert til sårproblematikk gjennom høst og vinter, i en merde på Sørvika. I forkant av overflytting til havfarmen ble det utført en smittekartlegging fra samtlige lokaliteter. Funn fra denne er oppsummert i tabell 2 - 4 i vedlegg B. Smittekartleggingen avdekket bærerstatus av enkelte agens, som er vanlig forekommende blant oppdrettslaks i sjø. Eksempler på dette er *Piscint reovirus* (PRV) relatert til hjerte- og skjelettmuskelbetennelse, (HSMB) og *Branchiomonas cysticola*, relatert til Epiteliocystis. Det ble ikke gjort funn av meldepliktige, patogene agens som *Infeksiøst lakseanemivirus* (ILAV) eller *Salmonid alphavirus* (SAV). Det ble heller ikke påvist *Piscint myocarditvirus* (PMCV), som forårsaker en av de mest tapsbringende hjertelidelsene i oppdrettsnæringen, kardiomyopatisyndrom (CMS) (Sommerset m.fl. 2021).

Fisken på postsmoltlokalitetene ble behandlet med det fôrbaserte avlusingsmidlet Slice vet. høsten 2020. I forkant av overflytting til havfarmen ble fisken på Brottøy også avluset med Salmosan vet. Den siste tiden før flytting var dødeligheten normalt lav i alle merdene, og fiskens generelle helsestatus ble vurdert som god ved tidspunkt for overflytting til havfarmen.

3.1.3 Utsett av fisk til havfarmen

Det ble i perioden 13. juli – 9. august satt ut totalt 2 301 317 laks med en snittvekt på 1810 gram i havfarmen. De tre fiskegruppene ble fordelt i totalt seks merder. Samtlige fisketransporter ble gjennomført med Nordlaks sin egen brønnbåt, M/S Bjørg Pauline. Det ble ikke rapportert om uønskede hendelser under transporten, men det oppstod en hendelse under trenging før overføring av fisk til brønnbåt ved Helgeneshamn, som etter utsett til havfarmen medførte forbigående forøket avgang i én merde i gruppe 2.1 (M2). I tillegg oppstod det forøket avgang av fisk under fiskeleveringene på Brottøy, trolig relatert til HSMB.

Ved overflytting til havfarmen ble fisken samtidig avluset med ferskvann. Nøkkelinformasjon om fiskens plassering i havfarmen er presentert i vedlegg B, tabell 7.

3.1.4 Fiskebaserte velferdsindikatorer

Visuelle registreringer og fysiske prøver ligger til grunn for å dokumentere fiskebaserte velferdsindikatorer i havfarmen. Resultatene fra adferds- og velferdsregistreringer, helsestatus, blodkjemi, samt produksjonsdata er presentert i egne avsnitt under.

3.1.4.1 Adferdsregistreringer

Det generelle inntrykket av fiskens adferd, samt antall avvikere, har med et fåtalls unntak blitt vurdert og registrert daglig i perioden fra og med utsett. Registreringene har blitt gjort av mannskap med biologisk kompetanse, og utført ved at man har observert fisk over en gitt periode fra diagonalene over hver merd. Prosedyren for adferdsregistreringen er den samme som ble benyttet i første driftssyklus. For mer informasjon om dette, Robertsen m.fl. (2021a).

Adferden beskriver det generelle inntrykket av fiskens oppførsel og angir hovedinntrykket når man observerer fisk i merden.

Adferdsregistreringene var for gruppe 2.1 og 2.3 i all hovedsak i kategorien «normal» (> 92 % av tilfellene), mens det for gruppe 2.2 ble registrert avvikende adferd 26,6 % av dagene. Øvrige dager var uten registrering relatert til værutfordringer. Tilsvarende er det hovedsakelig registrert få avvikere i løpet av perioden. Gruppe 2.2 har flest dager hvor det er registrert «score 2», som tilsvarer mellom 11 – 20 individer under observasjonsrundene. Resultatene fra adferdsregistreringene er oppsummert i vedlegg B, tabell 8.

3.1.4.2 Forenklet velferdsscoring

Det er utført en ukentlig, forenklet velferdsscoring, basert på forekomsten av ytre avvik hos fisken. Dette er gjort i forbindelse med lusetelling, samt ved månedlige undersøkelser i forbindelse med dokumentasjonsprogrammet. Velferden er vurdert av mannskap på havfarmen med opplæring i velferdsscoring, samt av fiskehelsepersonell, etter en skala fra 1 – 3, hvor økende score indikerer dårligere fiskevelferd. Skalaen er basert på Fishwellplakaten (Noble et al. 2018). For videre beskrivelser rundt de ulike scoringene 1 – 3, se Robertsen m.fl. (2021a), kapittel 3.1.4.2.

Resultatet av velferdsscoringene til og med 14. januar 2022 er presentert grafisk i vedlegg B, figur 4 – 10, samt i tabell 9. I løpet av perioden har det blitt utført ytre velferdsscoring på totalt 4557 fisker. 3674, tilsvarende 80.65 % av disse fiskene har blitt vurdert til score 1. 728 av disse fiskene, tilsvarende 15.96 % har blitt vurdert til score 2. 155 av disse fiskene, tilsvarende 3.39 %, har blitt vurdert til score 3. Fisk som har blitt vurdert til score 3 har blitt avlivet og tatt ut av produksjonen av velferdsmessige hensyn.

For merdene i gruppe 2.1 og 2.2 er det høyere andel nedklassinger etter utsett, samt mot slutten av perioden. Dette er relatert til håndteringsskader i forbindelse med utsett, samt utvikling av sår og en andel kjønnsmoden fisk i løpet av høst og vinter. For gruppe 2.3 er trenden en gradvis økning av andel nedklassinger gjennom perioden, også her hovedsakelig relatert til sår og kjønnsmoden fisk.

3.1.4.3 Helsestatus

I dette kapitlet gis det en oppsummering av helsebesøkene utført av fiskehelsetjenesten, oppsummering av smittekartlegging og diagnoser, samt en oversikt over avgang i havfarmen, og dødelighetskategoriene.

Oppsummering helsebesøk

Helsekontrollene har blitt utført av fiskehelsetjenesten Åkerblå AS i henhold til gjeldende regelverk og havfarmens dokumentasjonsprogram. Åkerblå har gjennomført ni besøk til havfarmen i perioden, hvorav flere besøk også var relatert til månedlig oppfølgning i henhold til dokumentasjonsprogrammet. Et standard helsetilsyn omfatter blant annet gjennomgang av drift, samt vurdering av dødelighet, miljø og hygiene. I tillegg observeres fisken fra nothåndteringsdekk og diagonaler, og det gjennomføres rutinemessig obduksjon av fisk, samt prøveuttak ved behov. Det gis også en vurdering av fiskens velferd i anlegget. En oppsummering av Åkerblås helserapporter er presentert i Vedlegg B.

Mattilsynet har gjennomført to tilsyn, én i forkant av andre utsett, samt én under drift. Oppsummert ble det ikke avdekket noen avvik, og Mattilsynet kommenterte at lokaliteten fremsto som veldrevet. Se vedlegg B for Mattilsynets tilsynsrapporter.

Dødelighetsutvikling og dødelighetskategorier

Ukentlig, prosentvis dødelighet er presentert i vedlegg B, figur 11 og tabell 13. Det var forøket avgang i samtlige merder etter overføring til havfarmen. Dødeligheten var hovedsakelig relatert til håndteringsskader, men i merde 5 ble det også påvist HSMB etter utsett. Den forøkede avgangen hadde en varighet på mellom 1 - 3 uker, før den stabiliserte seg på et normalt nivå. Fra og med uke 41 ble det registrert en svak økning i avgang i gruppe 2.2, som hadde registrert forøket avgang fra og med uke 43. Avgangen var relatert til gjellebetennelse, og sår. Det var også mistanke om HSMB i tidlig fase på 1/5 undersøkte fisk, se vedlegg B, tabell 10 for mer utfyllende diagnoseliste. I uke 43 ble det også registrert forøket avgang i merde 6. Dette var relatert til håndteringsskader på fisken i etterkant av avlusing og flytting fra merde 1. Fra og med uke 47 var avgangen under meldepliktig nivå. I merde 2, gruppe 2.1 var avgangen forøket i uke 50. Dette relatert til kjønnsmodning og sår.

Per 14. januar 2022 var akkumulert avgang i havfarmen 2.78 %, se figur 12, vedlegg B. For gruppe 2.1 var den 2.76 % med variasjon mellom 1.80 % (merde 4) og 4.64 % (merde 2). For gruppe 2.2 var avgangen 4.54 %, og for gruppe 2.3 var den 1.11 %. Den akkumulerte avgangen fordelte seg på følgende måte mellom de etablerte dødelighetskategoriene: sår (0.91 %), håndteringsskader (0.88 %), ukjent årsak (0.48 %), kjønnsmoden fisk (0.33 %), undermåls fisk (0.10 %) og andre kategorier (0.06 %). Eksempler på andre kategorier er prøveuttak, deformert fisk og HSMB. Se vedlegg B, figur 12 for grafisk fremstilling.

Gjellestatus

Ved de månedlige undersøkelsene i forbindelse med dokumentasjonsprogrammet, har det blitt tatt ut totalt 10 gjellebuer fra klinisk frisk fisk fra hver av merdene 2, 5 og 6. Dette for å følge opp merder i alle fiskegruppene. Prøvene har blitt fiksert på formalin og vurdert histologisk av patologer ved Veterinærinstituttet i Harstad. Gjellene har blitt vurdert på en skala fra 0 – 5, hvor score 0 er «uten forandringer», mens score 5 er «svært uttalte forandringer». Resultatet fra disse vurderingene har vist at prøvene hovedsakelig har blitt vurdert fra score 1 til score 3. I november ble det imidlertid funnet score 4 på 6/10 individer fra merde 5, se vedlegg B, tabell 14. Dette sammenfaller med funn fra histologisk undersøkelse av syk fisk fra samme merd (nevnt over), hvor det ble påvist gjellebetennelse, se vedlegg B, tabell 11 for resultat fra gjellescoringene.

3.1.4.4 Blodkjemi

Det ble tatt ut blodprøver fra 10 fisker fra samtlige grupper (M2, M5 og M6) ved de månedlige prøveuttakene i forbindelse med dokumentasjonsprogrammet. Helblod ble sentrifugert ombord i havfarmen og plasma ble pipettert over i 1.5 ml eppendorfrør før nedfrysning. Prøvene ble sendt kjølt til ATLA Aquaculture AS, og analysert for markører relatert til antioksidativ kapasitet, betennelsesnivå, muskelskade, leverskade og organskade. Nordlaks kjenner ikke til absoluttverdiene for resultatene til markørene, men har fått tilsendt prøvesvar fra laboratoriet etter hvert uttak, med gjennomsnittsverdier per merd på en skala 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. En nærmere beskrivelse av metoden er beskrevet i Robertsen m.fl. (2021a), kapittel 3.1.4.5.

Resultatene fra utførte blodprøveanalysene er grafisk presentert i vedlegg B, figur 13 - 15. Av disse fremgår det at det stort sett var lave utslag (score 1 – 3) for samtlige parametere i løpet av perioden. Det var totalt fem score 4 i løpet av perioden, dette for betennelse og muskelskade, og ved uttaket fra gruppe 2.1 i november ble det målt score 7 på muskelskadeindikatoren kreatinkinase, CK.

3.1.4.5 Produksjonsresultater

For å fremstille figurer og tabeller er det benyttet data fra Mercatus, som videre er behandlet i Microsoft Excel. 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. 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. Spesifikk vekstrate (Spesific growth rate, SGR) angir daglig tilvekst i prosent i perioden. Superiorandel (SUP) angir hvor stor andel av fisken som har superior (beste) slaktekvalitet.

For merde 3 i gruppe 2.1, samt for gruppe 2.2 og 2.3 er produksjonsresultatene kalkulert basert på slaktetall. For øvrige merder i gruppe 2.1 er produksjonsresultatene beregnet på erfaringsdata og produksjonstall fra perioden. Nøkkeltall fra produksjonen er presentert i vedlegg B, tabell 15.

VF3 varierer mellom 2.86 (gruppe 2.2) – 4.03 (merde 1, gruppe 2.1). Biologisk fôrfaktor varierer mellom 1.04 (Merde 3, gruppe 2.1) til 1.22 (Gruppe 2.2) for lokaliteten. SGR varierer mellom 0.56 (Gruppe 2.2) – 0.77 (Merde 1, gruppe 2.1). Superiorandel for merde 3 i gruppe 2.1 var 74 %, for gruppe 2.2 68.6 % og for gruppe 2.3 92.7 %. Kvalitetsparametere som fett og farge, samt kondisjonsfaktor er undersøkt i henhold til Nordlaks sin standard prosedyre for gruppe 2.3. Resultatene er presentert i vedlegg B, side 33.

Gruppe 2.2 har noe dårligere produksjonstall enn de øvrige fiskegruppene. Dette henger sannsynligvis sammen med at denne gruppen fikk påvist HSMB etter overføring til havfarmen, tidvis hadde lavere appetitt enn de øvrige gruppene, samt ble gitt et funksjonelt fôr i perioden 2. september – 16. oktober. Dette fôret har betydelig lavere produksjonspotensial enn standard vekstfôr, og det forventes følgelig lavere produksjon ved bruk av denne typen fôr.

3.1.5 Miljøbaserte velferdsindikatorer

3.1.5.1 Oksygen

Oksygen har blitt målt kontinuerlig gjennom hele driftsfasen av optiske sensorer levert av Xylem. Det er montert tre sensorer per merde, sentralt plassert i merden, på henholdsvis 5, 15 og 35 meters dyp. Sensorene er rengjort minimum én gang per uke. Loggingen skjer hvert 10. sekund, og data lagres lokalt på havfarmen, samt i Nordlaks sitt interne, skybaserte system. Havfarmens thrustersystem er automatisk styrt av oksygenmetningen i vannet, se Robertsen m.fl. (2021a), kapittel 3.2.2, for videre beskrivelser rundt dette.

For beregning av resultatene er det benyttet et gjennomsnitt av alle datapunkt for hvert 30. minutt i perioden fra og med dagen utsett i hver enkelt merde var komplett og til og med 14. januar 2022. Målingene i merder som er slaktet ut tidligere enn 14. januar, ble avsluttet i forbindelse med dette. Data fra dager hvor sensorene er tatt opp (i forbindelse med eksempelvis utslakt) er ekskludert fra datasettet. Det samme er målinger lik 0.

Oksygendata er presentert i vedlegg B, figur 16 – 17, samt i tabellene 16 – 18. Disse er basert på totalt 137 574 registreringer, med mellom 5 395 – 8 819 målinger per dyp, per merde. Laveste gjennomsnittlig oksygenmetning for ett enkelt målepunkt var 85.0 % (M5, 5m), mens høyeste gjennomsnittlige oksygenmetning for ett målepunkt var 88.2 % (M1, 35m og M2, 35m).

Som ved forrige driftssyklus ble det observert noen mindre forskjeller i oksygenmetning mellom merdene, hvor resultatene indikerer en svakt, fallende tendens i oksygengradient fra baug mot akter nedstrøms i anlegget, hvor det hovedsakelig er merd 5 som bidrar til dette. Denne merden har høyest andel registreringer under 85 % metning, og har følgelig hatt dårligst oksygenforhold. For alle merdene har oksygenmetningen i 89 % av målingene vært mellom 80 – 100 % metning.

3.1.5.2 Temperatur

Temperatur er målt på samme måte og med samme utstyr som oksygenmetningen. Ved gjennomgang av temperaturdata fra de faste sensorene sees det generelt liten variasjon foruten enkelte dager hvor det var merkbar forskjell mellom 5 meters dyp og øvrige dyp. Det ble derfor beregnet en daglig gjennomsnittstemperatur for lokaliteten med utgangspunkt i data fra sensoren i merd 1 på 5 meters dyp. Temperaturkurven har vært stabil, svakt nedadgående fra og med utsett 13. juli 2021, til og med 14. januar 2022. Høyeste og laveste gjennomsnittstemperaturer i perioden var 12.5 og 4.7 ^{o}C. Se vedlegg B, figur 18 – 20 for grafisk fremstilling av daglig temperaturutvikling per merde, per dyp gjennom perioden.

3.1.5.3 Siktedyp og alger

Siktmålingene har blitt utført daglig i perioden 17. juli - 23. september, samt 29. september – 16. november. 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 97 dager. De øvrige dagene ble målinger ikke utført grunnet dårlig vær. Gjennomsnittlig siktedyp var 11.8 meter i perioden, hvor best siktedyp var 17 meter, mens lavest var 7 meter (én dag). Siktmålingene vurderes som normale for årstiden.

Det ble ikke funnet noen indikasjon på algeoppblomstring i løpet av perioden, og vannprøver ble følgelig ikke tatt.

3.1.6 Oppsummering og diskusjon, biologisk prestasjon

I løpet av perioden har det blitt utført en betydelig mengde undersøkelser og registreringer for å dokumentere faktorer relatert til fiskens biologiske prestasjon i havfarmen. Eksternt fiskehelsepersonell fra Åkerblå og Mattilsynet har gjennomført tilsynsbesøk, og det er utført undersøkelser ved laboratorium hos Veterinærinstituttet, Pharmaq Analytiq og ATLA Aquaculture lab. Det er gjennomført fysiske undersøkelser av ytre morfologi på 4557 fisker på havfarmen, i tillegg til at fisk har blitt obdusert jevnlig i forbindelse med månedlige undersøkelser til dokumentasjonsprogrammet, samt ved generelle helsetilsyn og sluttuttak. Miljøparametere har blitt overvåket jevnlig og i et betydelig større omfang enn det vi oppfatter som vanlig for ordinære oppdrettsanlegg, med hensyn til temperatur og oksygen.

Resultatene fra adferdsregistreringene viste generelt normal adferd og få avvikere i løpet av perioden. Ved scoring av ytre morfologi (velferdsscoringer) har det vært registrert størst andel score 1. Perioder med registrering av nedsatt velferdsscore og adferd har hovedsakelig samsvart med perioden etter utsett hvor det ble registrert håndteringsskader på fisken, - perioden etter avlusing, samt til sårutvikling og kjønnsmodning i løpet av senhøst og vinter. For gruppe 2.2 kan økt antall registreringer av avvikende adferd og avvikere gjennom høsten trolig relateres til gjellehelsen, da fisk med nedsatt gjellehelse ofte har nedsatt appetitt og sturer (Veterinærinstituttet, nyhetsartikkel), noe som også lot seg observere fra diagonalene. Resultatet fra adferdsregistreringene og velferdsregistreringene har også vært gjenspeilet i generell utvikling av dødelighet og dødelighetskategorier i perioden.

I forbindelse med prøveuttak gjennom andre driftssyklus har det blitt påvist HSMB, (CMS 1/5 fisker ved ett uttak), gjellelidelser og sår. HSMB en vanlig virussykdom hos norsk oppdrettslaks, relatert til viruset PRV som er svært utbredt i hele landet (Sommerset m.fl. 2020). HSMB ble påvist på fisken i gruppe 2.2 i etterkant av flytting til havfarmen. I forbindelse med dette ble det gitt et funksjonelt fôr i perioden 2. september til 16. oktober med formål å bidra til å forbedre fiskens hjertehelse. Økt avgang relatert til HSMB var begrenset til tre uker, og det ble ikke registrert forøket avgang relatert til HSMB i etterkant av disse ukene.

Resultatene fra blodanalysene viste at fisken i alle tre fiskegruppene hovedsakelig hadde god antioksidativ status, lave betennelsesnivåer og god organstatus i perioden. Høy score på CK (m2, 26.11) kan indikere HSMB.

Produksjonsresultatene med hensyn til tilvekst og fôrutnyttelse målt og beregnet gjennom dette prosjektet har i sum vært lik med eller bedre enn Nordlaks sine interne målsetninger for tilsvarende fiskegrupper i tradisjonelle anlegg. Superiorandel for merde 3 i gruppe 2.1 var 74 % (slaktet i desember), for gruppe 2.2, 68.6 % (slaktet i januar) og for gruppe 2.3, 92.7 % (slaktet i oktober). Dersom man sammenligner slaktedata med øvrig fisk slaktet ved Nordlaks sitt slakteri i samme periode, ser man at gjennomsnittlig andel SUP for oktober var 93.7 %, for desember 78.0 % og for januar 75.4 %. Dette viser at andelen nedklassinger generelt var på tilsvarende nivå også for fisk slaktet fra tradisjonelle anlegg i samme periode. Nedklassing er hovedsakelig relatert til sårutvikling, samt noe innslag av kjønnsmodning. Dette er utfordringer som oppdrettsnæringen har på et nasjonalt plan (Sommerset m.fl. 2020), og som ikke er særskilt verken i art eller omfang for havfarmen.

Gjellestatus hos klinisk frisk fisk for de ulike fiskegruppene har blitt kartlagt månedlig frem til slakt. Gjellescoren har hovedsakelig blitt vurdert til mellom 1 – 3, mens det ble registrert en økning i andel score 4 på gruppe 2.2 sitt siste uttak i oktober. Dette sammenfalt også med funn fra histologisk undersøkelse av syk fisk fra samme merd, hvor det ble påvist gjellebetennelse i 5/5 undersøkte fisker. Gjellesykdom rammer oppdrettslaks gjennom hele livssyklusen, både i ferskvannsfasen og sjøvannsfasen, og har ofte flere, sammensatte årsaker (Sommerset m.fl. 2020). Det ble påvist gjelleagens som bakterien *Branchiomonas cysticola* og salmonid gill pox virus i forkant av flytting til havfarmen, men ved lav prevalens og høye Ct-verdier, noe som indikerer lav mengde agens.

I løpet av andre driftssyklus har majoriteten av avgangen vært relatert til håndteringsskader og sår etter utsett og avlusing. Håndteringsskader som følge av flytting og avlusing observeres og registreres i næringen langs hele kysten. Ifølge fiskehelserapporten var 59 % av de velferdsmessige hendelsene som ble innrapportert til Mattilsynet i løpet av 2020 relatert til IMM-avlusing og håndtering. All håndtering av fisk medfører risiko for slik påvirkning. Gjennom havfarmprosjektet har det vært begrenset behov for håndtering relatert til avlusing. Erfaringene våre er at håndteringsrelaterte skader i stor grad har oppstått som følge av hendelser ved postsmoltlokalitetene i forbindelse med flytting.

Utbrudd av vintersår kan følge både av infeksjon etter mekanisk skade på fiskens skinn, men også som følge av direkte infeksjon fra sårbakterier, uten forutgående mekanisk skade. Slike hendelser medfører redusert fiskehelse og – velferd, og kan medføre betydelige økonomiske tap gjennom dødelighet og nedklassing av slaktekvalitet. På fisk i havfarmen har det blitt påvist bakteriell sårinfeksjon med bakteriene *Moritella viscosa*, og *Tenaciubaculum* sp. i løpet av både første og andre driftssyklus. Nordlaks erfarer at innslag av vintersår har vært økende de siste årene. Dette også på fisk fra tradisjonelle lokaliteter hvor det ikke har vært gjennomført større håndteringsoperasjoner. Ved bruk av ny molekylærbiologisk teknologi har Veterinærinsituttet undersøkt genetisk ulikhet av blant annet *M. viscosa* isolert fra norske lakseoppdrettsanlegg fra 1980 og frem til i dag. Ifølge fiskehelserapporten 2020 har man tidligere trodd at infeksjon med *M. viscosa* hos laks har vært isolert til én homogen subpopulasjon av bakterien. I de senere årene har Veterinærinstituttet gjennom sin kartlegging funnet at bakterien fra og med 80-tallet frem til ca. 2004 hovedsakelig har vært en ensartet populasjon

(klonalkompleks 1). I ettertid er det imidlertid sett et skifte i hovedtypen av bakterien fra KK1 til KK2 (2004 – 2011), videre til KK3 (2012 til 2020). KK1 og KK2 blir fortsatt påvist, men er ikke lenger dominerende. En endring i genotypen av bakterien vil kunne ha en vesentlig betydning for dagens vaksiners beskyttelse mot vintersår, da disse er basert på en annen subpopulasjon enn den som dominerer sykdomsbildet i dag. En svekket effekt av vaksinen, sammenholdt med at sårbakteriene er miljøbakterier som finnes naturlig i sjø, og har sine optimumstemperaturer på kalde temperaturer, vil kunne være med på å forklare omfanget av sårproblematikken som har rammet oppdrettsnæringen, og Ytre Hadseløya, uavhengig av om fisken har vært hyppig håndtert eller ikke.

Tapene gjennom spesielt første driftssyklus var i stor grad relatert til sårutvikling. Bakterieisolat tatt i første driftssyklus ble sendt inn til genetisk undersøkelse (*MultiLocus Variable number of tandem repeat Analysis*, MLVA) hos Veterinærinstituttet. Denne undersøkelsen viste at isolatet tilhørte KK3 (se vedlegg B, side 28), med andre ord en variant av bakterien som er ulik varianten de tradisjonelle vaksinene er basert på. Dette kan bety at effekten av vaksinen mot *M. viscosa* ikke er den samme som mot KK1, noe som igjen kan være et nytt holdepunkt som støtter opp under vår vurdering om at sårsituasjonen gjennom første driftssyklus ikke skyldes særegne forhold ved havfarmen.

Resultatene fra undersøkelsen av miljømessige fiskevelferdsindikatorer har vist at fisken hovedsakelig har hatt gode miljøforhold i havfarmen. I følge Rosten med flere (2011), peker forskningen på at oksygennivå i vannet på mellom 80 – 100 % metning er å anbefale. Resultatene våre (vedlegg B, tabell 17) viste at oksygenmetningen hovedsakelig har vært innenfor dette intervallet.

Oppsummert erfarer Nordlaks at fisken i havfarmen hovedsakelig har prestert godt biologisk i løpet av andre driftssyklus. Dette basert på at resultatene relatert til både tilvekst og dødelighet er i tråd med, eller bedre enn, Nordlaks sine interne forventninger til tilsvarende fiskegrupper. Det har ikke blitt gjort noen påvisninger forbundet med de alvorlige, meldepliktige, sykdommene ILA eller PD. Nordlaks vurderer at dødeligheten gjennom perioden totalt sett har vært lav – normal, og at årsakene til forøket avgang er avklart og relatert til forhold som håndtering (i hovedsak før flytting til havfarmen), samt forekomst av gjellelidelser og sår. Gjennom første og andre driftssyklus har vi ikke klart å påvise en negativ effekt av havfarmen som konstruksjon eller den eksponerte lokaliteten på fiskens biologiske prestasjon. Utfordringen med sår er nærliggende å knytte til den landsomfattende sårutviklingen som har blitt registrert i oppdrettsnæringen de siste årene.

Det er etter dette vår vurdering at prosjektet har vist at havfarmen kan tjene som en plattform for god og forsvarlig produksjon av laks på en eksponert lokalitet.

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.

3.2.1 Oppsummering av havfarmens driftsmessige prestasjon fra første driftssyklus

I løpet av havfarmens første produksjonssyklus opparbeidet havfarmens mannskap, samt Nordlaks som selskap, seg svært verdifulle erfaringer fra havfarmens driftsmessige prestasjon. Erfaringene knyttet til arbeidsmiljø og HMS viste at mannskapet i høy grad var fornøyd med opplæringen og muligheten til å sette sitt personlige preg på arbeidet. De opplevde at de fikk utnyttet kompetansen sin på en god måte, og at de ble hørt da de kom med forslag til drift. Arbeidsbelastningen ble periodevis 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 pågikk det i tillegg 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 ble det satt inn ekstra faste ressurser i form av en ekstra matros med biologisk kompetanse. I tillegg var det fra september 2020 til våren 2021 to lærlinger (matros og maskin) ombord. Totalt sett var de ansatte fornøyde med arbeidet sitt og rapporterte om at Havfarm 1-prosjektet var spennende og givende å arbeide med. Det ble rapportert om totalt 28 HMS-avvik i løpet av første driftssyklus, 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 ble det iverksatt tiltak som i sum har medført ingen - lav risiko for gjentakelse, samt hevet sikkerhetsnivået.

Erfaringene knyttet til havfarmens særegne utstyr og arbeidsoperasjoner var i all hovedsak positive. Utstyret presterte i stor grad til forventningene og den generelle driften var god. Det var noen mangler ved utstyr som ble utbedret underveis eller i brakkleggingsfasen. Mannskapet opplevde RMSUene som svært viktig utstyr for daglig drift, og rapporterte om at dødfisksystemet fungerte meget godt. Det ble gjort små forbedringer og vedlikehold av leverandør underveis, noe som var forventet i en oppstartsfase. Det var enkelte tekniske utfordringer med at Lift-upkoblinger hoppet av i forbindelse med dødfiskopptak under dårlig vær, mens havfarmen samtidig har vært hevet. Erfaringene viste at slike operasjoner ble en for stor belastning på utstyret, og operasjonelle grep ble implementert for å unngå slike utfordringer i framtiden. Det var også, i perioder med mye dødfisk, utfordringer knyttet til kvernens kapasitet til å ta unna inntransportert dødfisk fortløpende. Dette var imidlertid en utfordring av teknisk art, noe som ble løst gjennom utbedring/utskifting av utstyr.
Mannskapet rapporterte om at særegne operasjoner som ballastoperasjoner, kran- og løfteoperasjoner, lusetelling, samt skip-til-skip operasjoner fungerte godt. Det oppstod ikke større skader på utstyr eller personskader i forbindelse med dette. Fôrmottak og levering av ensilasje foregikk

som hovedregel som planlagt og bare unntaksvis ble de avbrutt grunnet vær. Enkelte større operasjoner som slaktelevering og lignende ble utsatt grunnet værforhold, men foregikk generelt svært godt.

Oppsummert var havfarmens driftsmessige prestasjon gjennom første driftssyklus god. Havfarmen presterte i det alt vesentlige driftsmessig i henhold til forhåpninger og forventninger. Det ble i løpet av første driftssyklus identifisert en del forbedringspunkter, hvorav samtlige ble utbedret underveis eller i brakkleggingsperioden. Forbedringspunktene, som er nærmere omtalt i Nordlaks sin rapport, datert 10. juni 2021, ble vurdert til forventningene i et større nybyggingsprosjekt som havfarmprosjektet er.

3.2.2 Havfarmens driftsmessige prestasjon i andre driftssyklus

Som nevnt over, ble korrigerende tiltak og utbedringer på utstyr og systemer i stor grad gjennomført gjennom første driftssyklus. I forkant av andre driftssyklus ble det i tillegg gjort en mindre ombygging på en av ensilasjetankene for å optimalisere driften av denne. Ut over dette har det ikke vært behov for å gjennomføre ytterligere tiltak før eller gjennom andre driftssyklus.

Dokumentasjonen av havfarmens driftsmessige prestasjon har vært gjennomført på lik måte gjennom andre driftssyklus som gjennom første driftssyklus. Dokumentasjonen har i hovedsak rettet seg mot de operasjoner som er særegne for havfarmen. Dette kan være operasjoner som ikke er nødvendig ved andre anlegg (som for eksempel ballastoperasjoner) eller operasjoner som gjennomføres ved andre anlegg, men hvor utstyr eller gjennomføring skiller seg vesentlig fra tradisjonelle anlegg (som for eksempel overføring av fisk til og fra brønnbåt, samt lusetelling). Gjennom andre driftssyklus er det rapportert inn 69 slike arbeidsoperasjoner. Ved samtlige operasjoner har havfarmens prestasjon blitt vurdert til god – meget god på alle vurderingsområder, og det er ikke fremmet forbedringsforslag til noen av operasjonene.

I perioden har det blitt registrert totalt syv HMS-avvik, hvorav ingen er relatert til særegne forhold ved havfarmen. Ingen avvik har medført personskade eller sykefravær i perioden.

Basert på dette vurderer vi at havfarmens driftsmessige prestasjon har vært god også i andre driftssyklus.

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 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 noe som også medfører praktiske utfordringer på en enhet som havfarmen. Dette var forhold som ble klare tidlig i designprosessen, og for å kunne ha best mulig kontroll både med enhetens strukturelle respons og utmattingsbelastning under drift, ble det besluttet å utvikle et system for å overvåke havfarmens strukturelle respons og belastninger i havfarmens struktur. Prosjektet landet til slutt på et system som baserer seg på å måle GPS-posisjoner, og plasseringen til ulike posisjoner på havfarmen relativt til hverandre. Dette gir informasjon om strukturens globale bevegelser og deformasjoner, noe som igjen gir mulighet til å fortløpende beregne seg fram til strukturelle belastninger i ulike lokale områder av strukturen.
Bruk av fysiske strekklapper som et alternativ til de virtuelle strekklappene fra monitoreringsløsningen ville vært praktisk svært krevende. 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.

3.3.2 Oppsummering første driftssyklus

Gjennom første driftssyklus ble miljødata som bølger, strøm og vind kontinuerlig logget både ved hjelp av frittstående utstyr montert i nærheten av lokaliteten, og fastmontert utstyr om bord på havfarmen. Dette, sammen med fysiske målinger av belastninger i konstruksjonen, ble brukt for å verifisere resultatene fra monitoreringssystemet. Valideringsprosessen er beskrevet i rapport datert 10. juni 2021, og valideringsrapporten fra SAP finnes i vedlegg C. Denne prosessen har gitt oss et system som brukes aktivt i forbindelse med operasjoner som ballast, og generell overvåking av havfarmens strukturelle respons. Over tid vil systemet også gi informasjon om forbrukt levetid (påført utmatting), og dermed også konstruksjonens gjenstående levetid.

Innsamlede miljø- og responsdata fra første driftssyklus ble videre benyttet til å validere numeriske beregninger mot faktisk målte responser når det gjelder struktur og hydrodynamikk. Dette arbeidet er beskrevet i Robertsen m.fl. (2021a), og i vedlegg C til denne rapporten. Dette arbeidet gav nyttig kunnskap om hvordan anlegget responderer på miljølaster og håndterer disse, samt verifikasjon av de numeriske modellene som er brukt i designfasen.

Resultater knyttet til fullskala validering av datamodeller/design, validering av strukturovervåkingen samt praktiske observasjoner fra første driftssyklus er beskrevet i rapport av Robertsen m.fl. (2021a), og vil ikke bli nærmere omtalt i denne rapporten. Kort oppsummert konkluderte rapporten med at monitoreringssystemet ble vurdert som pålitelig og validert. Videre ble det konkludert med at prosjekteringen av havfarmen har vært basert på tilstrekkelig konservatisme/sikkerhetsmarginer.

Gjennom første driftssyklus gjennomgikk havfarmen flere uvær med mye vind og bølger opp mot seks meter (signifikante bølgehøyder i overkant av tre meter). Det ble i disse forbindelsene målt relativt lite bevegelse i selve havfarmen, og mannskapet opplevde havfarmen som et trygt sted å være gjennom disse uværene. Ytterligere detaljer om de praktiske erfaringene med havfarmens respons er beskrevet i Robertsen m.fl. (2021).

3.3.3 Strukturovervåking – praktisk bruk

Monitoreringssystemet 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 både globalt og relativt til hverandre. Analysemodellen analyserer deretter fortløpende bl.a. anleggets globale respons (hiv, stamp, rull og retning), globale deformasjoner (horisonale og vertikale bøyninger samt torsjon) og utmatting over tid i definerte strukturelle fokusområder. Resultatene fra analysene vises i et web-brukergrensesnitt utviklet av SAP.
Det risikobaserte inspeksjonsprogrammet for havfarmen (RBI-plan) er utarbeidet i sammenheng med utviklingen av monitoreringsløsningen. Gjennom dialog med DNV, og basert på dette arbeidet, er det avtalt at klasseinspeksjoner av struktur på havfarmen skal gjøres årlig (i stedet for hvert 5. år), på en måte som gjør at alle relevante punkter dekkes i løpet av en 5-års periode. Mellom første og andre driftssyklus ble første inspeksjon fra DNV gjennomført, uten at det ble funnet avvik. Inspeksjonsrapporter og vedlegg til disse finnes i vedlegg C.

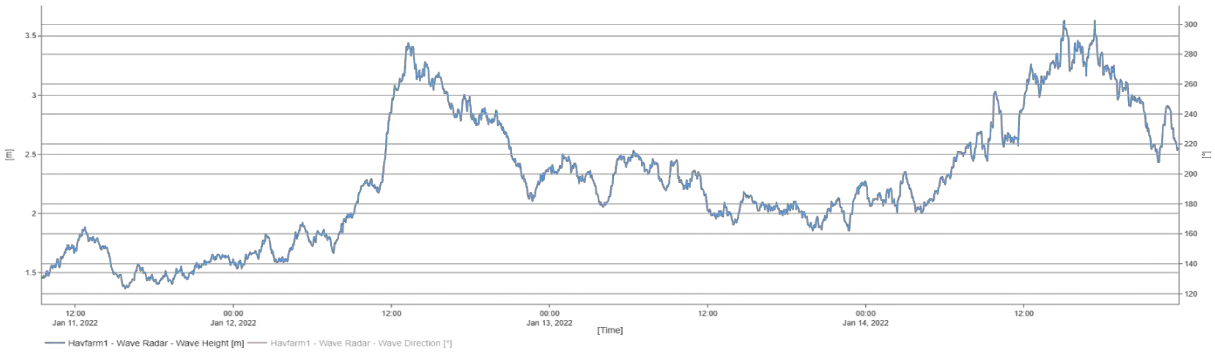
Data for utmatting fra monitoreringsløsningen underbygger funnene gjort av designer etter første driftssyklus om at havfarmen er designet og bygget med tilstrekkelig konservatisme. Detaljerte resultater samt forklarende brukerhåndbok for monitoreringsløsningen er gitt i vedlegg C.

Operasjonelt har monitoreringsløsningen vist seg svært nyttig, ved at man under operasjoner som kan påvirke strukturell integritet (ballastoperasjoner og øvrige lasteoperasjoner) har hatt tilgang til fortløpende beregninger av de globale responsene i havfarmen. Videre har designer definert noen grenseverdier for disse responsene, som er lagt inn i systemet slik at man til enhver tid har kontroll på om man er innenfor, i nærheten av, eller utenfor akseptable responser.

3.3.4 Praktiske observasjoner og erfaringer

3.3.4.1 Bølger og vind

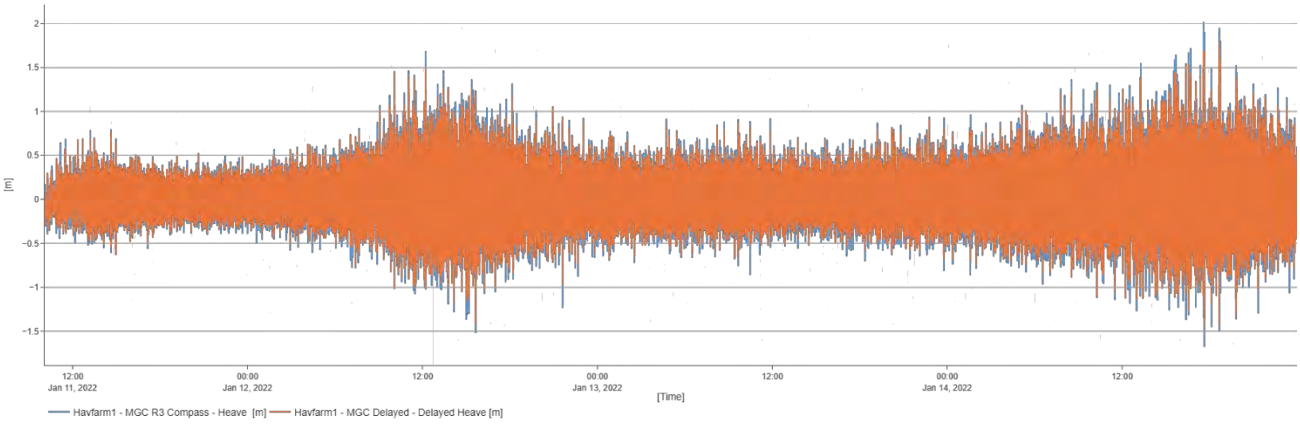
Gjennom de første driftssyklusene har havfarmen vært utsatt for flere uvær, med jevne mellomrom. Hovedsakelig har uværene forekommet høst- og vinterstid, og de har sjelden vært av særlig lang varighet (kun få dager). Flere av periodene har inkludert signifikante bølgehøyder over tre meter, og maksbølger mellom fem og seks meter. Høyeste signifikante bølgehøyde som har vært observert til nå har vært i overkant av 3,6 meter i januar 2022, med maks bølgehøyde opp mot seks meter. Figur 7 viser utviklingen i bølgehøyde disse dagene i januar 2022.



Figur 7. Signifikant bølgehøyde 11-14. januar 2022, ved havfarmen Jostein Albert

3.3.4.2 Havfarmens respons

Målt og opplevd respons om bord på havfarmen underveis i stormene vi opplevde gjennom første driftssyklus er beskrevet i rapport datert 10. juni 2021. Gjennom andre driftssyklus er tilbakemeldingen fra mannskapet at opplevelsen er den samme, nemlig at havfarmens bevegelser selv i svært dårlig vær, er relativt rolig. I figur 8 vises målinger av havfarmens stampbevegelse under stormen i januar 2022, med utslag på opptil 2 meter. Dette er noe mer enn registrert under storm med tilsvarende maksimal bølgehøyde (men lavere signifikant bølgehøyde) i september 2020.



Figur 8. Havfarmens stampbevegelser 11. - 14. januar 2022.

Informasjonen fra besetningen om bord i havfarmen Jostein Albert har bekreftet inntrykket som målingene gir, om at havfarmen har beveget seg relativt lite, og den oppleves som en trygg plass å oppholde seg gjennom stormene.

3.3.5 Oppsummering teknisk prestasjon

Basert på analysene gjort av designer 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 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. Monitoreringssystemet har vært i bruk siden høsten 2020. I tillegg til å gi nyttig informasjon knyttet til utmatting av særskilte interessepunkter i strukturen, har systemet også vært brukt som operativ støtte til ballastoperatør i forbindelse med ballastering av havfarmen. Tilgang til fortløpende beregninger av havfarmens globale deformasjoner under ballastering har bidratt til å sikre at disse operasjonene har blitt gjennomført innenfor trygge rammer. Utmattingsdata fra strukturovervåkingen fra denne perioden underbygger konklusjonene fra designer om at prosjekteringen av havfarmen har vært basert på tilstrekkelig konservatisme/sikkerhetsmarginer.

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 med arbeidspakken: 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. Under følger en oppsummering av resultater og erfaringer fra første driftssyklus, samt erfaringene fra andre driftssyklus.

3.4.1 Oppsummering av erfaringer og resultater fra første driftssyklus

Lusenivået under første driftssyklus var til enhver tid innenfor regelverket, og under maksimalt tillatte grenseverdier på 0.5 kjønnsmodne hunnlus i snitt per fisk. Sammenlignet med andre anlegg med høstfisk 19G i området hadde havfarmen gjennom store deler av produksjonen lavere lusenivå. Det ble heller ikke registrert lusetall på enkeltindivider som antas være velferdsmessig belastende for fisken. Til tross for at det ble nødvendig med tiltak mot lakselus, fikk vi bekreftet vår forventning om at lokaliteten er lite usatt for ekstern lusesmitte.

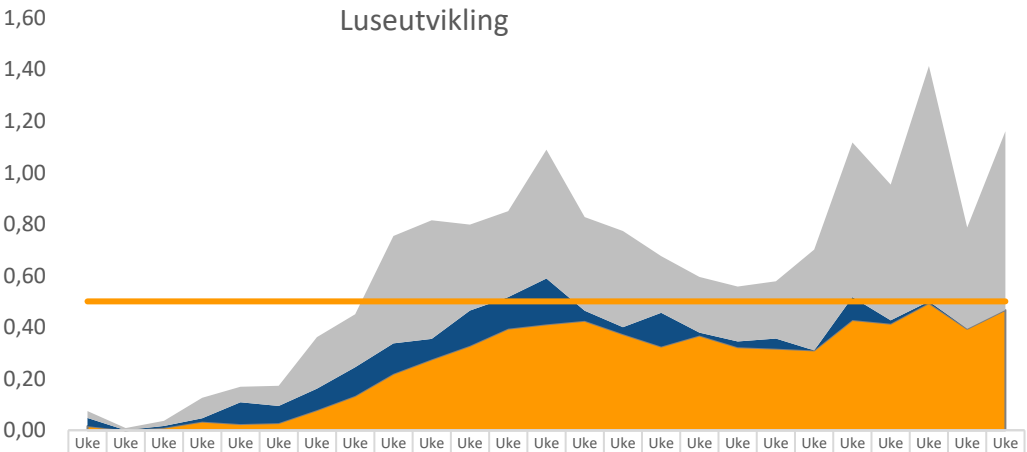
Resultatene fra miljøundersøkelsene viste at lokaliteten hadde gode miljøforhold, og bekreftet at lokaliteten er godt egnet for oppdrettsvirksomhet. Miljøundersøkelsen som ble gjennomført ved full belastning ga tilstandsklasse 1 «meget god», og fikk bedre resultater enn undersøkelsen som ble gjennomført ved halv belastning (tilstandsklasse 2 «god»). Undersøkelsene var i stor grad gjennomført ved de samme punktene, og både enkeltpunkter og lokaliteten som helhet viste forbedret tilstand.

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

3.4.2 Havfarmens påvirkning på det ytre miljø i andre driftssyklus

3.4.2.1 Lakselus

Havfarmens mannskap har talt og registrert lakselus innenfor rammene gitt i luseforskriften (lovdata.no) og dokumentasjonsprogrammet. Fiskehelsepersonell fra helsetjenesten Åkerblå, samt internt fiskehelsepersonell i Nordlaks, har også deltatt på lusetellinger, minimum en gang per måned. For prosedyre, samt gjennomførte forbedringstiltak knyttet til lusetellingene, se kapittel 3.2.2 og 3.2.3 i Robertsen m.fl. (2021a). Data til å fremstille figurer og grafer er hentet fra innrapporterte registreringer i Mercatus.



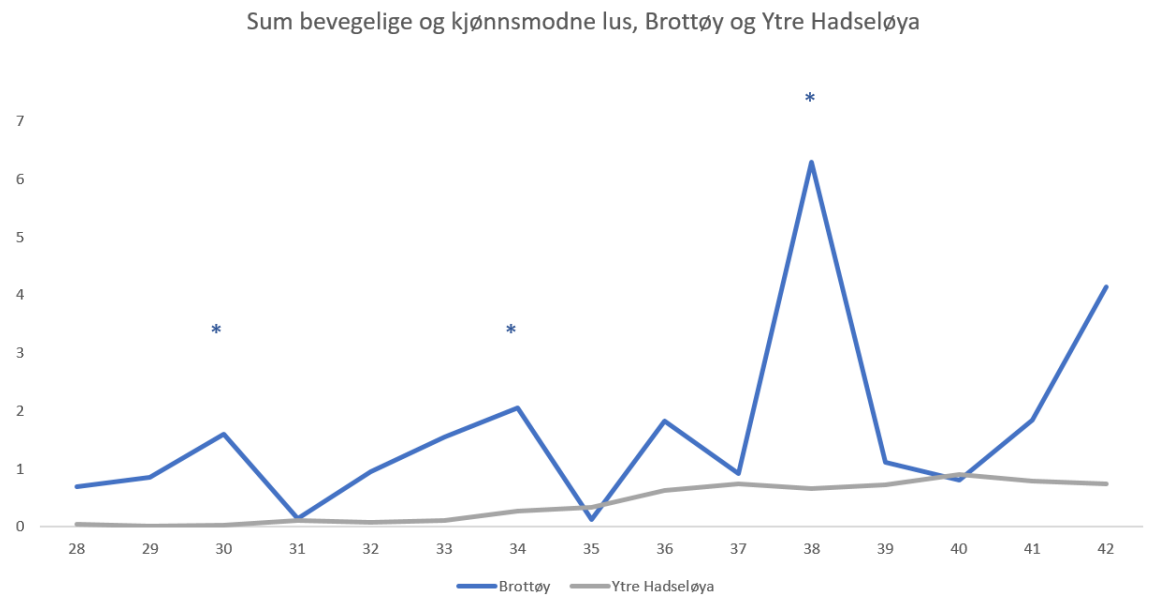
	Uke 28	Uke 29	Uke 30	Uke 31	Uke 32	Uke 33	Uke 34	Uke 35	Uke 36	Uke 37	Uke 38	Uke 39	Uke 40	Uke 41	Uke 42	Uke 43	Uke 44	Uke 45	Uke 46	Uke 47	Uke 48	Uke 49	Uke 51	Uke 52	Uke 1
Bevegelige lus	0,03	0,01	0,02	0,08	0,06	0,08	0,20	0,21	0,42	0,46	0,33	0,33	0,50	0,36	0,37	0,22	0,22	0,21	0,22	0,39	0,60	0,53	0,91	0,39	0,69
Fastsittende lus	0,03	0,00	0,01	0,01	0,08	0,07	0,08	0,11	0,12	0,08	0,14	0,12	0,18	0,04	0,03	0,13	0,01	0,02	0,04	0,00	0,09	0,01	0,01	0,00	0,00
Kjønnsmodne hunnlus	0,02	0,00	0,01	0,03	0,02	0,03	0,08	0,13	0,22	0,28	0,33	0,39	0,41	0,42	0,37	0,32	0,37	0,32	0,32	0,31	0,43	0,41	0,49	0,39	0,47
Lusegrense	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50

Figur 9. Figuren viser utvikling av gjennomsnittlig antall lakselus på havfarmen i ulike stadiegrupper i perioden. Horisontal linje indikerer maksimalt tillate gjennomsnittlige verdier av kjønnsmodne hunnlus i perioden.

Fisken ble avluset ikke-medikamentelt med ferskvann under flytting fra postsmoltlokalitetene til havfarmen, og hadde lave lusetall ved starten av andre driftsfase. Som vist av figur 9 gikk luseutviklingen relativt langsomt gjennom de første ukene etter utsett. Fra uke 33 til uke 37 gikk utviklingen noe raskere, men heretter så det imidlertid ut til at nivåene stabiliserte seg med kun mindre variasjoner fra uke til uke.

I løpet av perioden var det høyeste registrerte nivået av voksne hunnlus 0.49 (uke 51) 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. I uke 50, 2021 og i uke 2, 2022 ble det ikke gjennomført lusetellinger i havfarmen grunnet værutfordringer. Dette av velferdsmessige hensyn, da selve uttaket av fisk til telling ville hatt potensiale til å forårsake nedsatt fiskevelferd på en betydelig mengde fisk.

Fisken på Ytre Hadseløya kommer fra tre ulike postsmoltlokaliteter, hvor søskengrupper til havfarm-fisken ble stående på lokalitet Brottøy frem til den ble slaktet, i uke 42. Forskjellen i luseutvikling mellom de to lokalitetene er presentert i figur 10.



Figur 10. Figuren viser luseutvikling på Ytre Hadseløya (grå linje), samt på postsmoltlokaliteten (søskengruppe) Brottøy (blå linje). Grafene angir sum av gjennomsnittsverdier for bevegelige og kjønnsmodne stadier. Stjerne angir tidspunkt for gjennomførte avlusinger på Brottøy.

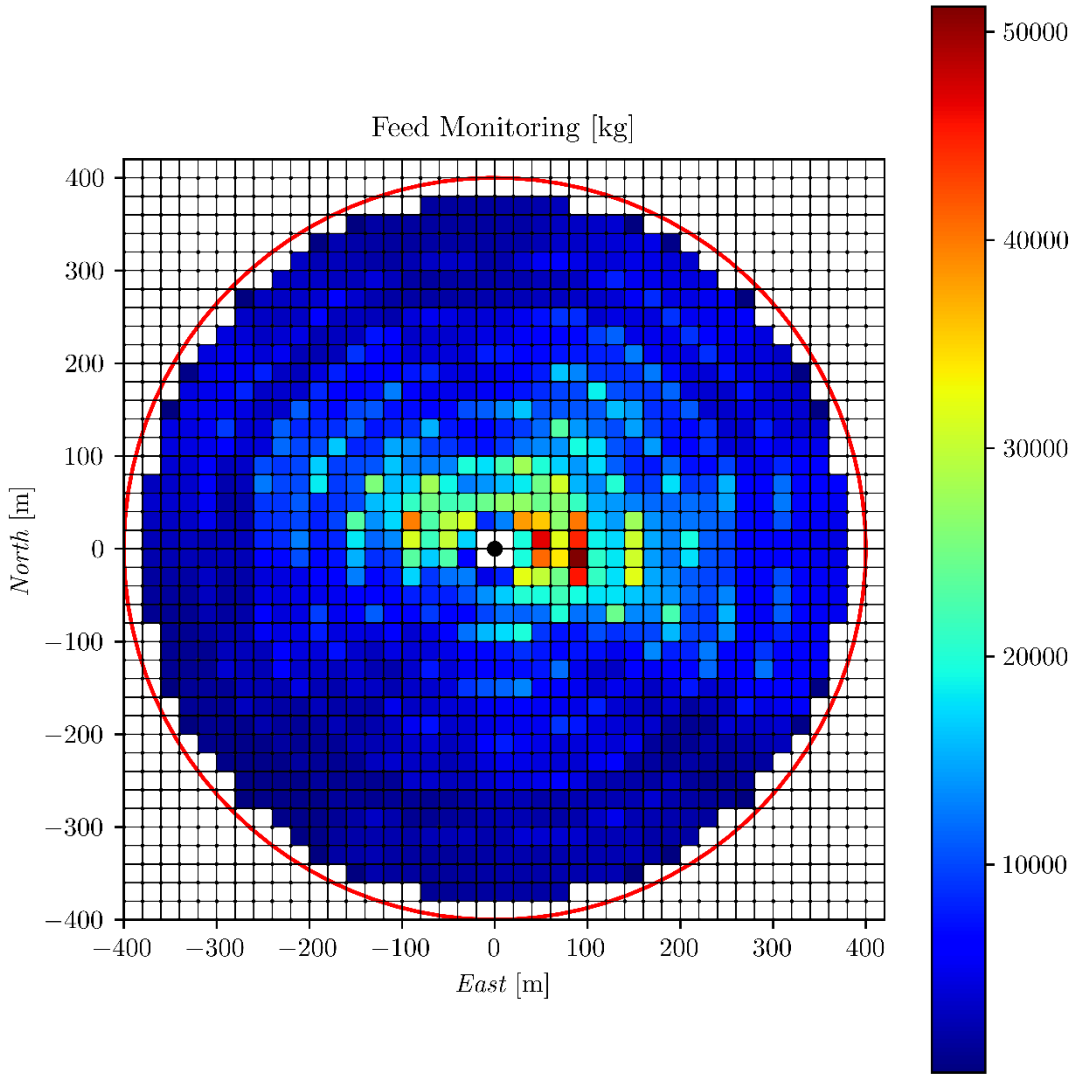
Som vist av figur 10 var utviklingen av lus på de to lokalitetene vært svært ulik. Gjennom perioden ligger lusenivåene generelt høyere på Brottøy sammenlignet med på havfarmen. I tillegg har Brottøy blitt behandlet tre ganger i perioden (markert med stjerne i figuren), og ble slaktet ut tidligere enn planlagt grunnet luseutviklingen. Fisken som ble flyttet til havfarmen ble behandlet med ferskvann under transporten. Merden som ble flyttet til Brottøy fra Sørvika ble også avluset med ferskvann i forbindelse med flyttingen (fremkommer ikke av figuren).

I slutten av oktober ble det gjennomført avlusing av omtrent halvparten av fisken i merde 1 i gruppe 2.1 (231 967 stk.). Dette tilsvarer ca. 10% av fisken i havfarmen. Denne ble gjennomført med bakgrunn i økning i antall kjønnsmodne hunnlus i denne merden. Samtidig var én merd (merd 6, gruppe 2.3) allerede slaktet ut, noe som gjorde det mulig å flytte fisk internt i havfarmen. Operasjonen gjorde at vi samtidig fikk testet beredskapen knyttet til avlusing. Avlusingen ble gjennomført i brønnbåten M/S Bjørg Pauline.

Effekten av avlusningen på den avlusede fisken ble evaluert til 73 % reduksjon av bevegelige lus, og 72 % reduksjon av kjønnsmodne hunnlus to uker etter behandling. I etterkant av avlusingen holdt lusenivået seg stabilt ut over vinteren, og det ble dermed ikke nødvendig å iverksette ytterligere tiltak for å overholde lusegrensen.

3.4.2.2 Resipient

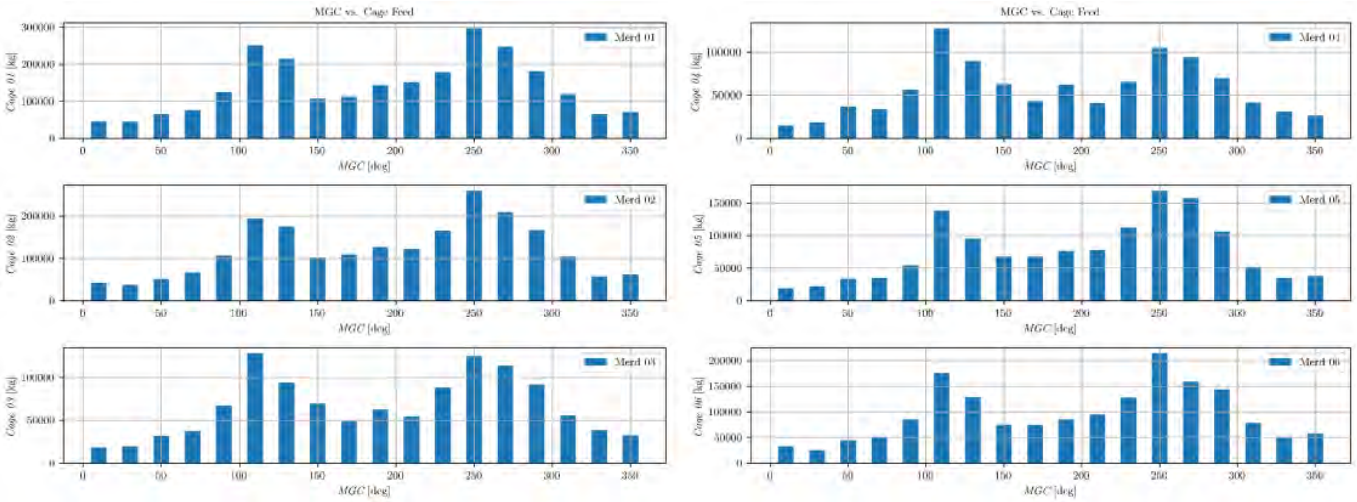
Som i første driftssyklus har Nordlaks overvåket utslipp av organisk materiale på lokaliteten, for å dokumentere effekten av svaifortøyningen på disse utslippene samt å kunne skreddersy miljøundersøkelsene ut fra hvor belastningen har vært størst. Systemet vi bruker viser hvor på lokaliteten havfarmen og de enkelte merdene til enhver tid oppholder seg. Sammenholdt med data om fôring gjør dette at vi kan modellere hvor på lokaliteten utslipp av organisk materiale foregår, og på den måten systematisere data om den miljømessige belastningen på lokaliteten. I figur 11 vises fordelingen av organisk utslipp fra havfarmen for andre driftssyklus, fra utsett frem til 14. januar 2022.



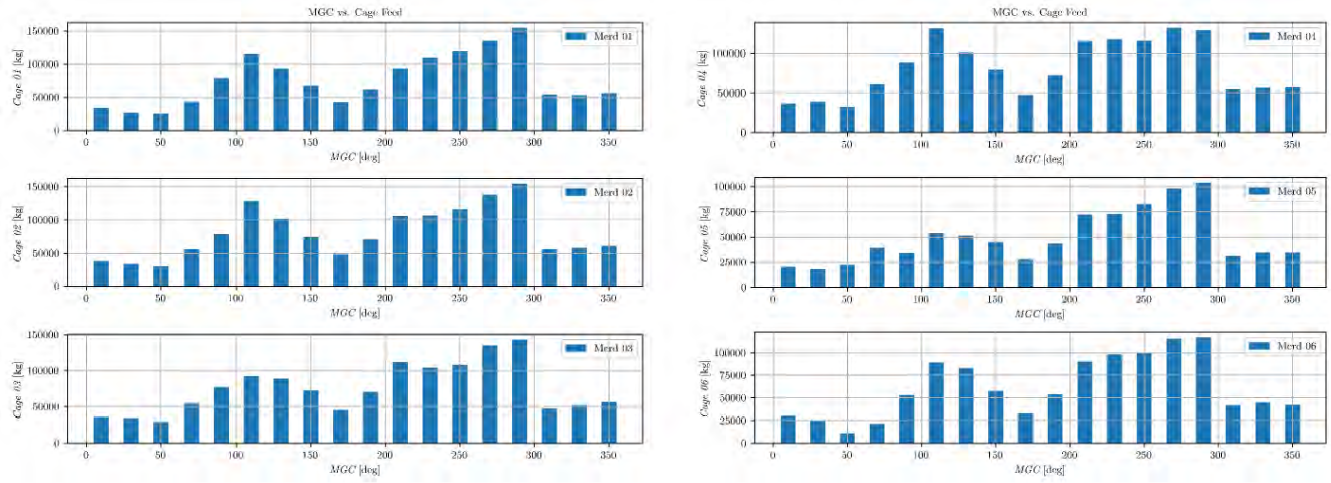
Figur 11. Figuren viser "heatmap" for organisk utslipp for hele andre driftssyklus, fra utsett til 14. januar 2022.

Figur 12 og 13 er hentet fra den samme overvåkingen, og viser ytterligere hvordan fordelingen av organisk utslipp har fordelt seg mellom de ulike sektorene på lokalitet Ytre Hadseløya, gjennom henholdsvis første og andre driftssyklus, frem til 14. januar 2022. Figurene viser at slike utslipp er fordelt rundt hele lokalitetsområdet, selv om enkelte sektorer har noe større belastning enn andre. Det

generelle bildet tilsier at fordeling av organisk materiale på havfarmen gjennom første og andre driftssyklus er relativt lik, selv om detaljene i noen sektorer skiller seg noe.



Figur 12. Figuren viser fordeling av organisk utslipp pr. sektor på lokalitet Ytre Hadseløya gjennom første driftssyklus. Retning er satt ut fra hvilken retning baugen peker i. For eksempel vil retning 180 grader tilsi at havfarmens baug peker mot sør, og at utslipp dermed foregår i nordlig del av lokaliteten. Hver sektor er 20°.



Figur 13. Figuren viser fordeling av organisk utslipp pr. sektor på lokalitet Ytre Hadseløya gjennom andre driftssyklus (til 14. januar 2022). Retning er satt ut fra hvilken retning baugen peker i. For eksempel vil retning 180 grader tilsi at havfarmens baug peker mot sør, og at utslipp dermed foregår i nordlig del av lokaliteten. Hver sektor er 20°.

I andre driftssyklus er det per 14. januar 2022 gjennomført én miljøundersøkelse (type B – i henhold til NS 9410). Denne ble gjennomført ved halv belastning, i oktober 2021 og resulterte i tilstand 2.

3.4.2.3 Oppsummering av havfarmens påvirkning på det ytre miljø

Gjennom ukentlige lusetellinger, og en miljøovervåking basert på regelmessige miljøundersøkelser og kontinuerlig modellering av utslipp av organisk materiale på lokaliteten, har havfarmens påvirkning på det ytre miljø blitt dokumentert på en grundig måte gjennom første og andre driftssyklus.

Lusetallene på Ytre Hadseløya var fra og med utsett forholdsvis lave etter avlusing med ferskvann under flytting, og har i løpet av perioden hatt en vesentlig mer langsom utvikling enn det man erfarer i tradisjonelle anlegg i fjordsystemene, hvor det er forholdsvis kort avstand mellom lokalitetene. De stabile tallene og en langsom utvikling på Ytre Hadseløya viser en begrenset nysmitte inn i anlegget fra nærliggende lokaliteter, i tillegg til et relativt lavt internt smittepress. Dette støttes særlig av sammenligningen med lokalitet Brottøy, som hadde merder med søskenfisk til både gruppe 2.2 og 2.3. Fisken på Brottøya ble avluset i uke 30, 34 og 38. Denne utviklingen, med tiltagende nivåer av lakselus utover høsten, er etter det Nordlaks erfarer ikke uvanlig for tradisjonelle oppdrettslokaliteter. Erfaringene fra de to første driftssyklusene viser imidlertid ikke en tilsvarende utvikling i havfarmen, noe som indikerer at dette konseptet på den eksponerte lokaliteten kan være mindre utsatt for lakselus, og dermed både gi redusert påvirkning av lakselus til omgivelsene i tillegg til redusert behov for å gjennomføre behandlinger mot lakselus. En vesentlig bidragsfaktor til dette er sannsynligvis avstanden, som medfører lengre reisevei for luselarvene, i tillegg til strømforhold som trolig ikke er like gunstig for intern resmitte av lokaliteten som for lokaliteter i fjordene (Aldrin m.fl. 2013). I sum indikerer dette at havfarmen kan bidra til økt produksjon av laks uten tilsvarende økning i utfordringer knyttet til spredning av lakselus eller behov for avlusing.

Selv om havfarmen og den eksponerte lokaliteten vil være betydelig mindre utsatt for lakselus enn tradisjonelle lokaliteter, har vi gjennom prosjektet vist at det også er mulig å gjennomføre effektive tiltak for å redusere lusemengden, ved hjelp av brønnbåter, innenfor forsvarlige rammer når det kommer til både fiskevelferd og HMS. Samtidig viser dokumentasjonen vår verdien av å ha lave nivå av lakselus ved utsett til havfarmen. Erfaringene vi har gjort oss gjennom de to første driftssyklusene danner et godt grunnlag for den fremtidige driften av havfarmen med tanke på bekjempelse av lakselus.

Resultatene fra miljøundersøkelsene i første driftssyklus viste forbedret miljøstatus både generelt og på enkeltpunkter selv med økt total belastning på lokaliteten (fra halv til full belastning). Dette indikerer at punkter som var belastet ved halv belastning, hadde fått mulighet til å restituere seg i perioden fram til full belastning, fordi havfarmen i denne perioden i større grad hadde befunnet seg i andre områder av anleggsområdet. Totalt sett medførte dette en bedring av miljøtilstanden i resipienten. Dette underbygger at havfarmens svaifortøyning fungerte etter sin hensikt, og at organiske utslipp ble fordelt over større deler av lokaliteten enn dersom anlegget hadde vært fast fortøyd i en posisjon.

Resultatene fra miljøundersøkelser og modellering av organiske utslipp gjennom andre driftssyklus sammenfaller med resultatene og erfaringene fra første driftssyklus. Totalt sett har prosjektet etter vår vurdering med dette vist at havfarmkonseptet, med svaifortøyning på den eksponerte lokaliteten gir akseptabel lokal påvirkning av resipienten selv ved betydelig produksjon.

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 kommet, 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 som skulle inngå i første driftssyklus måtte leveres med alternativ brønnbåt. Etter flere ytterligere forsinkelser måtte de første slakteuttakene fra havfarmen vinteren 2021 også 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 de to første driftssyklusene i havfarmen Jostein Albert har Nordlaks dokumentert konstruksjonens og prosjektets prestasjon når det gjelder biologiske, driftsmessige og tekniske forhold samt forhold knyttet til påvirkningen av det ytre miljø. På tross av visse biologiske utfordringer hos en av fiskegruppene i første driftssyklus, som trolig ikke kan relateres til havfarmen i seg selv, er det vår vurdering at havfarmen har prestert godt som teknologi for oppdrett av atlantisk laks. Enkelte forbedringsbehov har blitt identifisert, og har blitt utbedret fortløpende. Disse har imidlertid vært på et nivå som man i alle tilfeller vil måtte forvente i et utviklingsprosjekt i denne skala.

Havfarmen er en teknologi som både gjennom sin konstruksjon og driftsform, men 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. Resultatene fra den samlede miljøovervåkingen vår gjennom de to driftssyklusene viser at svaifortøyningen har fungert etter hensikten. Havfarmen har spredt belastningen på en slik måte at det har vært mulig å produsere stor biomasse på lokaliteten, med begrenset og akseptabel påvirkning på resipienten.

Gjennom planleggingen av prosjektet har vi hatt en forventning om at det å ta i bruk nye arealer med større avstand til andre lokaliteter vil gi et potensiale for reduserte utfordringer med lakselus, selv ved en produksjon som er større enn tradisjonelle lokaliteter. Resultatene og erfaringene vi har dokumentert gjennom prosjektet underbygger etter vår vurdering denne forventningen. I havfarmen har luseutviklingen gått saktere enn i nærliggende tradisjonelle anlegg med tilsvarende fiskegrupper, og det har vært betydelig mindre behov for tiltak for å redusere lusemengden i havfarmen sammenlignet med disse anleggene. Samtidig har vi dokumentert at det vil være mulig å gjennomføre avlusingsoperasjoner ved hjelp av brønnbåt på en effektiv og trygg måte, ved behov.

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 de to første driftssyklusene 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. 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.

Hatlen B, Jørgensen, SM, Timmerhaus G, Krasnov A, Mira M, Ruytner B & Evensen Ø. (2016). *Styrt fettsyresammensetning i fôr for å forebygge utbrudd av viktige virussykdommer i laks.* ISBN: 978-82-8296-350-3

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) *Dokumentasjonsprogram –Havfarm 1*
Nordlaks rapport 02 – 2020.

Nordlaks Oppdrett AS (2021a) *Sluttrapport – Prosjekt havfarm 1*
Nordlaks rapport 03 – 2021.

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.

Sommerset I, Bang Jensen B, Bornø B, Haukaas A og Brun E. *Fiskehelserapporten 2020*, utgitt av Veterinærinstituttet 2021

Veterinærinstituttet. Kompleks gjellesykdom hos laks. Nyhetsartikkel.
Kompleks gjellesjukdom hos laks (vetinst.no)

6. Vedleggsliste

Vedlegg A	Prosjektoppsummering Havfarm 1	Veterinærinsituttet
Vedlegg B	Oppsummering helsestatus	Åkerblå
	Tilsynsrapporter	Mattilsynet
	Figurer, tabeller og eksklusjonskriterium fiskebaserte og miljøbaserte velferdsindikatorer	Nordlaks Oppdrett AS, Veterinærinsituttet (MLVA-analyse)
Vedlegg C	3417-100-005 Havfarm 1 Teknisk Prestasjon Arbeidspakke 3	NSK Ship Design
	722 – Havfarm 1 – Structural Monitoring – Validation report	SAP
	Havfarm HMS Extracted fatigue data	SAP
	Havfarm HMS User Manual	SAP
	Classification certificate, MOU	DNV
	Appendix to Classification certificate, MOU	DNV
	Survey Statement	DNV
Vedlegg D	Fôringsrapport 17.07.2020 – 30.05.2021	SAP
	Fôringsrapport 14.07.2021 – 14.01.2022	SAP
	B-undersøkelse, 39777 Ytre Hadseløya, 2021 Halv belastning	Akvaplan-niva

Vedlegg A

Prosjektoppsummering

Veterinærinstituttet
Norwegian Veterinary Institute

Veterinærinstituttets rolle i dokumentasjonen av andre driftssyklus 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. Første driftssyklus i Havfarm1 ble dokumentert gjennom en rapport, datert 10.06.21.

Andre driftssyklus ble startet i midten av juli 2021 gjennom utsett av ny laks i Havfarm1.

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.

Koordinering

I løpet av høsten 2021 og tidlig i 2022 er det gjennomført en rekke digitale møter med personell på Havfarm1, Operasjonssentralen og prosjektledelsen i Nordlaks. Tema for disse møtene har vært status på Havfarm1 med tanke på fiskehelse og –velferd.

Bearbeiding og tolking av resultater

Veterinærinstituttet har bidratt i kvalitetssikring og tolking av data relatert til fiskehelse og –velferd fra undersøkelser og sensorer på Havfarm 1, dog i noe mindre omfang enn i forbindelse med første driftssyklus. Nordlaks har sammenfattet resultatene i «Sluttrapport, Prosjekt Havfarm 1» med vedlegg. Det er Veterinærinstituttets oppfatning at dokumentasjonen av arbeidspakke 1, Biologisk prestasjon, er gjennomført etter samme standard som for sluttrapporten datert 10.06.21.

Oppsummering

Basert på den kunnskapen som Veterinærinstituttet har, knyttet til arbeidspakke 1, Biologisk prestasjon, for andre driftssyklus i havfarmen er vurderingene som Nordlaks har gjort i rapporten vedrørende fiskehelse og -velferd i overensstemmelse med Veterinærinstituttet sin oppfatning i denne saken.

Brønnøysund, 2. februar 2022

Kristoffer Vale Nielsen
Prosjektleder VI

Vedlegg B

ÅKERBLÅ

Nordlaks Oppdrett

Lokalitet 39777 Ytre Hadseløya

Oppsummeringsrapport fiskehelse og fiskevelferd for G2020 på lokalitet Ytre Hadseløya.

Åkerblå AS har ansvar for helsekontroll ved lokaliteten Ytre Hadseløya. Fisken ble satt ut i Havfarmen juli 2021. Denne rapporten omhandler status i anlegget frem til 14.januar 2022.

Vedlegg 1 viser dato for gjennomførte helsekontroller etter at fisken 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 omfatter som regel:

- 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 fôrprosjekt.
- Deltagelse 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 uke 29, like etter levering av fisk til merd 2 oppstod det høy dødelighet (0,45-1,7 %) i ukene 29-31. Fisken ble behandlet med ferskvann under transport fra post-smolt lokalitetene til Havfarmen. Det ble påvist Hjerte og skjelettmuskelbetennelse (HSMB) og hudskade på fisk fra merd 2. På besøk 23. juli ble det observert risttap og håndteringsskader på dødfisken fra merd 2. Ifølge brønnbåt og mannskap fra postsmoltlokaliteten oppstod det posedannelse under setting av avkast da fisken skulle avluses, noe som har medført risttap og skader på fisken.

Videre økt dødelighet i forbindelse med levering av fisk inn i merd 3 og 4 i sommer. I merd 3 i uke 30 og 31 var dødeligheten hhv.0,2 og 0,23 %. I merd 4 var dødeligheten forøket i uke 31 (0,28%). Dødeligheten normaliserte seg etter dette. I merd 5 oppstod det dødelighet i etterkant av levering, og dødeligheten var forøket i uke 32-34 (0,25 -0,57%). Det ble påvist HSMB i merd 5 like etter levering. På besøket 16.08 ble det observert normalt merdbilde i m1,2 og 3. I merd 4 og 6 ble det registrert et titalls fisk med risttap, og i merd 5 var det høyest andel svimere og fisk som sturet.

Under helsekontroll i september var merdbildet bedre og det var normal adferd i alle merdene. Det ble observert en del risttap på fisken som det ble talt lus på, noe som kan ha skyldtes lang transportvei for fisken fra sjøen og oppi lusekaret, siden Havfarmen på denne dagen var hevet.

ÅKERBLÅ

På besøk i oktober sees det i hovedsak normal adferd, men det sees en del fisk som sturer i merd 5 og 6 som også bærer preg av en del risttap/sår. På uttakene har vi tatt ut samleprøve for gjeller fra de tre merdene. I september og oktober ble det påvist gjellebetennelse i alle merdene. Det sees hovedsakelig gjellebetennelse i sparsom grad. Gjellene fra merd 5 skiller seg noe ut med mye funn av *Ichthyobodo sp* og epiteliocyster, ifølge histologirapporten fra Veterinærinstituttet.

I november ble anlegget besøkt to ganger, der det ene besøket var ett rent helsebesøk og ett besøk der formålet var prøveuttak i henhold til dokumentasjonsprogrammet i fra merd 2 og 5. Det ble tatt ut prøver fra merd 5 i forbindelse med forøket dødelighet på besøk 8.november. Prøvesvar fra Veterinærinstituttet viser proliferativ gjellebetennelse/kompleks gjellesykdom og påvisning av epiteliocyster og *Ichthyobodo sp.* Det er også mistanke om tidlige fase av HSMB. Merdbildet så fint ut, det ble nedklasset under velferdsscoring pga. noen små sår på fisken. Men de fleste fiskene fikk score 1. På besøket utført 26. november ble det talt lus i merd 2 og 5, samt tatt ut månedlige prøveuttak og gjort velferdsscoring. Dødeligheten i merd 5 var forøket fram til utslakt.

I desember ble lokaliteten besøkt 3. desember og 21. desember. På besøket den 3. desember ble det tatt ut prøver fra merd 3. Dødeligheten var på dette tidspunktet ikke over veiledende grense for forøket dødelighet. Anlegget hadde imidlertid sett en økning i dødeligheten i merd 3. Histologi og bakteriologi av fisk fra M3 viser bakteriell sårinfeksjon/vintersår, samt funn av *Moritella viscosa* og *Tenacibaculum sp*. Det ble også funnet betennelsesforandringer i hjerte forenlig med Kardiomyopatisyndrom (CMS) på 1 fisk fra merd 3.

Siste besøk i anlegget i desember ble brukt til prøveuttak av merd 2 og sluttuttak i merd 3. Velferdsscoring av fisken fra merd 2 og 3 viser at 26 % av fisken får score 2 og 36 % fikk score 3. I merd 3 ble 33,3% av fisken gitt velferdsscore 1, 39,2 % fikk score 2 og 27,4 % fikk score 3. Scoring av fisk på velferdsscore 2 og 3 skyldes i hovedsak sår. Det var forøket dødelighet i merd 3 i uke 50. Utover det har det ikke vært forøket dødeligheter i noen av merdene frem til 14. januar.

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 2,5 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. På de månedlige besøkene har Åkerblå deltatt på lusetelling på besøk i august og september. 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 og histologi) samt utført gjelleskår og innvendig velferdsskår. På besøk 18.10 ble det gjennomført månedlige prøveuttak av merd 2 og 5, samt utvidet velferdsvurdering av fisk fra merd 6 som skulle slaktes ut. Det ble ikke tid til lusetelling på besøk i oktober, det ble prioritert å få tatt ut prøver fra merd 6 som skulle slaktes ut samme uke.

Lakselus

Vedlegg 3 viser gjennomsnittlige lusetall uke for uke fra uke 28 til og med uke 2 i 2022. Fisken ble behandlet med ferskvann i brønnbåt før den ankom Havfarmen fra juli 2021.

ÅKERBLÅ

Lusenivåene i anlegget har vært lave/moderate fra uke 28 til 34 hvor en i uke 34 og 35 registrerte en økning for fastsittende, bevegelige og voksne stadier. Fra uke 36-39 har nivåene av lus holdt seg stabile, før det registreres en ytterligere økning i uke 40. Det ble i denne perioden besluttet å iverksette tiltak mot lus i anlegget. I uke 43 ble to laster fra merd 1 behandlet med salmosan i brønnbåt, og overført til bur 6 som da var tømt. Effekten av salmosan-behandlingen viser en reduksjon på 43 % for kjønnsmodne hunnlus, og 81 % for bevegelige lus. To uker etter avlusing viser telling i merd 6 en reduksjon på 72 % for voksne hunnlus, og 73 % for bevegelige lus.

Etter avlusingen i oktober var lusenivåene fra uke 43-47 stabile, mens det sees en økning i både bevegelige og voksne hunnlus i uke 48. Nivåene av lus har ligget like under tiltaksgrensen i uke 48,49, 51 og 52. I uke 50 ble det ikke talt i anlegget grunnet dårlig vær. Den siste tellingen Åkerblå deltok på var i forbindelse med besøk 20. desember. Det ble da talt lus i merd 2. Lusetelling for uke 1 i 2022 viser et anleggssnitt på 0 fastsittende, 0,69 bevegelige og 0,47 voksne hunnlus.

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 det første besøket i anlegget i juli har jeg vurdert velferden som nedsatt i merd 2, grunnet skader på fisken i forbindelse med levering, og høy avgang. I de øvrige merdene ble velferden vurdert som god. Velferden på besøk 16.08 ble vurdert som nedsatt i merd 5 grunnet sykdom og sår/mekaniske skader på fisken. Velferden i de øvrige merdene ble vurdert som god. På besøk 26.08 ble velferden i merd 5 vurdert som akseptabel, og god i de øvrige merdene. Under besøk i september og oktober ble velferden vurdert som god i alle merdene.

I november og desember er velferden vurdert som akseptabel i anlegget grunnet innslag av sår og kjønnsmodning.

Oppsummering

Fiskehelse/velferd

Akkumulert dødelighet fra utsett i Havfarmen og frem til uke 2, 2022 viser høyest akkumulert avgang i merd 2 (4,63%). Den akkumulerte dødeligheten varierer ellers mellom 1,1 % (M6) til 4,53 % (M5). Dødeligheten i merd 2 skyldes en kombinasjon av røff håndtering i forbindelse med levering/avlusing før fisken ankom Havfarmen, og HSMB.

I merd 5 skyldes dødeligheten trolig to tette avlusinger før fisken ble levert til Havfarmen (salmosan i presenning og avlusing med ferskvann). Dette kan ha resultert i utbrudd av HSMB i merd 5. Det har ellers vært en del sårfisk i merd 5, samt gjellebetennelse. I merd 1 og 3 var dødeligheten forøket i forbindelse med levering til Havfarmen. I merd 3 har dødeligheten i høst og vinter trolig skyldtes både sårfisk og sirkulasjonsforstyrrelser på fisken. Dødeligheten i merd 4 og 6 har vært svakt forøket den første uken i Havfarmen men lav i etterkant. Det har vært litt utfordringer under lasting av fisk på post-smoltlokaltetene, før avlusing inn i Havfarmen. Dette har igjen ført til risttap og mekaniske skader på fisken.

Fra ankomst Havfarmen og frem til 14. januar har det blitt utført 5 runder med prøveuttak i henhold til dokumentasjonsprogrammet. Prøvene er tatt i august, september, oktober, november og desember. Det er merd 2,5 og 6 som har blitt fulgt ekstra opp, da disse representerer de ulike fiskegruppene i anlegget. På uttaket i august ble det registrert flest fisk med score 2 og 3 fra merd 5.

ÅKERBLÅ

Dette skyldtes sår/hudblødninger på fisken. På besøk i september gis de fleste fiskene fra merd 2,5 og 6 score 1, men det nedklasses hos enkelte fisk pga. deformitet, kjønnsmodning og skade på øye. Under besøk i oktober scoret vi på 10 fisk fra merd 5, alle fikk score 1. I merd 6 scoret jeg på 50 fisk, mens anlegget selv tok scoring på 50 fisk. Dette var i forbindelse med at fisken skulle slaktes og det ble gjennomført sluttuttak.

Det ble registrert 9/50 fisk med score 2, og 5/50 fisk med score 3. Nedklassing skyldtes gjellelokkforkortelse, sår og deformiteter. I merd 2 scoret jeg på 10 fisk. I merd 2 fikk 1/10 fisk score 2. Resten hadde score 1. Øvrig scoring i merd 2 og 5 ble gjort av de ansatte i anlegget.

I november ble det foretatt en utvidet undersøkelse av merd 2 og 5. Høyest andel av score 2 og 3 i merd 5. Fisken ble i hovedsak nedklasset grunnet sår.

Merd 5 ble slaktet ut i løpet av perioden 6-12. desember. På besøk 3. desember ble det foretatt en utvidet vurdering av indre og ytre velferdsscore (sluttuttak). Fiskene med velferdsscore 2 (10/40 fisk) hadde sår, gjellelokkforkortelse eller finneskade. Det ble registrert ett par fisk med kjønnsmodning. Den 20. desember ble de månedlige prøveuttakene gjort i merd 2. Samt sluttuttak i merd 3.

I merd 2 får 36 % av fisken score 1, resten scores til enten 2 eller 3 grunnet sår i varierende alvorlighetsgrad. I merd 3 er det litt høyere innslag av fisk med sår eller risttap/hudblødninger, og det meste av fisken som ble undersøkt har enten score 2 eller 3. Obduksjonsfunn under disse uttakene har stort sett vært normale funn.

Det har for det meste blitt registrert normal adferd på besøkene i Havfarmen. Det har vært innslag av fisk med sår og ristskader i forbindelse med avlusing og levering i juli/august. Det har blitt registrert en sårutvikling i anlegget i vinter, der dette både ble registrert på dødfisken og under velferdsscoring. Utover det sees det få tapere ved inspeksjon i anlegget og det er meldt om normal appetitt i anlegget. Det er registrert noen lave oksygenmålinger i midten av august på 5m og 15 m dyp, men målinger gjort fra høsten og frem til januar har hovedsakelig vært optimale.

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. Denne skal ikke være i kontakt med andre lokaliteter, og har egen kai. Andre båter som ankommer anlegget, er fôrbåter og ensilasjebåter.

ÅKERBLÅ

Sortland. 27.01.2022

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
23.07.2021	Silje Fløtnes Hansen	Besøk juli.
16.08.2021	Silje Fløtnes Hansen	Besøk august.
26.08.2021	Silje Fløtnes Hansen	Prøveuttak dokumentasjonsprogrammet
28.09.2021	Silje Fløtnes Hansen	Prøveuttak dokumentasjonsprogrammet. Besøk september.
18.10.2021	Silje Fløtnes Hansen	Prøveuttak dokumentasjonsprogrammet. Besøk oktober.
08.11.2021	Silje Fløtnes Hansen	Besøk november
26.11.2021	Silje Fløtnes Hansen	Prøveuttak dokumentasjonsprogrammet
03.12.2021	Silje Fløtnes Hansen	Prøveuttak dokumentasjonsprogram Besøk desember
20.12.2021	Silje Fløtnes Hansen	Prøveuttak dokumentasjonsprogram

Tabell 1: Tabell 1 viser oversikt over besøk utført av Åkerblå i perioden.

Vedlegg 2

Dato	Merd	Diagnose	Metode for påvisning
23.07.2021	2	HSMB i 1/5 fisk. Mistanke om HSMB i 1 fisk. Hudskade. Muskelbetennelse.	Histologi
09.08.2021	5	Påvist branchiomonas cysticola i 1/4 fisk (lave nivåer), påvist PRV i 5/5 fisk (moderate nivåer).	PCR
13.08.2021	5	Påvist PRV i 9/10 fisk.	PCR
13.08.2021	5	Påvist HSMB i 5/5 fisk	Histologi
13.08.2021	6	Påvist PRV i 9/10 fisk.	PCR
28.09.21	2	Proliferativ gjellebetennelse, epiteliocyser, påvist *Ichtyhyobodo sp*.	Histologi
28.09.21	5	Påvist sparsom gjellebetennelse.Påvist epiteliocyster.	Histologi
29.09.21	6	Påvist sparsom gjellebetennelse. Påvist epiteliocyster.	Histologi
18.10.21	2	Påvist sparsom gjellebetennelse.	Histologi
18.10.21	5	Påvist sparsom gjellebetennelse. Påvist epiteliocyster. Påvist *Ichtyhyobodo sp*	Histologi

18.10.21	6	Påvist sparsom gjellebetennelse.	Histologi
18.10.21	6	Mistanke om små skjell/snegler	Histologi
08.11.21	5	Proliferativ gjellebetennelse, påvist epiteliocyster og costia. Mistanke om HSMB i tidlig fase.	Histologi
03.12.21	3	Bakteriell sårinfeksjon. Påvist *Tenacibaculum sp* og *Moritella viscosa*.	Histologi og bakteriologi

Tabell 2: Tabell 2 viser oversikt over diagnoser stilt i anlegget siden fisken ble satt ut i havfarmen.

Vedlegg 3

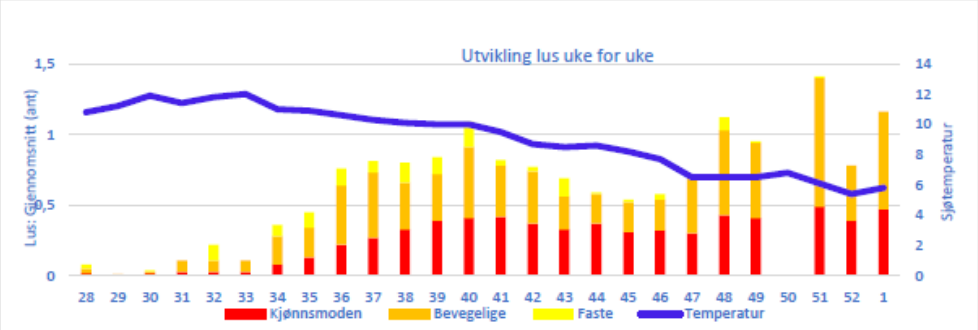


Fig 1: Figur 1 viser utviklingen av lus på Ytre Hadseløya fra uke 28, 2021 til og med uke 2, 2022. Figuren viser gjennomsnittlig lusetall per uke.

Nordlaks Oppdrett AS
Postboks 224
8455 Stokmarknes

Deres ref:
Vår ref: 2021/127209
Dato: 25. juni 2021
Org.nr: 985399077

Statens tilsyn for planter, fisk, dyr og næringsmidler

Mattilsynet

YTRE HADSELØYA - Mattilsynet fant ingen brudd på regelverket ved inspeksjonen 21. juni 2021 og forhåndsvarsler vedtak om gebyr

Nordlaks Oppdrett AS fikk 3. juni 2021 dispensasjon fra kravet om brakklegging i minimum 2 måneder etter hver produksjonssyklus på lokalitet Ytre Hadseløya (sak 2021/113612). Dispensasjonen gjaldt for perioden 5. juni til 5. juli og ble gitt på følgende vilkår: "Lokaliteten skal som et minimum være brakklagt fra 5. juni til 1. juli, eller tilsvarende 26 dager."
I behandlingen av dispensasjonen ble det skrevet at: "Det forventes at nøter og havfarminstallasjonen med driftsutstyr er ferdig rengjort og desinfisert når brakkleggingen starter. Mattilsynet vil gjennomføre inspeksjon når brakkleggingen starter opp."

Vi viser til inspeksjonen hos Nordlaks Oppdrett AS 21. juni 2021.

Inspeksjonen ble utført av førsteinspektør Tori Winther. Fagoperatør Morten Ilstad, CEO Eirik Welde, Camilla Robertsen, prosjektleder Bjarne Johansen og Trond Jørgen Hanssen var til stede under inspeksjonen.

Tilsynet omfattet

- 39777 - YTRE HADSELØYA, Lokalitetsnummer 39777

Dette brevet inneholder en tilbakemelding om hva vi observerte under inspeksjonen. I tillegg varsler vi vedtak om gebyr for inspeksjon av akvakulturanlegg. Vi sender dette varselet fordi dere skal få anledning til å gi en uttalelse før vi avgjør om det skal fattes gebyrvedtak.

Frist for å gi uttalelse:
Dersom dere er uenige i gebyret som vi varsler eller har andre merknader til dette brevet, ber vi om at dere gir tilbakemelding til oss så raskt som mulig, og senest innen 30.06.2021. Etter denne datoen vil vi vurdere eventuelle tilbakemeldinger som dere kommer med, og avgjøre om vi skal gi det gebyret som vi varsler om i dette brevet.

Oppsummering av inspeksjonen
Siste last med fisk forlot lokaliteten 5. juni 2021. I tiden etter tømming har Mattilsynet hatt løpende dialog med dere angående fremdrift av vask og desinfeksjon og aktuelt tidspunkt for inspeksjon. Dere har også selv skissert at forskyvelser i arbeidet med vask og desinfeksjon ville medføre utsettelse av flytting av fisk inn i anlegget. Det er sendt inn prosedyrer for og dokumentasjon på gjennomført vask og desinfeksjon av alle nøter. Dette ble gjennomgått før inspeksjonen.

Mattilsynet
Region Nord

Saksbehandler: Tori Winther
Tlf: 22 40 00 00 / 22778873
E-post: postmottak@mattilsynet.no
(Husk mottakers navn)

www.mattilsynet.no
Postadresse:
Felles postmottak, Postboks 383
2381 Brumunddal
Telefaks: 23 21 68 01

Under inspeksjonen ble følgende visuelt kontrollert:

- Nøter i alle 6 bur var hevet over vann så langt det lot seg gjøre. Det var ingen tegn til begroing og nøtene fremsto som rene. Ingen anmerkning
- Dødfisksystem - Mottaksrom for dødfisk med el-bedøver og tellebord, vagge for oppsamling av svimere, luke/sluse ned til mottaksrom samt èn dødfisktank ble stikkprøvekontrollert. Alt fremsto som rent. Ingen anmerkning
- Personellkorger og servicevogner - Stikkprøvekontrollert. Ingen anmerkning.
- Tilkoblingspunkter for lasting/lossing av fisk og til lift-up/lukket dødfisksystem.- Stikkprøvekontrollert. Ingen anmerkning.
- Løst driftsutstyr som kamera og oksygenmålere tilhørende hvert bur var fjernet. Enkelte av disse ble stikkprøvekontrollert og fremsto som rene. Ingen anmerkning

Skroget har vært brakklagt tilnærmet siden siste opptak av fisk 5. juni og rengjøringen synes å være så forsvarlig som den kan være sett opp mot halvert brakkleggingstid. Hvis det legges til grunn 200 døgngrader og 9 °C i sjøen på nåværende tidspunkt vil det gå 22 dager fra siste not var ferdig desinfisert 19. juni og frem til dere ønsker å flytte første fisk inn i anlegget igjen 12. juli. Mattilsynet vurderer dette til å være innenfor rammene av hva dere fikk i dispensasjon og finner løsningen akseptabel.

Vi viser til tilsynskvittering av dato 21.06.2021 hvor observasjonene vi gjorde under inspeksjonen er gjengitt.

Varsel om vedtak om gebyr
Gebyret for inspeksjon av akvakulturanlegg er fastsatt til kr 4 900,00 på grunnlag av medgått tid innenfor 6 timeverk opp til 12 timeverk (med hjemmel i Forskrift 3. april 2017 nr. 426 om gebyr til dekning av utgifter ved tilsyn og kontroll med fiskehelse og fiskevelferd i akvakulturanlegg § 3).

I denne saken er tiden brukt på inspeksjonen fordelt på følgende vis; dialog/forberedelser i forkant av inspeksjon 3 timer, inspeksjon 4 timer, etterarbeid og rapportskriving ca 4 timer. Totalt ca 11 timer.

Konklusjon
Vi har i forbindelse med dette besøket ikke funnet forhold som trenger videre oppfølging fra vår side og Nordlaks Oppdrett kan flytte ny fisk inn til lokalitet Ytre Hadseløya fra og med 12. juli 2021.

Se vedlagte informasjon om regelverk og rettigheter.

Med hilsen

Lill-Tone Klæboe
avdelingssjef

Dette dokumentet er elektronisk godkjent og sendes uten signatur.
Dokumenter som må ha signatur blir i tillegg sendt i papirversjon.

Vedlegg:
Regelverk og rettigheter
Uttalelse til varsel om vedtak

Nordlaks Oppdrett AS
Postboks 224
8455 STOKMARKNES

Deres ref:
Vår ref: 2021/224270
Dato: 10. november 2021
Org.nr: 985399077

Statens tilsyn for planter, fisk, dyr og næringsmidler

Mattilsynet

Mattilsynet fant ingen brudd på regelverket etter inspeksjon 2. november, vi varsler vedtak om gebyr - Ytre Hadseløya

Vi viser til inspeksjonen hos Nordlaks Oppdrett AS 2. november 2021.

Inspeksjonen ble utført av seniorinspektør Erna Marie Sommerhaug. Akvatekniker Teodor Hellesvik, daglig leder Eirik Welde, kaptein Morten Boassen og akvatekniker Rikard Kjellså var til stede under inspeksjonen.

Tilsynet omfattet

- 39777 - YTRE HADSELØYA, Lokalitetsnummer 39777

Dette brevet inneholder en tilbakemelding om hva vi observerte under inspeksjonen. I tillegg varsler vi om at vi vurderer å gi dere gebyr. Vi sender dette varselet fordi dere skal få anledning til å gi en uttalelse før vi avgjør om vi skal fatte det gebyret vi varsler.

Frist for å gi uttalelse:
Dersom dere er uenige i gebyret som vi varsler eller har andre merknader til dette brevet, ber vi om at dere gir tilbakemelding til oss så raskt som mulig, og senest innen **19. november**. Etter denne datoen vil vi vurdere eventuelle tilbakemeldinger som dere kommer med, og avgjøre om vi skal gi gebyret som vi varsler om i dette brevet.

Oppsummering av inspeksjonen
Mattilsynet fant ingen avvik fra de kravene i regelverket vi undersøkte vedrørende fiskehelse/-velferd og lakselus. Lokaliteten virket veldrevet og personellet har fokus på kontinuerlig utvikling for å forbedre og optimalisere den daglige driften.

Det er andre generasjon med fisk på lokaliteten. Fisken ble flyttet inn fra tilgrensende koordineringsområde og lokalitetene Helgeneshamn, Sørvika og Brottøy i perioden fra 12. juli til 2. august.
Før flytting ble det gjennomført helsekontroller med prøveuttak, og ved PCR-analyse ble det påvist IPNV, PRV, branchiomonas og parvicapsula på deler av fisken.

Mattilsynet
Region Nord

Saksbehandler: Erna Marie Sommerhaug
Tlf: 22 40 00 00 / 22778127
E-post: postmottak@mattilsynet.no
(Husk mottakers navn)

www.mattilsynet.no
Postadresse:
Felles postmottak, Postboks 383
2381 Brumunddal
Telefaks: 23 21 68 01

Basert på deres egne innrapporterte biomassetall for lokaliteten ser vi at det fra utsett til og med september har vært en akkumulert dødelighet tilsvarende 1,36 %. Dette tallet inkluderer dødelighet i tilknytning til ferskvannsbehandling mot lus og flyttingen av fisk inn i anlegget.

Fisken i merd 5 ble tatt ut 23. oktober. Ny fisk ble flyttet inn i merden fra merd 1 i tilknytning til behandling med azamethiphos 27. oktober 2021.

Nytt siden sist Mattilsynet var på kontroll var at dere hadde utviklet en lokalt tilpasset robot/ oppsamlingskorg for opptak av svimere. Vår vurdering etter å ha observert roboten i drift var at tapere/svimerne antakelig må være mer død enn levende for å la seg fange. Oppsamlingskorgen virket også noe grunn. Det må tas hensyn til at fisken må ha tilstrekkelig med vann i korgen inntil den blir bedøvd før avliving slik at den ikke utsettes for lidelse og kvelning. Dere benytter også metodene med personkorg og handhåving samt en lettere avkastnot for å ta opp tapere/svimere.
Dere har også utbedret ensilasjetankene for dødfisk slik at det er bedre omrøring på disse. Det er bra og viktig at omrøringen av ensilasjen er god slik at massen er homogen og holder en konstant pH lavere enn 4.

Følgende ble kontrollert:

- Månedlige helsekontroller: I orden
- Månedlige PD-prøver: I orden
- Medlepliktige hendelser: Meldt inn en hendelse etter flytting av fisk inn i anlegget. Forøket dødelighet ble relatert til skader i tilknytning til trenging av fisken ved flytting. Helsekontroll ble gjennomført og det ble tatt ut relevante prøver: I orden
- Lusehåndtering: Lokaliteten har i flere uker ligget tett under maksgrensen, og dere har fokus på problematikken. Fisken ble behandlet med ferskvann ved flytting inn i anlegget. Fiskehelsepersonellet er med og teller lus i tilknytning til helsekontroller. Siste innrapportering fra dere for uke 44 viste at det er 0,37 voksne hunnlus og 0,21 bevegelige lus per fisk i anlegget. Lokaliteten ligger foreløpig innenfor regelverkskravet om at det for inneværende periode til enhver tid skal være færre enn 0,5 voksne hunnlus per fisk i anlegget: I orden
- Renhold og hygiene av utstyr: Lokalitetens utstyr i tilknytning til fisken var rent. Utstyret deles ikke med andre lokaliteter: I orden
- Merdmiljø: Nøter var i ferd med å bli vasket, oksygenovervåkningen logges kontinuerlig. Ved oksygenmetning lik 80 % kobler thruster tilknyttet gjeldende merd seg automatisk inn og vann fra utsiden av anlegget blir dermed pumpet inn i gjeldende merd. Mattilsynet observerte at dette fungerte da thruster tilknyttet merd 3 koblet seg inn under inspeksjonen: I orden
- Fisken i anlegget: Normal atferd: I orden
- Dødfiskopptak/-håndtering: Det benyttes Lift Up, elbedøver og/eller slag mot hode for opptak og bedøving av fisk før avliving. Kvernkapasiteten er på 12 tonn per time. Dette er tilstrekkelig kapasitet under normal drift. Skulle det bli behov for større kvernkapasitet kan Hordafor tilkalles for kverning rett i båt. Handelsdokument fra levering av ensilasje 22. august ble også kontrollert: I orden
- Beredskapsplanen for sykdom og massedød var tilgjengelig på lokaliteten. Planen var sist oppdatert 14. september 2021: I orden

Vi viser til tilsynskvitteringen av 2. november hvor observasjonene vi gjorde under inspeksjonen er gjengitt.

Tilsynet omfattet prøveuttak av 30 fisk til A-prøver for analyse mht. fremmedstoffer, se vedlegg

Konklusjon:
Vi har i forbindelse med denne inspeksjonen ikke funnet forhold som trenger videre oppfølging fra vår side.

Varsel om vedtak om gebyr
Gebyret for inspeksjon av akvakulturanlegg er fastsatt til kr 9 810,00 på grunnlag av medgått tid innenfor 12 timeverk og oppover (med hjemmel i Forskrift 3. april 2017 nr. 426 om gebyr til dekning av utgifter ved tilsyn og kontroll med fiskehelse og fiskevelferd i akvakulturanlegg § 3).

Gebyret inkludere forberedelse, transport, inspeksjon, prøvetaking og etterarbeid. Vi har brukt mer enn 12 timer på inspeksjonen.

Se vedlegg om regelverk og rettigheter.

Med hilsen

Lill-Tone Klæboe
avdelingssjef

Dette dokumentet er elektronisk godkjent og sendes uten signatur.
Dokumenter som må ha signatur blir i tillegg sendt i papirversjon.

Vedlegg:
Se vedlegg med regelverk og rettigheter
Uttalelse til varsel om vedtak
Informasjon om prøveuttak

Postsmoltfasen

Tabell 1. Tabellen viser nøkkeltall fra produksjonen på postsmoltlokalitetene Helgeneshamn (gruppe 2.1), Brottøy (Gruppe 2.2) og Sørvika (Gruppe 2.3)

	Enhet	Utsettsdato	Utsatt Antall	Utsett Vekt	Avgang %	Temp. gj.snitt.	Antall fôrdager	Utforet mengde	Daglig tilv-%	bFF	VF3
Gruppe 2.1	HH - M1	20.08.2020	159 763	75,50	2,52 %	7,54	318	227 241	0,892	1,120	3,07
	HH - M2	20.08.2020	159 947	75,50	1,73 %	7,55	319	212 022	0,870	1,106	2,91
	HH - M3	20.08.2020	159 637	92,50	1,52 %	7,59	318	237 205	0,829	1,127	2,98
	HH - M4	20.08.2020	160 424	92,50	1,63 %	7,63	321	248 314	0,833	1,118	2,98
	HH - M5	18.08.2020	160 279	97,00	1,27 %	7,62	325	271 316	0,843	1,122	3,05
	HH - M6	18.08.2020	160 055	81,50	1,59 %	7,65	333	248 027	0,863	1,108	2,95
	HH - M7	18.08.2020	160 152	89,26	1,63 %	7,67	335	256 755	0,842	1,109	2,93
	HH - M8	18.08.2020	159 094	97,00	1,40 %	7,69	336	249 817	0,807	1,116	2,88
	HH - M9	18.08.2020	159 454	81,50	1,81 %	7,70	338	243 296	0,844	1,110	2,93
	HH - M10	20.08.2020	159 823	83,98	2,42 %	7,58	320	201 511	0,818	1,110	2,81
	Totalt		**1 598 628**	**86,62**	1,75 %	7,6		2 395 504		1,115	
Gruppe 2.2	BR-M1	30.10.2020	198 712	287,40	8.19 %	7,48	337	676 794	0,724	1,081	3,49
	BR-M8	28.10.2020	197 782	315,60	5.59 %	7,47	329	641 136	0,684	1,073	3,32
	Totalt		**396 494**	**301,47**	**9,95 %**	**7,47**		**1 317 931**		**1,075**	
Gruppe 2.3	SØ-M1	07.08.2020	198 487	239,60	13,98 %	7,90	352	498 730	0,696	1,041	2,82
	SØ-M2	07.08.2020	198 907	229,60	4,09 %	7,93	353	554 522	0,709	1,044	2,90
	Totalt		**397 394**	**234,59**	**9,03 %**	**7,92**	**354**	**1 053 252**		**1,043**	
	Totalt		**2 392 516**	**146,81**	**4,32 %**	**7,64**		**4 766 687**			

Tabell 2. Tabellen viser oversikt over smittekartleggingen fra gruppe 2.1, Helgeneshamn før fisken ble overført til havfarmen. Prøvene ble tatt ut 28.06.21. De ble også tatt ut 20 ekstra prøver 09.07.21 som ble analysert for SAV.

Agens	Vev	Antall prøver	Antall påvist	Antall ikke påvist	Mengde agens
Branchiomonas cysticola	Gjelle	50	50	0	Lav- moderat
Salmonid Gill Pox Virus (SGPV)	Gjelle	50	0	50	-
Salmonid alphavirus (PD)	Hjerte	70	0	70	-
Piscine Reovirus (PRV)	Hjerte	50	48	2	Lav – moderat (1 stk. høy)
Piscine myocarditis virus (PMCV)	Hjerte	50	0	50	-
Infeksiøs lakseanemi virus (ILA)	Hjerte	50	0	50	-
Infeksiøs pankreas nekrose virus (IPN)	Nyre	50	23	27	Lav - moderat
Parvicapsula pseudobranchicola (Parvicapsulose)	Gjelle	50	50	0	Lav - moderat

Tabell 3. Tabellen viser oversikt over smittekartleggingen fra gruppe 2.2, Brottøy før fisken ble overført til havfarmen. Prøvene ble tatt ut 29.06.21. Det ble også tatt ut 60 PD-prøver 25.07.21

Agens	Vev	Antall prøver	Antall påvist	Antall ikke påvist	Mengde agens
Branchiomonas cysticola	Gjelle	60	3	57	Lav
Salmonid Gill Pox Virus (SGPV)	Gjelle	60	3	57	Lav
Salmonid alphavirus (PD)	Hjerte	120	0	120	-
Piscine Reovirus (PRV)	Hjerte	60	50	10	Moderat – høy (M1, M8 og M9)
Piscine myocarditis virus (PMCV)	Hjerte	60	0	15	-
Infeksiøs lakseanemi virus (ILA)	Hjerte	61	0	15	-
Infeksiøs pankreas nekrose virus (IPN)	Nyre	60	34	26	Lav - moderat
Parvicapsula pseudobranchicola (Parvicapsulose)	Gjelle	60	60	0	Lav - moderat

Tabell 4. Tabellen viser oversikt over smittekartleggingen fra gruppe 2.3, Sørvika før fisken ble overført til havfarmen. Det ble tatt ut vev fra hjerte, gjelle og nyre fra fem fisker fra hver av merdene 28.06.21. 10 ekstra prøver ble tatt ut 05.07.21 fra merde 2 for analyse av PRV og PMCV.

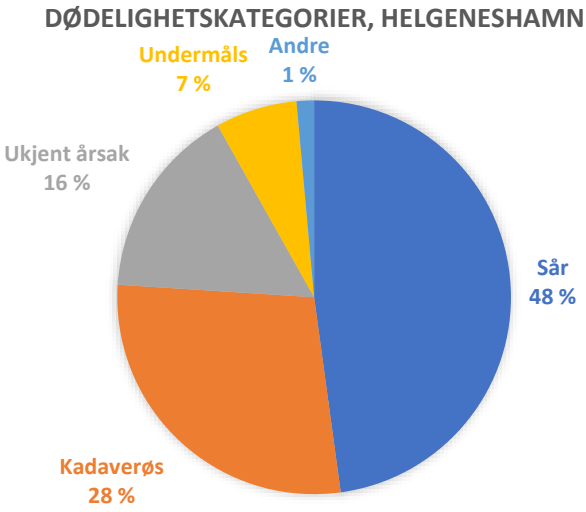
Agens	Vev	Antall prøver	Antall påvist	Antall ikke påvist	Mengde agens
Branchiomonas cysticola	Gjelle	10	10	0	Lav – moderat
Salmonid Gill Pox Virus (SGPV)	Gjelle	10	0	10	-
Salmonid alphavirus (PD)	Hjerte	10	0	10	-
Piscine Reovirus (PRV)	Hjerte	20	19	1	Lav – moderat
Piscine myocarditis virus (PMCV)	Hjerte	20	0	20	-
Infeksiøs lakseanemi virus (ILA)	Hjerte	10	0	10	-
Infeksiøs pankreas nekrose virus (IPN)	Nyre	10	3	7	Lav - moderat
Parvicapsula pseudobranchicola (Parvicapsulose)	Gjelle	10	9	1	Lav - moderat

Tabell 5. Diagnoseliste for postsmoltlokalitenene etter smittekartlegging 28.06.2021.

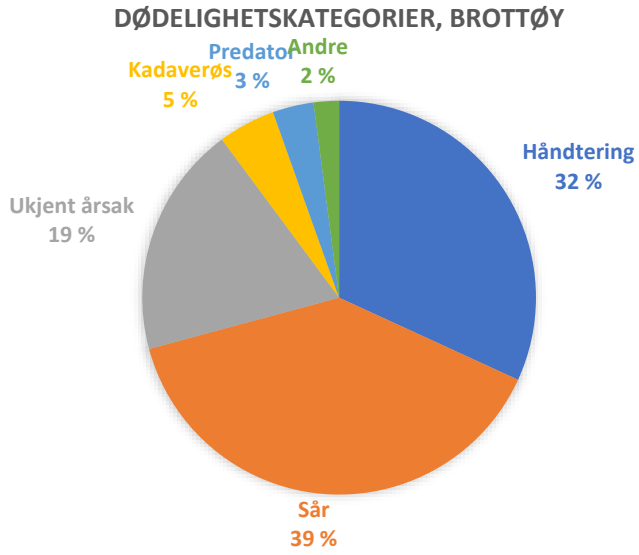
Lokalitet	Dato	Antall prøver	Diagnose	Metode
Helgeneshamn	28.06.2021	10	HSMB	Histologi
Sørvika	28.06.2021	10	HSMB	Histologi
Brottøy	28.06.2021	10	HSMB og Parvicapsulose (1 fisk, M8)	Histologi

Tabell 6. Diagnoseliste for postsmoltlokalitenene

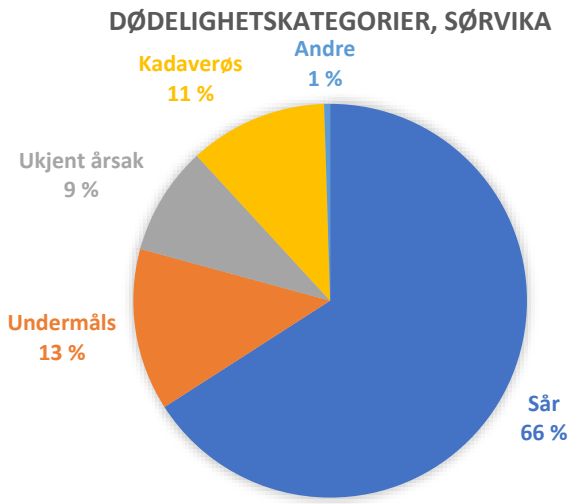
Lokalitet	Dato	Diagnose	Metode
Helgeneshamn	12.01.2021	Bakteriell sårinfeksjon merde 10	Histologi, immunhistokjemi og bakteriologi
	09.04.2021	Bakteriell sårinfeksjon (*Moritella viscosa* og *Tenacibaculum* sp.) merde 9. Sparsom grad av hjertebetennelse	Histologi og bakteriologi
Brottøy	17.03.2021	Bakteriell sårinfeksjon/vintersår fire fisk fra M1 Sirkulasjonsforstyrrelse, mistanke om nefrokalsinose.	Histologi og bakteriologi
Sørvika	20.10.2020	Avmagring, gjelleiritasjon, gjelleblødning, mistanke om salmon gill poxvirusinfeksjon	Histologi
	16.11.2020	Påvist IPNV på tre fisk fra M2 og to fisk M1	Histologi og qPCR



Figur 1. Figuren viser fordeling av dødelighetskategorier på gruppe 2.1, Helgeneshamn



Figur 2. Figuren viser fordeling av dødelighetskategorier på gruppe 2.2, Brottøy



Figur 3. Figuren viser fordeling av dødelighetskategorier på gruppe 2.3, Sørvika

Utsett av fisk til havfarmen

Tabell 7. Tabellen viser oversikt over fisken i havfarmen.

Merde i havfarmen		Opprinnelseslokalitet og - merde	Flyttedato	Antall	Snittvekt (g)
Gruppe 2.1	M1	Helgeneshamn, merde 1, 2 og 4	13. – 22.07.2021	394 975	1 357
	M2	Helgeneshamn, merde 10, 3 og 4	18. – 22.07.2021	388 924	1358
	M3	Helgeneshamn, merde 5, 6 og 7	21. – 26.07.2021	395 776	1551
	M4	Helgeneshamn, merde 7, 8 og 9	26. – 30.07.2021	390 947	1501
	SUM			1 570 622	1 442
Gruppe 2.2.	M5	Brottøy Merde 1 og 8	08. – 09.08.2021	369 177	2270
Gruppe 2.3	M6	Sørvika Merde 1 og 2	01. – 04.08.2021	361 518	2939
	SUM			2 301 317	1 810

Adferdsregistreringer

Tabell 8. Oversikt over den daglige registreringen av avvik og adferd i havfarmen. For adferdsregistreringene vises antall dager i perioden med registrering av normal (1) og avvikende (2) adferd hos fisken i merdene, samt antall dager med manglende registrering (5). For antall avvikere vises registrering av antall avvikere i ulike intervall. 0 = 0 stk., 1 = 1 – 10 stk., 2 = 11 – 20 stk., 3 = 21 – 50 stk., 4 = > 50 stk., mens 5 = manglende registrering.

ADFERD M1			ANTALL AVVIKERE M1		
Verdi	**Antall**	**%-vis**	**Verdi**	**Antall**	**%-vis**
1	172	93,0 %	0	39	21,1 %
2	2	1,1 %	1	129	69,7 %
5	11	5,9 %	2	6	3,2 %
			3	0	
			4	0	
			5	11	5,9 %

ADFERD M2			ANTALL AVVIKERE M2		
Verdi	**Antall**	**%-vis**	**Verdi**	**Antall**	**%-vis**
1	168	92,8 %	0	33	18,2 %
2	2	1,1 %	1	103	56,9 %
5	11	6,1 %	2	33	18,2 %
			3	1	0,6 %
			4	0	
			5	11	6,1 %

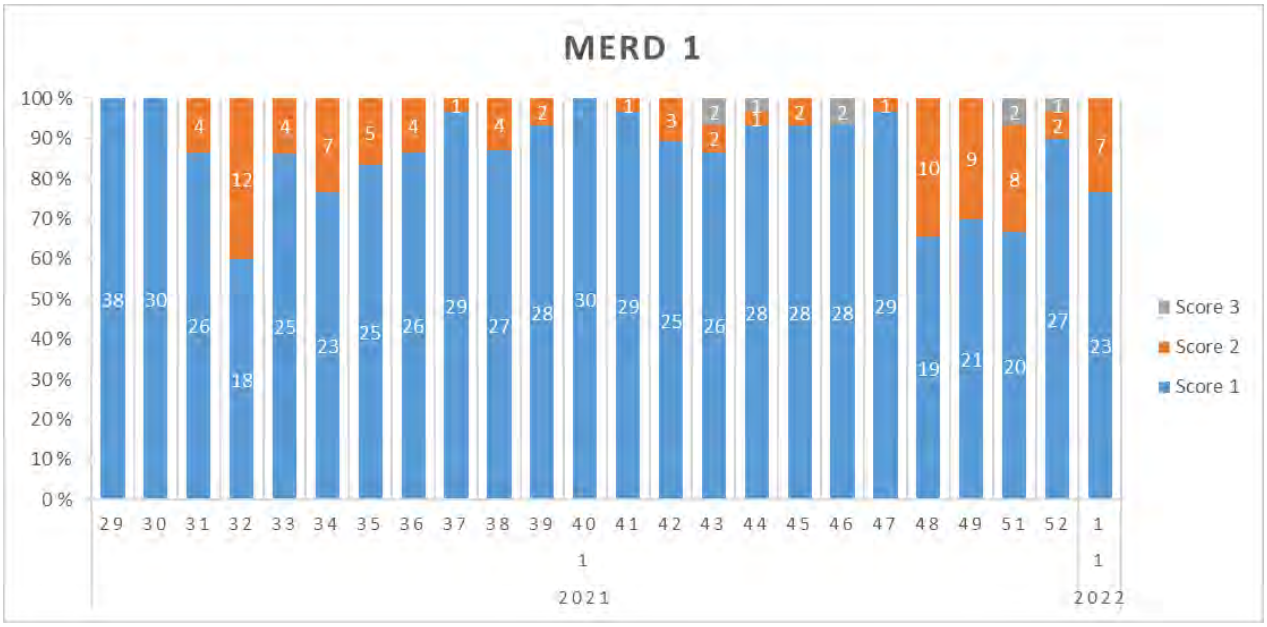
ADFERD M3			ANTALL AVVIKERE M3		
Verdi	**Antall**	**%-vis**	**Verdi**	**Antall**	**%-vis**
1	163	93,7 %	0	21	12,1 %
2	0		1	132	75,9 %
5	11	6,3 %	2	10	5,7 %
			3	0	
			4	0	
			5	11	6,3 %

ADFERD M4			ANTALL AVVIKERE M4		
Verdi	**Antall**	**%-vis**	**Verdi**	**Antall**	**%-vis**
1	160	92,5 %	0	34	19,7 %
2	2	1,2 %	1	111	64,2 %
5	11	6,4 %	2	17	9,8 %
			3	0	
			4	0	
			5	11	6,4 %

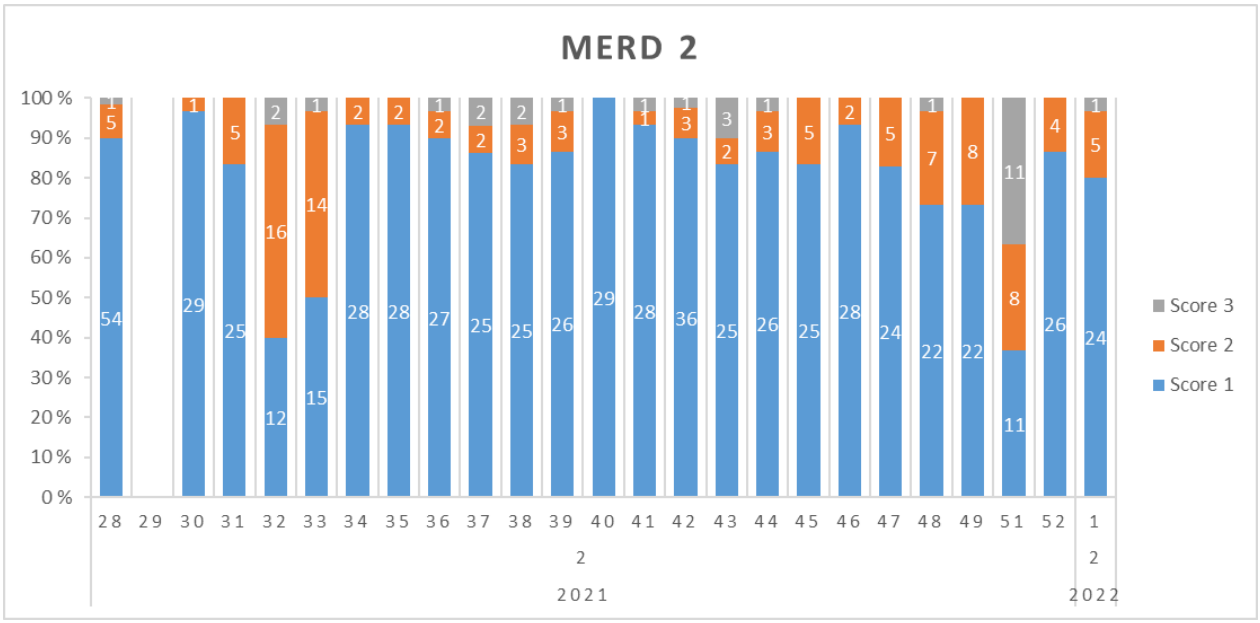
ADFERD M5			ANTALL AVVIKERE M5		
Verdi	**Antall**	**%-vis**	**Verdi**	**Antall**	**%-vis**
1	83	64,8 %	0	0	
2	34	26,6 %	1	80	68,4 %
5	11	8,6 %	2	37	31,6 %
			3	0	
			4	0	
			5	0	

ADFERD M6			ANTALL AVVIKERE M6		
Verdi	**Antall**	**%-vis**	**Verdi**	**Antall**	**%-vis**
1	78	94,0 %	0	28	33,7 %
2	0		1	50	60,2 %
5	5	6,0 %	2	0	
			3	0	
			4	0	
			5	5	6,0 %

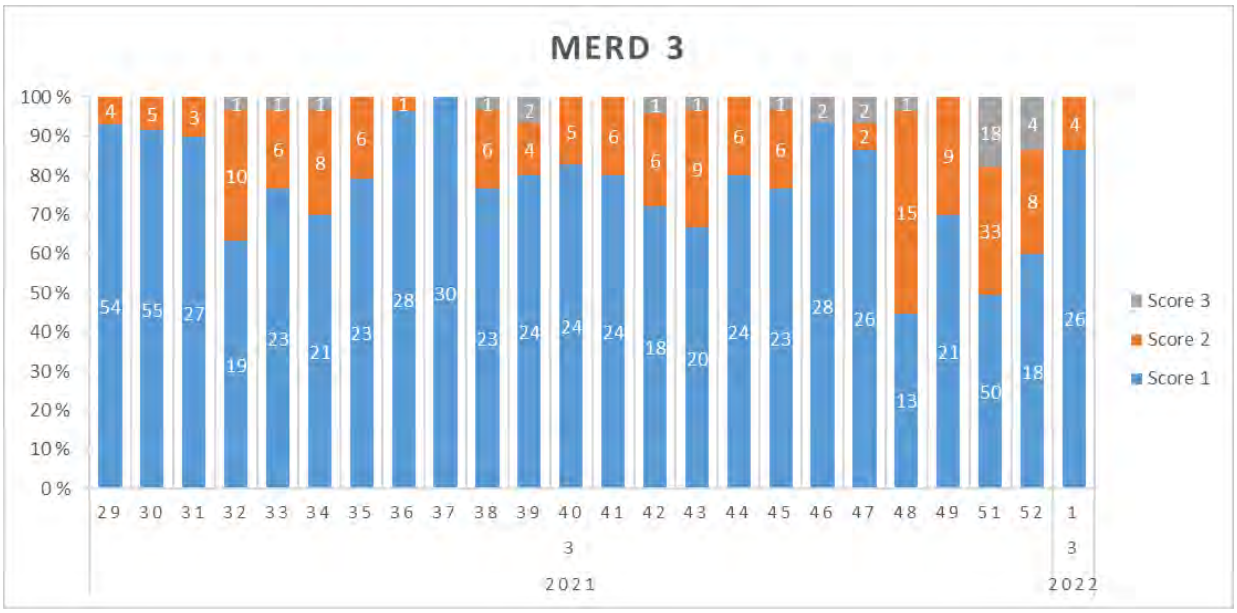
Forenklet velferdsscoring



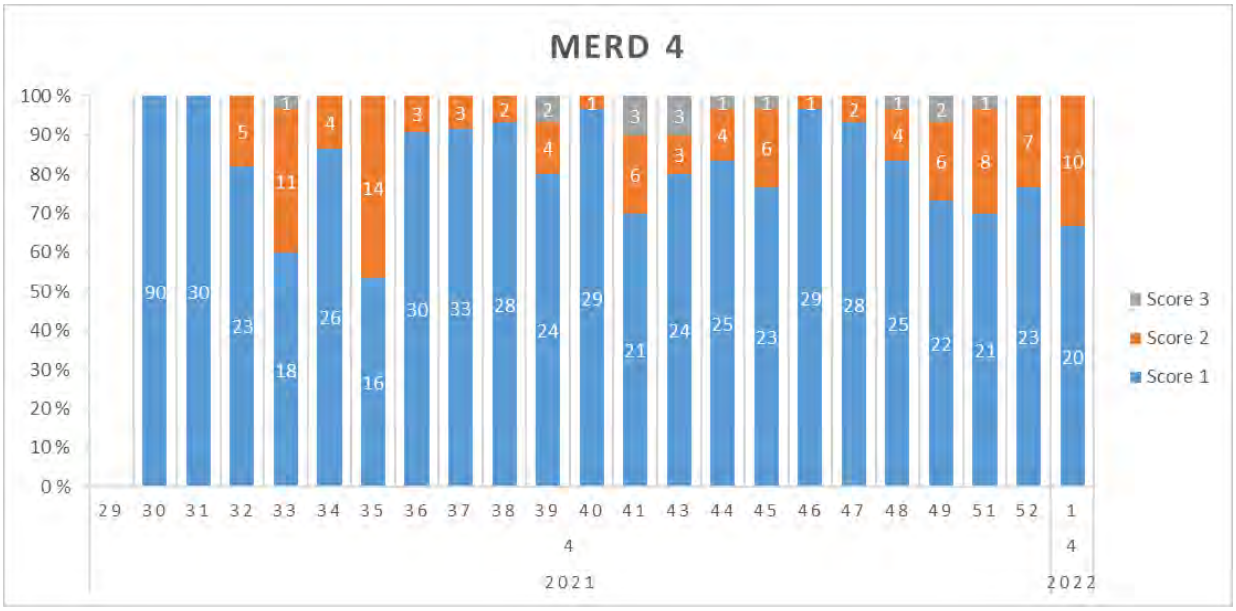
Figur 4. Figuren viser resultatet av den ytre velferdsscoringen for merde 1 i havfarmen. Velferdsscoringen har hovedsakelig blitt utført ukentlig fra og med utsett, til og med slakt eller 14. januar 2022. Fisken er scoret på en skala fra 1 – 3 hvor økende score indikerer lavere velferd.



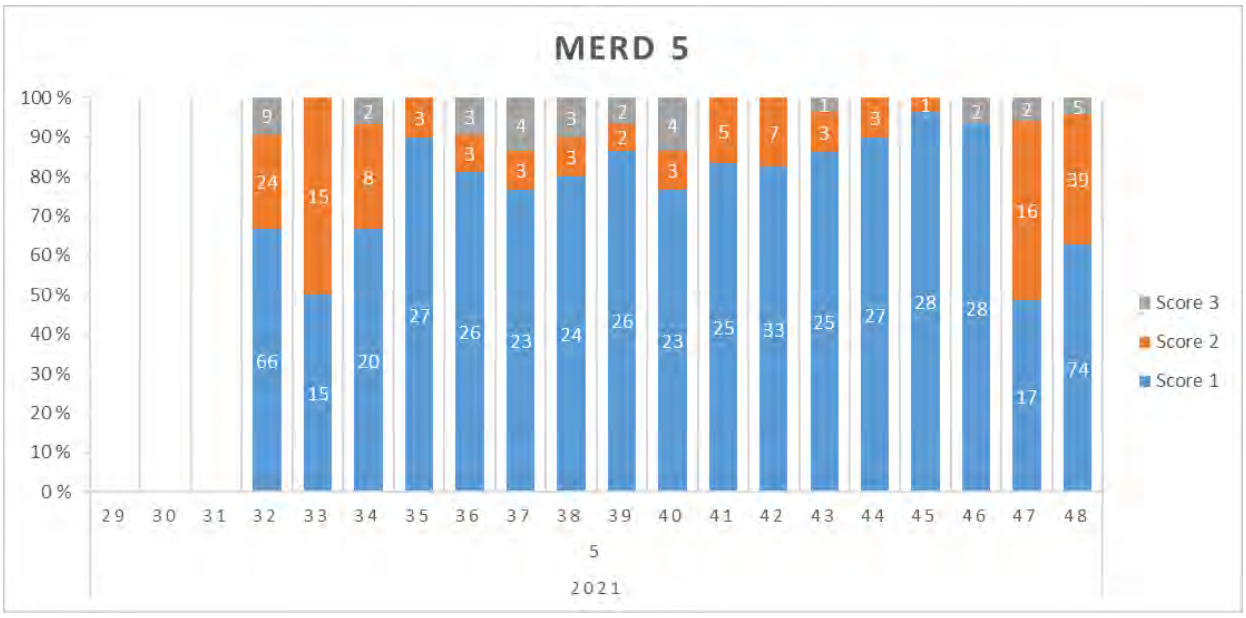
Figur 5. Figuren viser resultatet av den ytre velferdsscoringen for merde 2 i havfarmen. Velferdsscoringen har hovedsakelig blitt utført ukentlig fra og med utsett, til og med slakt eller 14. januar 2022. Fisken er scoret på en skala fra 1 – 3 hvor økende score indikerer lavere velferd.



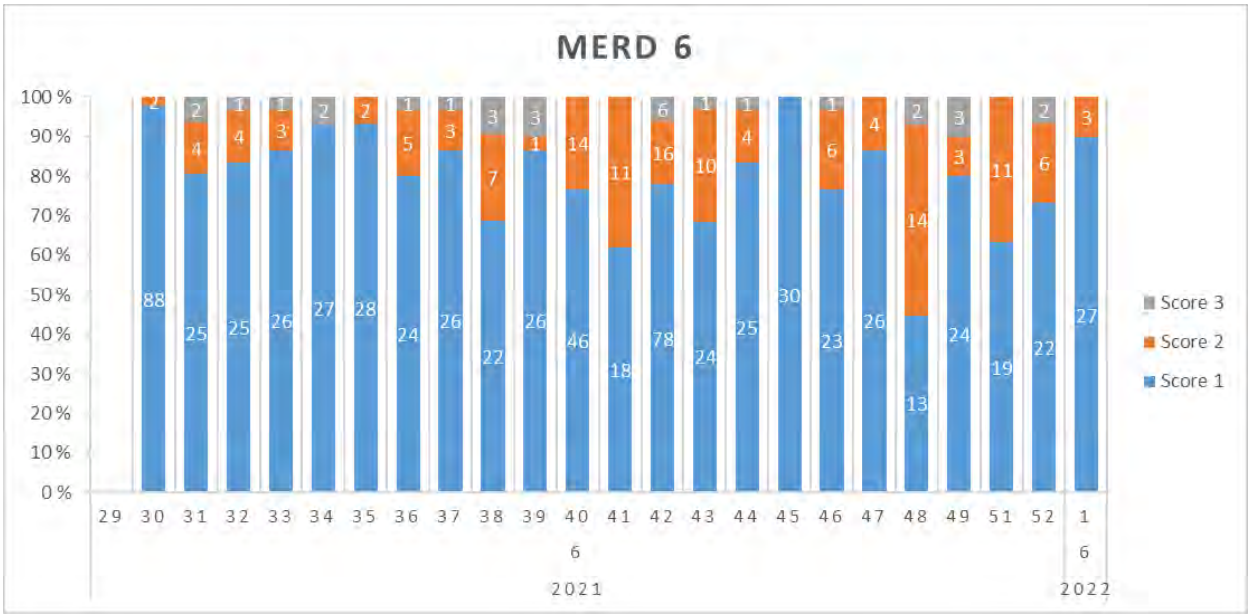
Figur 6. Figuren viser resultatet av den ytre velferdsscoringen for merde 3 i havfarmen. Velferdsscoringen har hovedsakelig blitt utført ukentlig fra og med utsett, til og med slakt eller 14. januar 2022. Fisken er scoret på en skala fra 1 – 3 hvor økende score indikerer lavere velferd.



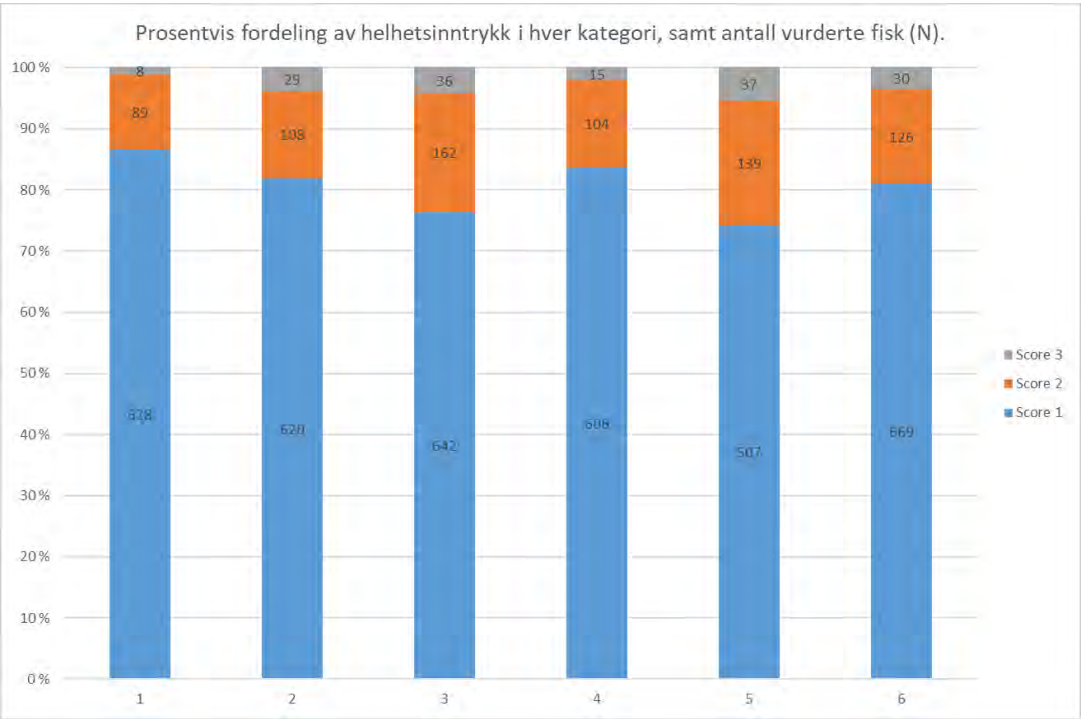
Figur 7. Figuren viser resultatet av den ytre velferdsscoringen for merde 4 i havfarmen. Velferdsscoringen har hovedsakelig blitt utført ukentlig fra og med utsett, til og med slakt eller 14. januar 2022. Fisken er scoret på en skala fra 1 – 3 hvor økende score indikerer lavere velferd.



Figur 8. Figuren viser resultatet av den ytre velferdsscoringen for merde 5 i havfarmen. Velferdsscoringen har hovedsakelig blitt utført ukentlig fra og med utsett, til og med slakt eller 14. januar 2022. Fisken er scoret på en skala fra 1 – 3 hvor økende score indikerer lavere velferd.



Figur 9. Figuren viser resultatet av den ytre velferdsscoringen for merde 6 i havfarmen. Velferdsscoringen har hovedsakelig blitt utført ukentlig fra og med utsett, til og med slakt eller 14. januar 2022. Fisken er scoret på en skala fra 1 – 3 hvor økende score indikerer lavere velferd. Merk at i uke 43 ble den opprinnelig merde 6 slaktet ut, og registreringer i etterkant av dette er gjennomført på fisk som kommer fra merde 1.



Figur 10. Figuren viser resultatet av den ytre velferdsscoringen for alle merdene i havfarmen. Velferdsscoringen har hovedsakelig blitt utført ukentlig fra og med utsett, til og med slakt eller 14. januar 2022. Fisken er scoret på en skala fra 1 – 3 hvor økende score indikerer lavere velferd.

Tabell 9. Tabellen viser oversikt over resultatet av de forenklede velferdsscoringene (antall og prosent) for samtlige merder i havfarmen fra og med utsett, til og med 14. januar 2022.

	Score 1 (antall)	Score 1 (prosent)	Score 2 (antall)	Score 2 (prosent)	Score 3 (antall)	Score 3 (prosent)	SUM (antall)
M1	628	86,62	89	12,28	8	1,10	725
M2	620	81,90	108	14,27	29	3,83	757
M3	642	76,43	162	19,29	36	4,29	840
M4	608	83,63	104	14,31	15	2,06	727
M5	507	74,23	139	20,35	37	5,42	683
M6	669	81,09	126	15,27	30	3,64	825
SUM	3674	80,65	728	15,96	155	3,39	4557

Smittekartlegging og diagnoseliste

Tabell 10. Tabellen viser oppsummerte resultater av prøver tatt ut i forbindelse med helsetilsyn i havfarmen.

Dato	Merde	Diagnose	Metode	Kommentar
23.07.2021	M2	HMSB 1/5 fisk, mistanke om HSMB i 1/5 fisk, hudskade og muskelbetennelse	Histologi	Dødfisk
09.08.2021	M5	HSMB 5/5 fisk Branchiomonas cysticola i 1/5 fisk (lave nivåer), PRV i 5/5 fisk (moderate nivåer) PMCV (0/5)	qPCR og histologi	Dødfisk
13.08.2021	M5 og M6	PRV i 9/10 fisk	qPCR	Frisk fisk (Fôrforsøk)
13.08.2021	M5	HSMB i 5/5 fisk	Histologi	Dødfisk
08.11.2021	M5	Gjellebetennelse 5/5 fisker. Mistanke om HSMB i tidlig fase i 1/5 fisker. Sparsom hjertebetennelse Påvist Epiteliocyster, og Costia, *Ictyobodo necator.* Påvist innkapslet parasitt i hud 1/5 fisker	Histologi	1 dødfisk, resten svimere
03.12.2021	M3	Bakteriell sårinfeksjon *Moritella viscosa* 2/5 fisker, *Tenacibaculum* sp. 2/5 fisker. Gjelleirritasjon og funn forenelig med CMS/HSMB i 2/5 fisker.	Histologi og bakteriologi	Dødfisk

Tabell 11. Tabellen viser oversikt over resultat fra prøver tatt ut i forbindelse med månedlige undersøkelser til dokumentasjonsprogrammet.

Dato	Merde	Diagnose	Metode	Kommentar
13.08.2021	M5 og M6	PRV i 9/10 fisk	qPCR	Frisk fisk
26.08.2021	M2, M5 og M6	PMCV 0/30	qPCR	Frisk fisk
26.08.2021	M2	Påvist PGI/kompleks gjellebetennelse, branchitis, Epiteliocystis og *Ictyobodo sp.*	Histologi	Frisk fisk
26.08.2021	M5	Påvist branchitis, og Epiteliocystis	Histologi	Frisk fisk
26.08.2021	M6	Påvist branchitis, *Ictyobodo sp.*og Epiteliocystis	Histologi	Frisk fisk
28.09.2021	M2, M5 og M6	PMCV 0/30	qPCR	Frisk fisk
28.09.2021	M2	Påvist PGI/kompleks gjellebetennelse, branchitis, Epiteliocystis og *Ictyobodo sp.*	Histologi	Frisk fisk
18.10.2021	M2, M5 og M6	PMCV 1/10 fisker M6 (lav) PMCV 2/10 fisker M5 (lav -moderat)	qPCR	Frisk fisk
18.10.2021	M2	Påvist Branchitis, lamellær hypertrofi/hyperplasi og *Ictyobodo sp.*	Histologi	Frisk fisk
18.10.2021	M5	Påvist Epiteliocyster, branchitis og lamellær hypertrofi/hyperplasi	Histologi	Frisk fisk

18.10.2021	M6	Påvist Epiteliocyster, branchitis, parasitt (lus), lamellær hypertrofi/hyperplasi og *Ictyobodo sp.*	Histologi	Frisk fisk
26.11.2021	M2	Påvist *Ictyobodo* sp. i sparsomt antall og epiteliocyster i sparsomt antall. Lamellær hypertrofi/hyperplasi og slimcellehyperplasi.	Histologi	Frisk fisk
26.11.2021	M5	Påvist *Ichthyobodo* sp. i moderat antall (10 individer), inflammasjon i lameller i sparsom til moderat grad. Lamellær hypertrofi/hyperplasi og slimcellehyperplasi i moderat grad (10 individer)	Histologi	Frisk fisk
20.12.2021	M2	Inflammasjon i lameller i sparsom til moderat grad, lamellær hypertrofi/hyperplasi, slimcellehyperplasi. kjempecelledannelse i lameller i sparsom grad (1 individ).	Histologi	Frisk fisk

Tabell 12. Tabellen viser resultat fra PD-prøvene tatt i perioden.

Dato	Merde	Diagnose	Metode	Kommentar
23.07.2021	M1 og M2	0/20 positive for SAV	qPCR	Svimere, dødfisk
03.08.2021	Alle	0/20 positive for SAV	qPCR	Svimere, dødfisk
16.09.2021	M1, M5 og M6	0/21 positive for SAV	qPCR	Svimere, dødfisk
18.10.2021	M2	0/20 positive for SAV	qPCR	Frisk fisk
08.11.2021	M5	0/20 positive for SAV (men 2 prøver ble ikke godkjent, dermed 18 negative)	qPCR	Svimere
20.12.2021	M2 og M3	0/20 positive for SAV (men 2 prøver ble ikke godkjent, dermed 18 negative)	qPCR	Frisk fisk

Veterinærinstituttet
Norwegian Veterinary Institute

Oslo

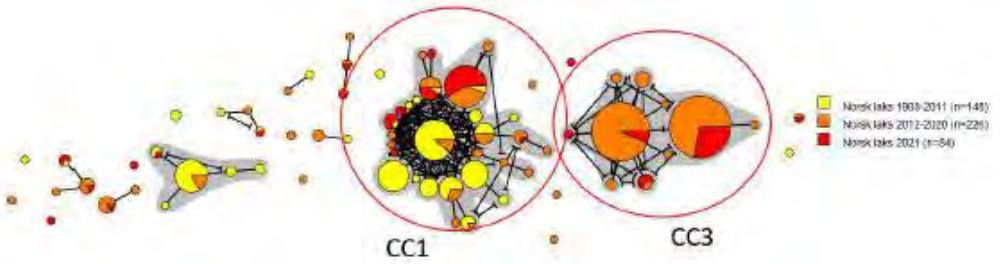
Ullevålsveien 68
Postboks 750 Sentrum - 0106 Oslo

Nordlaks
v/Camilla Robertsen
Bakkelia 11
8403 Sortland

Vår ref: MLVA Moritella 2020-70-1582/F786 01.07.2021

Det ble mottatt ett isolat av *Moritella viscosa* til genotyping med MultiLocus Variable number of tandem repeat Analysis (MLVA). MLVA analysen ble utført etter en metode videreutviklet fra den beskrevet i en Mastersoppgave publisert i 2014 (M. Sørgaard, NMBU) under veiledning av Duncan Colquhoun. MLVA analysen basere seg på slektskapsanalyse av fem genetiske markører i genomet til *M. viscosa*.

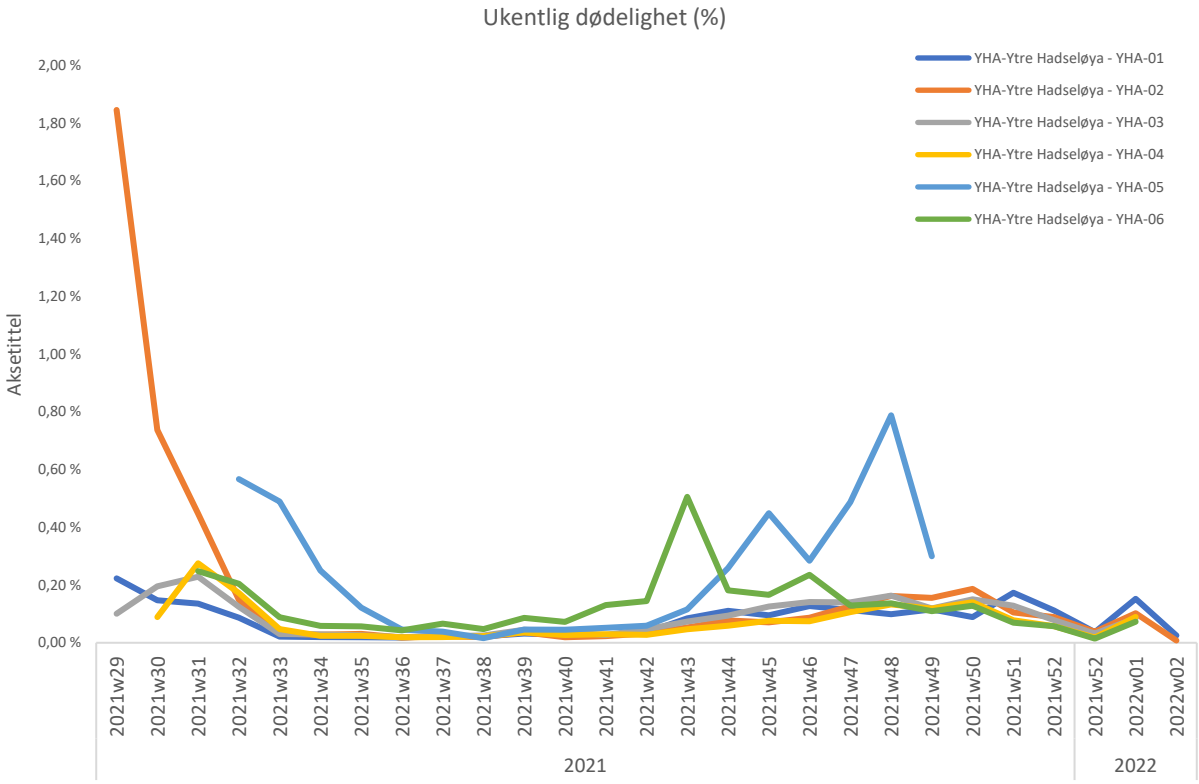
Resultene av analysene viser at isolatet tilhører klonal kompleks 3 (CC3) (også kjent som 'atypisk variant' *M. viscosa*). I materialet undersøkt hos oss har vi ikke påvist CC3 før 2012. Typestammen av *M. viscosa* også kjent som 'typisk' varianten, tilhører CC1.



Mvh

Duncan Colquhoun
Seniorforsker

Dødelighetsutvikling og dødelighetskategorier

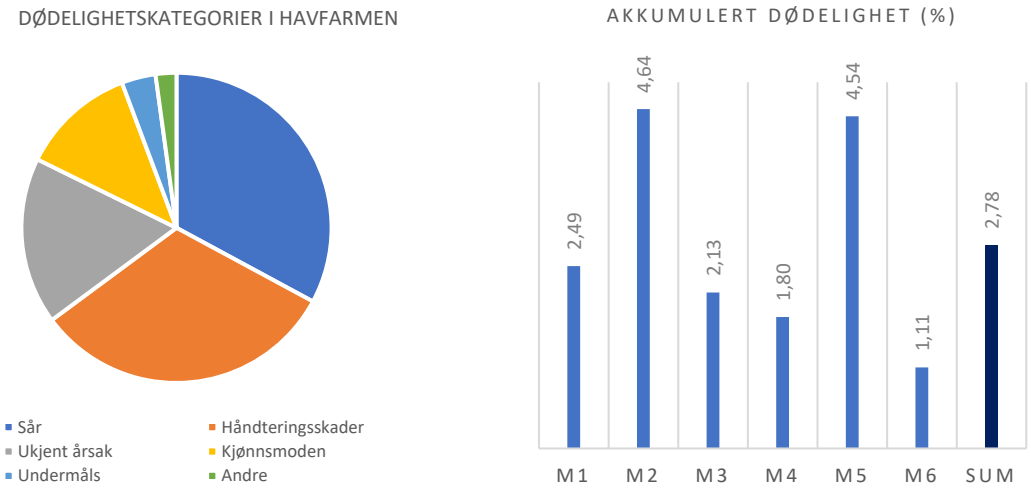


Figur 11. Figuren over viser oversikt over prosentvis, ukentlig avgang per merde i havfarmen fra utsett til og med 14. januar 2022.

Tabell 13. Tabellen viser oversikt over ukentlig, prosentvis dødelighet per merde i havfarmen fra og med utsett til og med slakt eller 14. januar 2022. Uker som er over meldepliktig forøket avgang for fisk over 500 gram (0.175 %) er merket i grått. Merk at fra og med uke 43 er opprinnelig merde 6 slaktet ut, og dødelighetstall i etterkant av dette er basert på fisken som ble flyttet fra merde 1 i forbindelse med avlusingen.

Uke	M1	M2	M3	M4	M5	M6
29	0,22 %	1,85 %	0,10 %			
30	0,15 %	0,74 %	0,20 %	0,09 %		
31	0,14 %	0,45 %	0,23 %	0,28 %		0,25 %
32	0,09 %	0,15 %	0,12 %	0,17 %	0,57 %	0,20 %
33	0,02 %	0,03 %	0,03 %	0,05 %	0,49 %	0,09 %
34	0,02 %	0,03 %	0,03 %	0,02 %	0,25 %	0,06 %
35	0,02 %	0,03 %	0,03 %	0,02 %	0,12 %	0,06 %
36	0,02 %	0,02 %	0,02 %	0,02 %	0,05 %	0,04 %
37	0,02 %	0,02 %	0,02 %	0,02 %	0,04 %	0,07 %
38	0,02 %	0,02 %	0,03 %	0,02 %	0,02 %	0,05 %
39	0,03 %	0,04 %	0,05 %	0,04 %	0,05 %	0,09 %
40	0,03 %	0,02 %	0,04 %	0,03 %	0,05 %	0,07 %
41	0,03 %	0,02 %	0,03 %	0,03 %	0,05 %	0,13 %
42	0,04 %	0,03 %	0,05 %	0,03 %	0,06 %	0,14 %
43	0,08 %	0,05 %	0,07 %	0,05 %	0,12 %	0,51 %

44	0,11 %	0,08 %	0,09 %	0,06 %	0,26 %	0,18 %
45	0,09 %	0,07 %	0,13 %	0,08 %	0,45 %	0,17 %
46	0,13 %	0,09 %	0,14 %	0,07 %	0,28 %	0,24 %
47	0,11 %	0,13 %	0,14 %	0,11 %	0,49 %	0,13 %
48	0,10 %	0,16 %	0,16 %	0,13 %	0,79 %	0,14 %
49	0,12 %	0,16 %	0,12 %	0,12 %	0,30 %	0,11 %
50	0,09 %	0,19 %	0,15 %	0,14 %		0,13 %
51	0,17 %	0,10 %	0,13 %	0,08 %		0,07 %
52	0,11 %	0,09 %	0,08 %	0,06 %		0,06 %
52	0,04 %	0,04 %	0,03 %	0,02 %		0,01 %
1	0,15 %	0,10 %	0,08 %	0,09 %		0,07 %
2	0,02 %	0,01 %				



Figur 12. Figuren over viser dødelighetskategoriene, samt prosentvis, akkumulert dødelighet i havfarmen, fra utsett, til og med 14. januar 2022. Merdene 1-4 utgjør gruppe 2.1, merde 5 utgjør gruppe 2.2 og merde 6 utgjør gruppe 2.3.

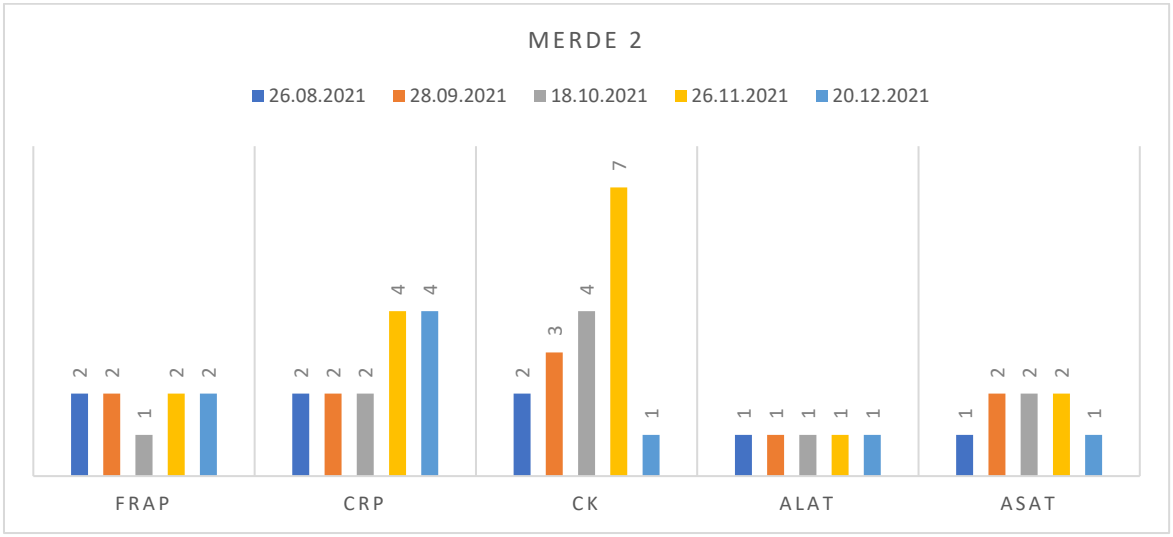
Gjellescoringer

Tabell 14. Tabellen viser resultatet fra de histologiske (mikroskopiske) gjellevurderingene, undersøkt av Veterinærinstituttet i Harstad. Merk at ved uttaket i november var merde 6 slaktet ut, i desember var også merde 5 slaktet ut.

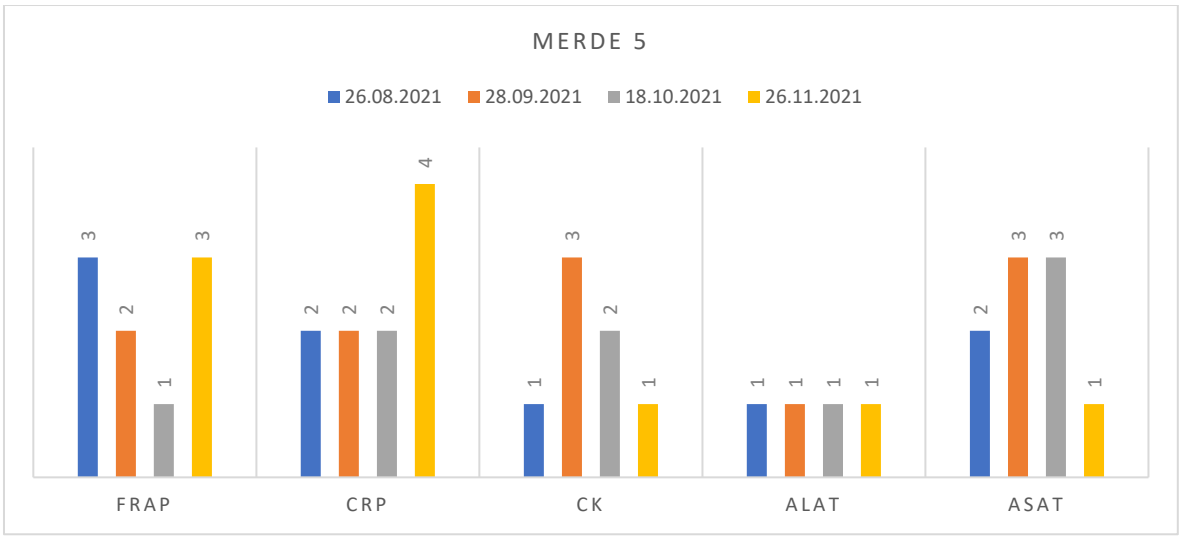
	26-aug			28-Sep			18-okt		
	M2	M5	M6	M2	M5	M6	M2	M5	M6
Score 0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Score 1	0	0	0	2	3	0	6	0	0
Score 2	7	7	8	6	6	6	4	7	7
Score 3	2	3	1	2	1	4	0	3	3
Score 4	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Score 5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Epiteliocyster	8	9	0	3	10	4	0	10	3
Costia	2	0	0	2	5	0	1	5	0

	26.nov			20.des		
	M2	M5	M6	M2	M5	M6
Score 0	0	0		0		
Score 1	0	0		0		
Score 2	7	3		5		
Score 3	3	1		4		
Score 4	0	6		0		
Score 5	0	0		0		
Epiteliocyster	1	0		0		
Costia	3	10		0		

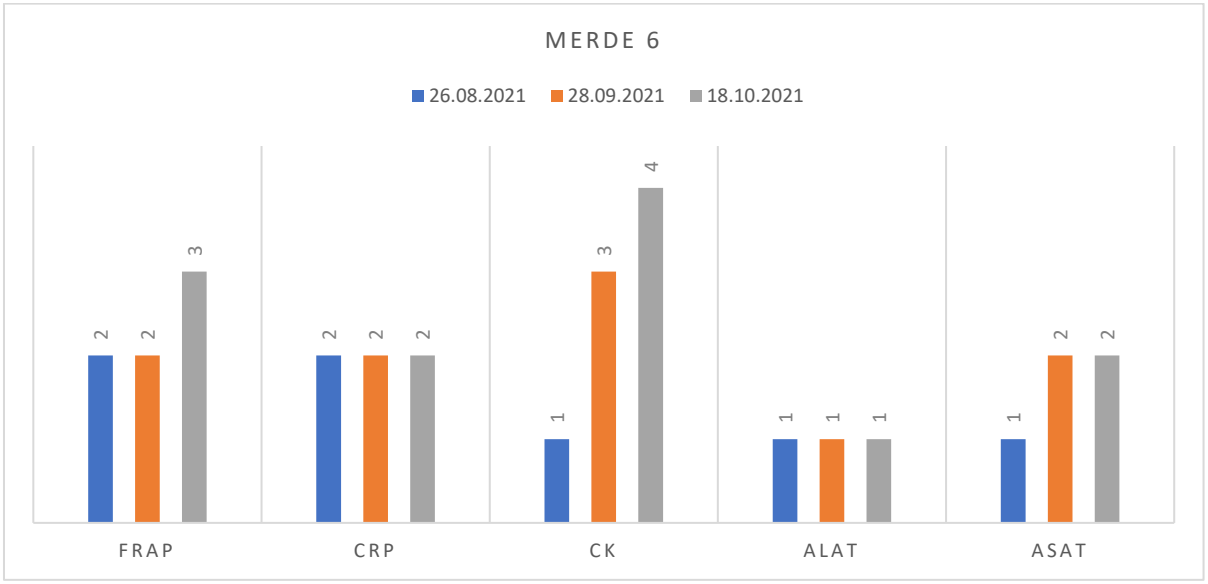
Blodkjemi



Figur 13. Figuren viser resultatet fra blodprøveanalysene fra 10 klinisk friske fisker for merde 2. 1. Nordlaks kjenner ikke absoluttverdiene, men blir tilsendt resultater fra ATLA Aquaculture lab med gjennomsnittsverdier per merde, på en skala 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. FRAP = ferric reducing ability of plasma, CRP = C-reaktivt protein, CK = kreatinkinase, ALAT = alanin transaminase, ASAT = aspartat transaminase.



Figur 14. Figuren viser resultatet fra blodprøveanalysene fra 10 klinisk friske fisker for merde 2. 1. Nordlaks kjenner ikke absoluttverdiene, men blir tilsendt resultater fra ATLA Aquaculture lab med gjennomsnittsverdier per merde, på en skala 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. FRAP = ferric reducing ability of plasma, CRP = C-reaktivt protein, CK = kreatinkinase, ALAT = alanin transaminase, ASAT = aspartat transaminase.



Figur 15. Figuren viser resultatet fra blodprøveanalysene fra 10 klinisk friske fisker for merde 2. 1. Nordlaks kjenner ikke absoluttverdiene, men blir tilsendt resultater fra ATLA Aquaculture lab med gjennomsnittsverdier per merde, på en skala 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. FRAP = ferric reducing ability of plasma, CRP = C-reaktivt protein, CK = kreatinkinase, ALAT = alanin transaminase, ASAT = aspartat transaminase.

Produksjonsdata

Tabell 15. Tabellen viser nøkkeltall fra produksjonen i havfarmen, med VF3, biologisk fôrfaktor, SGR og superiorandel (SUP). Data er behandlet i Microsoft Excel med utgangspunkt i data fra Mercatus fra og med siste fiskelevering per merde til og med slakt eller 14. januar 2022. Tall som ikke er basert på slaktetall er satt i kursiv.

		VF3	FF_{BIO}	SGR	SUP-andel
Gruppe 2.1	M1	*4.03*	*1.14*	*0.77*	
	M2	*3.65*	*1.11*	*0.71*	
	M3	3.63	1.04	0.71	74 %
	M4	*3.59*	*1.13*	*0.68*	
Gruppe 2.2	M5	2.86	1.22	0.56	68.6 %
Gruppe 2.3	M6	3.32	1.18	0.75	92.7 %

AKVA GROUP

CERTIFICATE OF ANALYSIS

Date of sampling:	12.10.2021	**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:	6	**Picture name:**	--
	--	**Certificate num:**	1634109590

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	4.21	3.50	69.0	83.1	1.28	1.07	24.5	5.4	15.7
2	4.15	3.45	68.0	83.1	1.32	1.10	25.6	6.3	15.4
3	4.31	3.58	69.5	83.1	1.28	1.07	25.8	6.4	15.2
4	4.33	3.60	68.5	83.1	1.35	1.12	25.0	5.7	14.3
5	4.14	3.44	70.0	83.1	1.21	1.00	25.9	6.4	16.7
6	4.21	3.50	69.0	83.1	1.28	1.07	24.8	5.7	15.4
7	4.15	3.45	68.0	83.1	1.32	1.10	26.3	6.7	16.6
8	4.31	3.58	69.5	83.1	1.28	1.07	26.3	6.8	16.3
9	4.33	3.60	68.5	83.1	1.35	1.12	25.1	5.9	14.9
10	4.14	3.44	70.0	83.1	1.21	1.00	25.6	6.2	16.3
Average	4.23	3.51	69.0	83.1	1.29	1.07	25.5	6.1	15.7
Std.dev	0.08	0.07	0.7	-	0.05	0.04	0.6	0.5	0.8

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:	2021-10-13	Phone: +47 73842820
		Fax: +47 73842801
Version:	31a / 2.3.1.0	photofish@akvagroup.com

Verified by

Nofima

Oksygen

Eksklusjonskriterier til tabellene og figurene under

For beregning av resultatene er det benyttet et gjennomsnitt av alle datapunkt fra hvert 30. minutt i perioden fra og med hver enkelt merde var komplett til og med 14. januar 2022. For hvert intervall/merd/dyp er det lagt til et metningsintervall. Målinger i merder som er slaktet ut tidligere, ble følgelig avsluttet i forbindelse med dette. Data fra dager hvor sensorene er tatt opp (i forbindelse med eksempelvis utslakt) er ekskludert fra datasettet. Det samme er målinger lik 0.

Dataperiodene for de ulike merdene er:

M1: 13.07.2021 - 14.01.2022, unntatt 24.10.2021 - 27.10.2021 (avlusning)

M2: 13.07.2021 - 14.01.2022

M3: 26.07.2021 - 01.01.2022, utslaktet

M4: 30.07.2021 - 14.01.2022

M5: 09.08.2021 - 01.12.2021, utslaktet

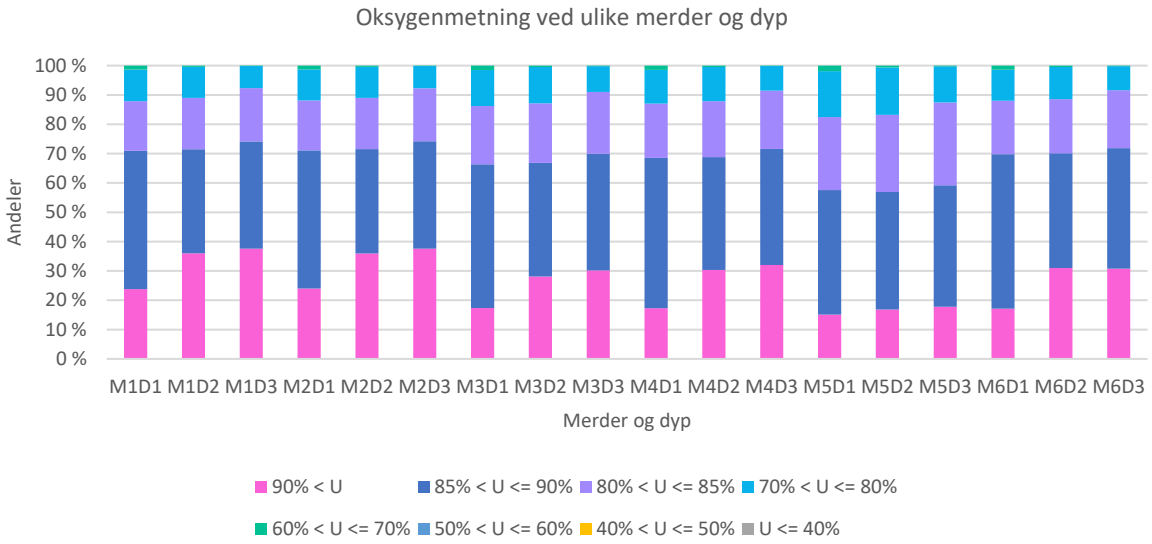
M6: 04.08.2021 - 14.01.2022, unntatt 10.10.2021, 14.10.2021-15.10.2021, 18.10.2021-20.10.2021 (lasting)

Tabell 16. Tabellen viser oversikt over antall registreringer av oksygenmetning, per dyp, per merde i havfarmen gjennom perioden fra utsett var komplett, til og med 14. januar 221, eller 1 uke før utslakt for merder som ble slaktet før dette.

Merd	M1D1	M1D2	M1D3	M2D1	M2D2	M2D3	M3D1	M3D2	M3D3	M4D1	M4D2	M4D3	M5D1	M5D2	M5D3	M6D1	M6D2	M6D3
Merd	**1**	**1**	**1**	**2**	**2**	**2**	**3**	**3**	**3**	**4**	**4**	**4**	**5**	**5**	**5**	**6**	**6**	**6**
Klasse / Dybde	**1**	**2**	**3**	**1**	**2**	**3**	**1**	**2**	**3**	**1**	**2**	**3**	**1**	**2**	**3**	**1**	**2**	**3**
U <= 40%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40% < U <= 50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50% < U <= 60%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
60% < U <= 70%	114	35	13	114	35	13	114	35	13	114	35	13	102	35	13	105	35	13
70% < U <= 80%	930	913	649	931	936	667	931	936	667	922	933	667	845	870	665	790	819	615
80% < U <= 85%	1459	1508	1562	1505	1538	1595	1504	1538	1596	1477	1522	1588	1341	1421	1523	1362	1380	1476
85% < U <= 90%	4061	3056	3149	4151	3139	3229	3710	2934	3009	4092	3076	3163	2291	2159	2235	3936	2925	3072
90% < U	2047	3099	3238	2117	3171	3315	1312	2128	2286	1382	2421	2556	816	910	959	1282	2316	2300
Totalt	8611	8611	8611	8818	8819	8819	7571	7571	7571	7987	7987	7987	5395	5395	5395	7475	7475	7476

Tabell 17. Tabellen viser oversikt over antall oksygenmålinger i ulike intervall i sum for havfarmen i perioden fra utsett var komplett, til og med 14. januar 221, eller 1 uke før utslakt for merder som ble slaktet før dette.

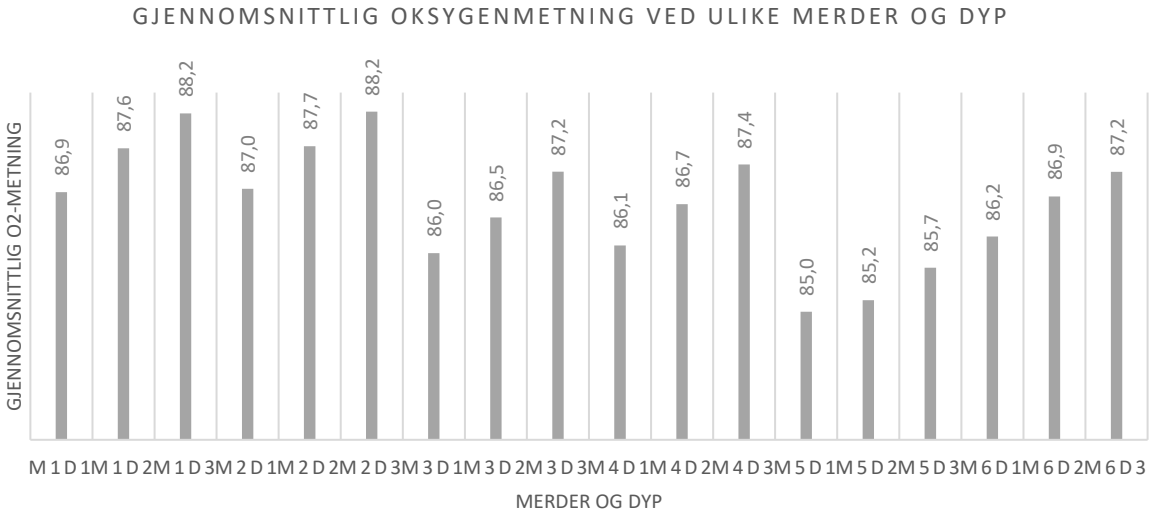
Klasse	Totalt	Prosent
U <= 40%	0	0
40% < U <= 50%	0	0
50% < U <= 60%	0	0
60% < U <= 70%	951	0,7
70% < U <= 80%	14686	10,7
80% < U <= 85%	26895	19,5
85% < U <= 90%	57387	41,7
90% < U	37655	27,4
Totalt	137574	100,0



Figur 16. Figuren viser fordeling av registrerte oksygenverdier etter metning, per merde, per dyp, i løpet av perioden fra utsett til og med enten en uke før slakt, eller 14. januar 2022.

Tabell 18. Tabellen viser en oversikt over sum, antall, gjennomsnitt, maksimumsverdier og minimumsverdier av gjennomsnittlig oksygenmetning for alle merder, alle dyp.

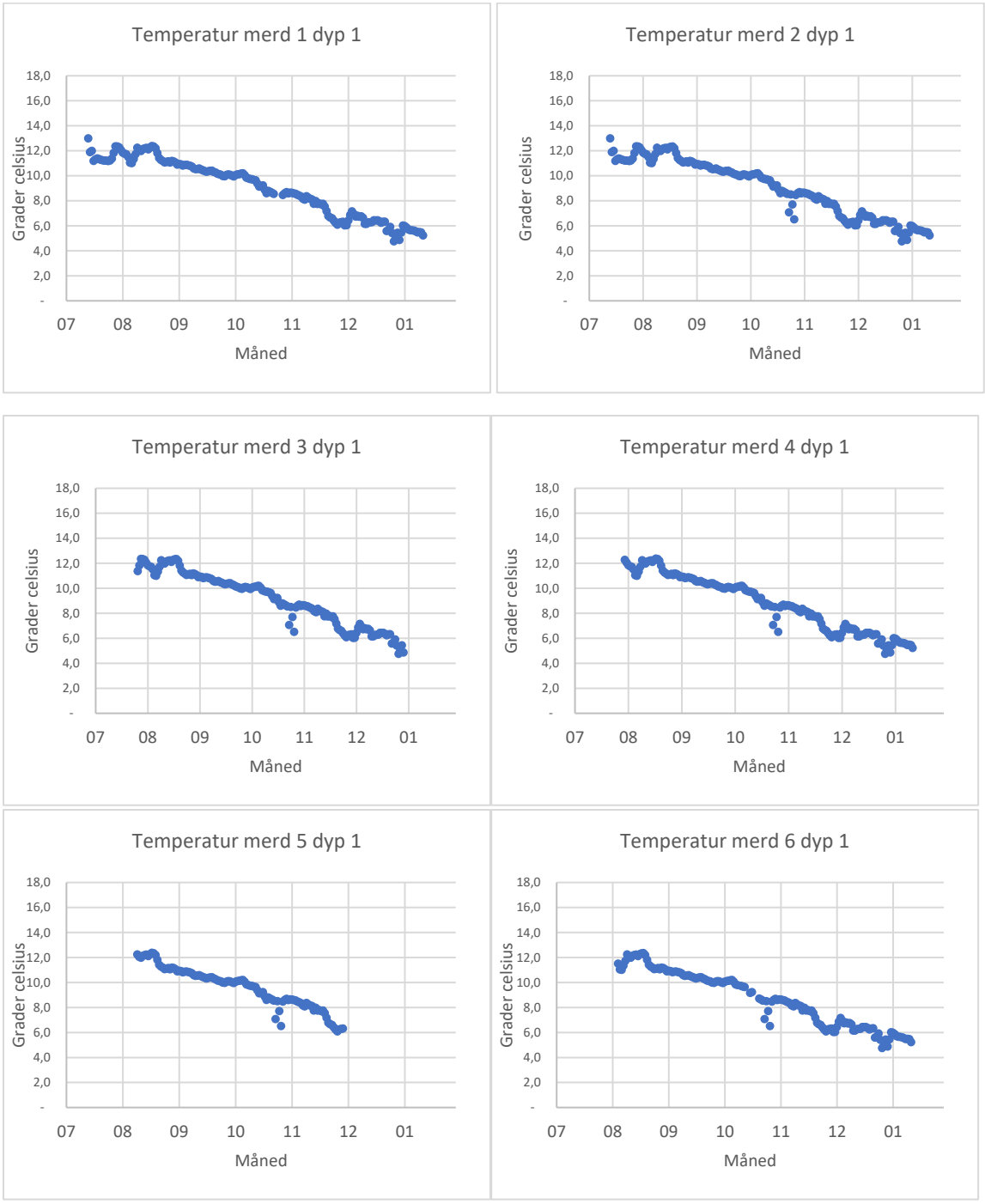
Merd/dyp	M1D1	M1D2	M1D3	M2D1	M2D2	M2D3	M3D1	M3D2	M3D3	M4D1	M4D2	M4D3	M5D1	M5D2	M5D3	M6D1	M6D2	M6D3
Merd	**1**	**1**	**1**	**2**	**2**	**2**	**3**	**3**	**3**	**4**	**4**	**4**	**5**	**5**	**5**	**6**	**6**	**6**
Klasse / Dybde	**1**	**2**	**3**	**1**	**2**	**3**	**1**	**2**	**3**	**1**	**2**	**3**	**1**	**2**	**3**	**1**	**2**	**3**
Sum avlesn	748489	754464	759230	766953	772998	777812	650776	655052	660555	687516	692731	697748	458735	459718	462489	644498	649245	652246
Ant avlesn	8611	8611	8611	8818	8819	8819	7571	7571	7571	7987	7987	7987	5395	5395	5395	7475	7475	7476
Snitt	86,9	87,6	88,2	87,0	87,7	88,2	86,0	86,5	87,2	86,1	86,7	87,4	85,0	85,2	85,7	86,2	86,9	87,2
Min	61,4	64,5	65,7	61,4	64,5	65,7	61,4	64,5	65,7	61,4	64,5	65,7	61,4	64,5	65,7	61,4	64,5	65,7
Max	103,4	105,5	104,9	103,4	105,5	104,9	103,4	102,0	101,3	101,3	100,6	101,3	101,3	99,9	101,3	101,3	100,6	101,3



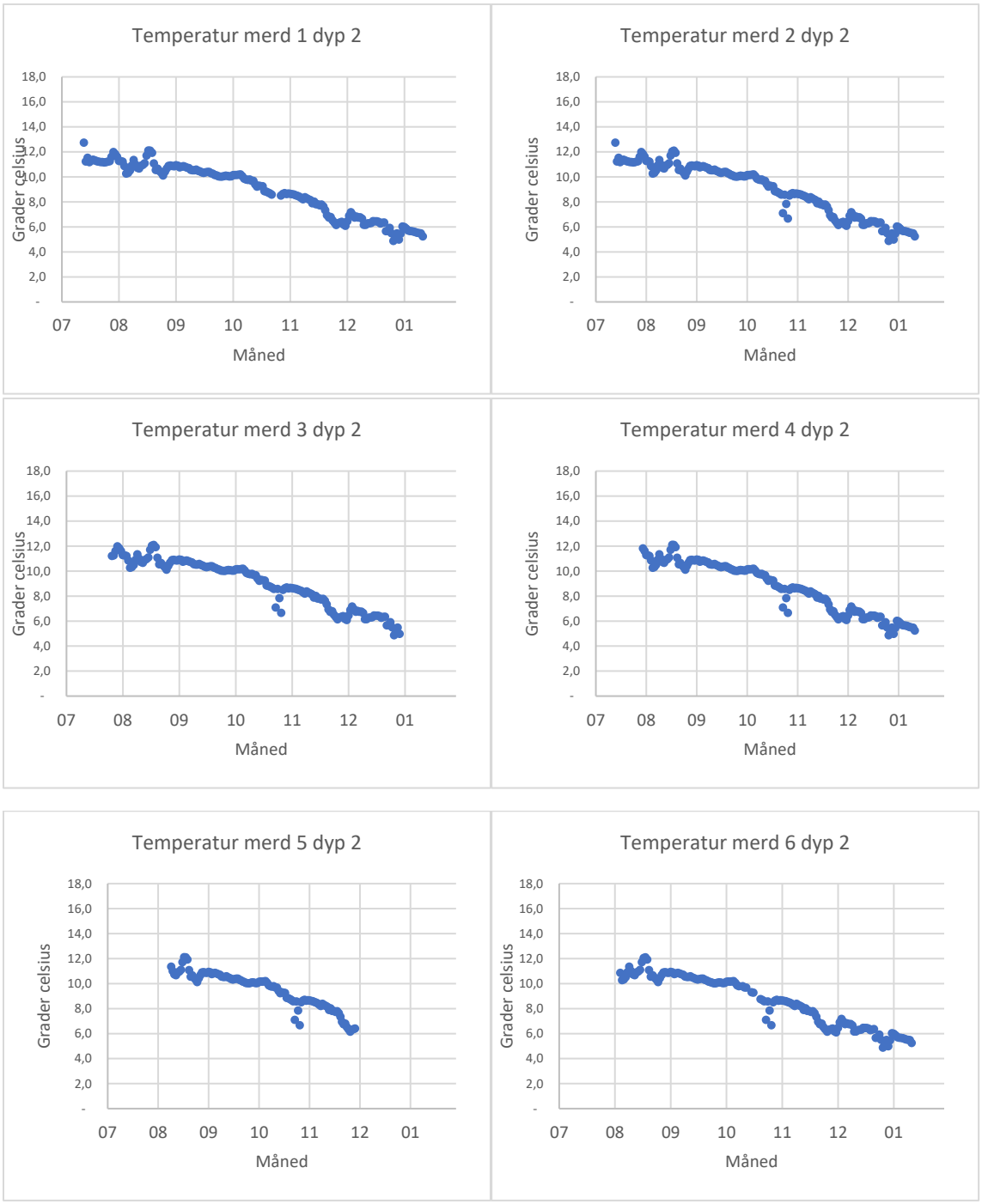
Figur 17 Figuren viser en oversikt av gjennomsnittlig oksygenmetning for alle merder, alle dyp.

Temperatur

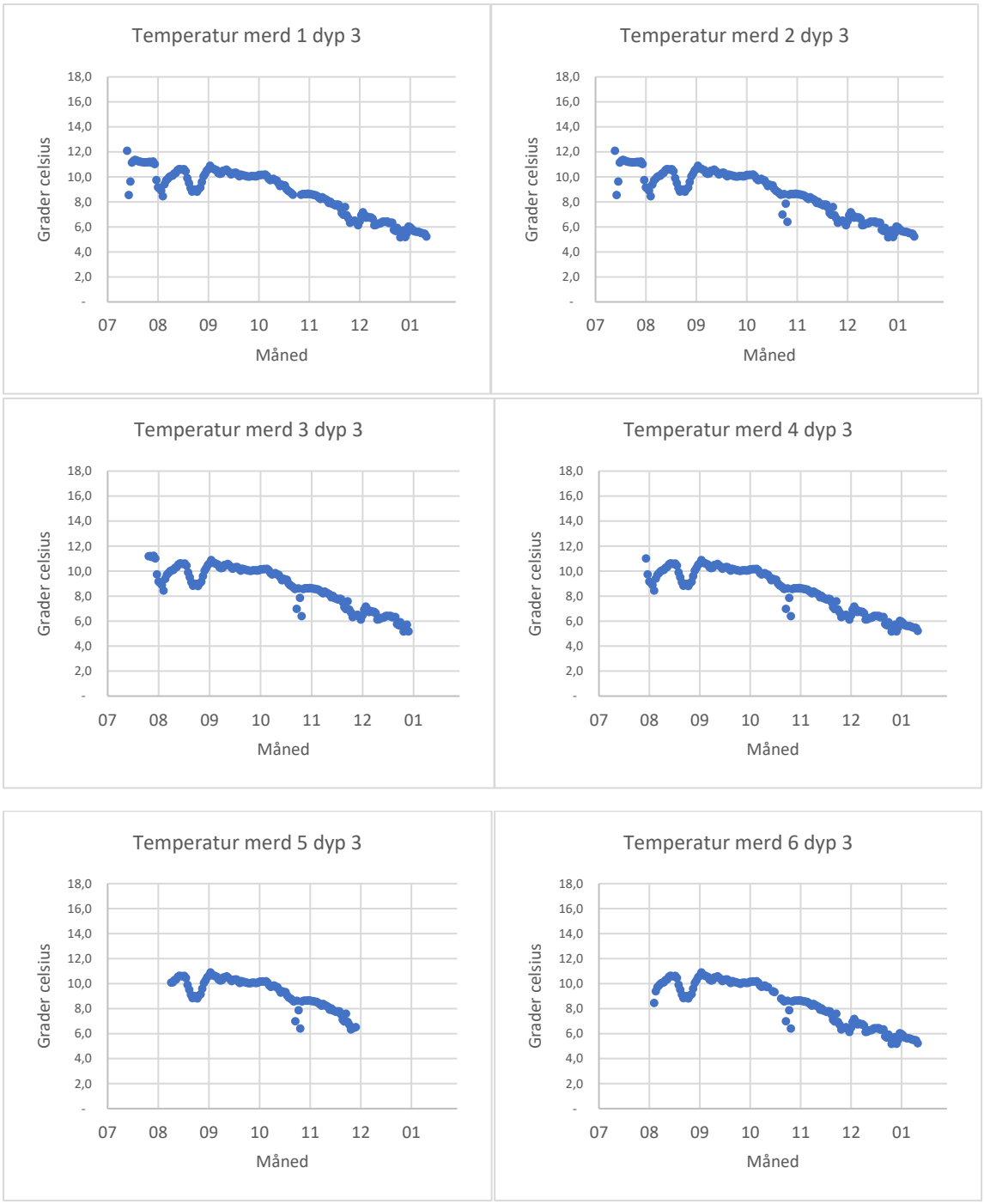
Figur 18. Figuren under viser utvikling av temperatur i havfarmen, per merde, på 5 meters dyp, i perioden fra utsett til og med 14. januar 2022. Hver prikk representerer gjennomsnittlig temperatur per døgn. Enkelte uteliggere er trolig relatert til at sensorene har vært tatt opp av enhetene. Temperaturer under 2 °C er ekskludert fra materialet grunnet sannsynlig feilkilde i forbindelse med opptak av sensorer i perioden.



Figur 19. Figuren under viser utvikling av temperatur i havfarmen, per merde, på 15 meters dyp i perioden fra utsett til og med 14. januar 2022. Hver prikk representerer gjennomsnittlig temperatur per døgn. Enkelte uteliggere er trolig relatert til at sensorene har vært tatt opp av enhetene. Temperaturer under 2 °C er ekskludert fra materialet grunnet sannsynlig feilkilde i forbindelse med opptak av sensorer i perioden.



Figur 20. Figuren under viser utvikling av temperatur i havfarmen, per merde, på 35 meters dyp i perioden fra utsett til og med 14. januar 2022. Hver prikk representerer gjennomsnittlig temperatur per døgn. Enkelte uteliggere er trolig relatert til at sensorene har vært tatt opp av enhetene. Temperaturer under 2 °C er ekskludert fra materialet grunnet sannsynlig feilkilde i forbindelse med opptak av sensorer i perioden.



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.

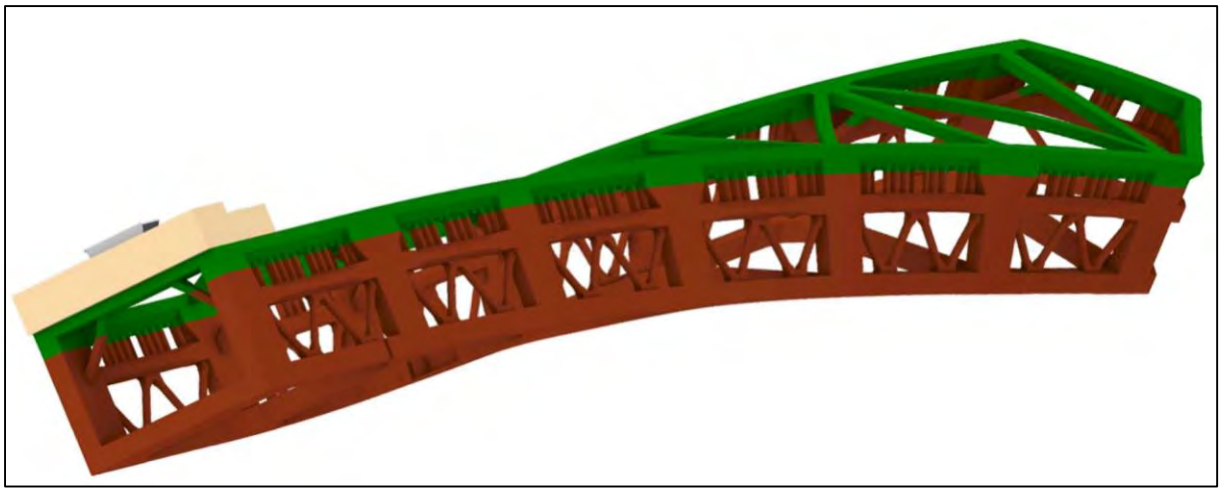
Retningsspektra for 3 utvalgte stormer er brukt i fullskala validering av strukturresponsen.

4.1.2 Globale Deformasjoner

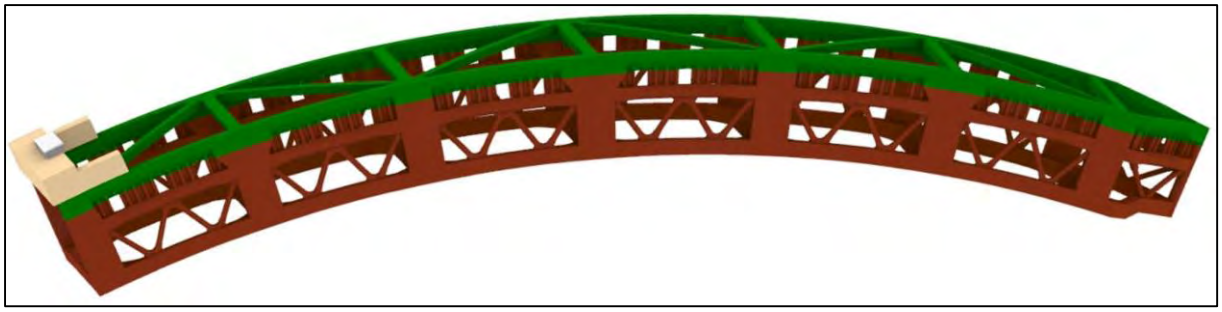
De tre første deformasjonsmodene til Havfarm er:

- Torsjon
- Vertikalbøy
- Horisontalbøy

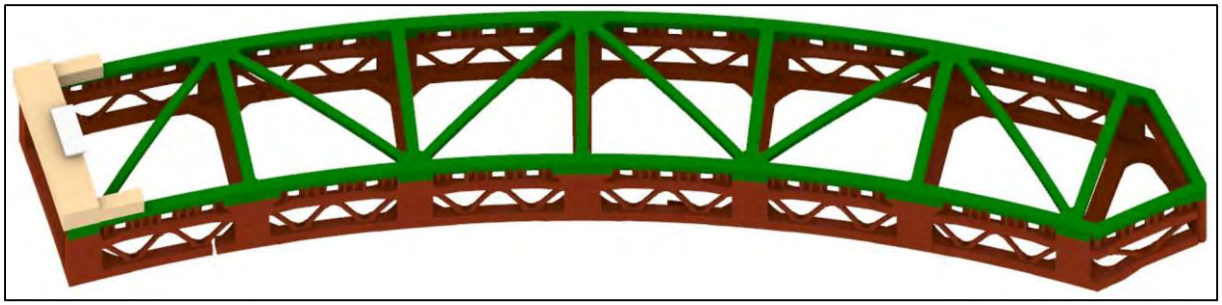
Disse deformasjonsmodene har kontinuerlig blitt målt av SAP med Global Navigation Satellite Systems (GNSS) sensorer. De tre målte deformasjonene er visualisert i Figur 4-1, Figur 4-2 og Figur 4-3.



Figur 4-1 Torsjon



Figur 4-2 Vertikalbøy



Figur 4-3 Horisontalbøy

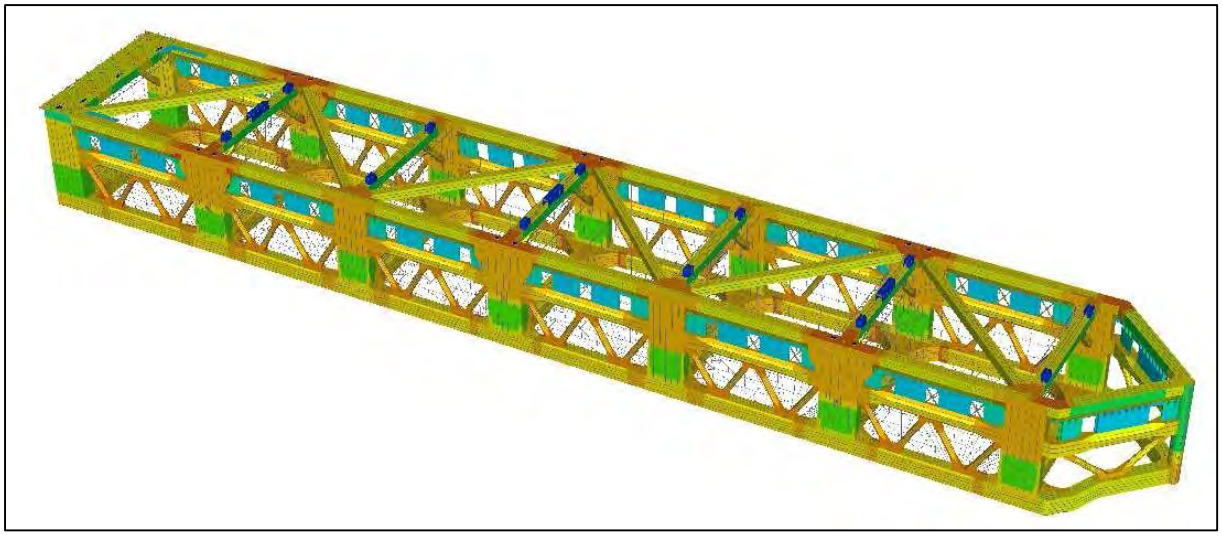
4.2 Analysemodeller

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.

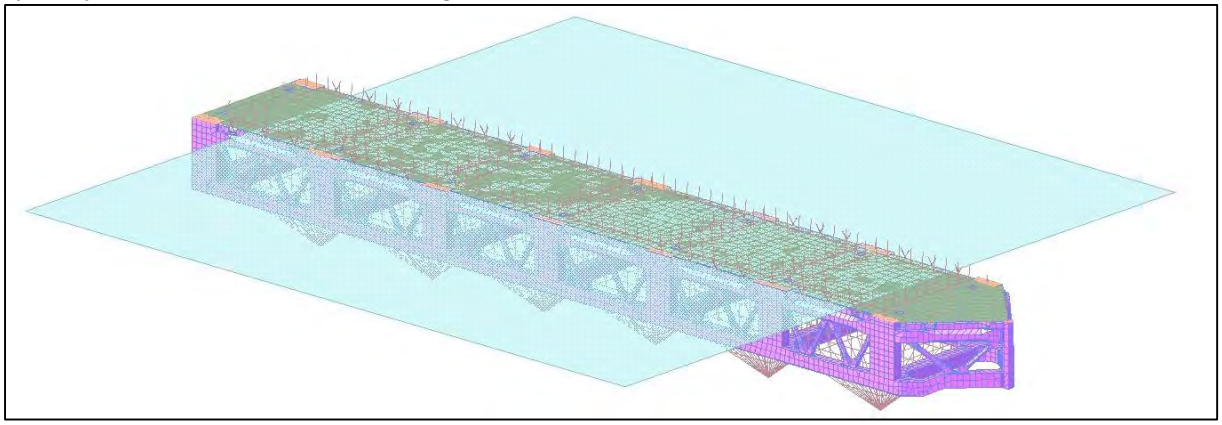


Figur 4-4 Strukturell FE-modell der fargene viser ulike platefelt.

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.

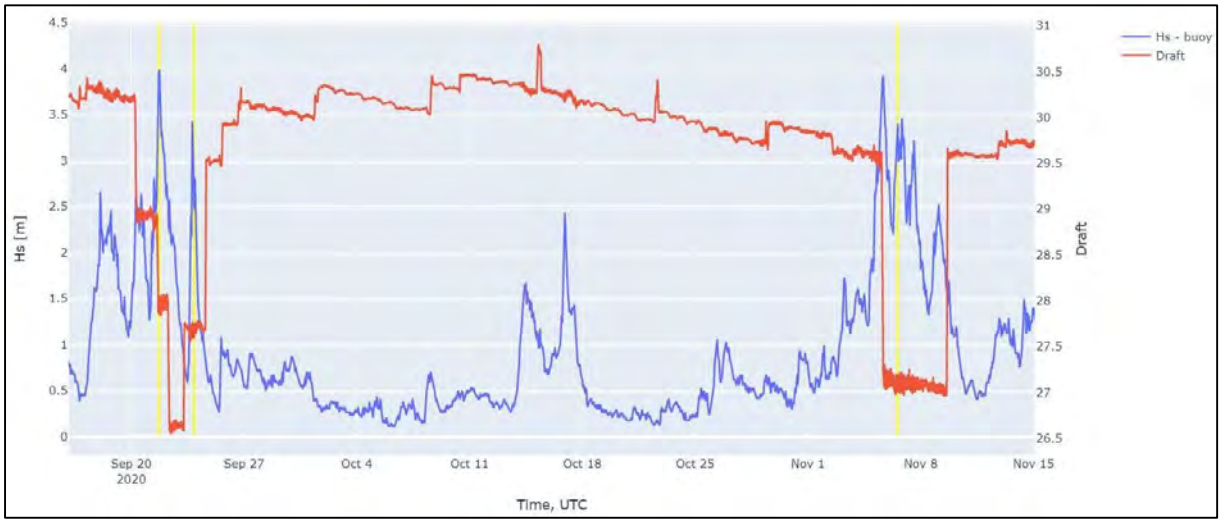
I utgangspunktet er stormer med høyest mulig Hs valgt, men unntak er gjort der dypgangen og retningen på havfarmen endres raskt. Standard 3-timers sjøtilstander er analysert der dette er mulig. Varigheten på Storm 2 er redusert fordi retningen på havfarmen kun er stabil innenfor én time.

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:

$$\square(\square) = \quad S(f)\,|\square(\square)|$$

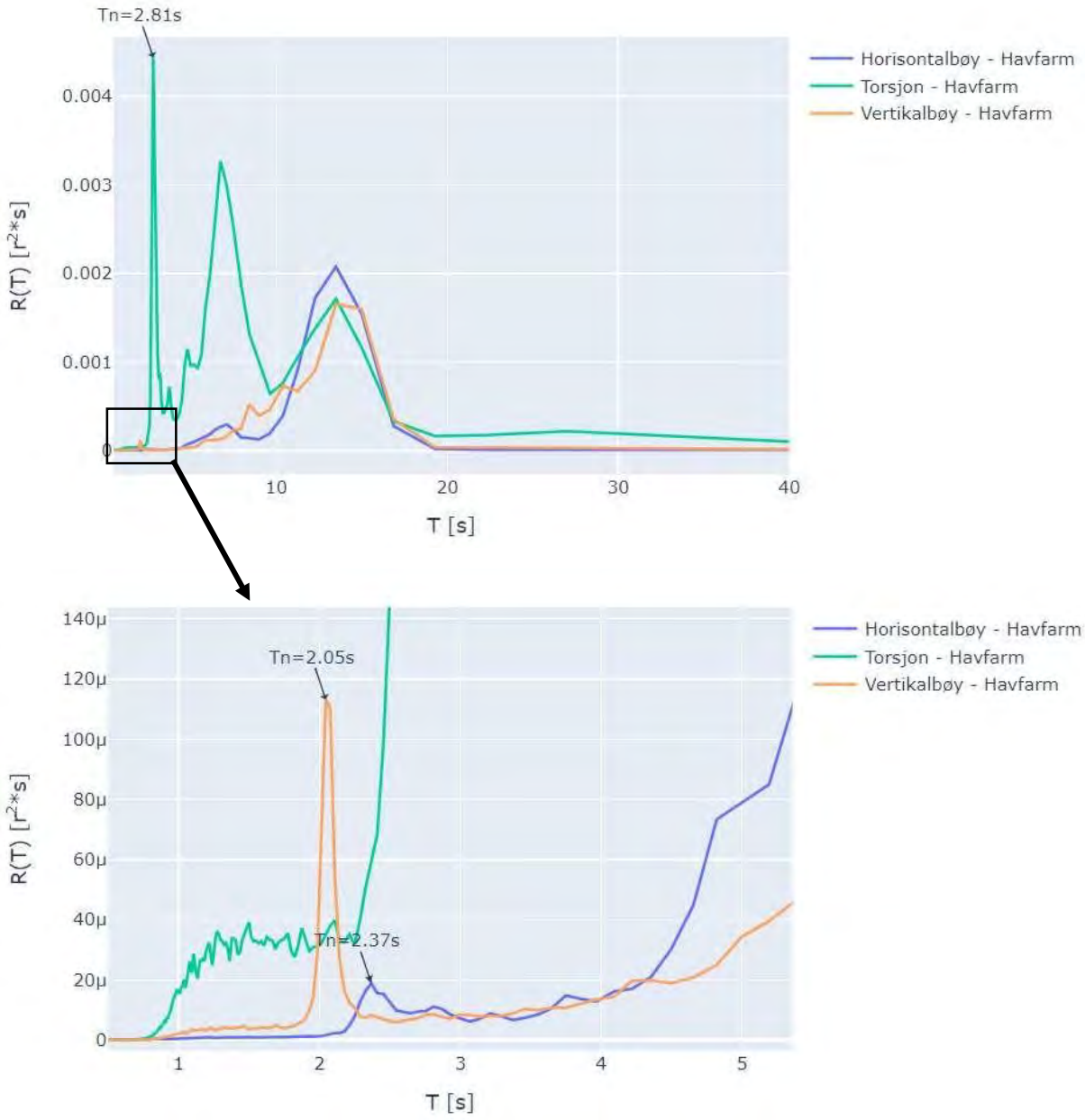
Der □(□) er det totale responsspekteret i stormen, S(f) er stormens gjennomsnittsbølgespekter i retning i og |□(□)| er transferfunksjonen for en av de tre deformasjonsmodene.

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.

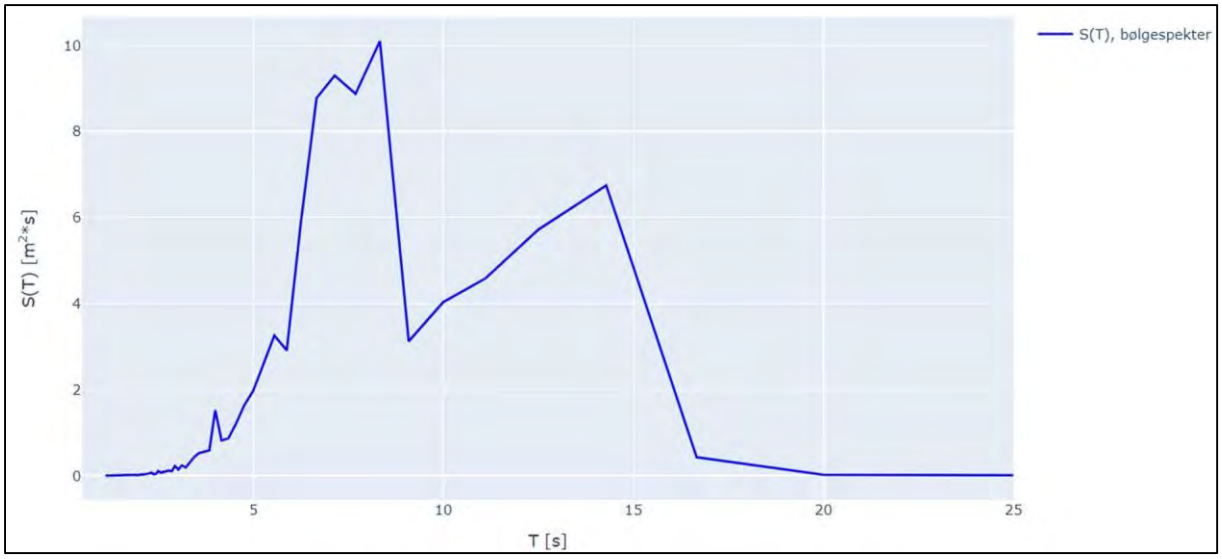
Effekt av egensvingninger er hensyntatt i utmattingsberegningene i design av havfarmen gjennom dynamiske amplifikasjonsfaktorer med tilhørende sykluskorreksjoner.

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.

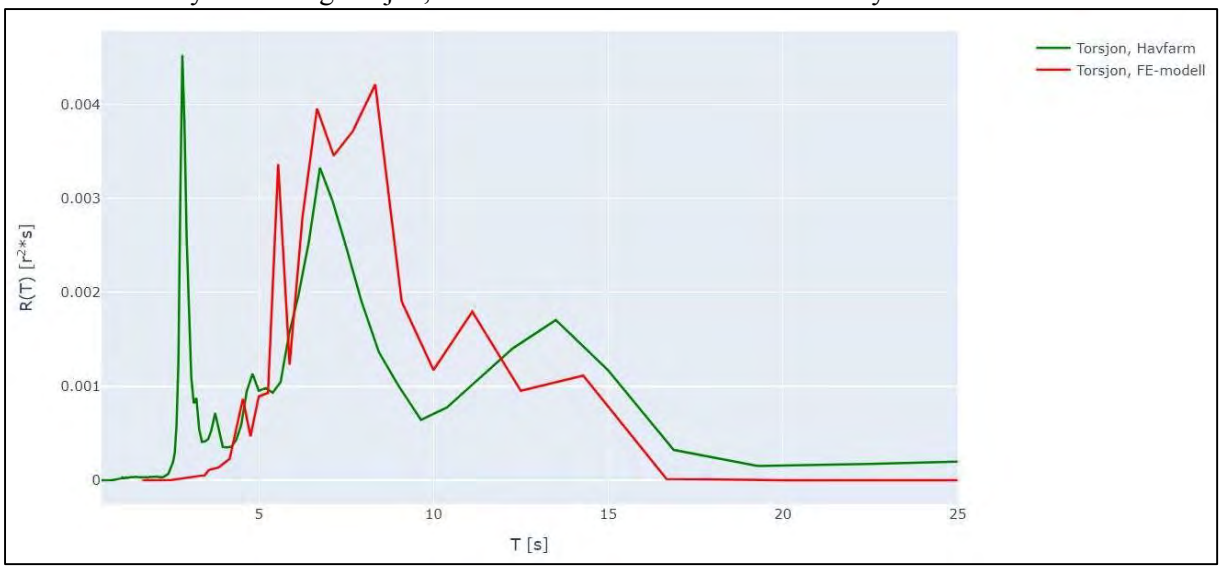
Torsjon

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.

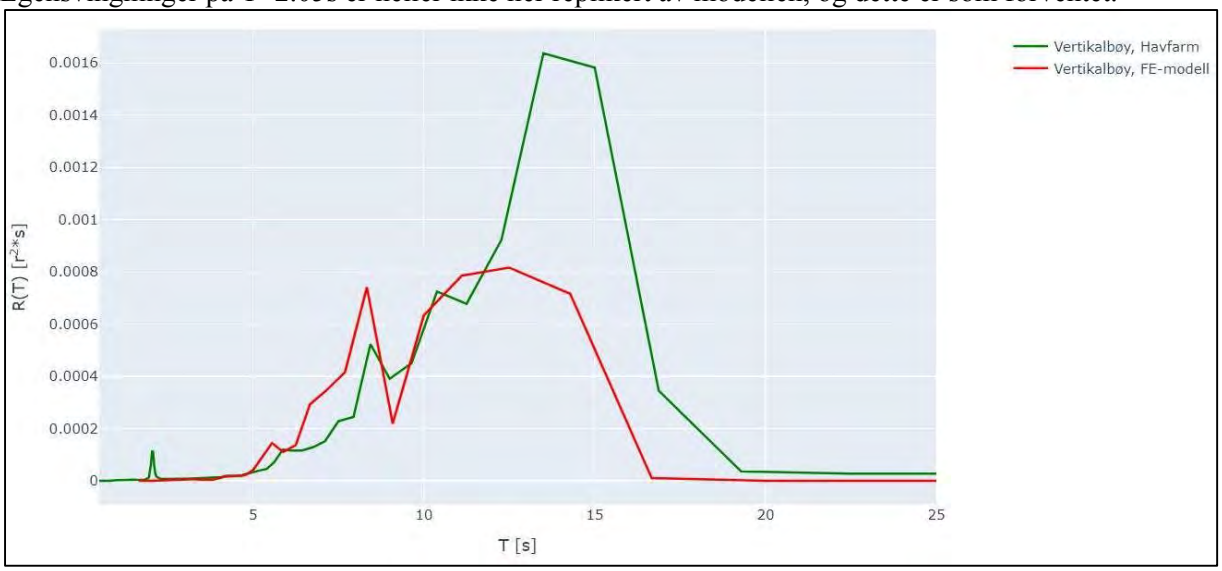


Figur 4-9 Estimert og observert responsspektra i torsjon for storm 1.

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.

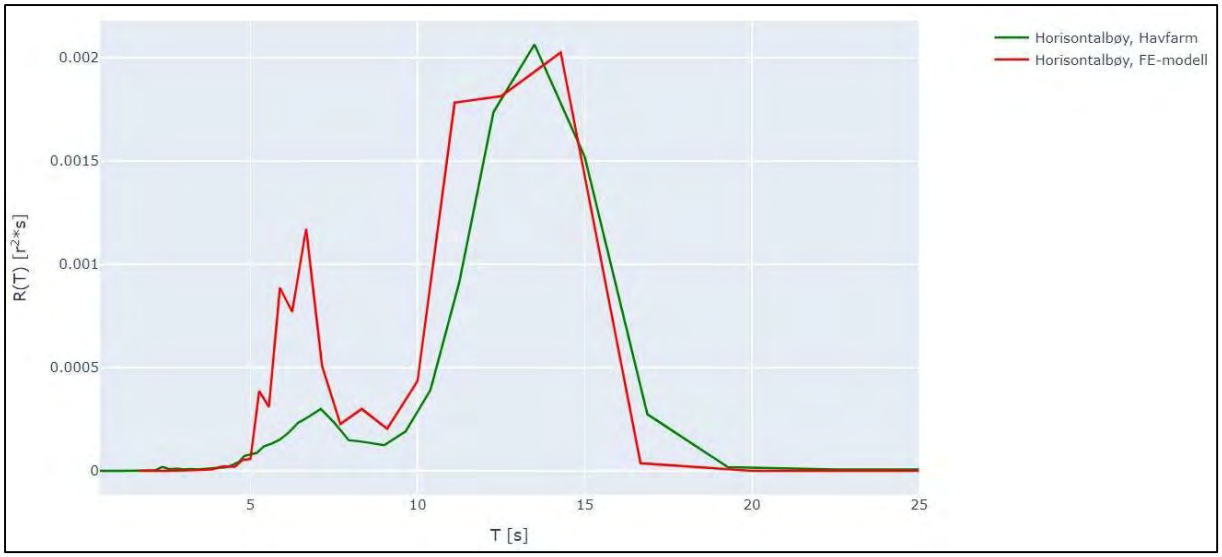
Egensvingninger på T=2.05s er heller ikke her replikert av modellen, og dette er som forventet.



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

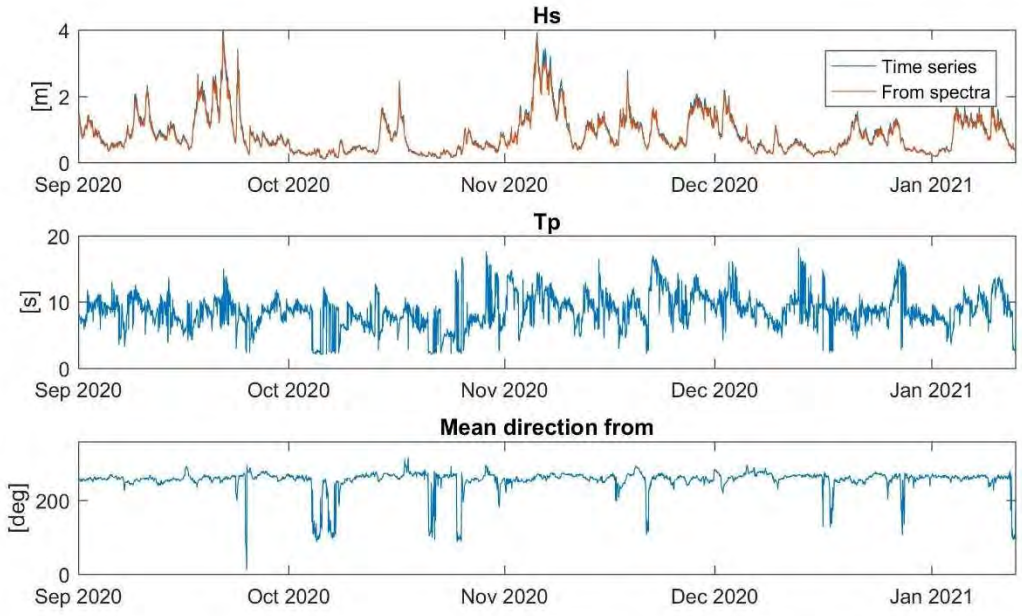
Bølgedata stammer fra Akvaplan Niva-bøya. I analyser av relativ retning mellom bølger og skipet er tidsserier med Hs, Tp og bølgenes hovedkompassretning benyttet. I analysene av skipets bevegelser og interne bølgeheving er tidsserie av kompassretning benyttet i kombinasjon med numeriske bølgespektre.

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.

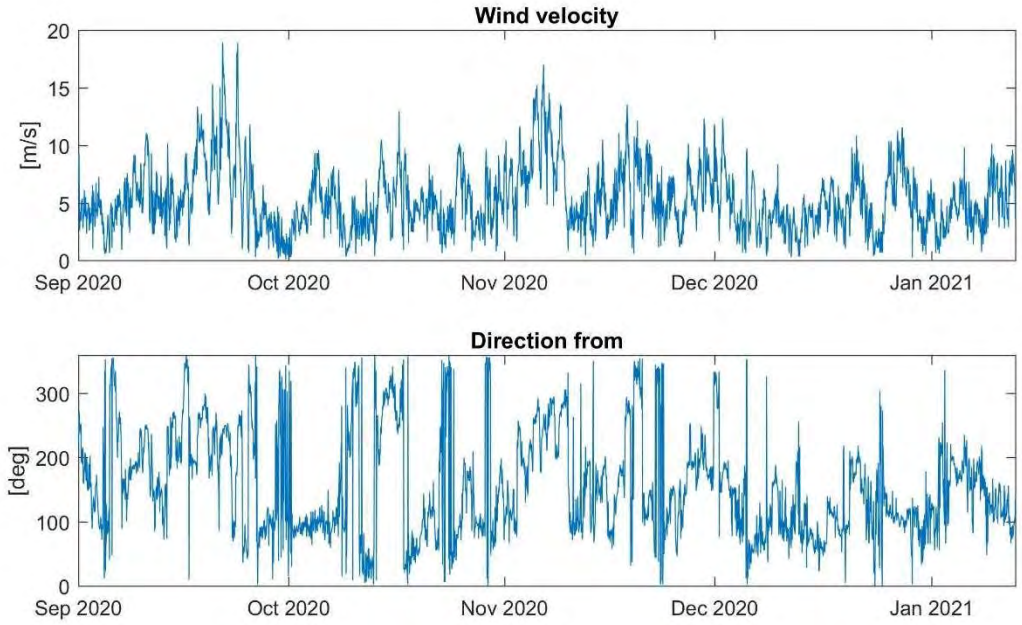
Bølgespektrene har noe grovere oppløsning på periode-aksen for høyere perioder (over 10 sekunder), men oppløsningen er antatt å være tilstrekkelig for dette formålet.



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

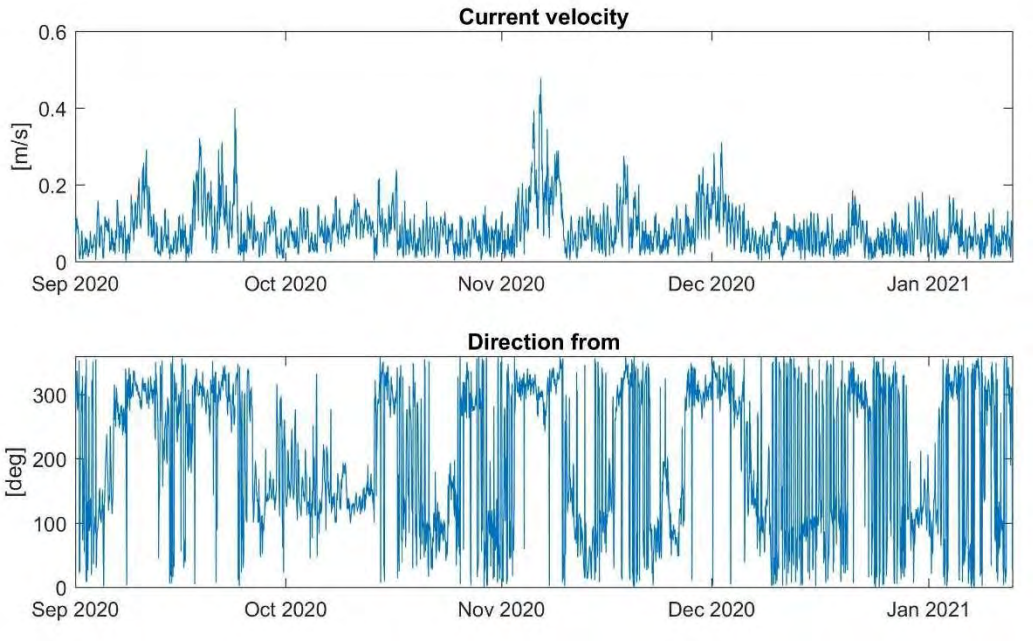
Vinddata stammer fra Akvaplan Niva-bøya. Vinden er kontrollert mot målinger fra nærliggende værstasjon i Bø og den målte vindstyrken er vurdert som realistisk. Det ble derimot oppdaget at vindretningen i måledataene er dreid 120 grader, og retningen måtte derfor korrigeres i ettertid.



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.

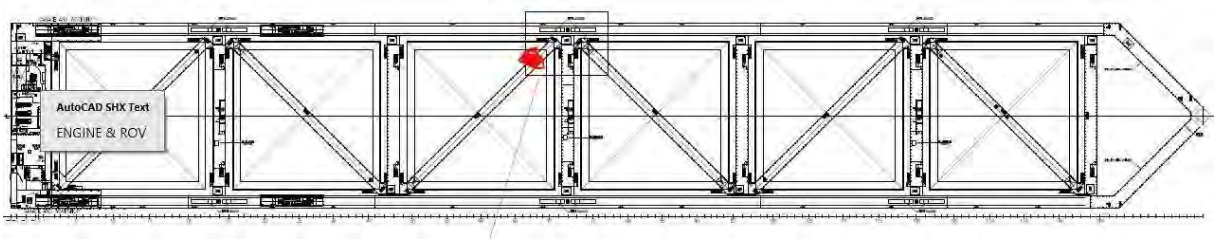
5.1.4 Skipsbevegelser (MGC)

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:

$$\square\square\square(\square) = \sqrt{\frac{\square(\square)}{\square(\square)}}$$

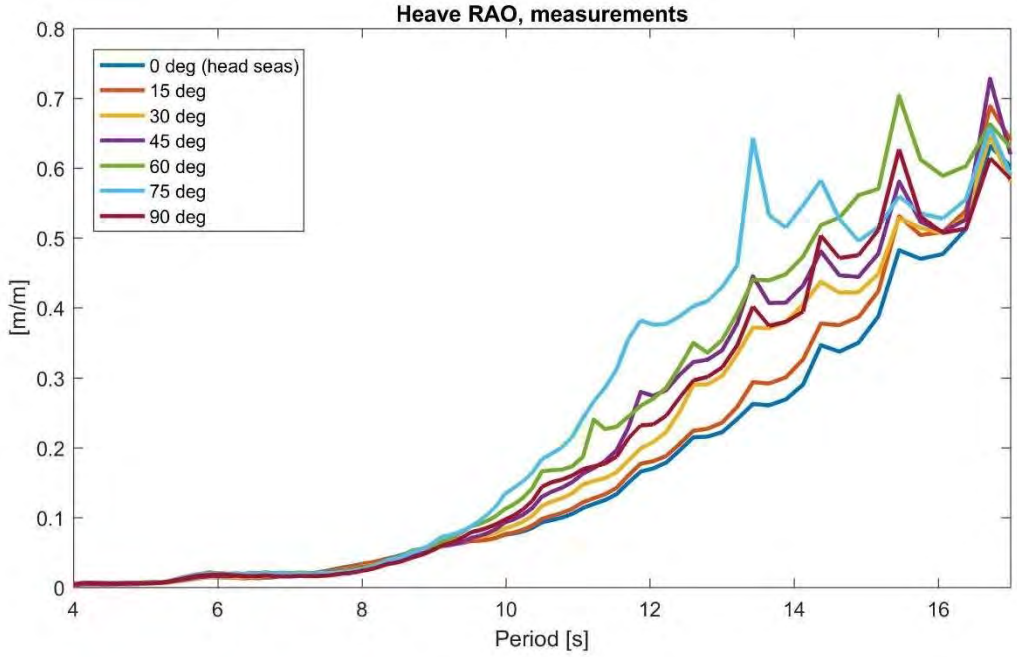
3. Alle beregnede RAOer sorteres avhengig av relativ hovedretning mellom skip og bølger på det aktuelle tidspunktet med intervall på 15 grader. Det vil si at dersom relativ retning er mindre enn 7.5 grader sorteres RAOen under 0 grader, dersom relativ retning er mellom 7.5 og 22.5 grader sorteres den 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.

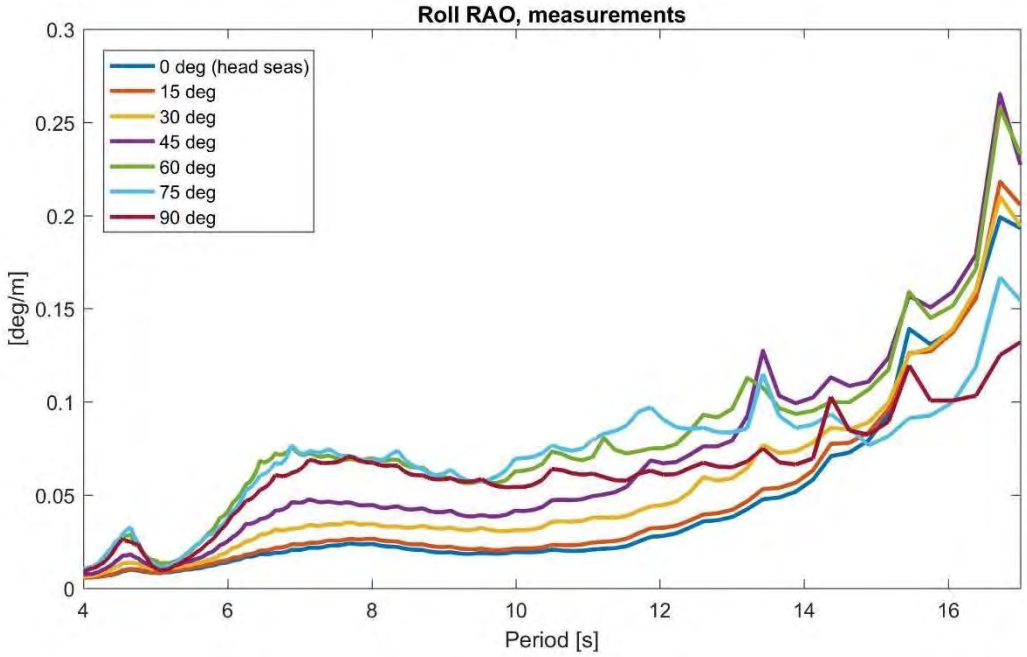
5.2.2 Resultater

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.

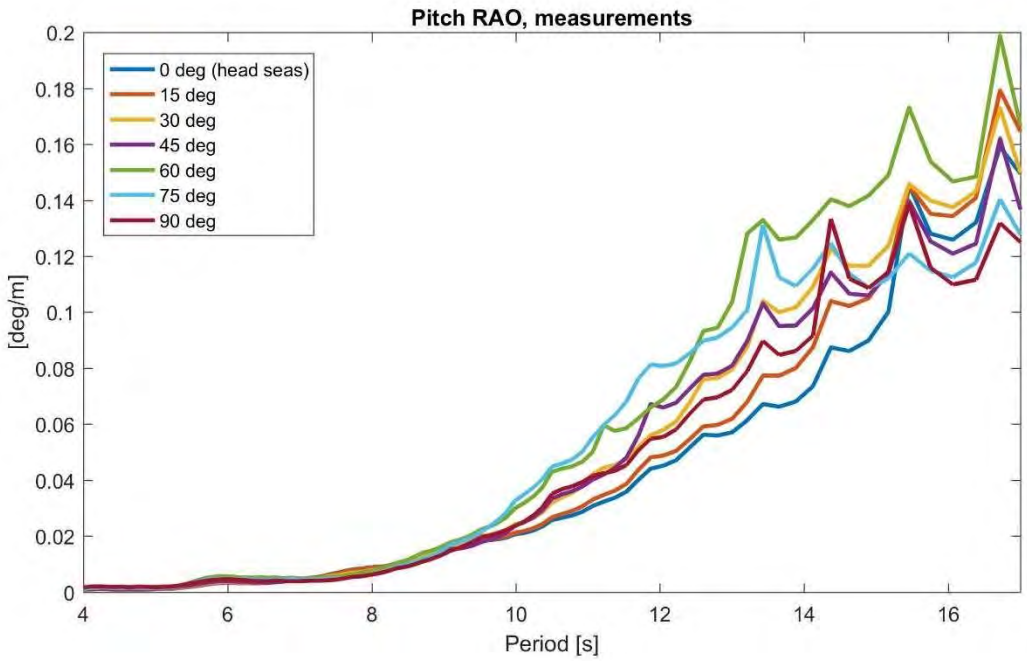
De små lokale toppene i RAOene over 10s sammenfaller i hovedsak med perioder hvor bølgespektrene er evaluert og gjør at kurvene blir noe mindre glatte for de høyeste periodene, uten at det har særlig betydning for resultatet.



Figur 5-5 – Beregnede RAOer for hiv-bevegelse fra måledata.



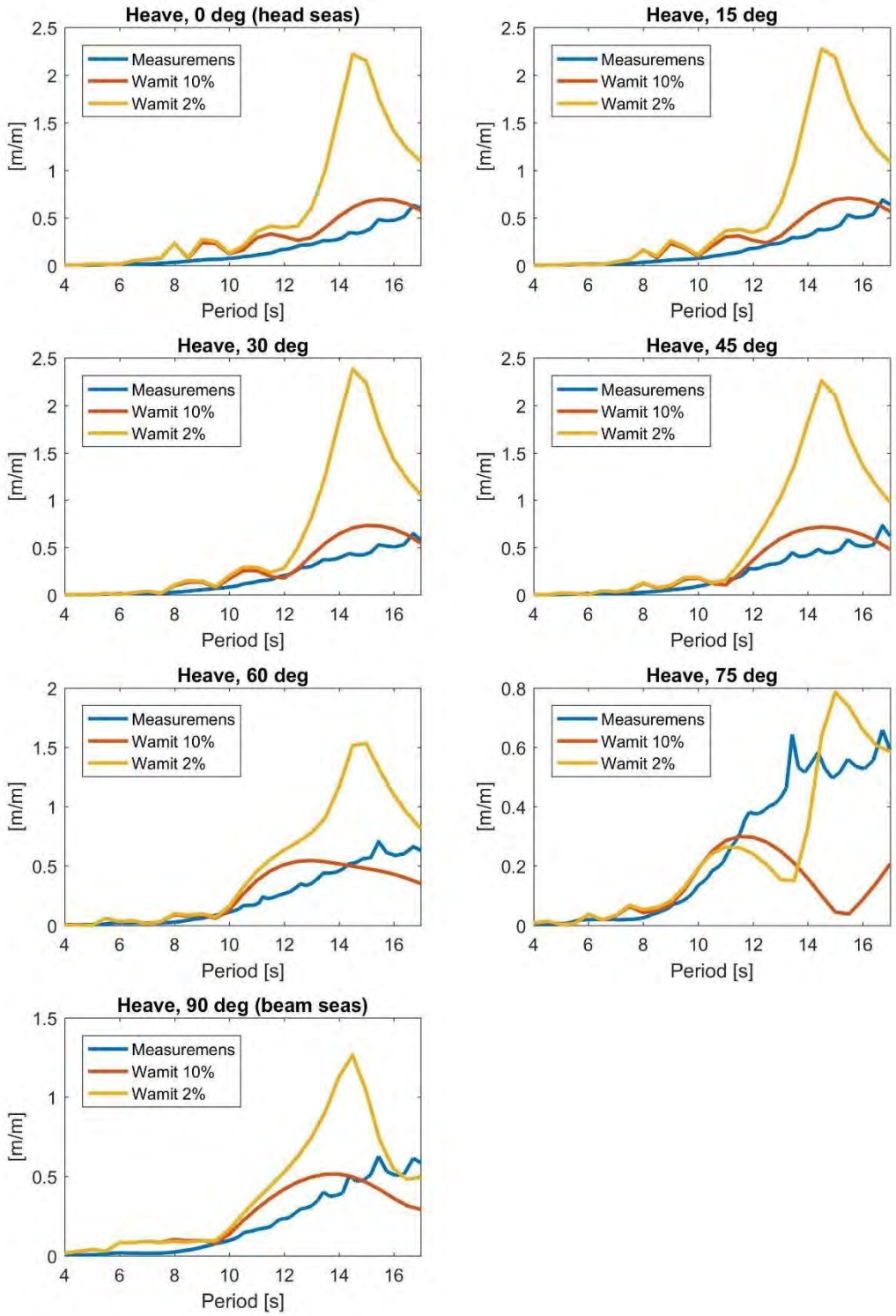
Figur 5-6 – Beregnede RAOer for rull-bevegelse fra måledata.



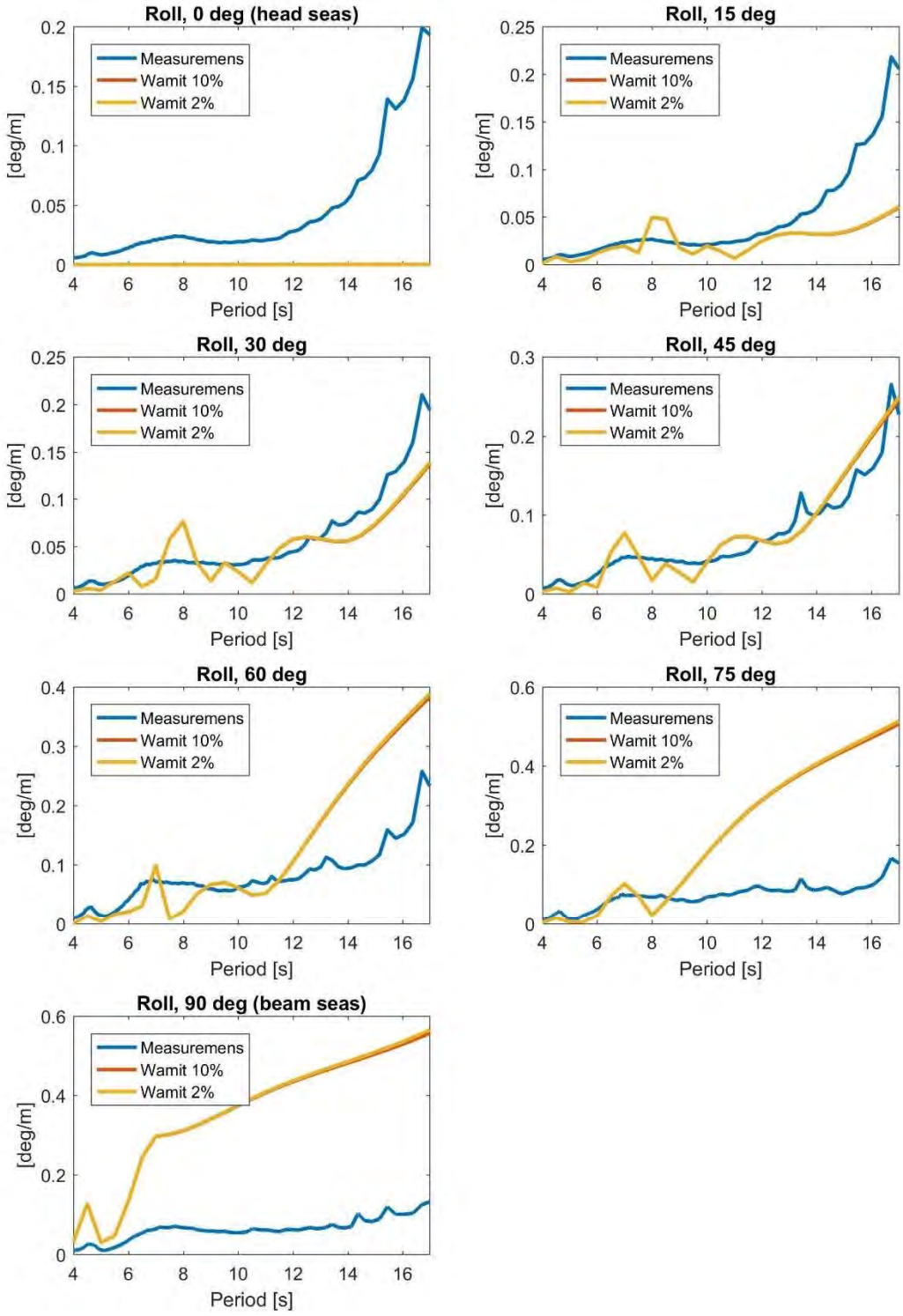
Figur 5-7 - Beregnede RAOer for stamp-bevegelse fra måledata.

5.2.3 Sammenligning med numeriske beregninger/modelltester

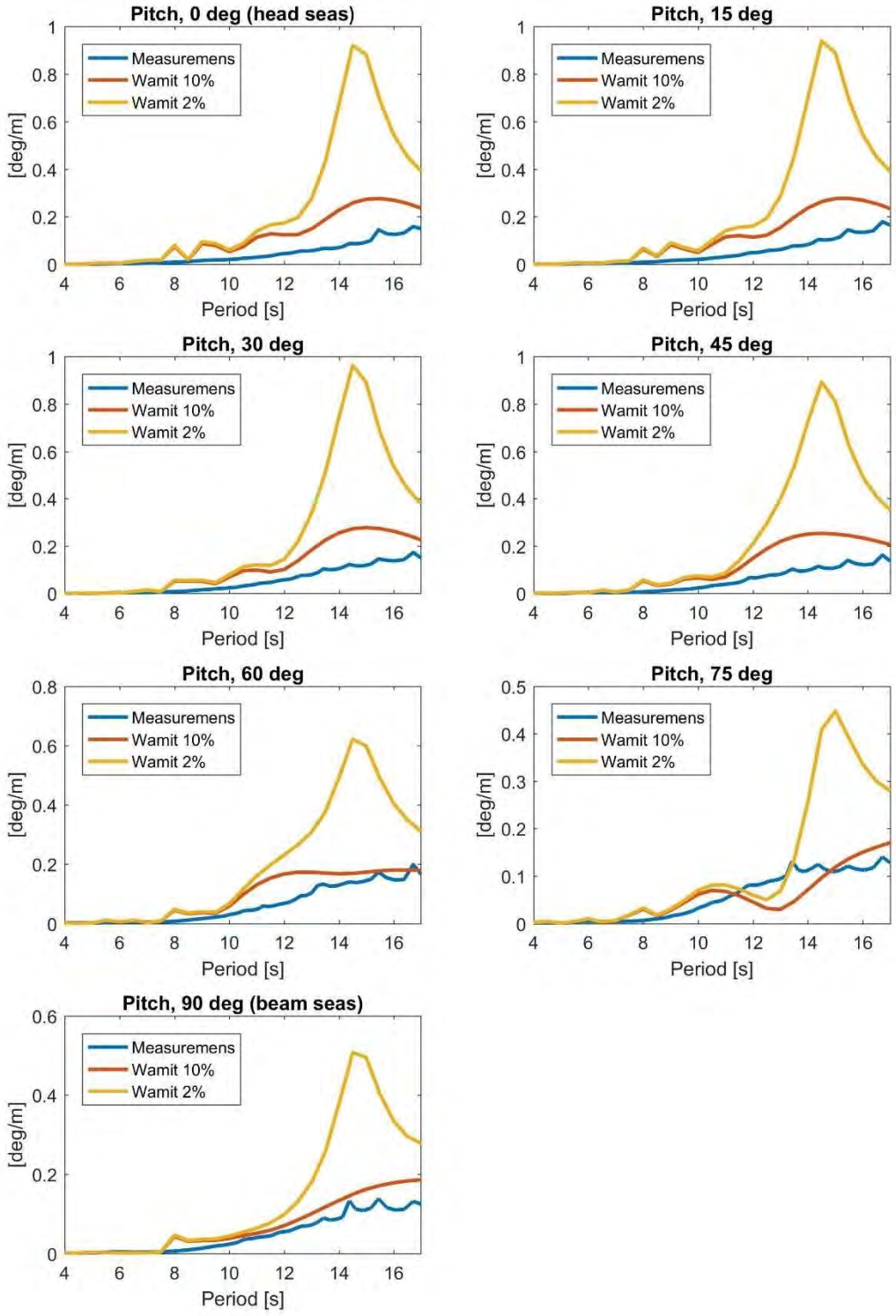
De følgende plottene viser målt RAO for hiv, rull og stamp sammenlignet med numeriske beregninger i Wamit. I Wamit-plottene er det lagt inn to nivåer med ekstra demping, angitt som prosent av kritisk demping.



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

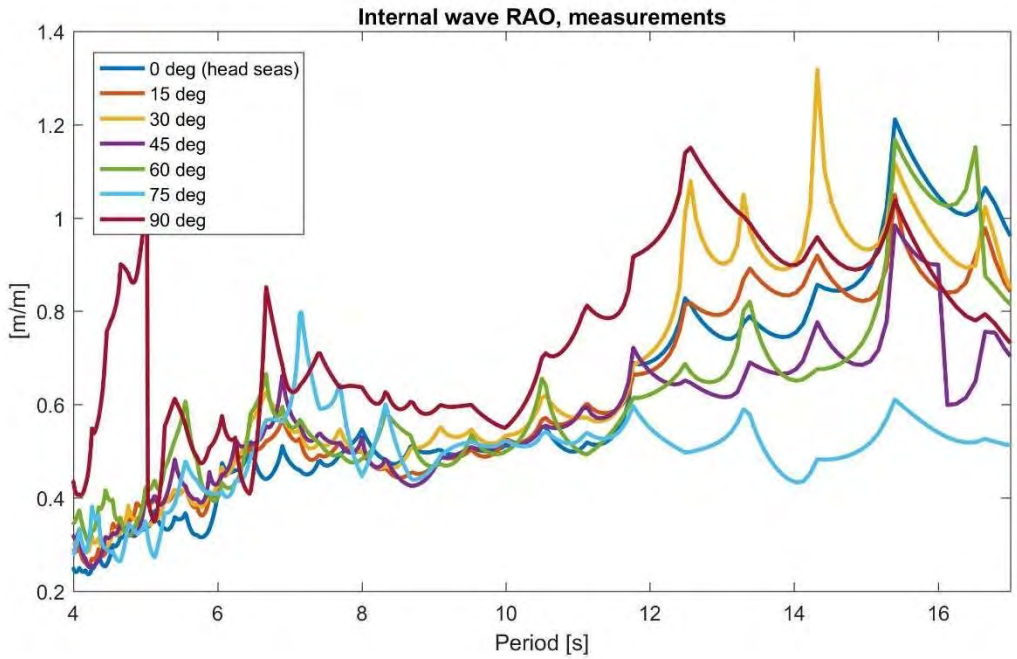
I dette avsnittet vurderes og analyseres de faktiske opplevde og målte bølgehevinger inne i havfarmen og sammenlignes med de innkommende bølgene utenfor havfarmen for å vurdere faktisk demping av bølgene når disse passerer strukturen. Dette har vært et vesentlig vanskelighetsmoment mht dimensjonering 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

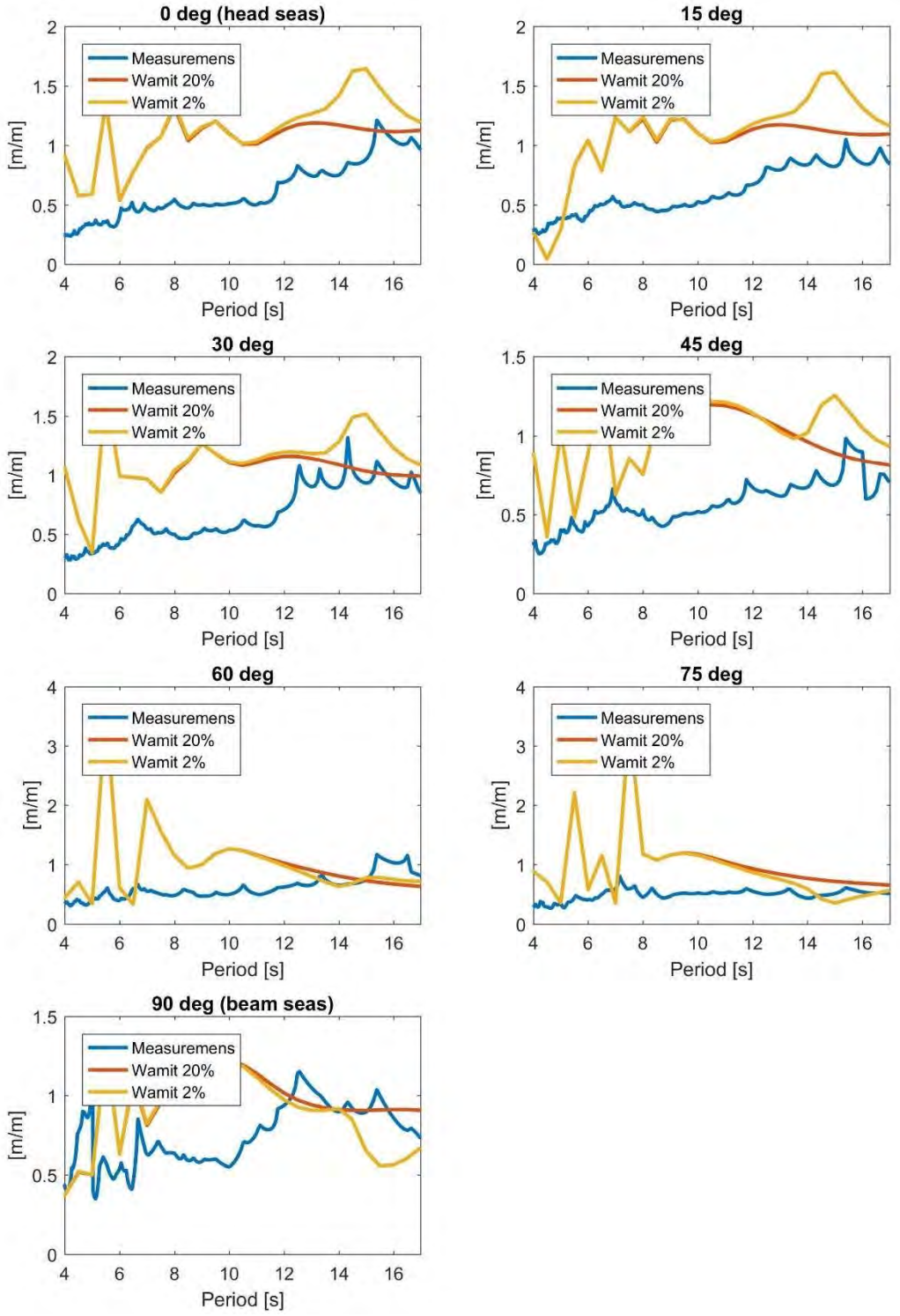
Plottet nedenfor viser gjennomsnittlig RAO for intern bølgeheving fra måledataene. Som for RAOene for skipets bevegelser er periodeaksen kuttet på 17s. De små lokale toppene i RAOene over 10s sammenfaller i hovedsak med perioder hvor bølgespektrene er evaluert og gjør at kurvene blir noe mindre glatte 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

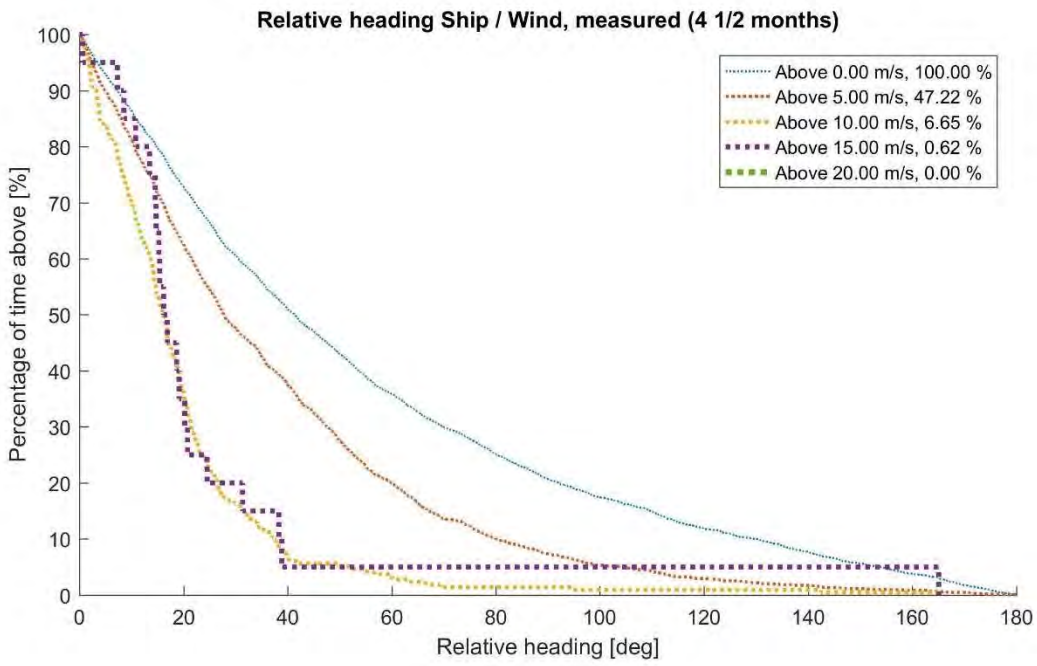
Hver hele time er det regnet ut relativ retning mellom:

- 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.

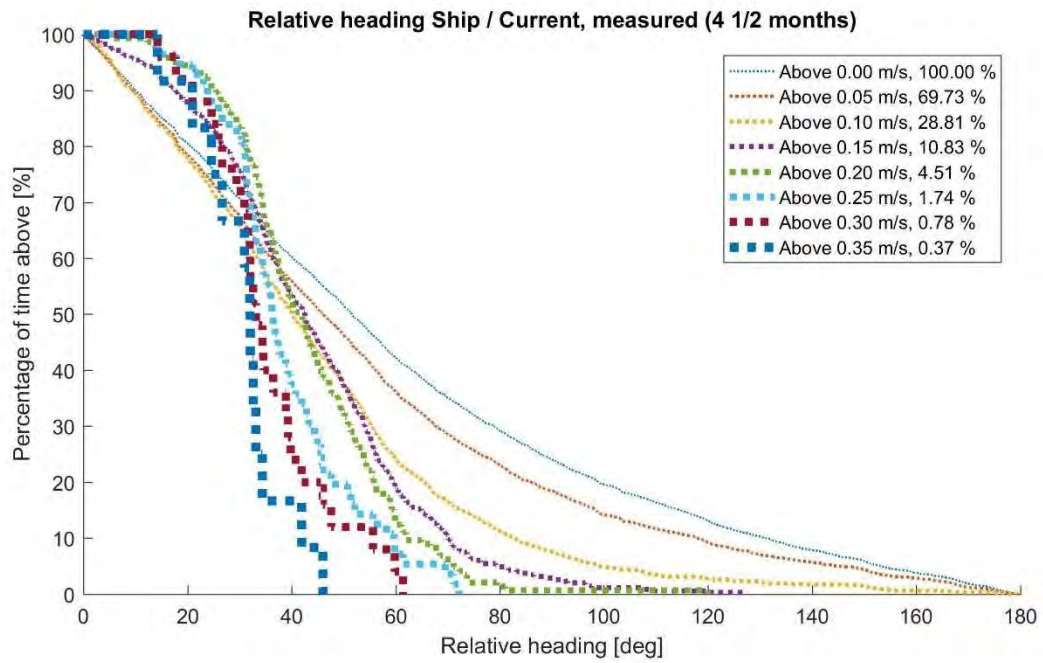
Hvert målepunkt er sortert på forskjellige styrkenivå, Hs for bølger og hastighet for vind og strøm. Til slutt er resultatene plottet opp på tilsvarende måte som analysen i hydrodynamikk-rapporten (Multiconsult, 23.10.2018) for enklest mulig sammenligning.

5.4.2 Resultater

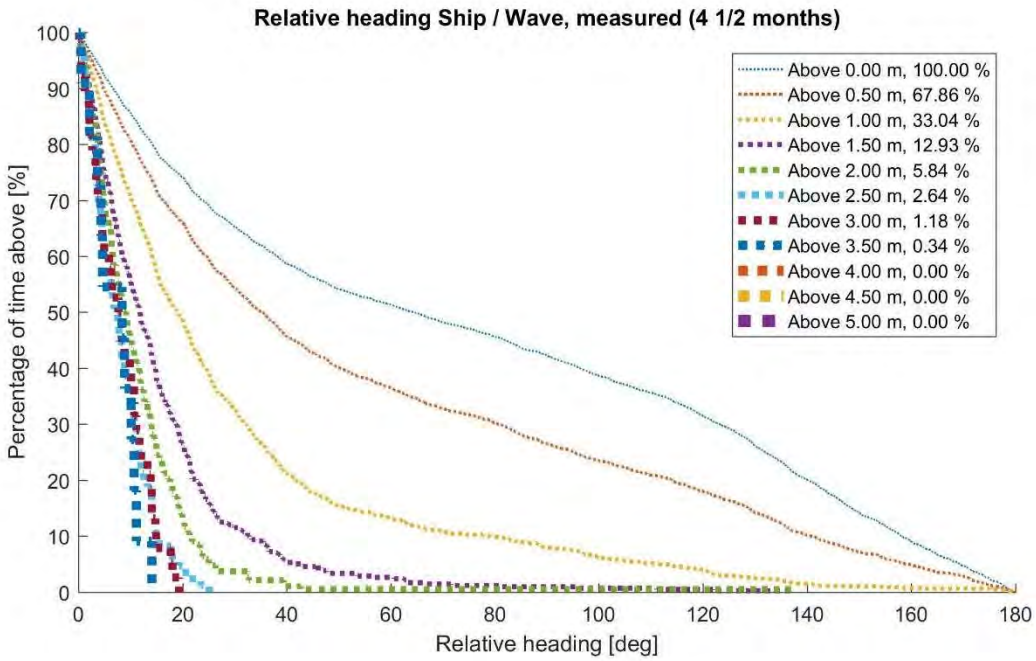
De følgende figurene viser resultatene for bølger, vind og strøm. Figurene krever noe innsats for å sette seg inn i. Se forklaringer i figurtekstene, med eksempler.



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.



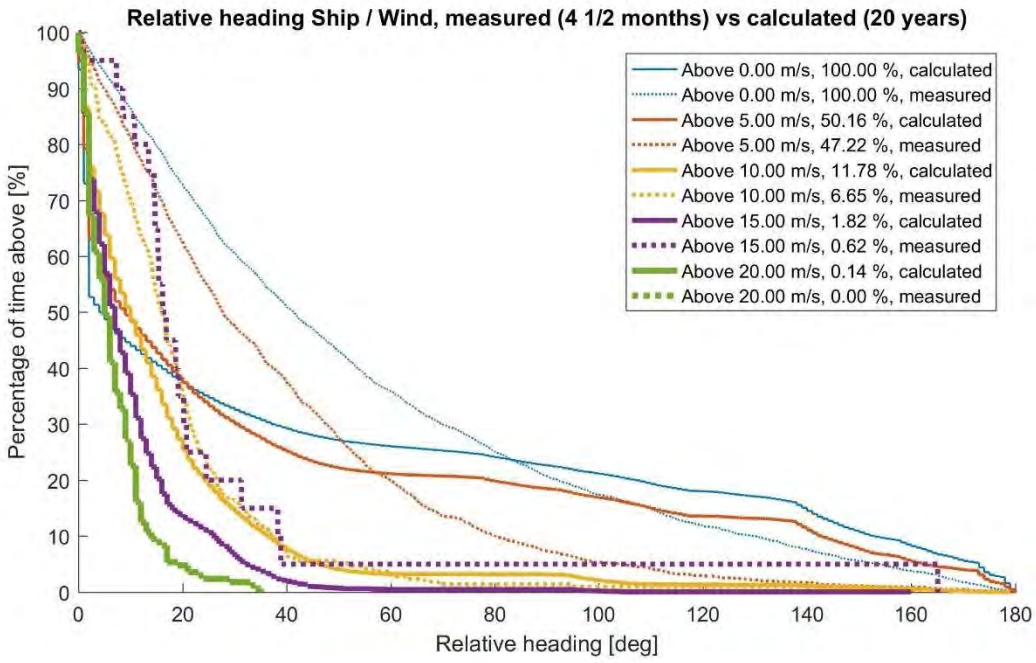
Figur 5-14 – Relativ retning mellom skipet og strøm. Hver kurve tilsvarer forskjellige nivåer av strømstyrke og viser hvor stor andel av tiden (%) den relative retningen er større enn gitt retning. En bratt kurve antyder en sterkere retningsavhengighet enn en slak kurve. Det vil alltid være 100% sannsynlighet 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.



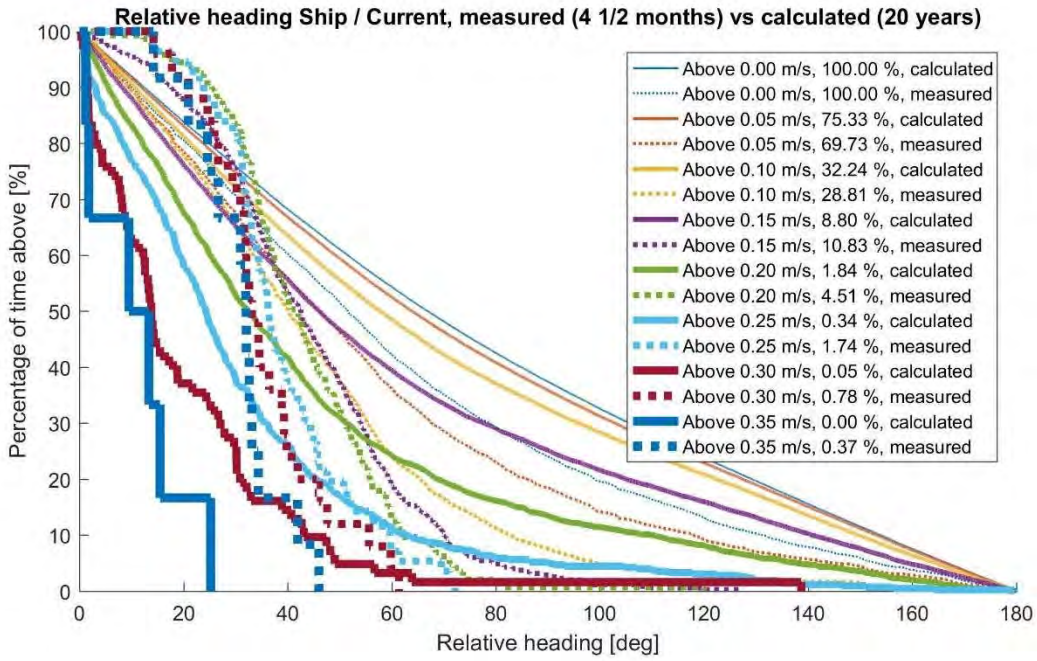
Figur 5-15 – Relativ retning mellom skipet og bølger. Hver kurve tilsvarer forskjellige nivåer av bølgehøyde og viser hvor stor andel av tiden (%) den relative retningen er større enn gitt retning. En bratt kurve antyder en sterkere retningsavhengighet enn en slak kurve. Det vil alltid være 100% sannsynlighet 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.

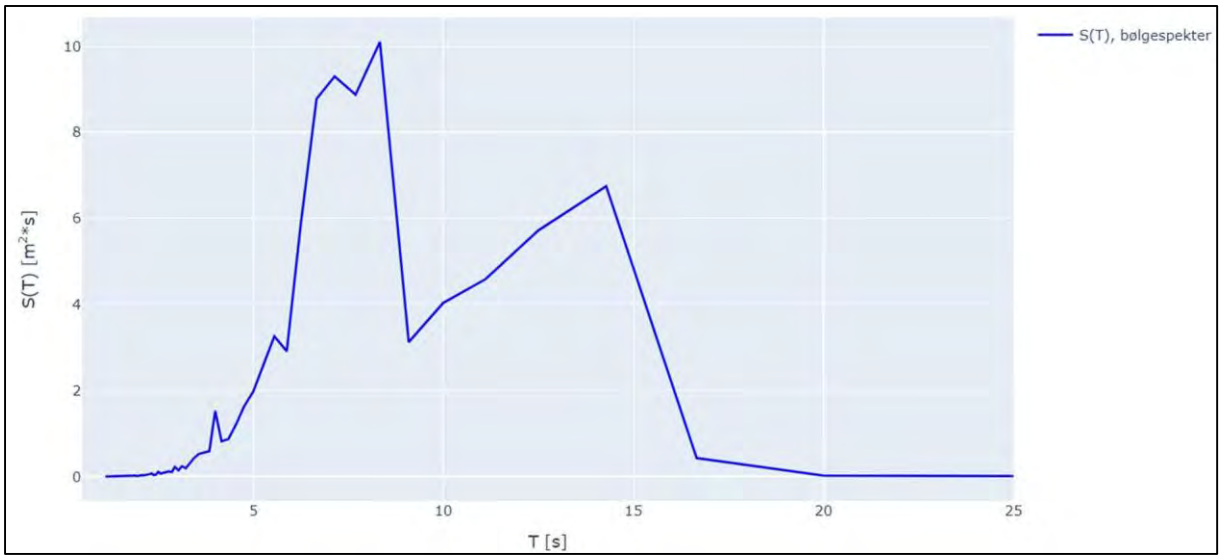
Multiconsult. (31.07.2018). 3417-200-208_02 Havfarm 1 – Model test correlation report.

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.

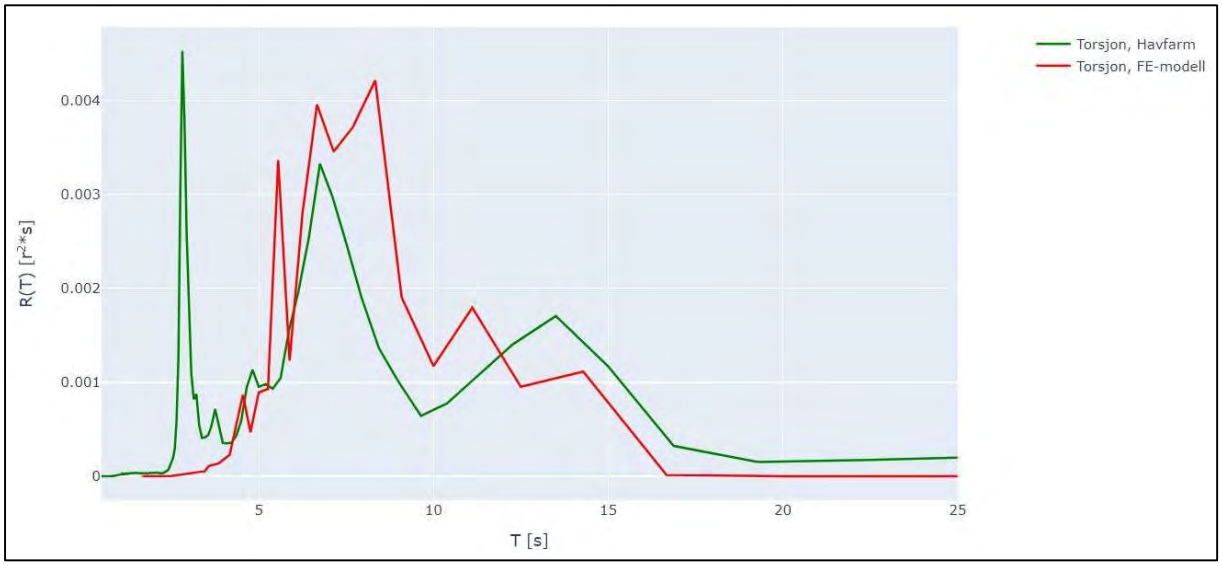
7 Appendix A

7.1 Bølge- og Responsspektra

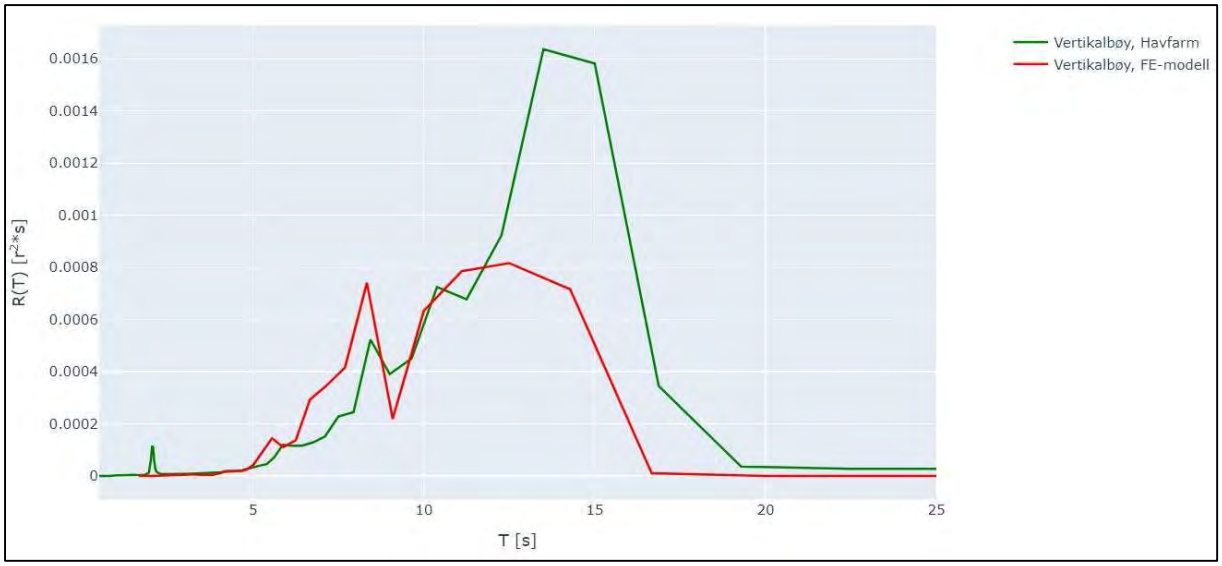
7.1.1 Storm 1



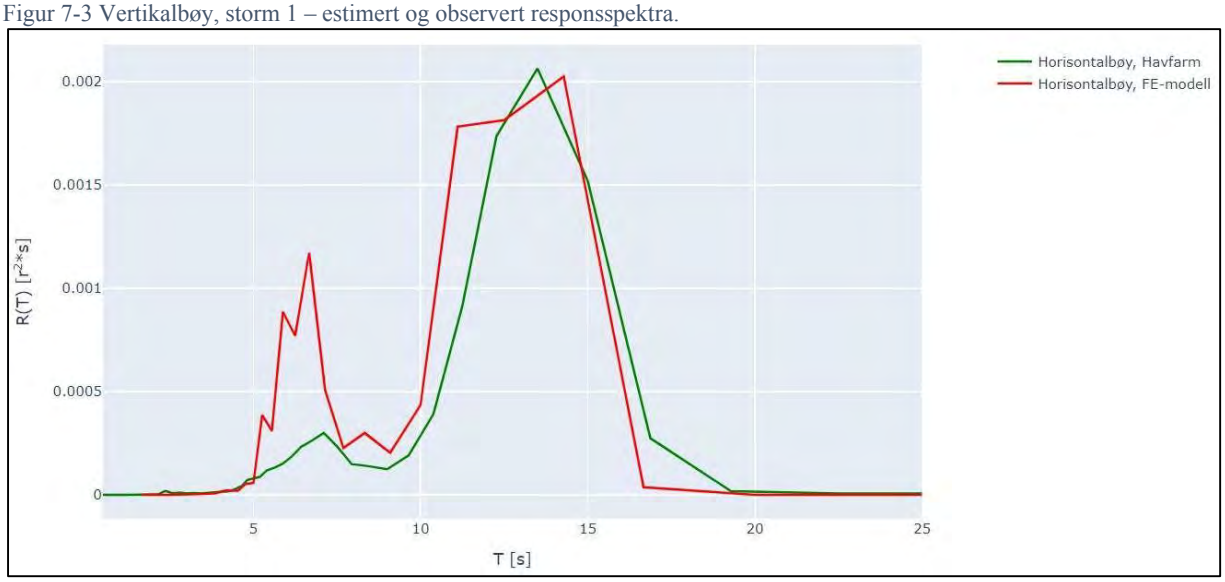
Figur 7-1 Bølgespekter i storm 1.



Figur 7-2 Torsjon, storm 1 – estimert og observert responsspektra.

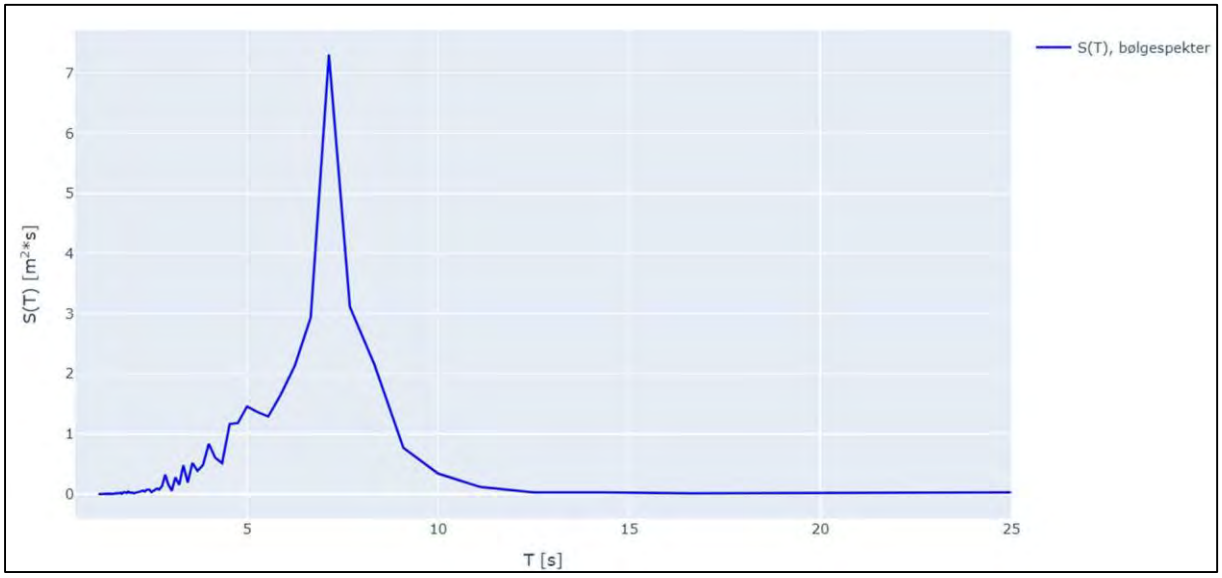


Figur 7-3 Vertikalbøy, storm 1 – estimert og observert responsspektra.

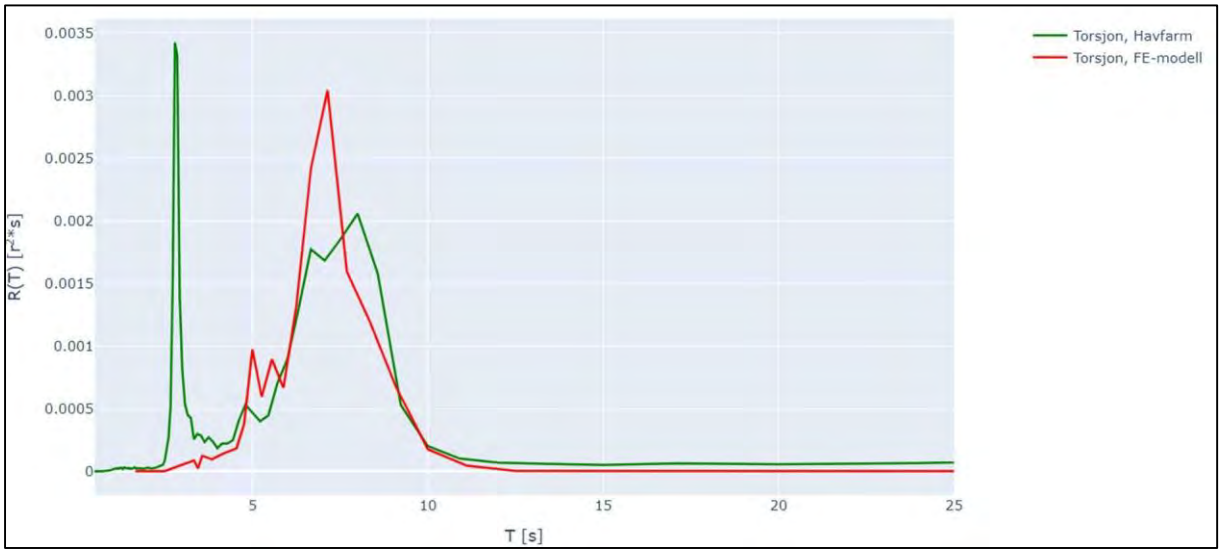


Figur 7-4 Horisontalbøy, storm 1 – estimert og observert responsspektra.

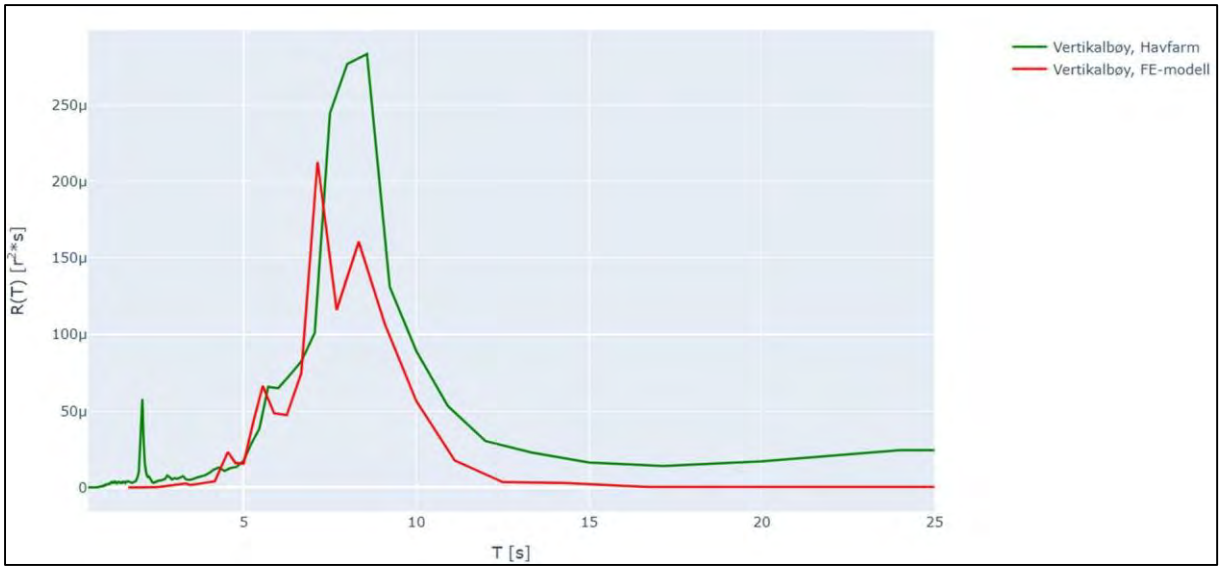
7.1.2 Storm 2



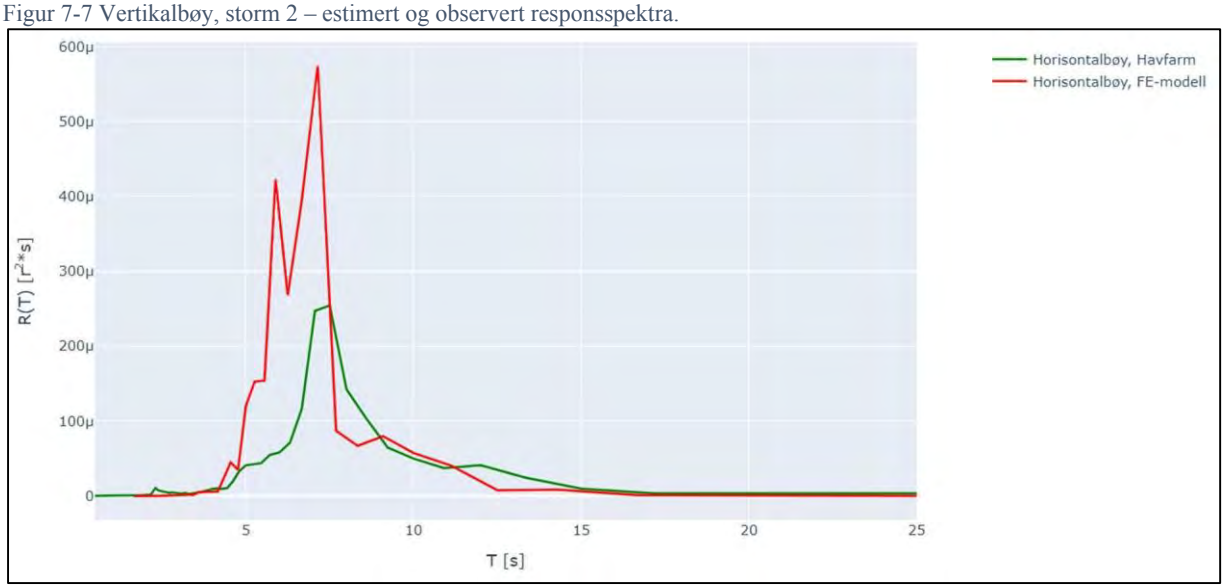
Figur 7-5 Bølgespekter i storm 2.



Figur 7-6 Torsjon, storm 2 – estimert og observert responsspektra.

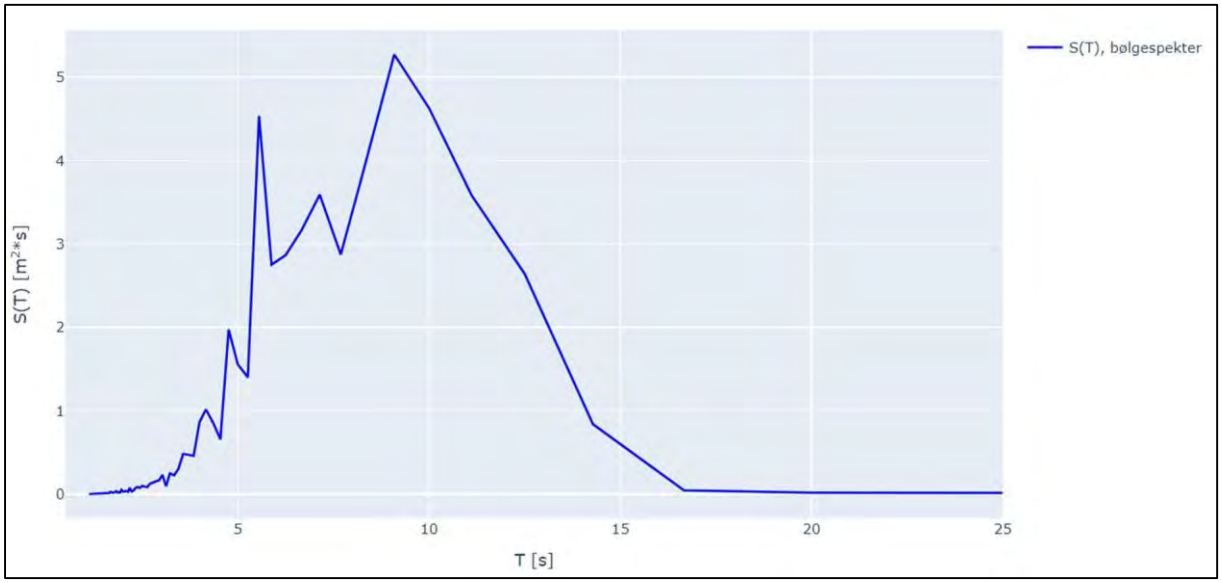


Figur 7-7 Vertikalbøy, storm 2 – estimert og observert responsspektra.

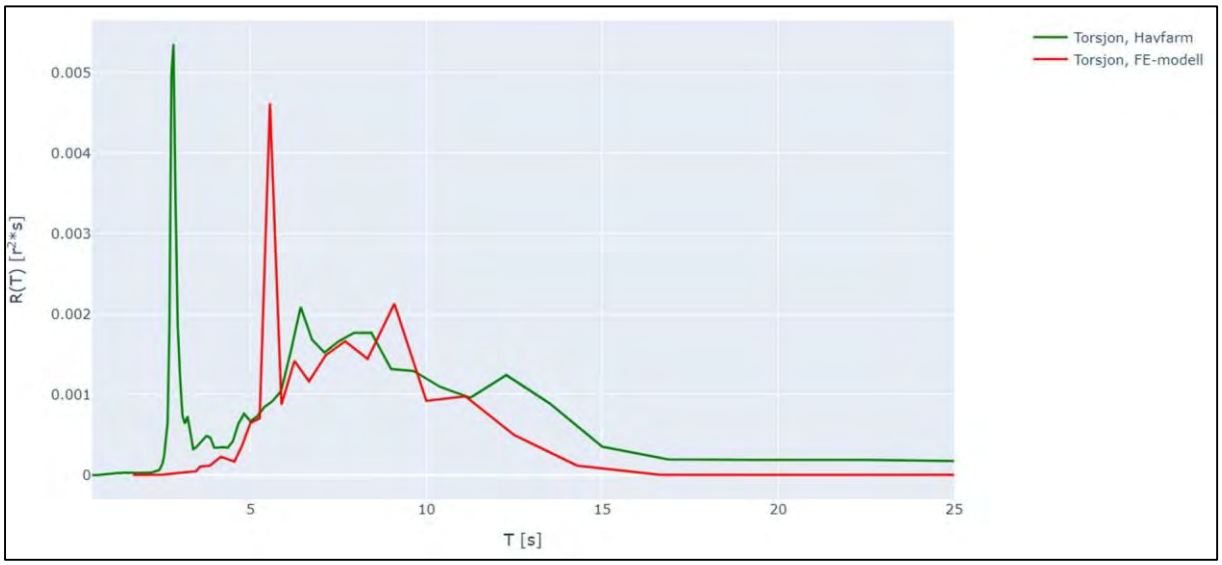


Figur 7-8 Horisontalbøy, storm 2 – estimert og observert responsspektra.

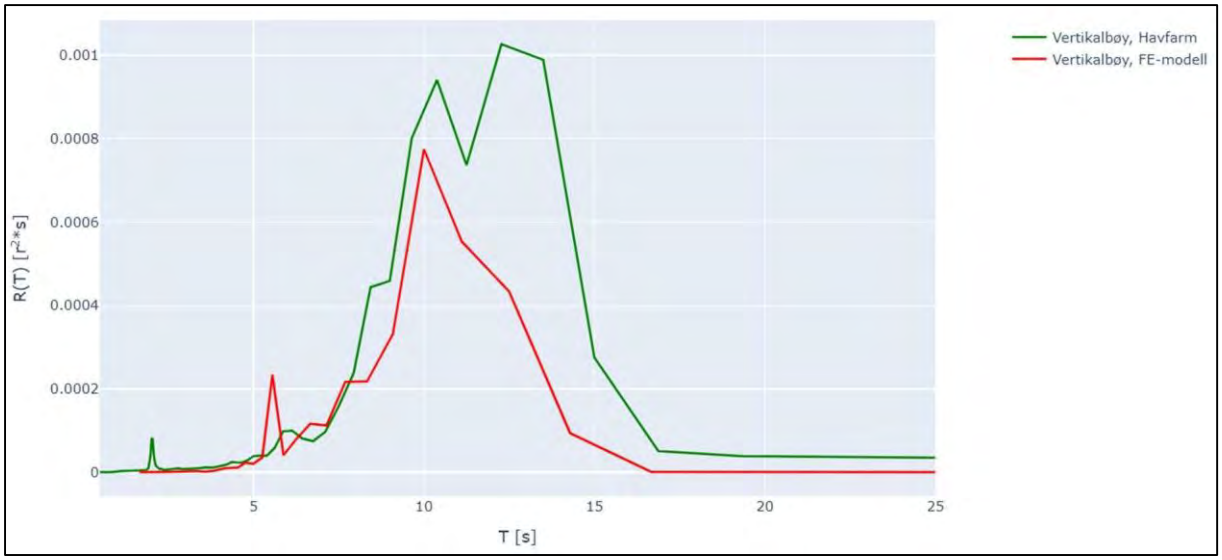
7.1.3 Storm 3



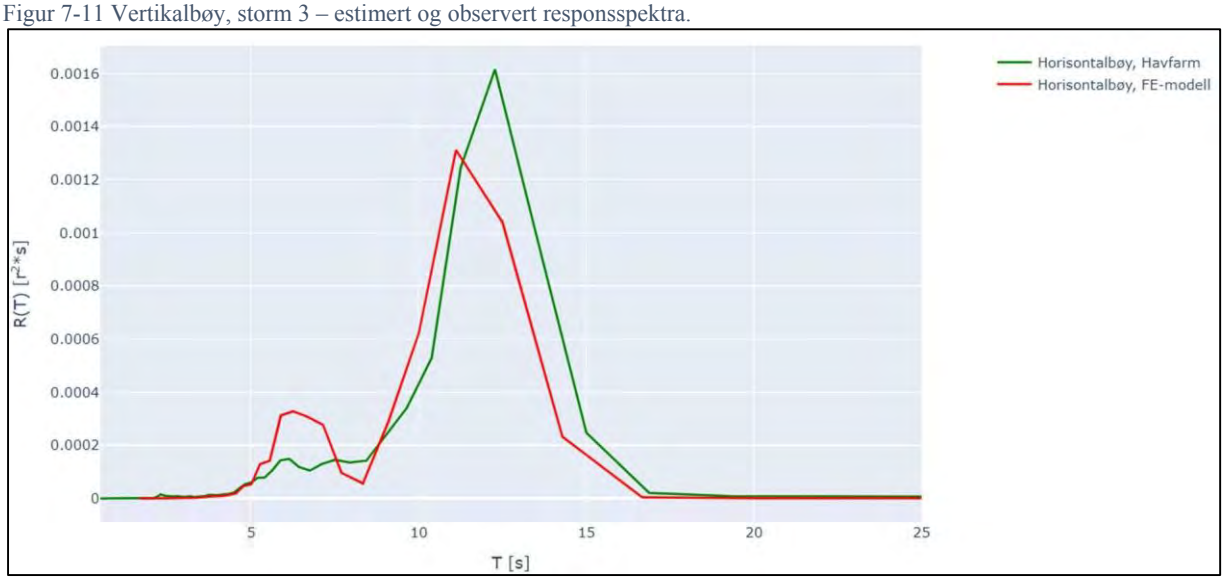
Figur 7-9 Bølgespekter i storm 3.



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.

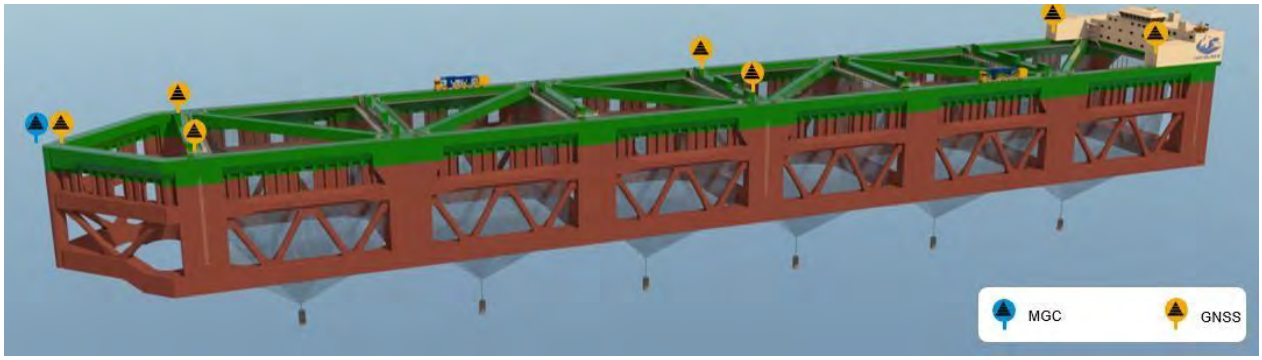


Figure 1 – Overview of locations for GNSS and MGC sensor onboard Havfarm 1

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).

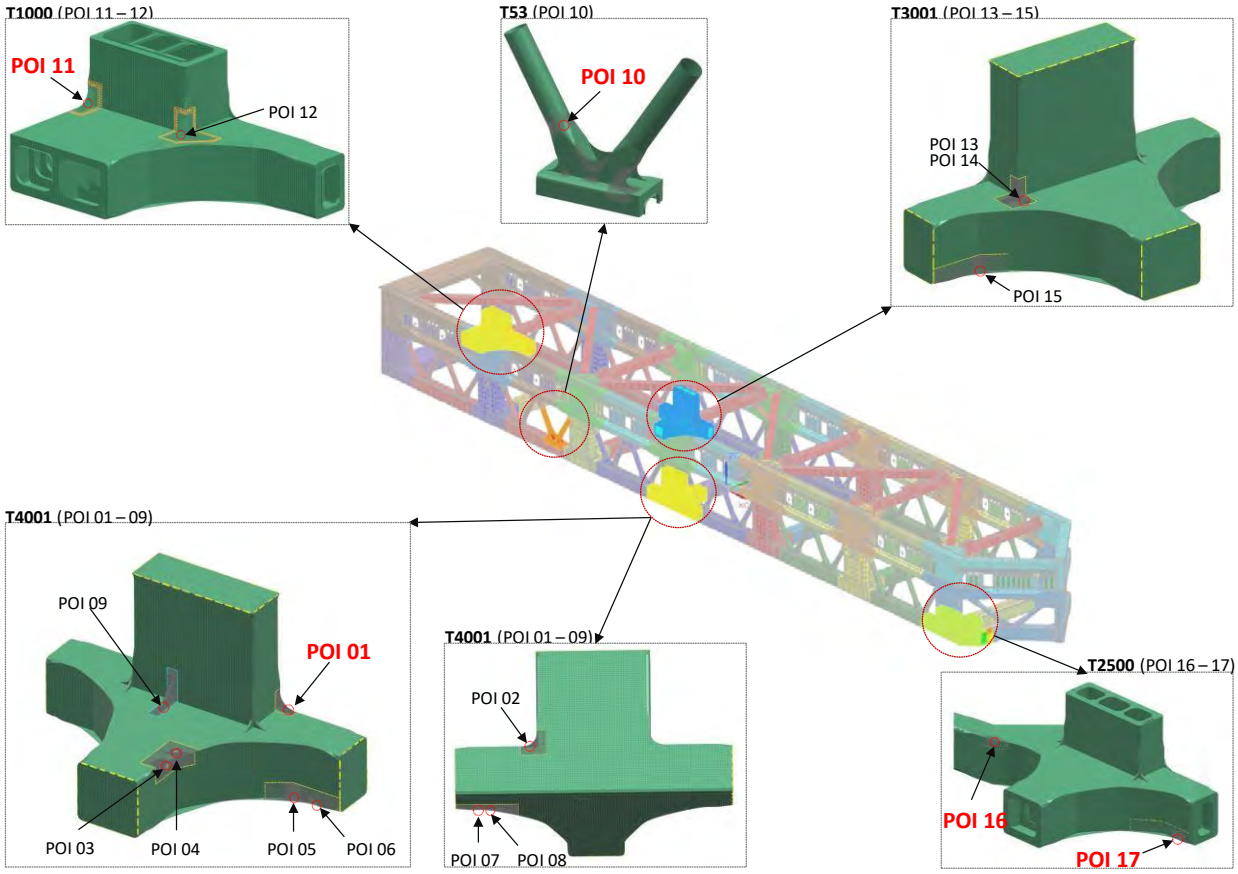
The hull monitoring system is developed to predict Fatigue Damage in POIs. A prerequisite for proper predictions is that the FE-model within the HMS represents the physical properties of the structure.

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.

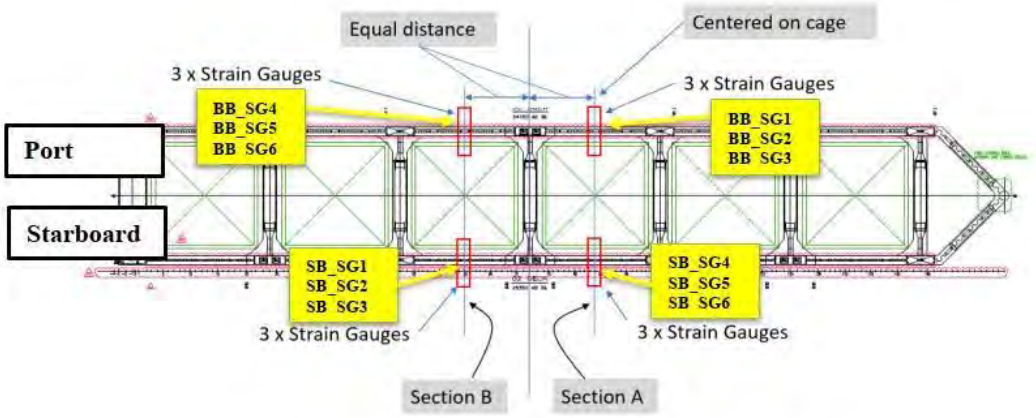


Figure 3 Overview of the instrumented sections of Havfarm1.

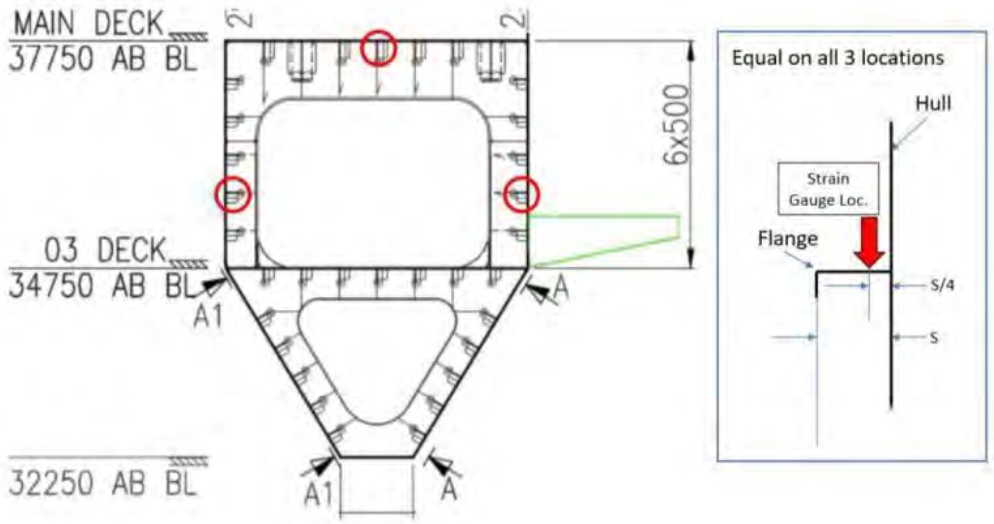


Figure 2 – Overview, locations of strain gauges.

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/trademark 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.

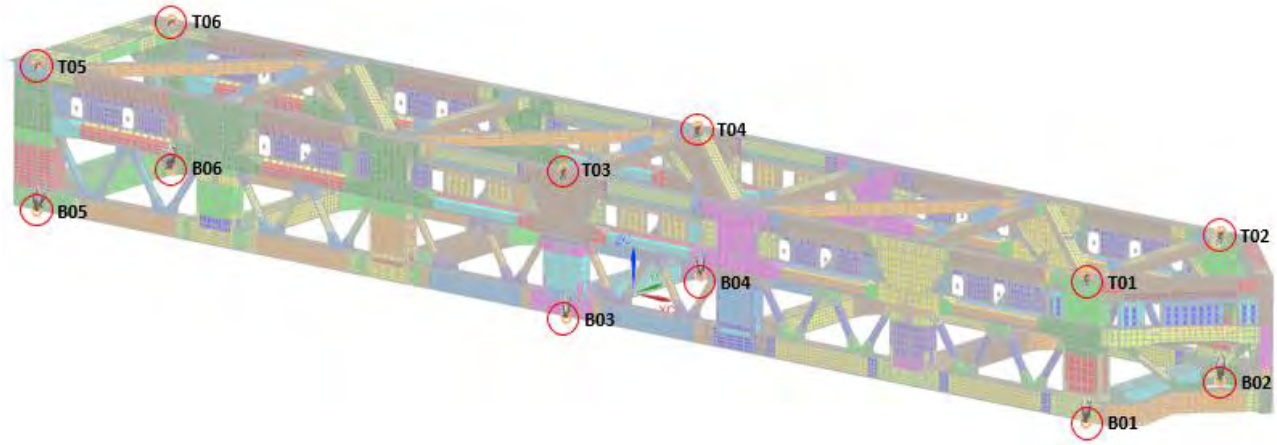


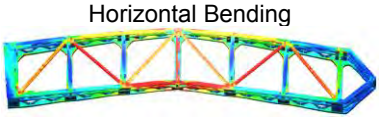
Figure 1 - Finite element interface points on the Havfarm structure shown by red circles

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

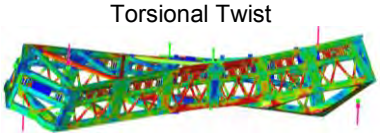


Figure 2 – Load case overview

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**

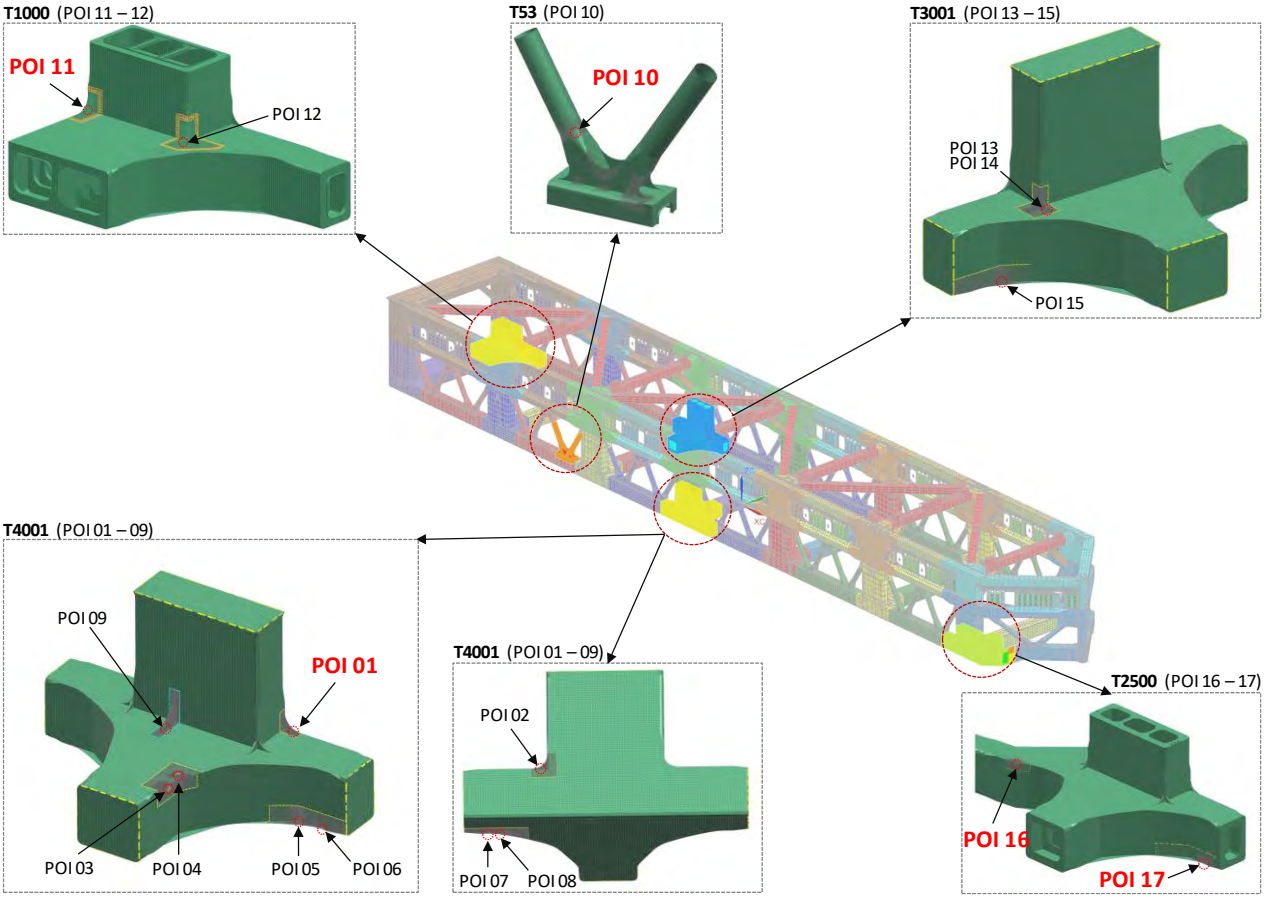


Figure 3 – The points studies in this report is denoted in red in the figure

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

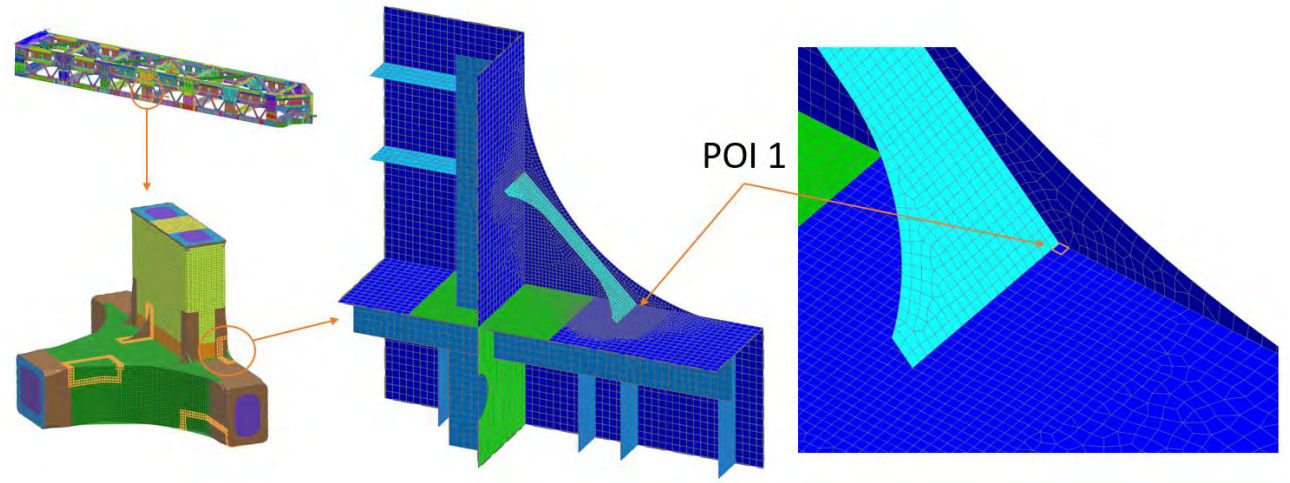


Figure 4 – POI 1 – Finite element mesh

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

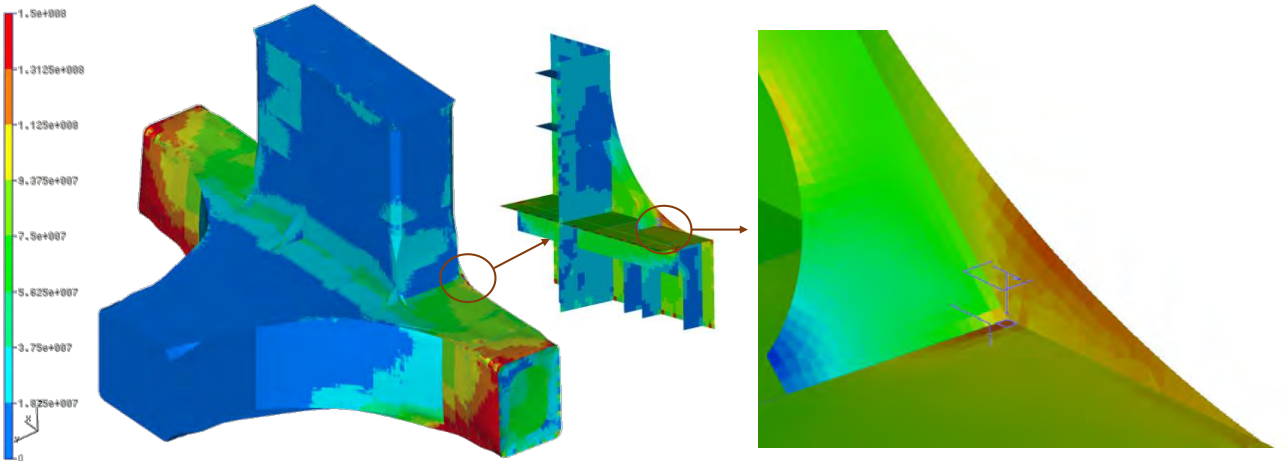


Figure 5 – POI 1 – LC1 – VonMises Stress (Scale: 0-150 MPa)

4.1.3.2 POI1 – LC 2 – VonMises Stress

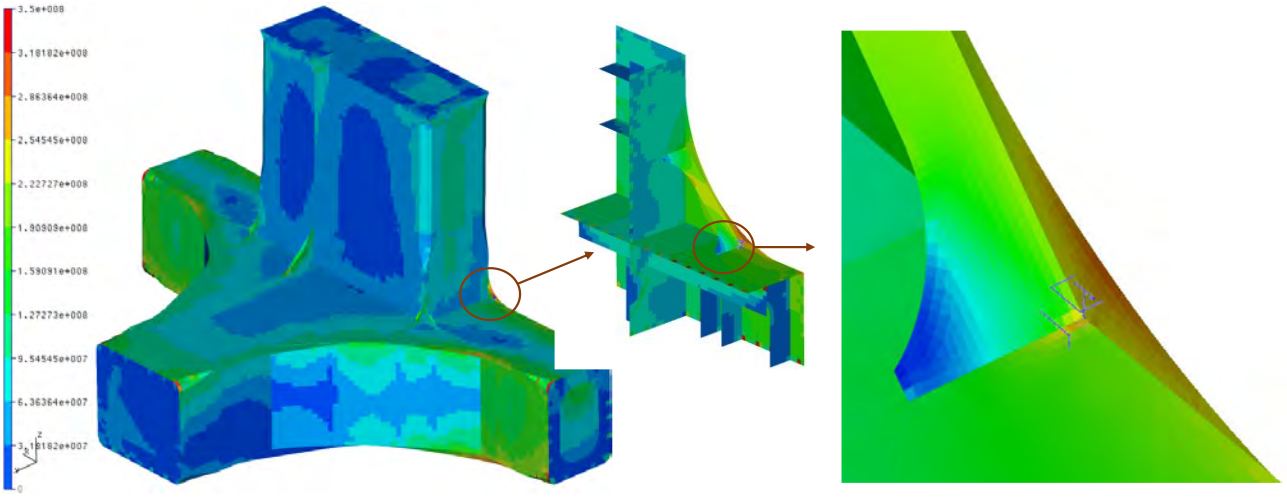


Figure 6 – POI 1 – LC1 – VonMises Stress (Scale: 0-350 MPa)

4.1.3.3 POI1 – LC 3 – VonMises Stress

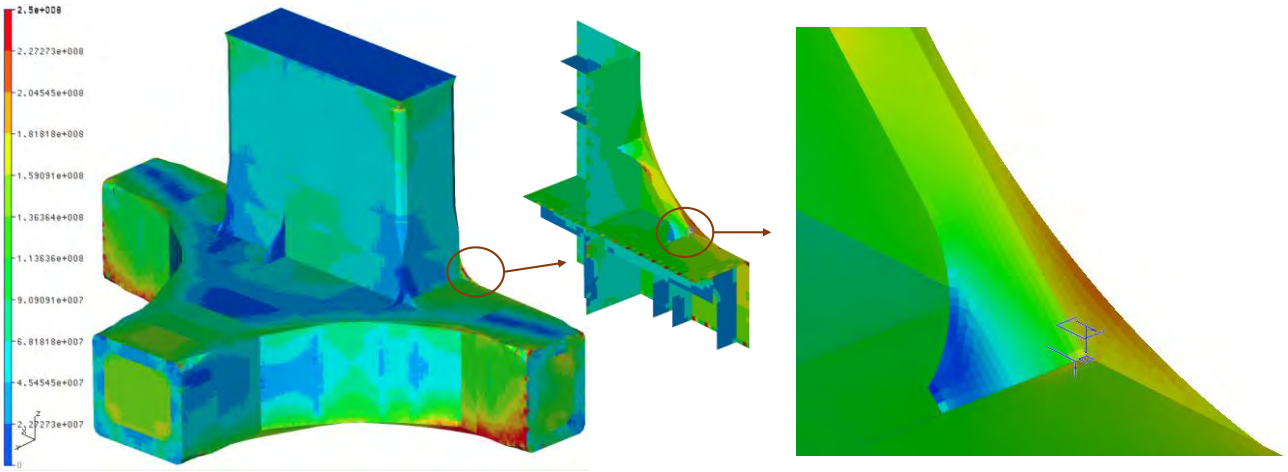


Figure 7 – POI 1 – LC3 – VonMises Stress (Scale: 0-250 MPa)

4.1.3.4 POI1 – LC 1 – Max Principal Stress – Upper Surface – 7 Waves (Sesam) vs SAP

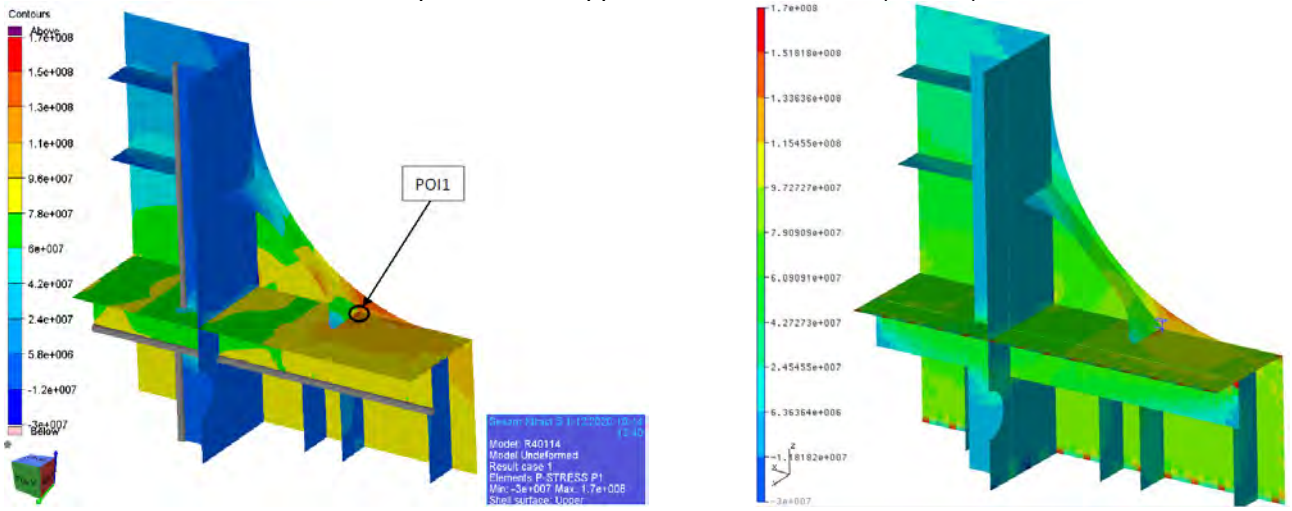


Figure 8 – POI 1 – LC1 – Max Principal Stress – Upper Surface (Scale: -30 -> 170 MPa)

4.1.3.5 POI1 – LC 2 – Max Principal Stress – Upper Surface – 7 Waves (Sesam) vs SAP

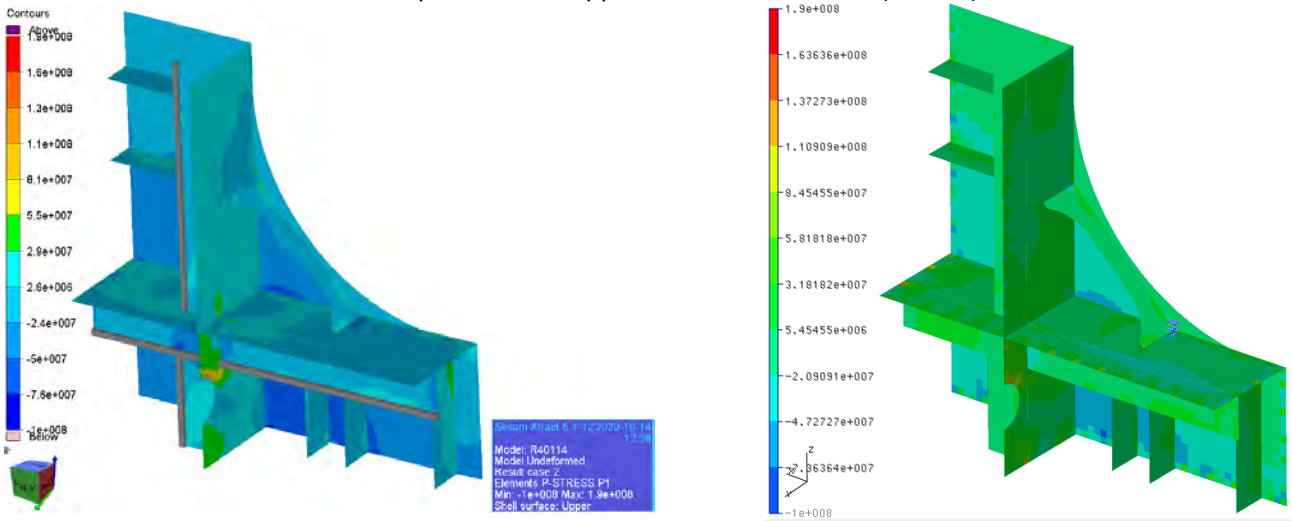


Figure 9 – POI 1 – LC2 – Max Principal Stress – Upper Surface (Scale: -100 -> 190 MPa)

4.1.3.6 POI1 – LC 3 – Max Principal Stress – Upper Surface – 7 Waves (Sesam) vs SAP

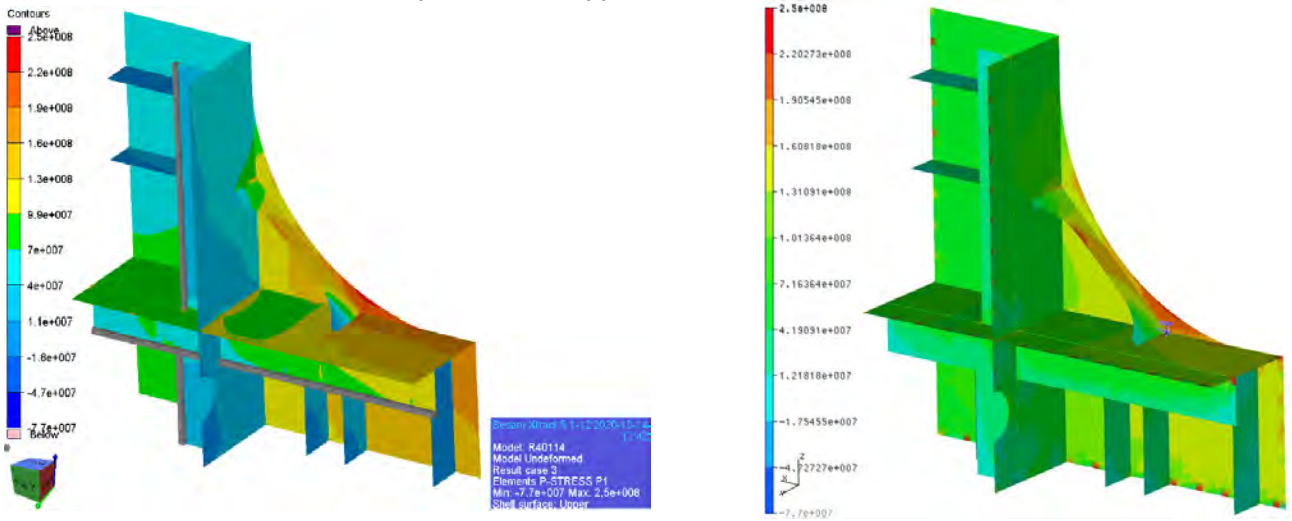


Figure 10 – POI 1 – LC3 – Max Principal Stress – Upper Surface (Scale: -77 -> 250 MPa)

4.2 POI 10

4.2.1 POI 10 – Mesh

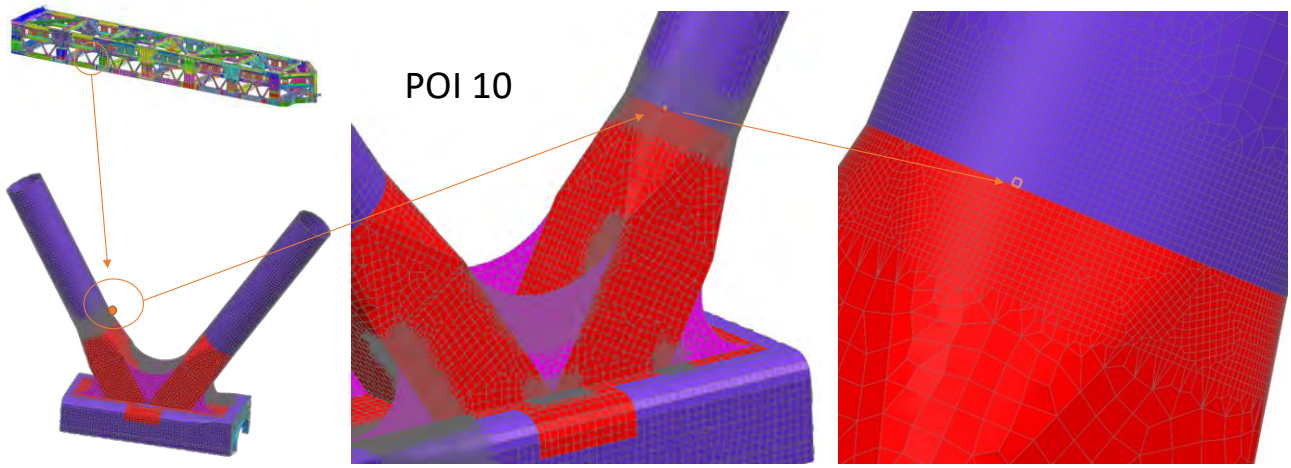


Figure 11 – POI 10 – Finite element mesh

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

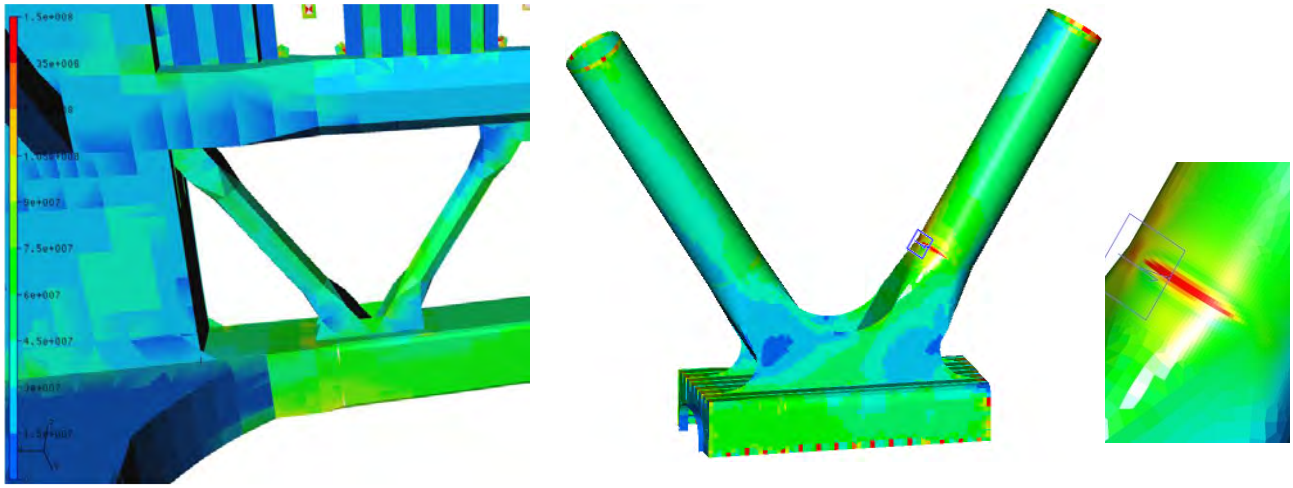


Figure 12 – POI 10 – LC1 – VonMises Stress (Scale: 0-150 MPa)

4.2.3.2 POI 10 – LC 2 – VonMises Stress

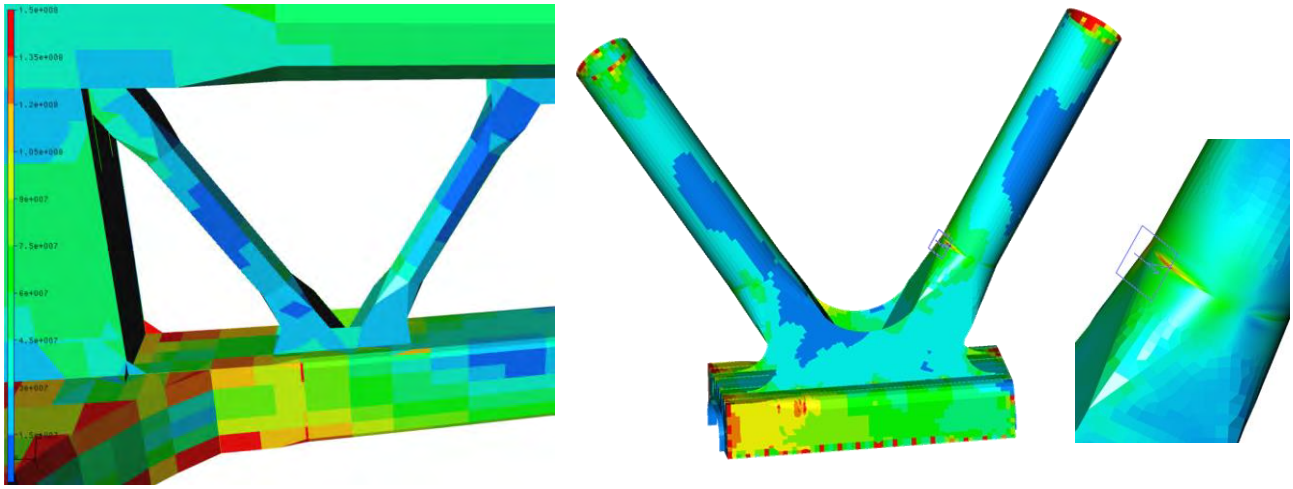


Figure 13 – POI 10 – LC1 – VonMises Stress (Scale: 0-150 MPa)

4.2.3.3 POI 10 – LC 3 – VonMises Stress

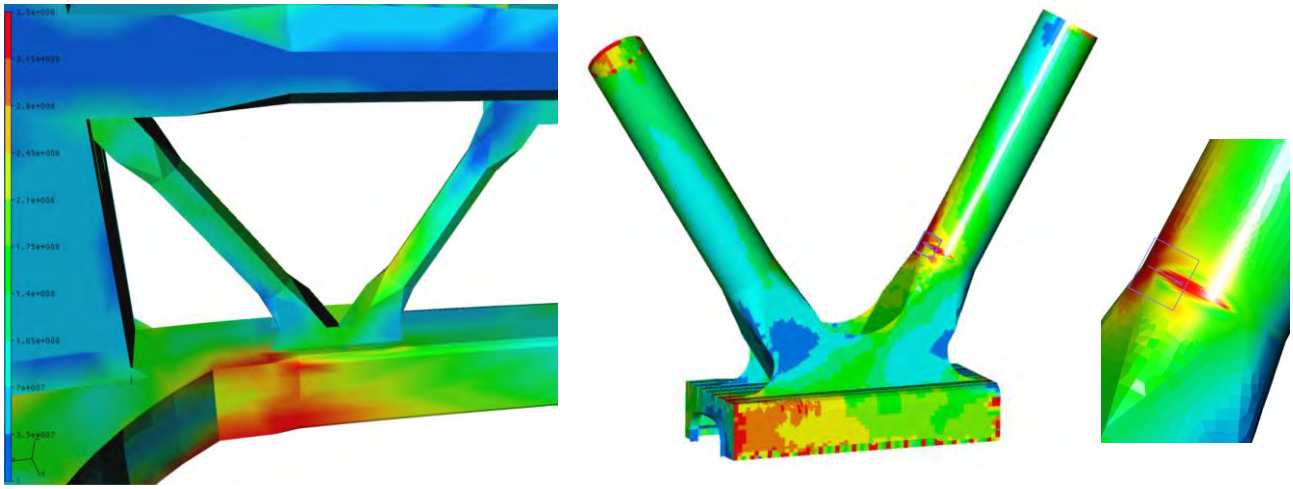


Figure 14 – POI 10 – LC3 – VonMises Stress (Scale: 0-350 MPa)

4.2.3.4 POI10 – LC 1 – Max Principal Stress – Upper Surface – 7 Waves (Sesam) vs SAP

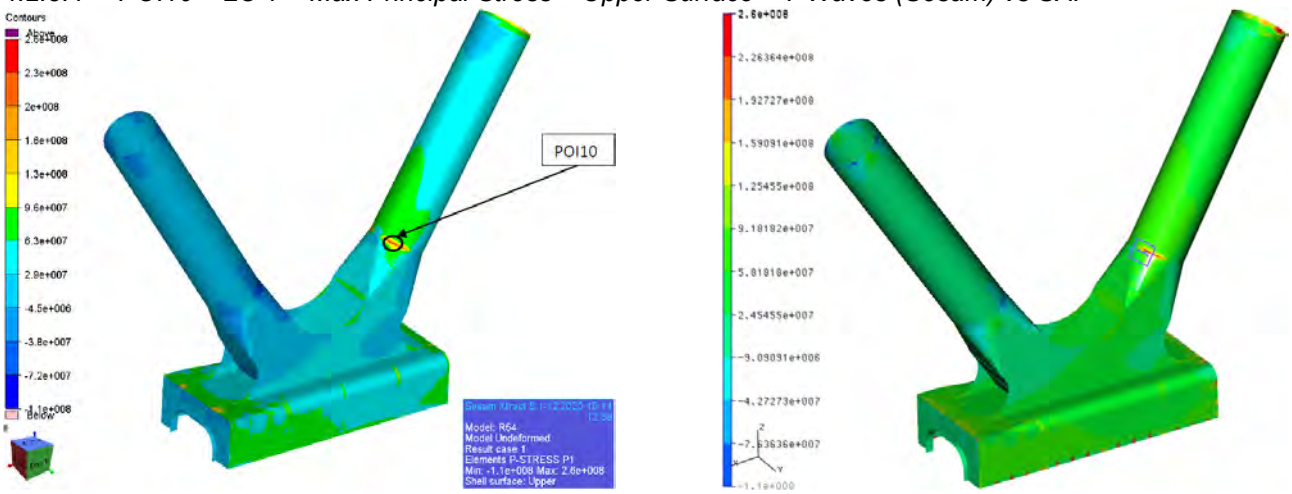


Figure 15 – POI 10 – LC1 – Max Principal Stress – Upper Surface (Scale: -110 -> 260 MPa)

4.2.3.5 POI10 – LC 2 – Max Principal Stress – Upper Surface – 7 Waves (Sesam) vs SAP

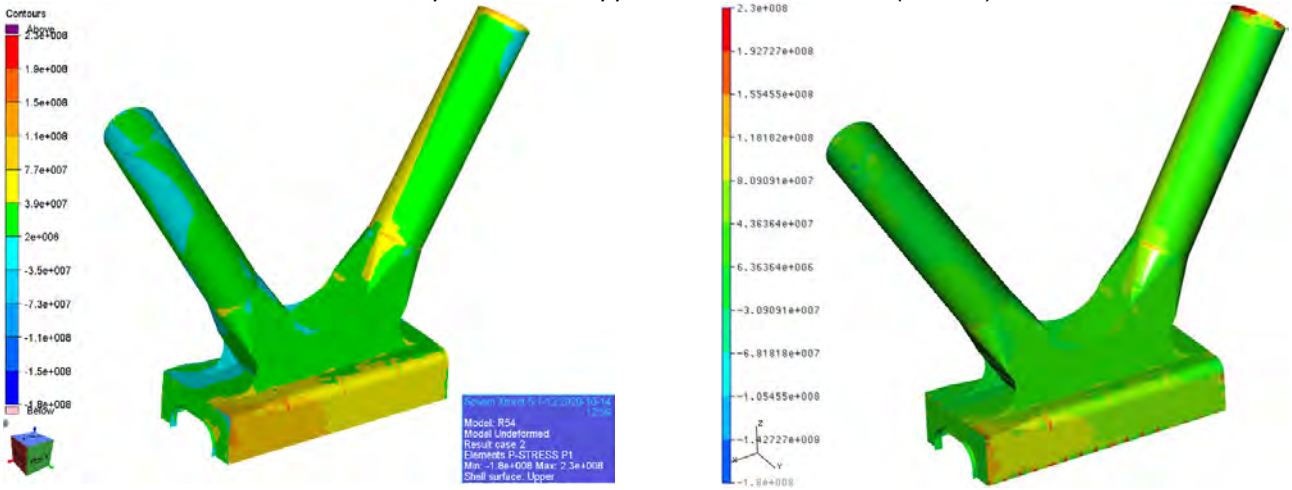


Figure 16 – POI 10 – LC2 – Max Principal Stress – Upper Surface (Scale: -180 -> 230 MPa)

4.2.3.6 POI10 – LC 3 – Max Principal Stress – Upper Surface – 7 Waves (Sesam) vs SAP

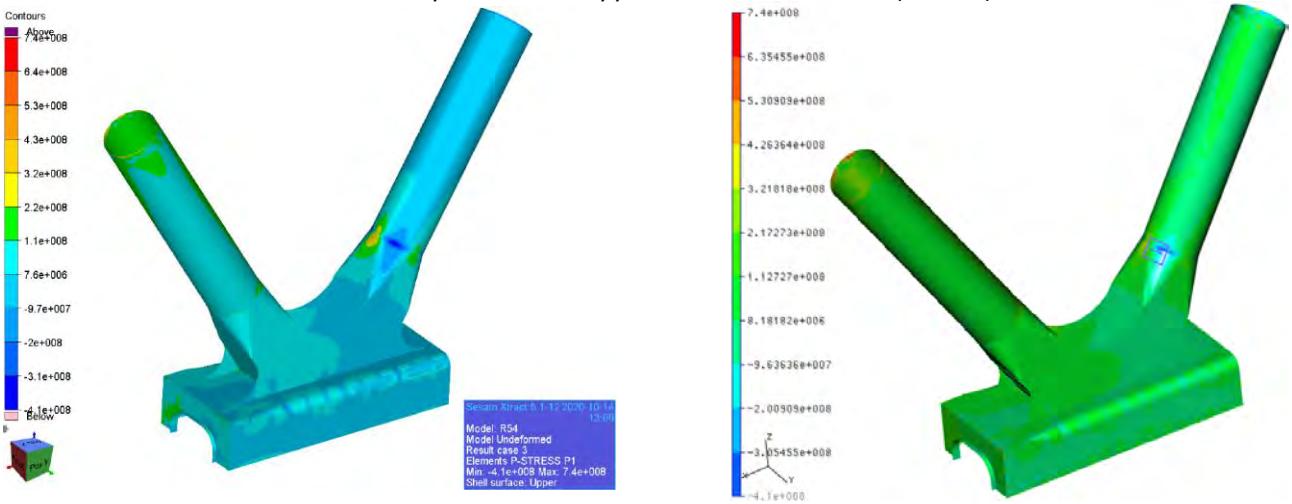


Figure 17 – POI 10 – LC3 – Max Principal Stress – Upper Surface (Scale: -410 -> 740 MPa)

4.3 POI 11

4.3.1 POI 11 – Mesh

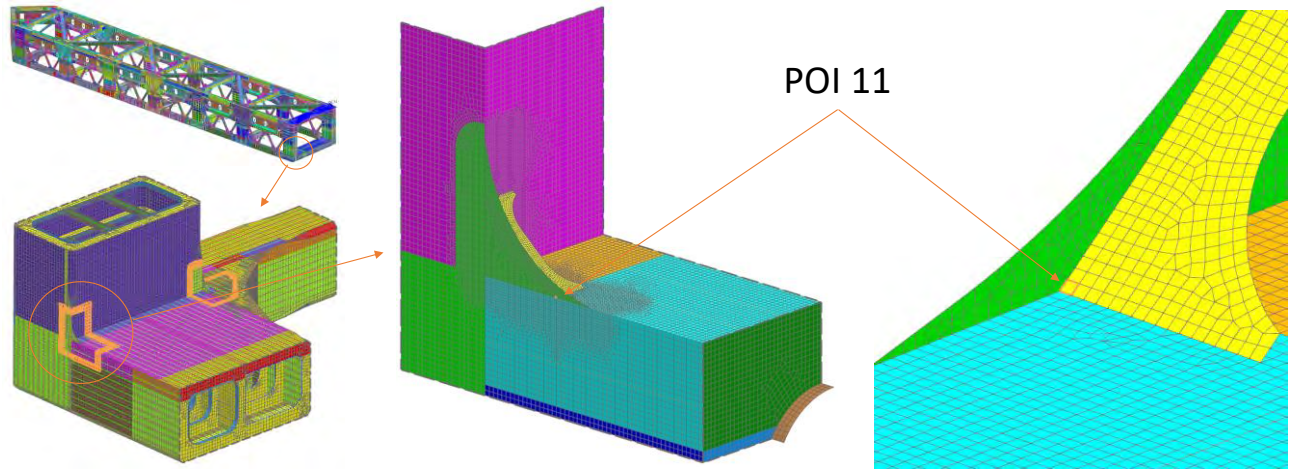


Figure 18 – POI 11– Finite element mesh

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

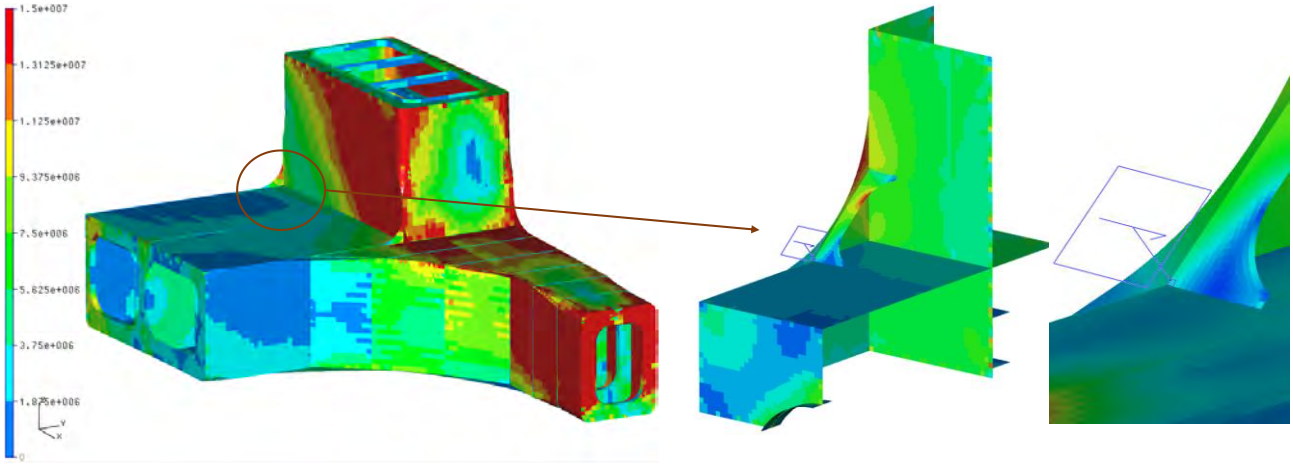


Figure 19 – POI 11 – LC1 – VonMises Stress (Scale: 0-15 MPa)

4.3.3.2 POI 11 – LC 2 – VonMises Stress

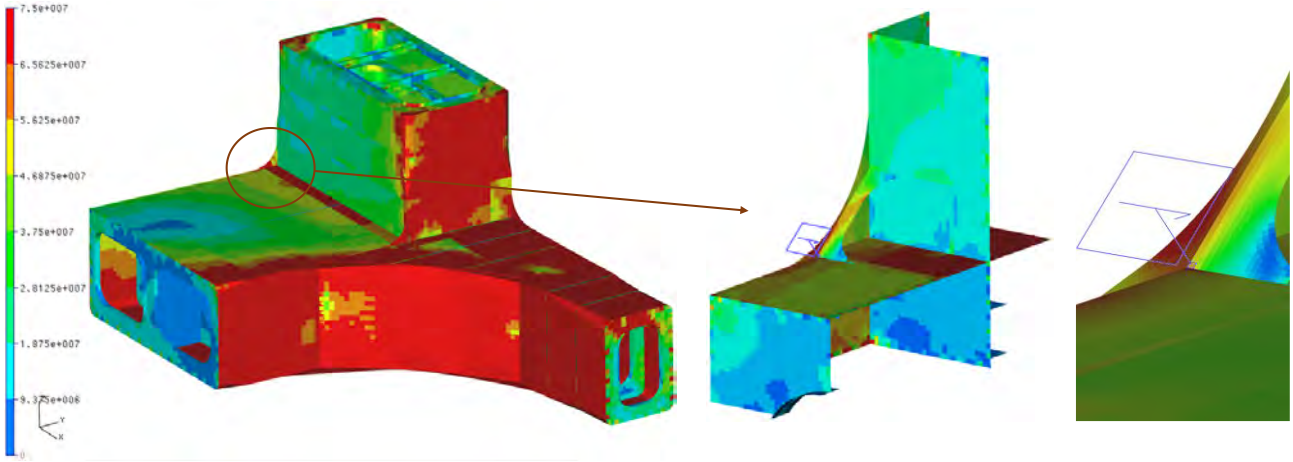


Figure 20 – POI 11 – LC1 – VonMises Stress (Scale: 0-75 MPa)

4.3.3.3 POI 11 – LC 3 – VonMises Stress

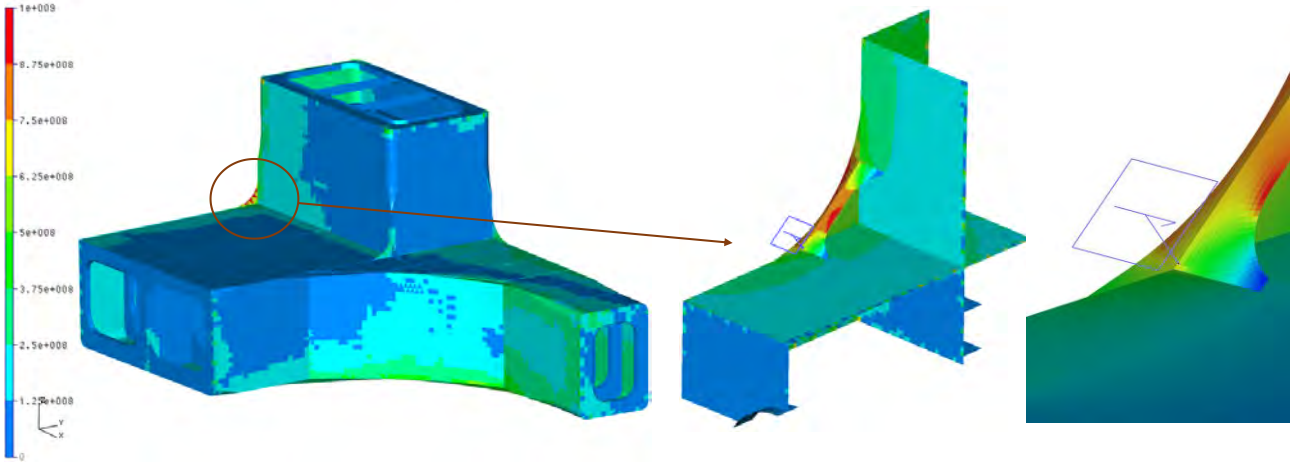


Figure 21 – POI 11 – LC3 – VonMises Stress (Scale: 0-1000MPa)

4.3.3.4 POI11 – LC 1 – Max Principal Stress – Upper Surface – 7 Waves (Sesam) vs SAP

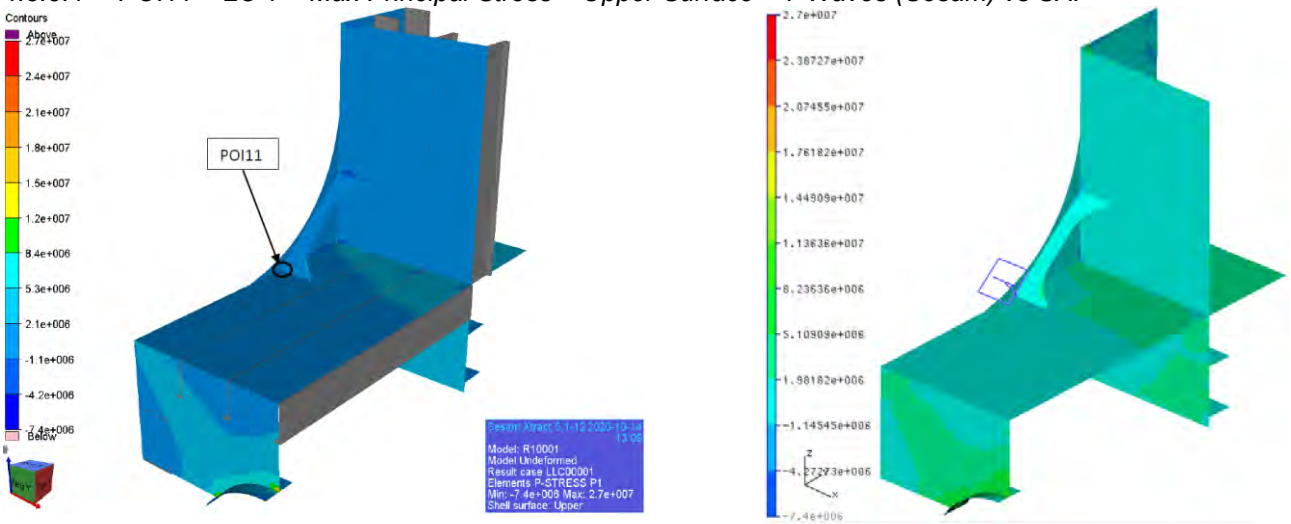


Figure 22 – POI 11 – LC1 – Max Principal Stress – Upper Surface (Scale: -7.4 -> 27 MPa)

4.3.3.5 POI11 – LC 2 – Max Principal Stress – Upper Surface – 7 Waves (Sesam) vs SAP

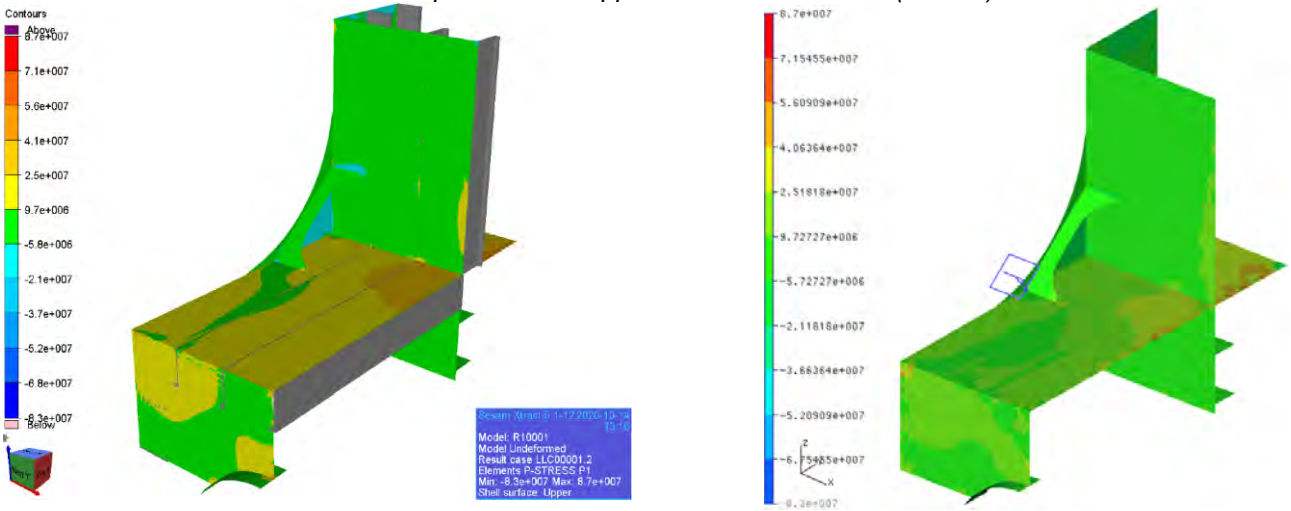


Figure 23 – POI 11 – LC2 – Max Principal Stress – Upper Surface (Scale: -83 -> 87 MPa)

4.3.3.6 POI11 – LC 3 – Max Principal Stress – Upper Surface – 7 Waves (Sesam) vs SAP

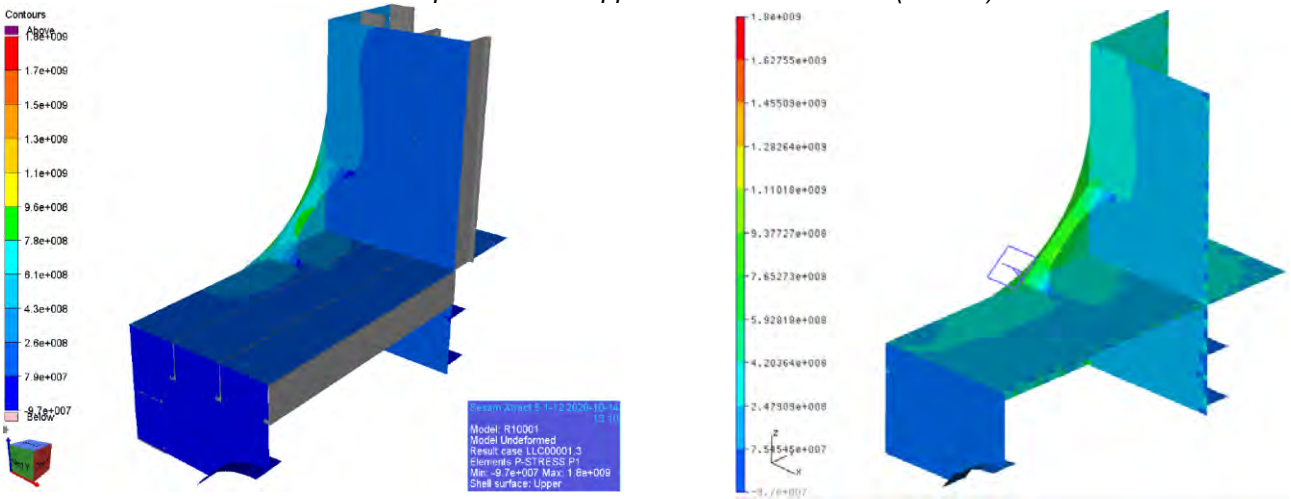


Figure 24 – POI 11 – LC3 – Max Principal Stress – Upper Surface (Scale: -97 -> 1800 MPa)

4.4 POI 16

4.4.1 POI 16 – Mesh

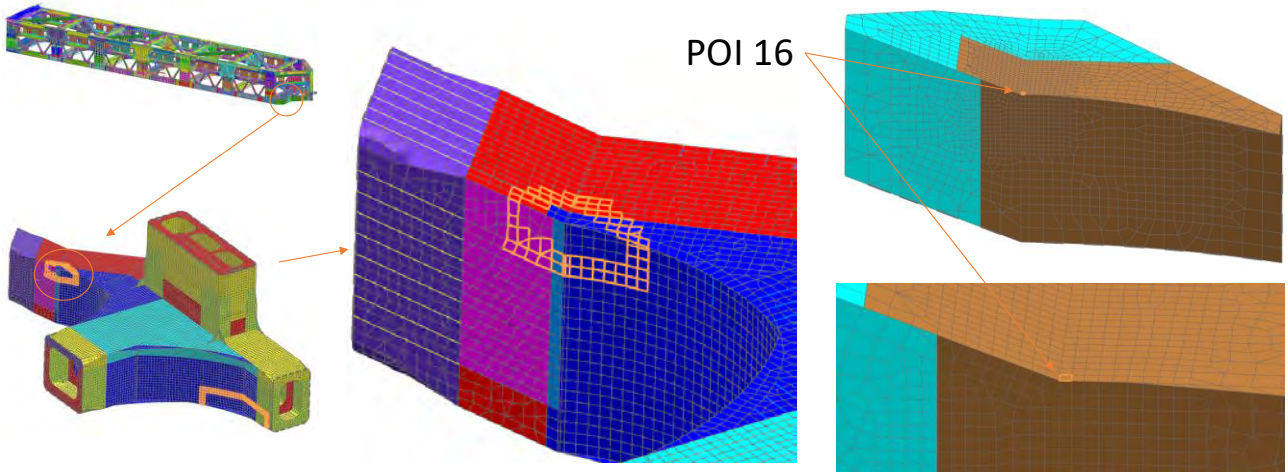


Figure 25 – POI 16 – Finite element mesh

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

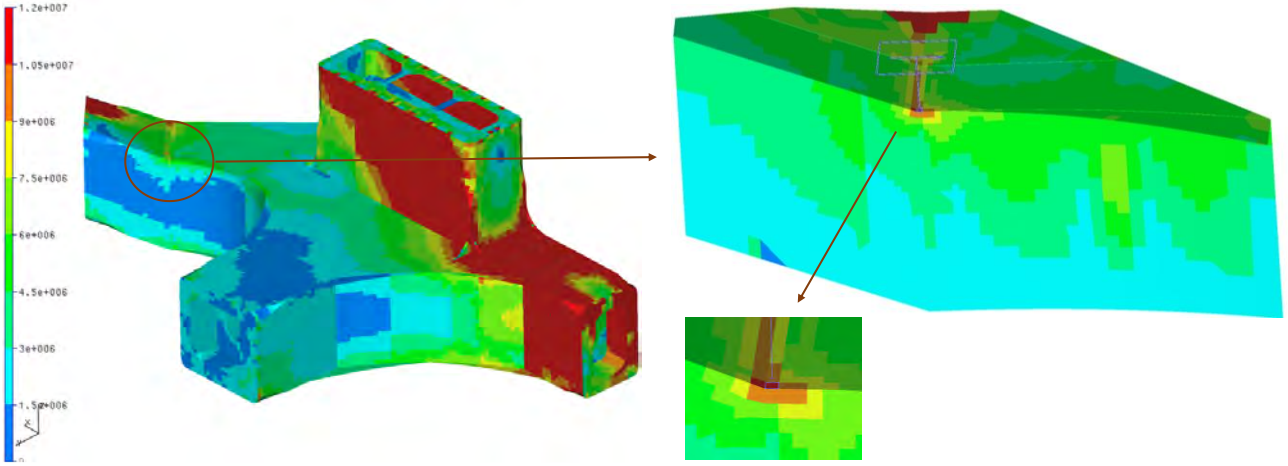


Figure 26 – POI 16 – LC1 – VonMises Stress (Scale: 0-12 MPa)

4.4.3.2 POI 16 – LC 2 – VonMises Stress

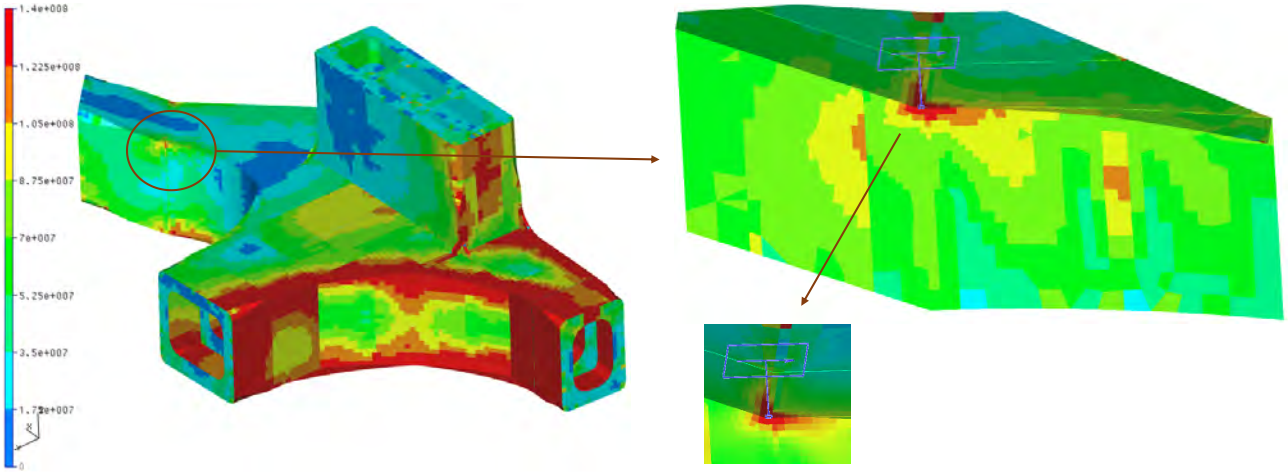


Figure 27 – POI 16 – LC1 – VonMises Stress (Scale: 0-140 MPa)

4.4.3.3 POI 16 – LC 3 – VonMises Stress

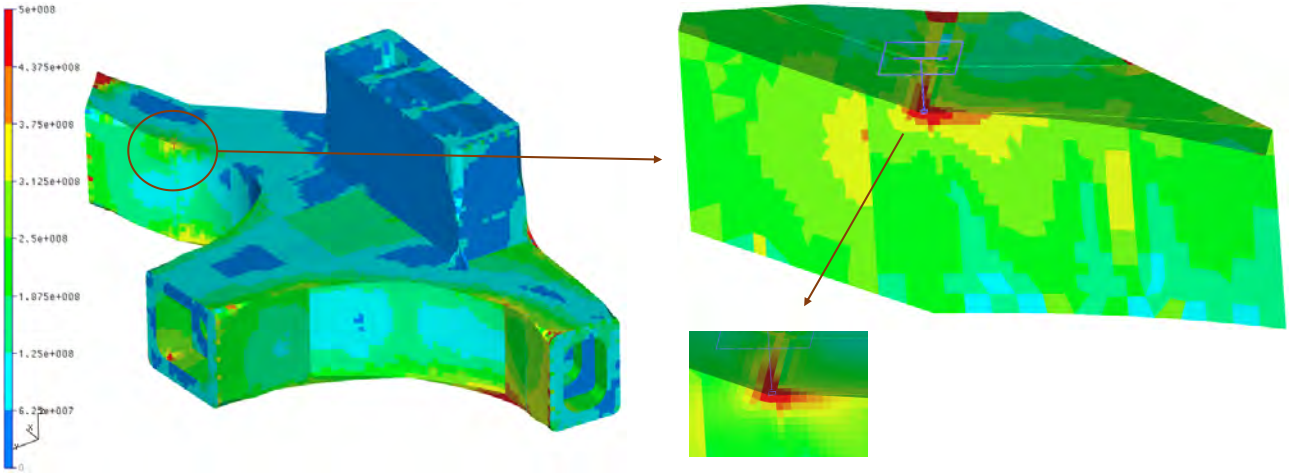


Figure 28 – POI 16 – LC3 – VonMises Stress (Scale: 0-500MPa)

4.4.3.4 POI16 – LC 1 – Max Principal Stress – Upper Surface – 7 Waves (Sesam) vs SAP

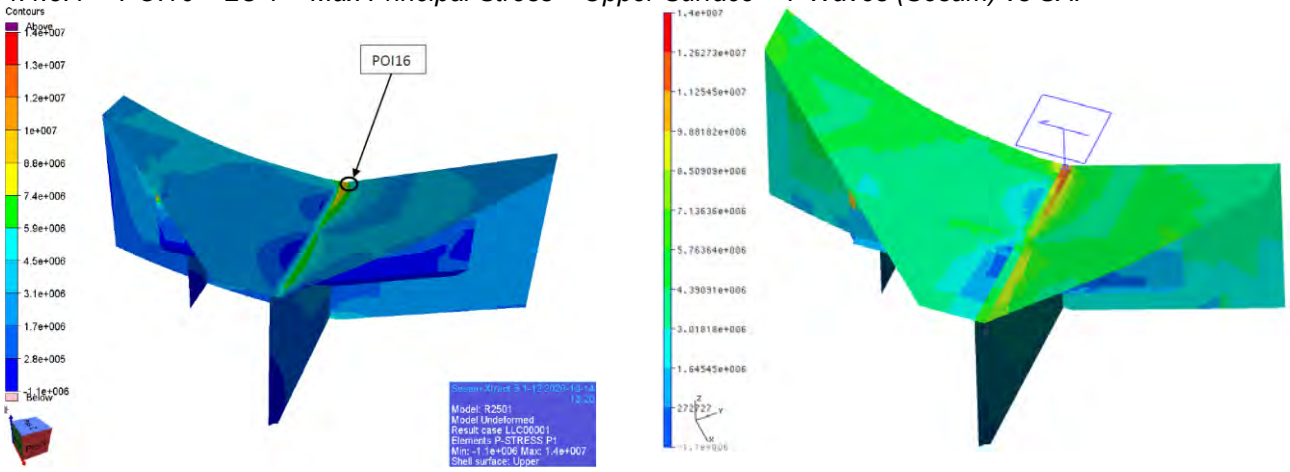


Figure 29 – POI 16 – LC1 – Max Principal Stress – Upper Surface (Scale: -1.1 -> 14 MPa)

4.4.3.5 POI16 – LC 2 – Max Principal Stress – Upper Surface – 7 Waves (Sesam) vs SAP

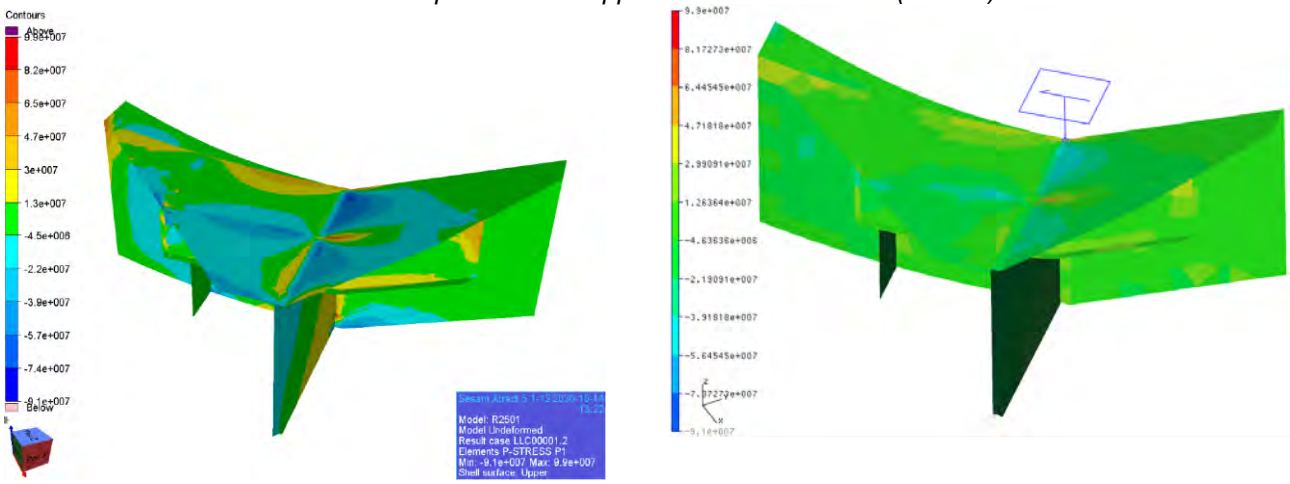


Figure 30 – POI 16 – LC2 – Max Principal Stress – Upper Surface (Scale: -91 -> 99 MPa)

4.4.3.6 POI16 – LC 3 – Max Principal Stress – Upper Surface – 7 Waves (Sesam) vs SAP

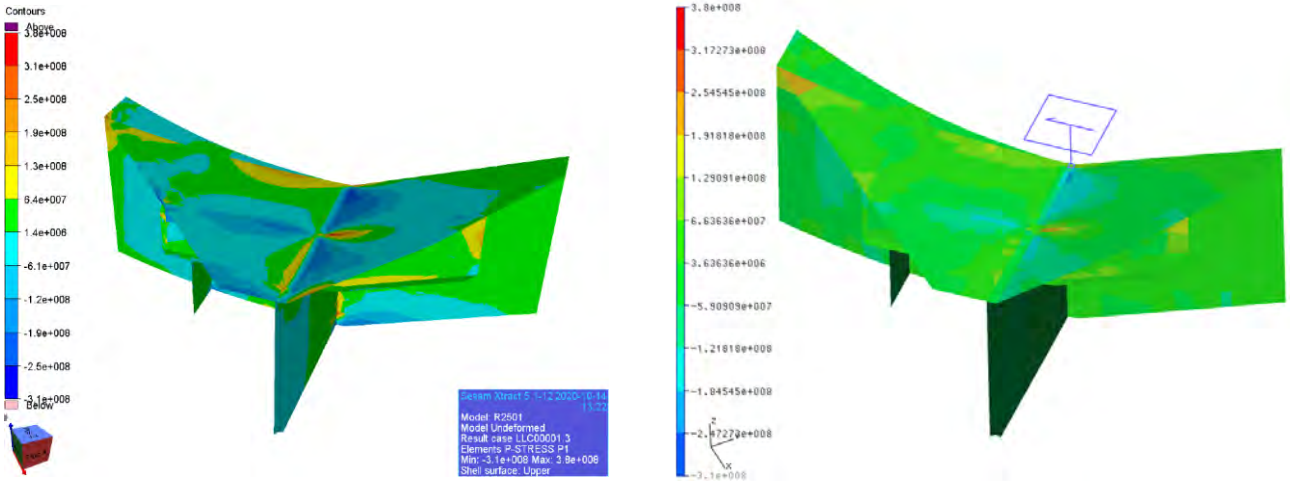


Figure 31 – POI 16 – LC3 – Max Principal Stress – Upper Surface (Scale: -310 -> 380 MPa)

4.5 POI 17

4.5.1 POI 17 – Mesh

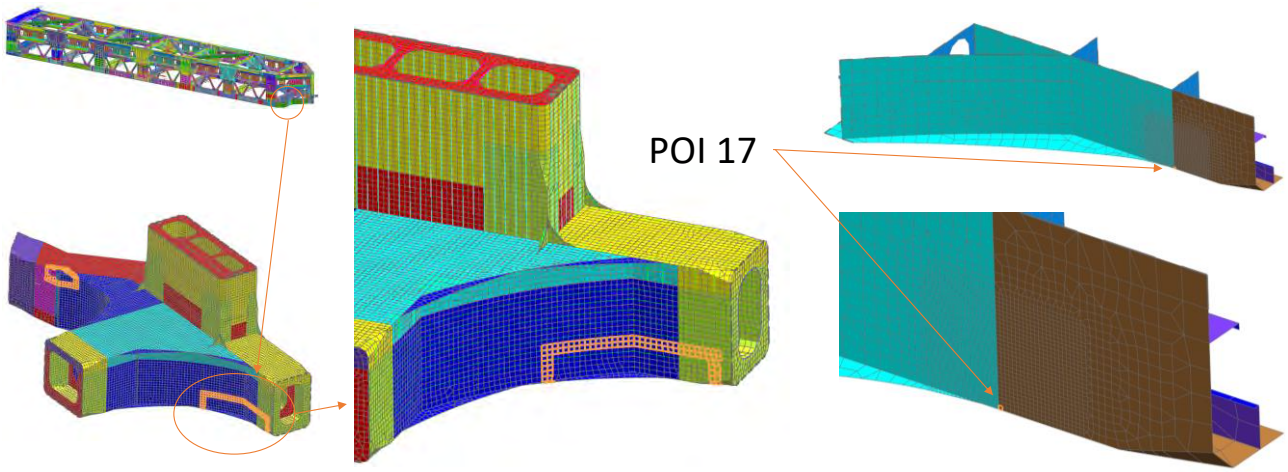


Figure 32 – POI 17 – Finite element mesh

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

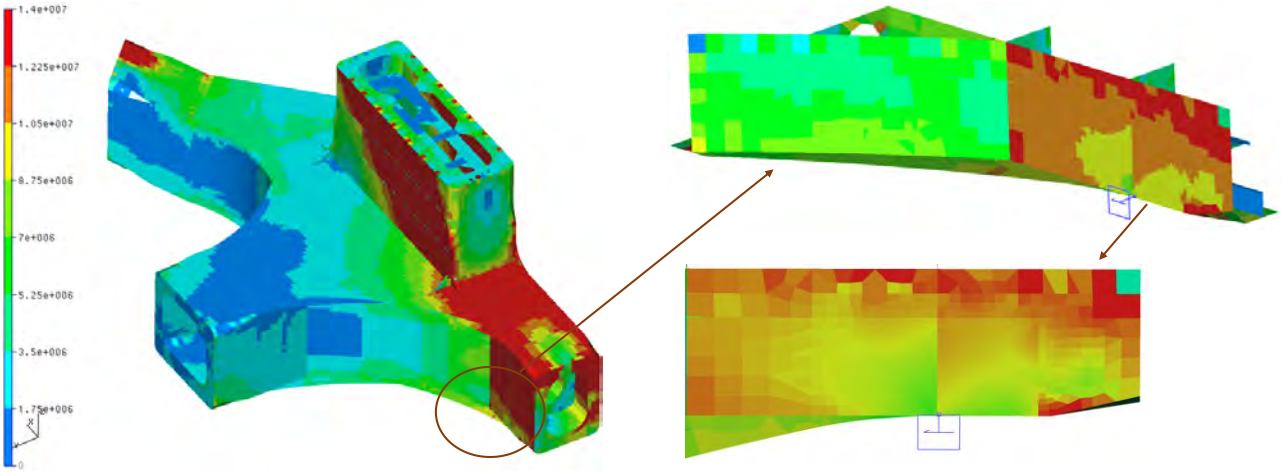


Figure 33 – POI 17 – LC1 – VonMises Stress (Scale: 0-14 MPa)

4.5.3.2 POI 17 – LC 2 – VonMises Stress

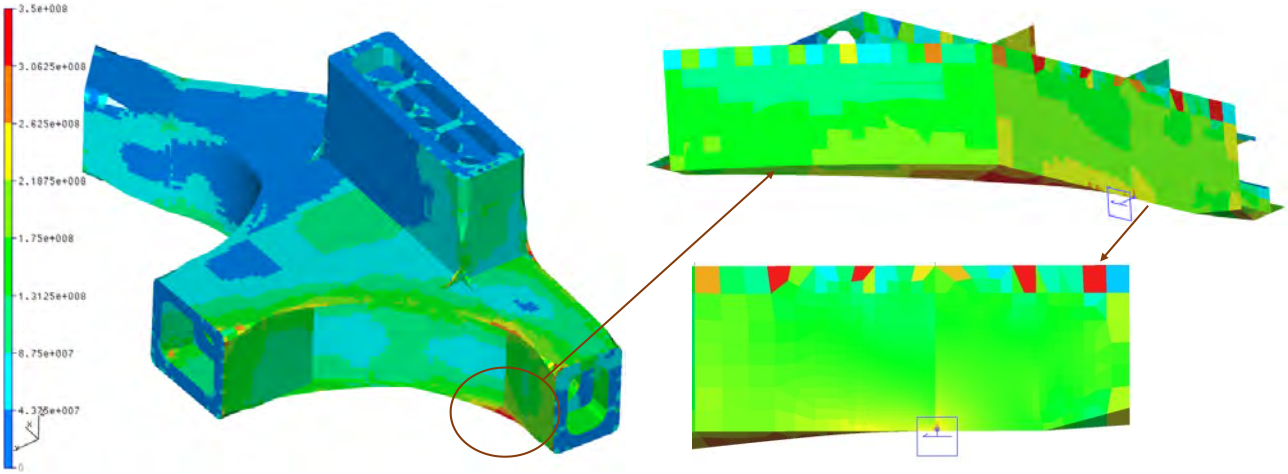


Figure 34 – POI 17 – LC1 – VonMises Stress (Scale: 0-350 MPa)

4.5.3.3 POI 17 – LC 3 – VonMises Stress

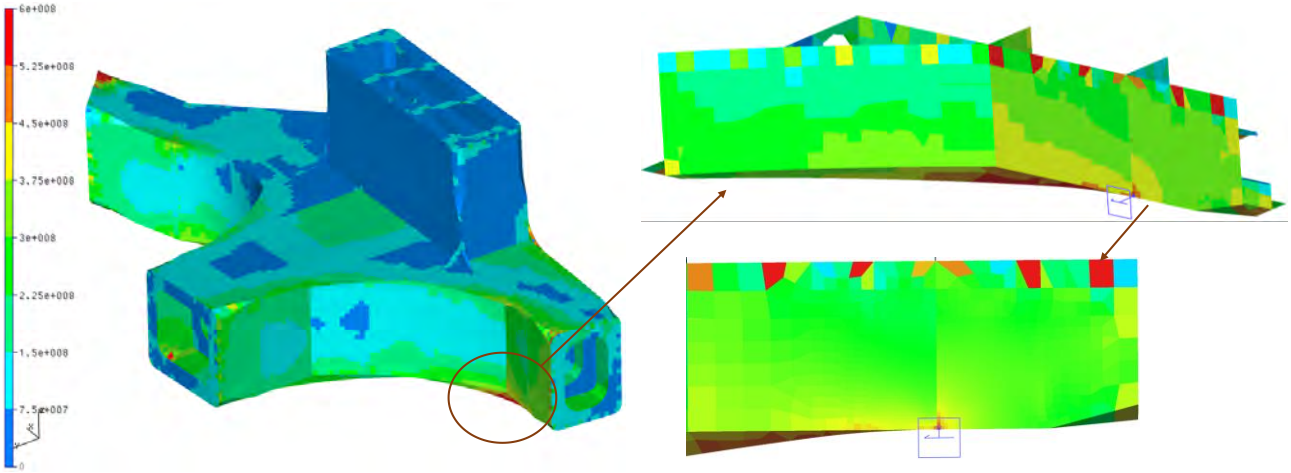


Figure 35 – POI 17 – LC3 – VonMises Stress (Scale: 0-600MPa)

4.5.3.4 POI17 – LC 1 – Max Principal Stress – Upper Surface – 7 Waves (Sesam) vs SAP

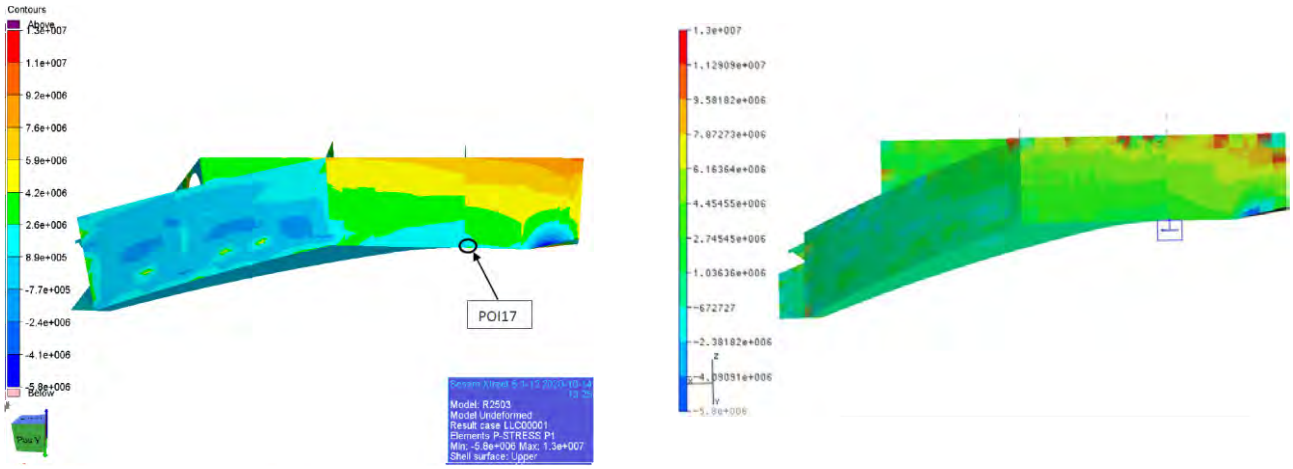


Figure 36 – POI 17 – LC1 – Max Principal Stress – Upper Surface (Scale: -5.8 -> 13 MPa)

4.5.3.5 POI17 – LC 2 – Max Principal Stress – Upper Surface – 7 Waves (Sesam) vs SAP

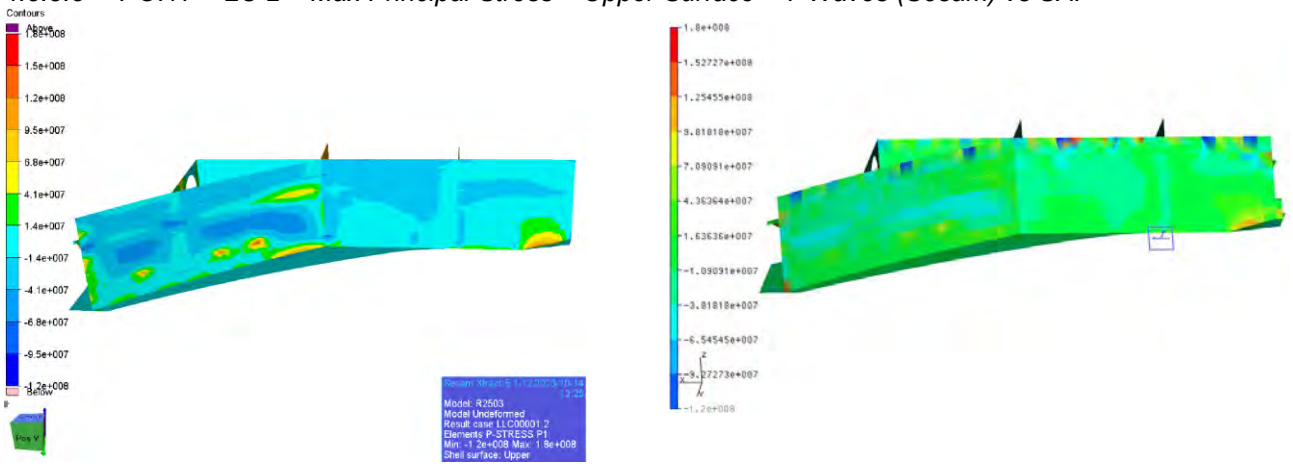


Figure 37 – POI 17 – LC2 – Max Principal Stress – Upper Surface (Scale: -120 -> 180 MPa)

4.5.3.6 POI17 – LC 3 – Max Principal Stress – Upper Surface – 7 Waves (Sesam) vs SAP

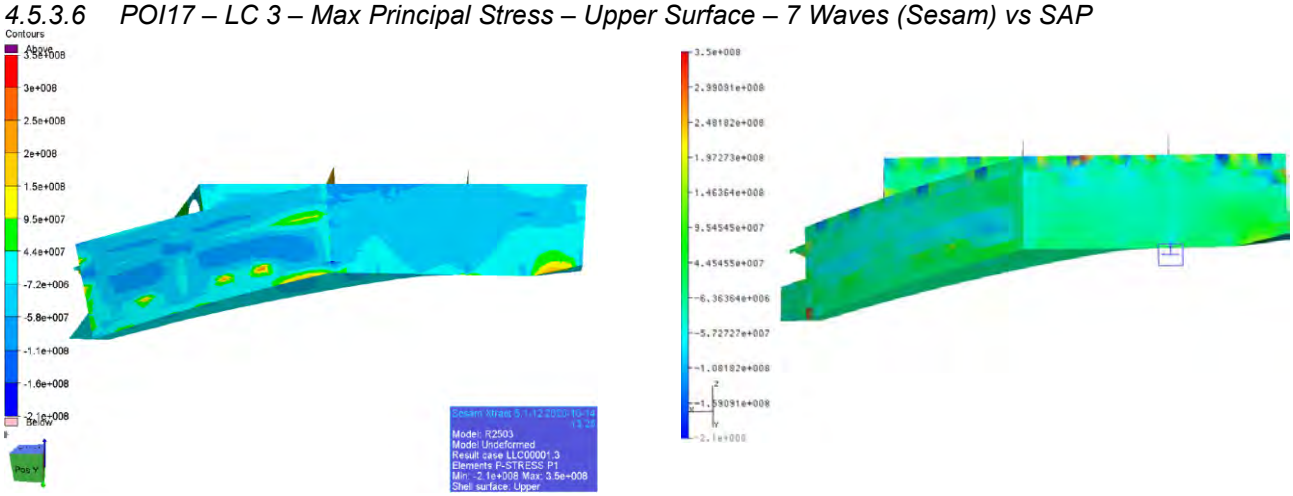
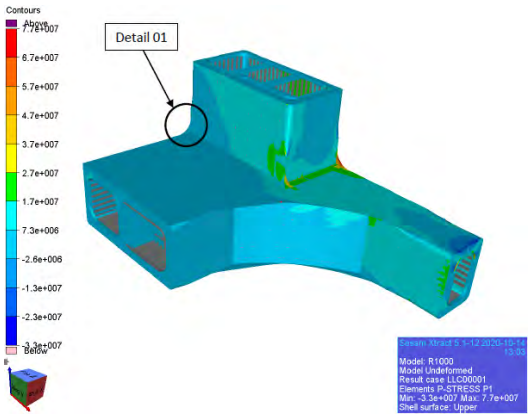


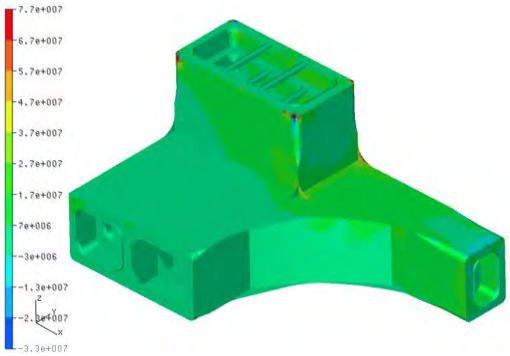
Figure 38 – POI 17 – LC3 – Max Principal Stress – Upper Surface (Scale: -210 -> 350 MPa)

4.6 Level 1 – Submodel – Stress plot comparison

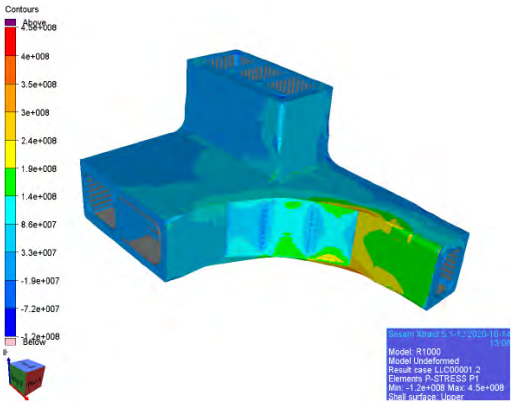
The plots in this chapter is for visual comparison only. Color scales deviates so can't be compared directly.

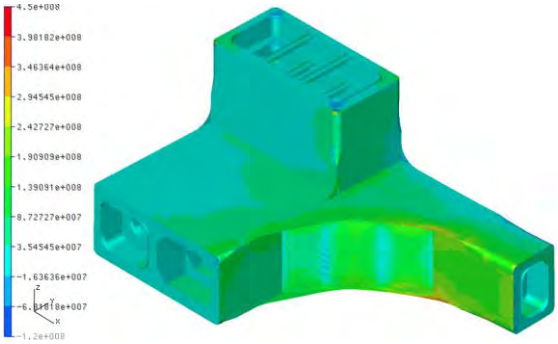
Lev 1 Sub Models – T1000 – LC1



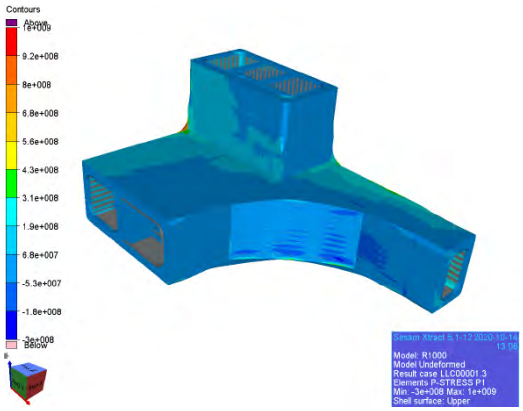


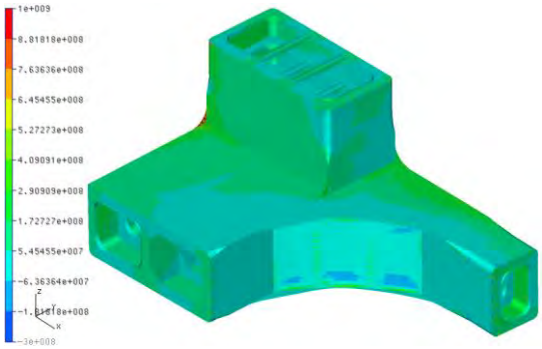
Lev 1 Sub Models – T1000 – LC2



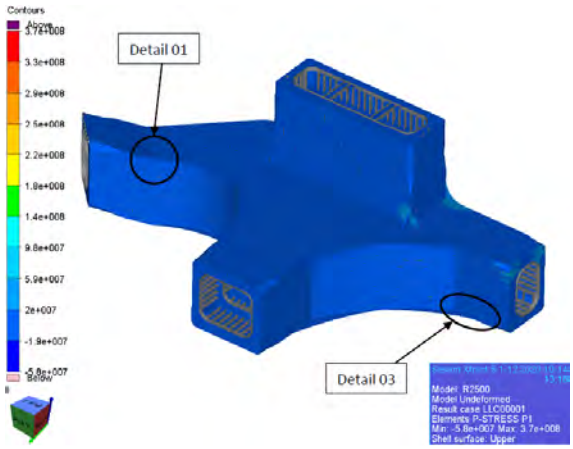


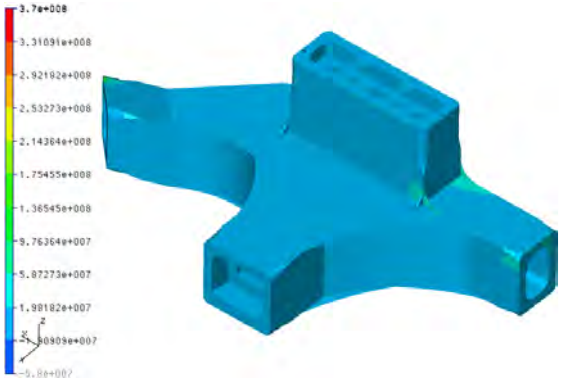
Lev 1 Sub Models – T1000 – LC3



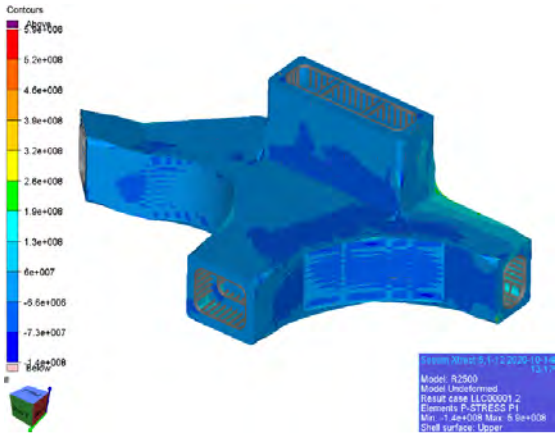


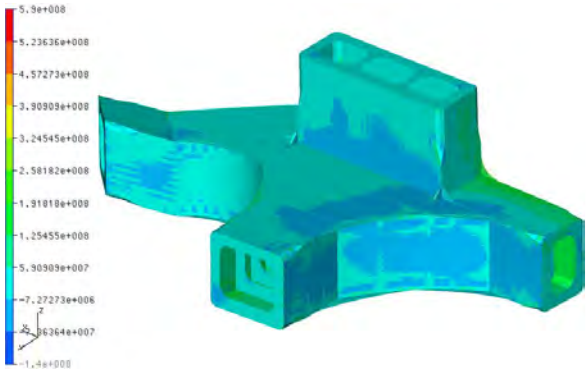
Lev 1 Sub Models – T2500 – LC1



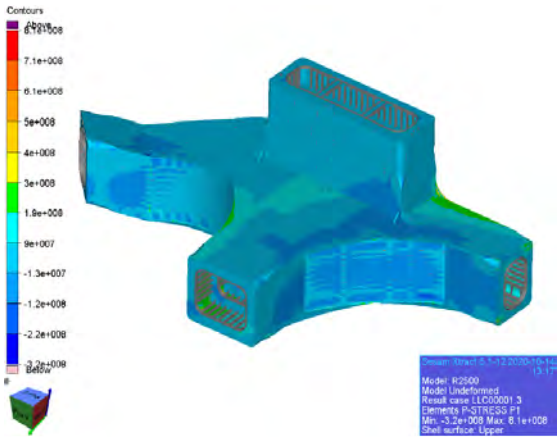


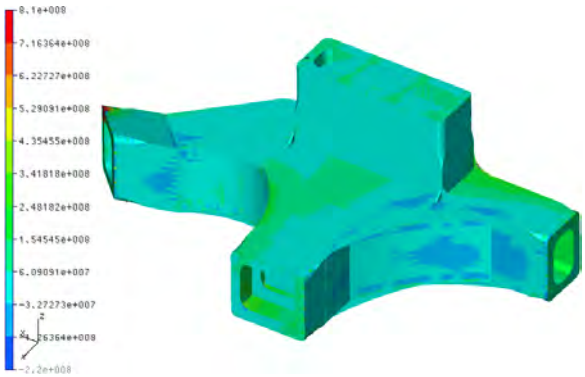
Lev 1 Sub Models – T2500 – LC2



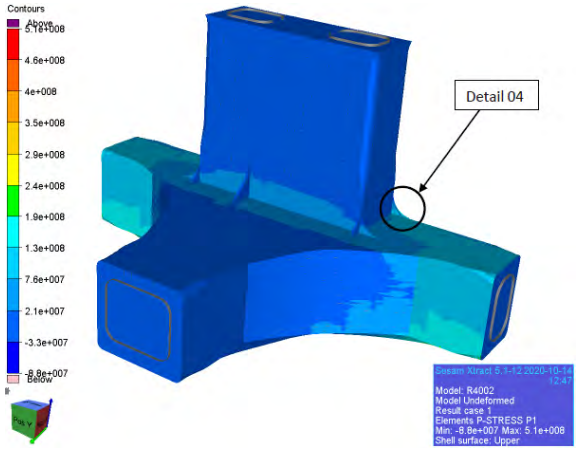


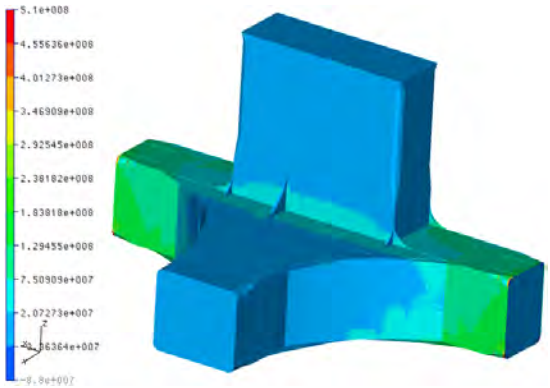
Lev 1 Sub Models – T2500 – LC3



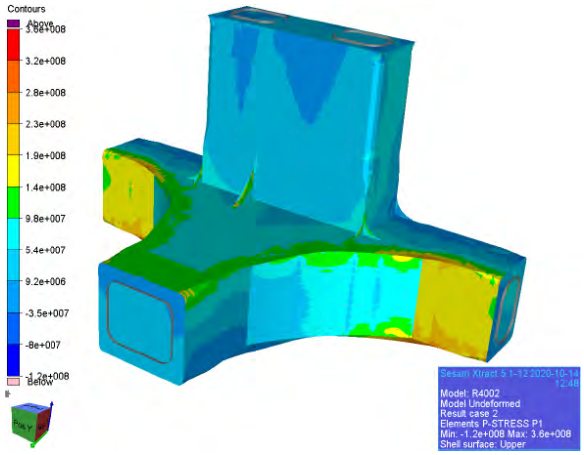


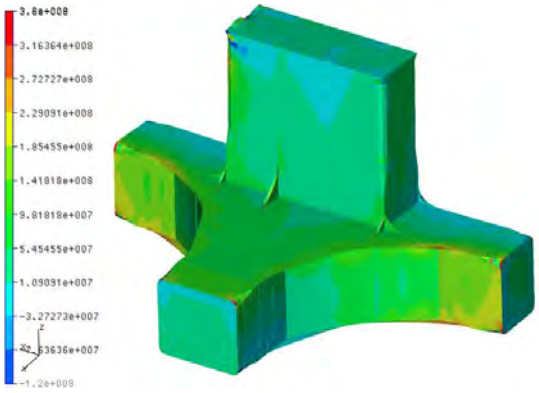
Lev 1 Sub Models – T4001 – LC1



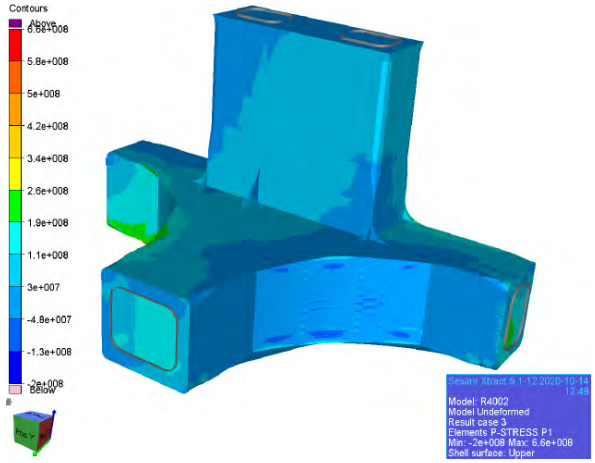


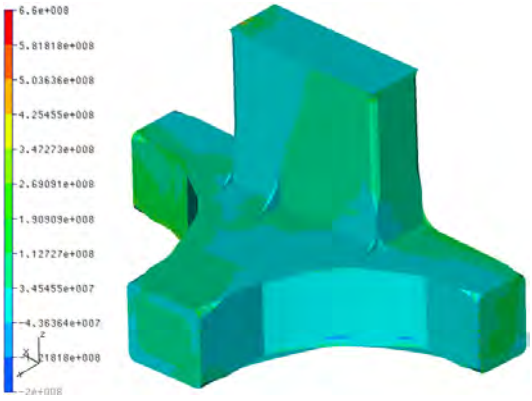
Lev 1 Sub Models – T4001 – LC2





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/trademark 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

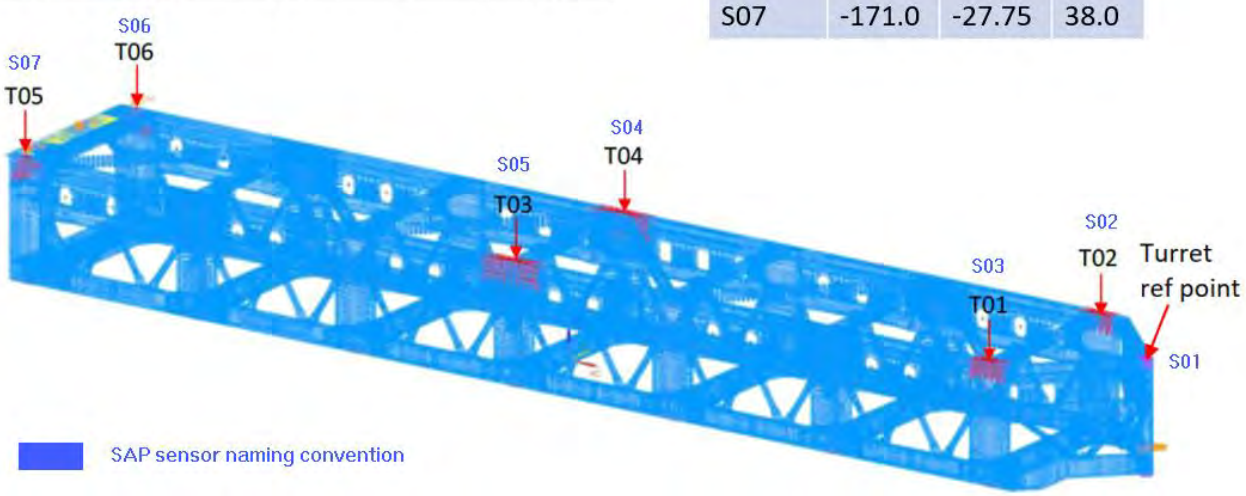


Figure 1. Design analysis model from 7 waves vs SAP digital twin. Sensor node coordinates and names.

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)

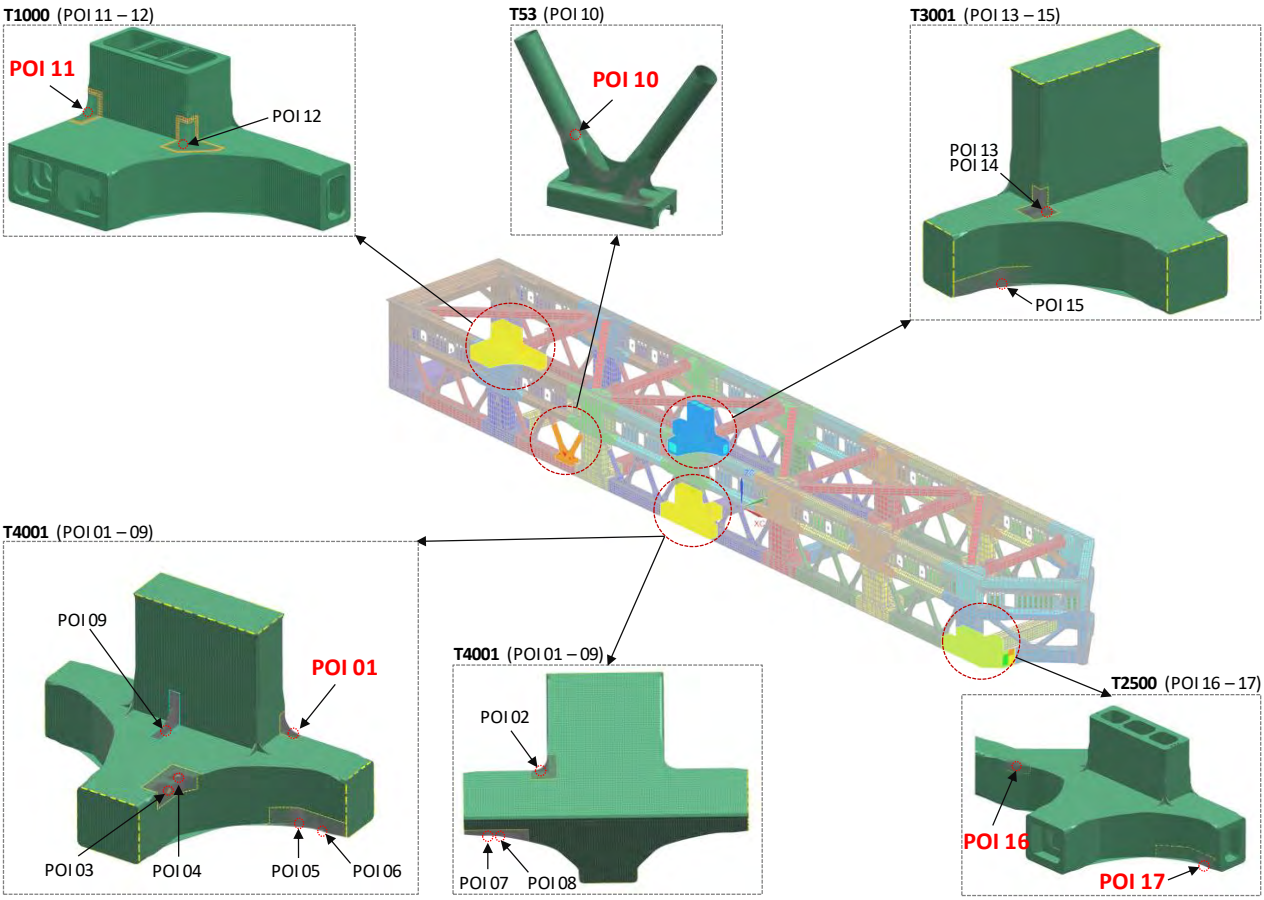


Figure 2. Points Of Interest (POIs)

2 RESULTS

2.1 Plots

2.1.1 POI1

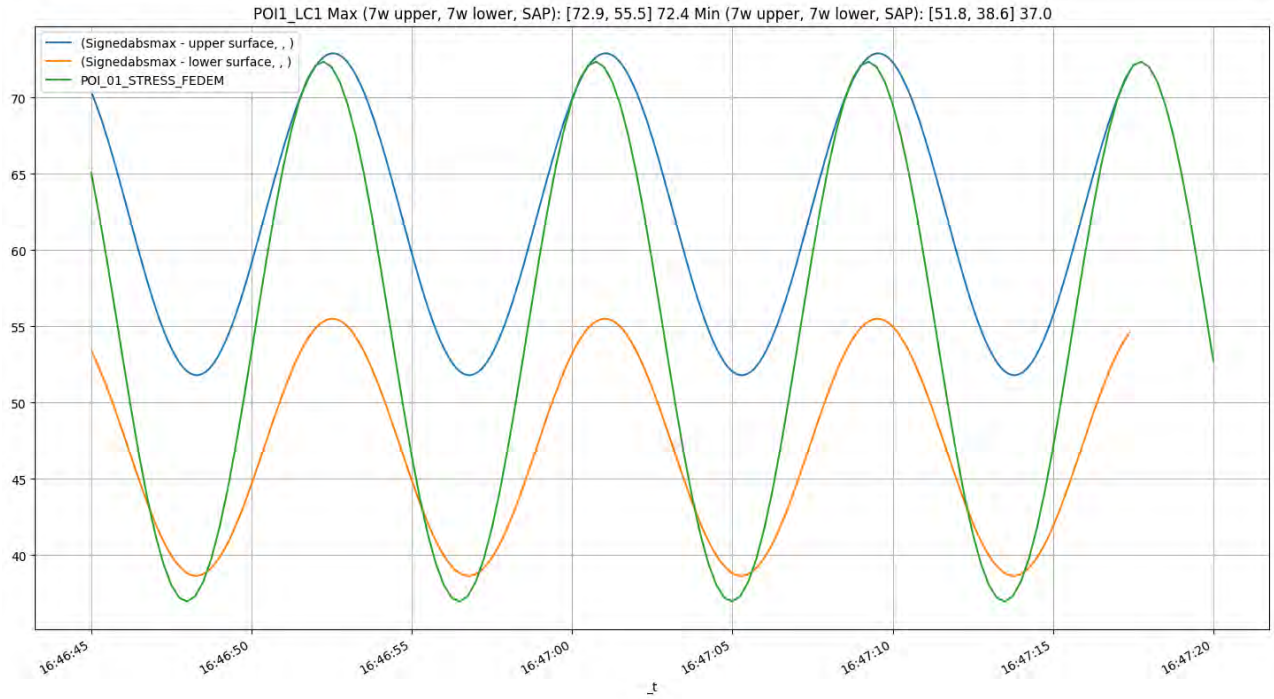


Figure 3. POI1, load case 1

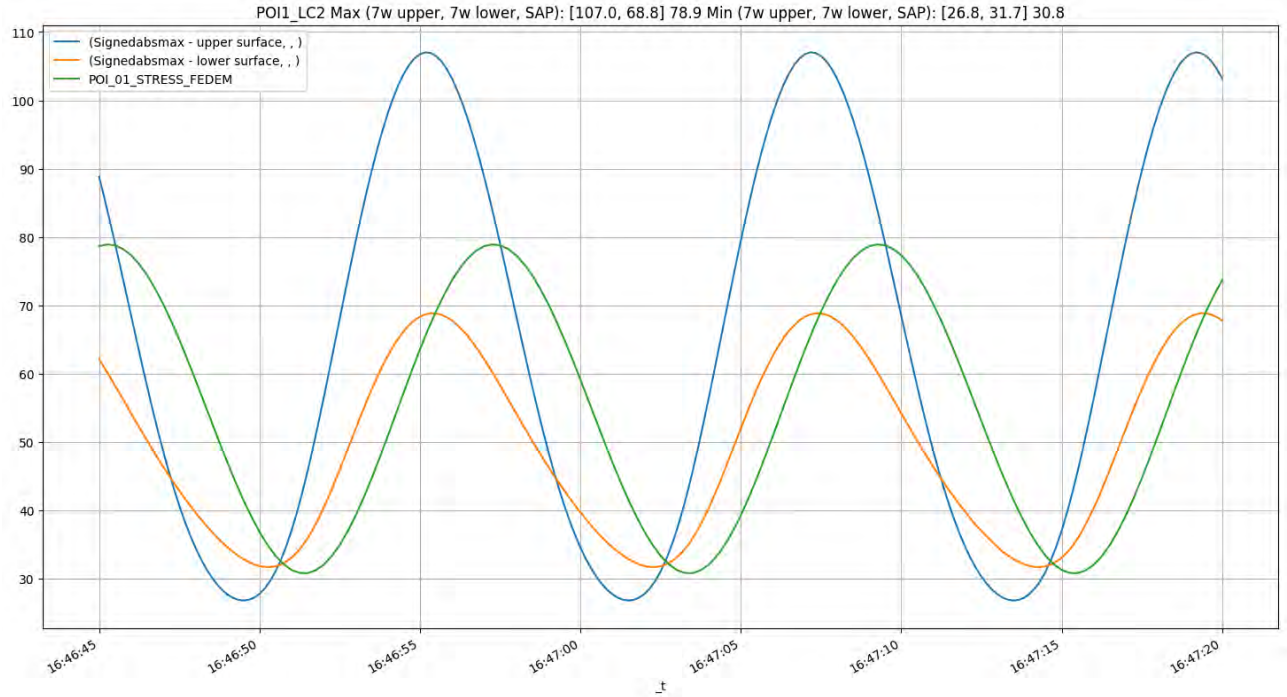


Figure 4. POI1, load case 2

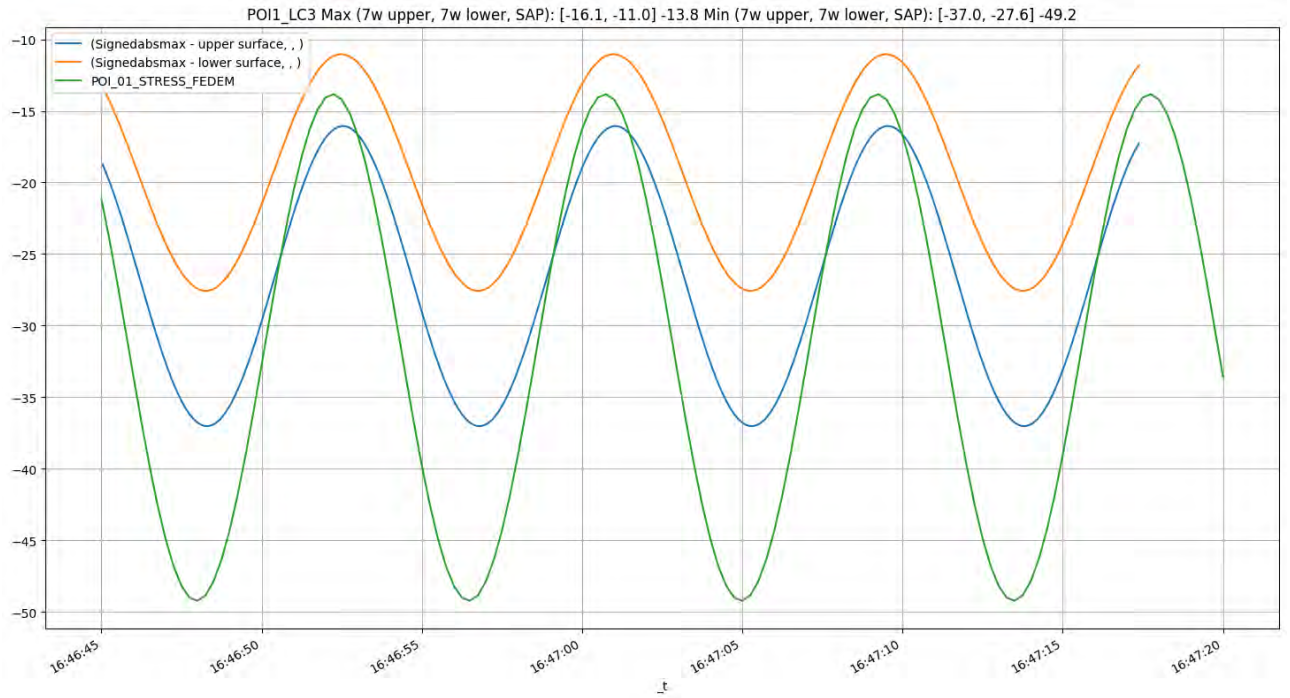


Figure 5. POI1, load case 3

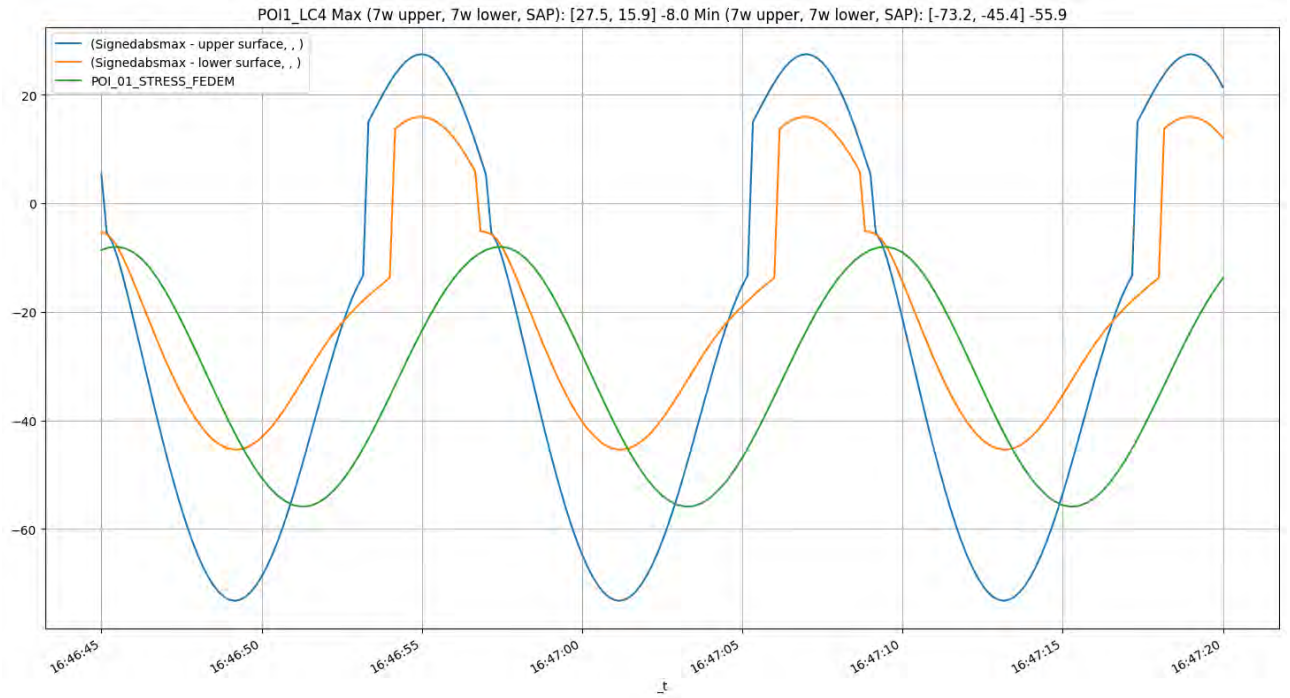


Figure 6. POI1, load case 4

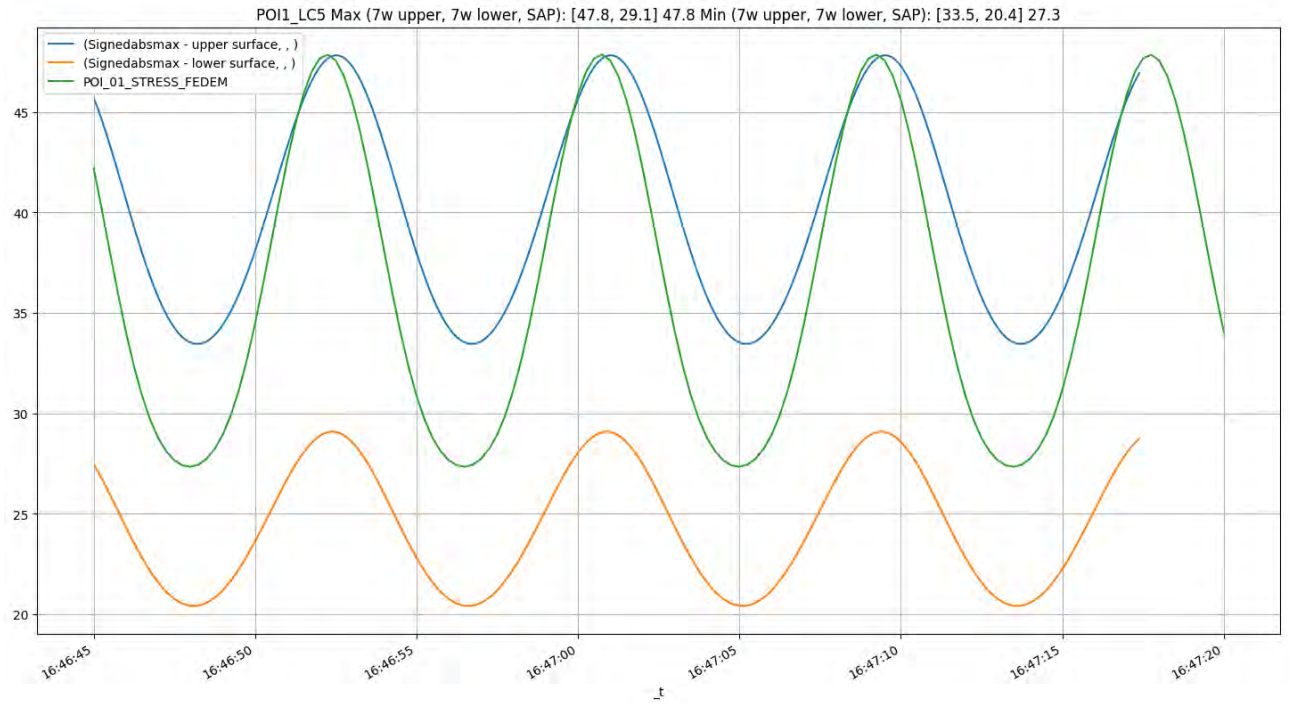


Figure 7. POI1, load case 5

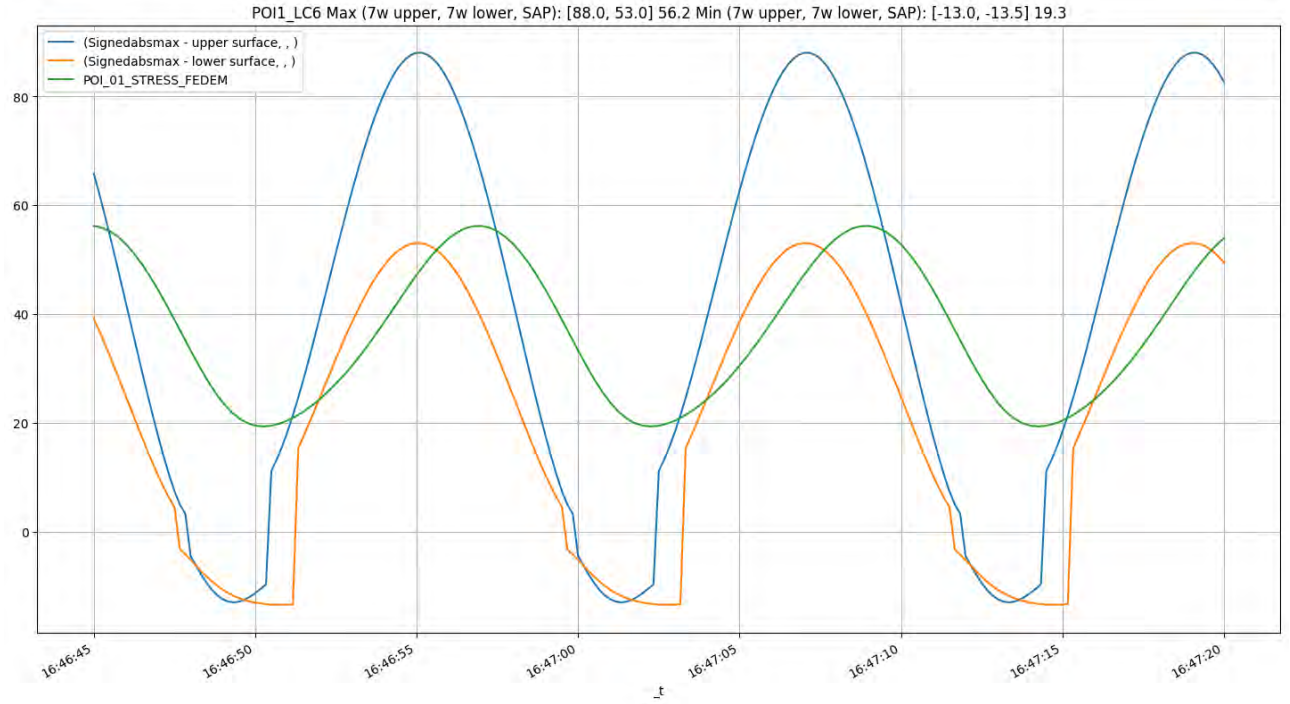


Figure 8. POI1, load case 6

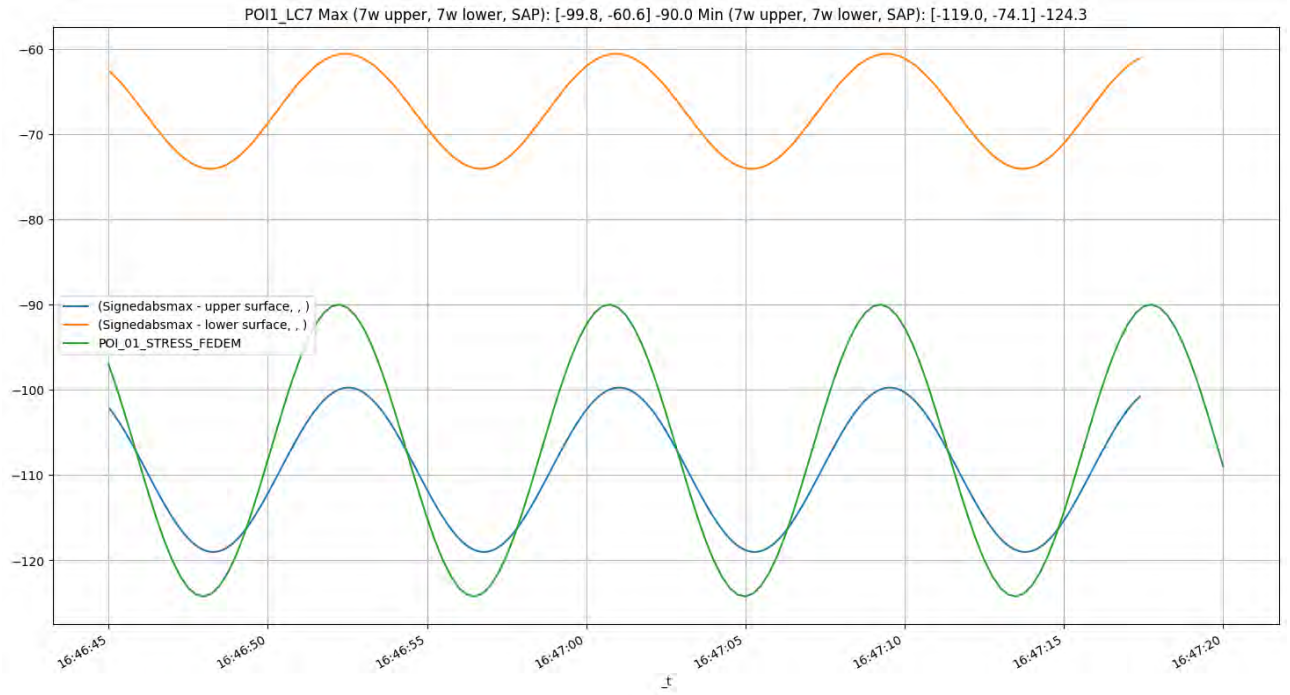


Figure 9. POI1, load case 7

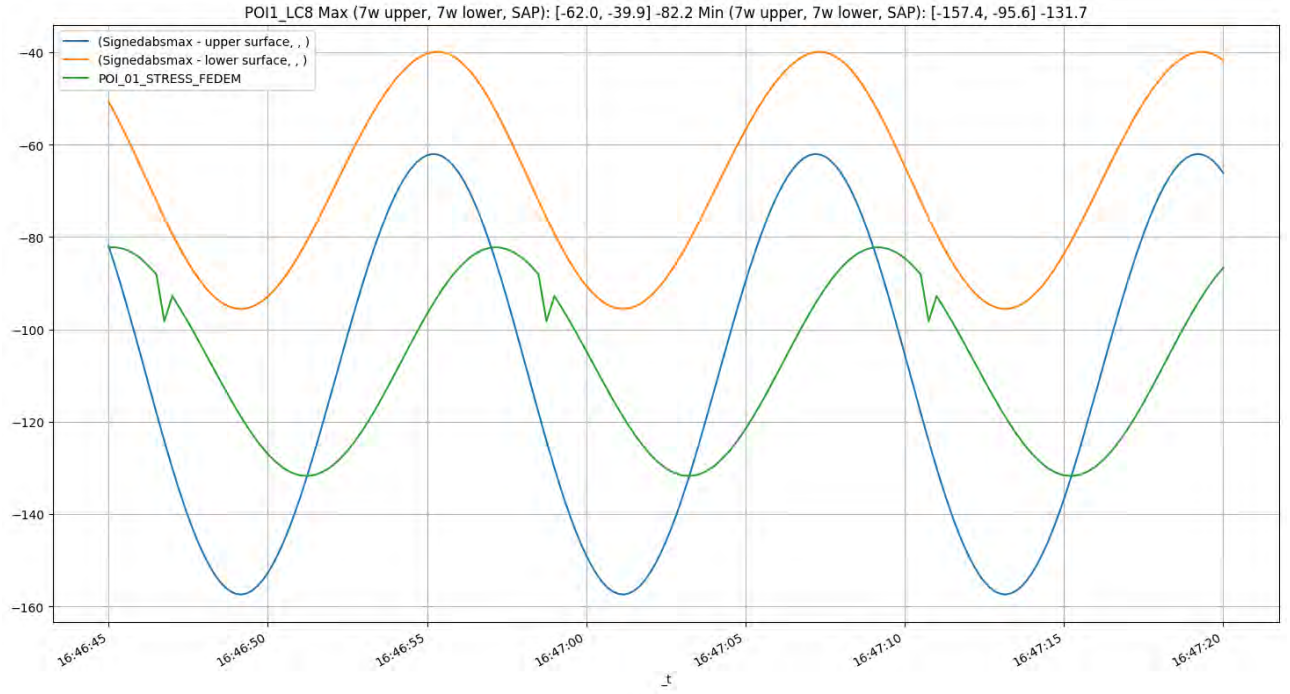


Figure 10. POI1, load case 8

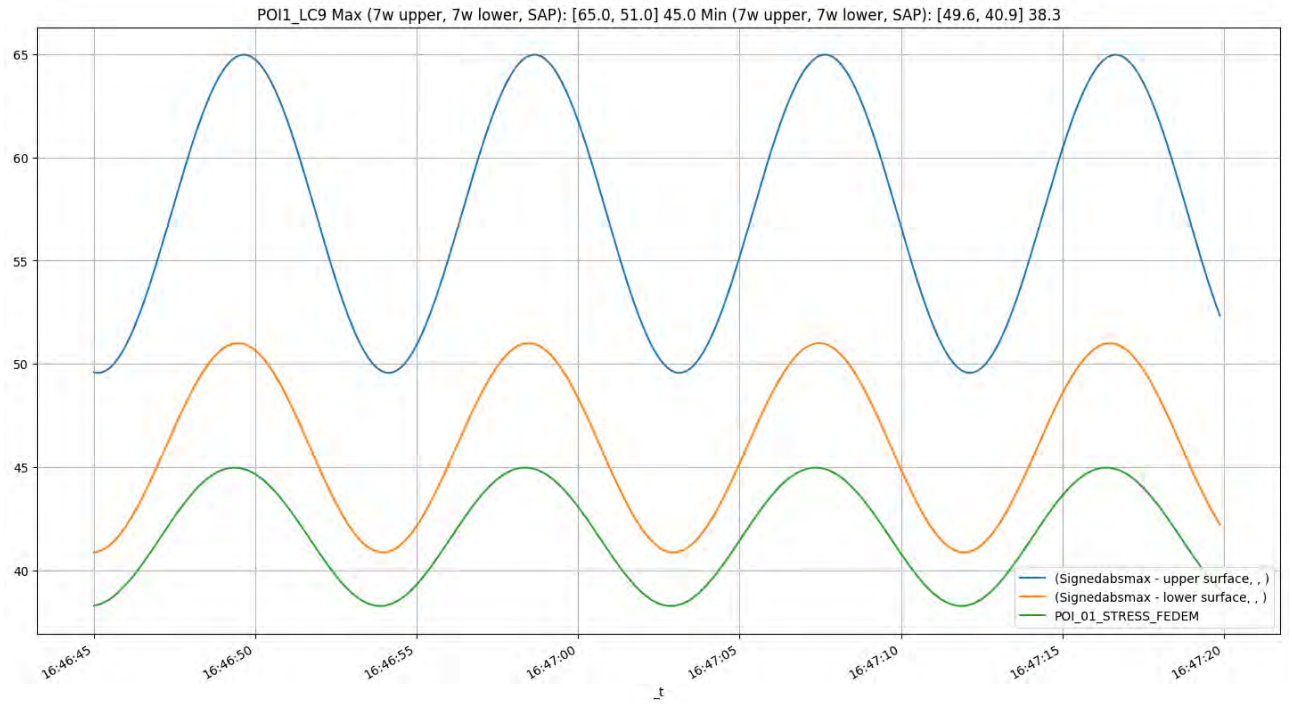


Figure 11. POI1, load case 9

2.1.2 POI10

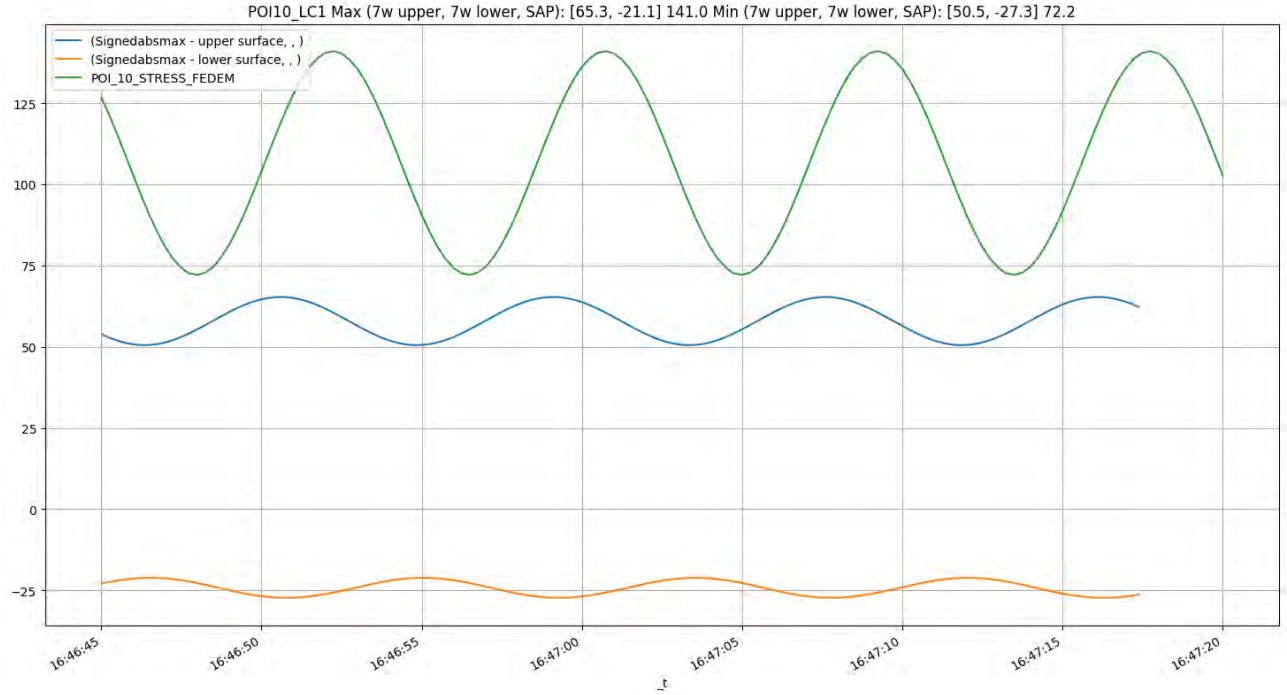


Figure 12. POI10, load case 1

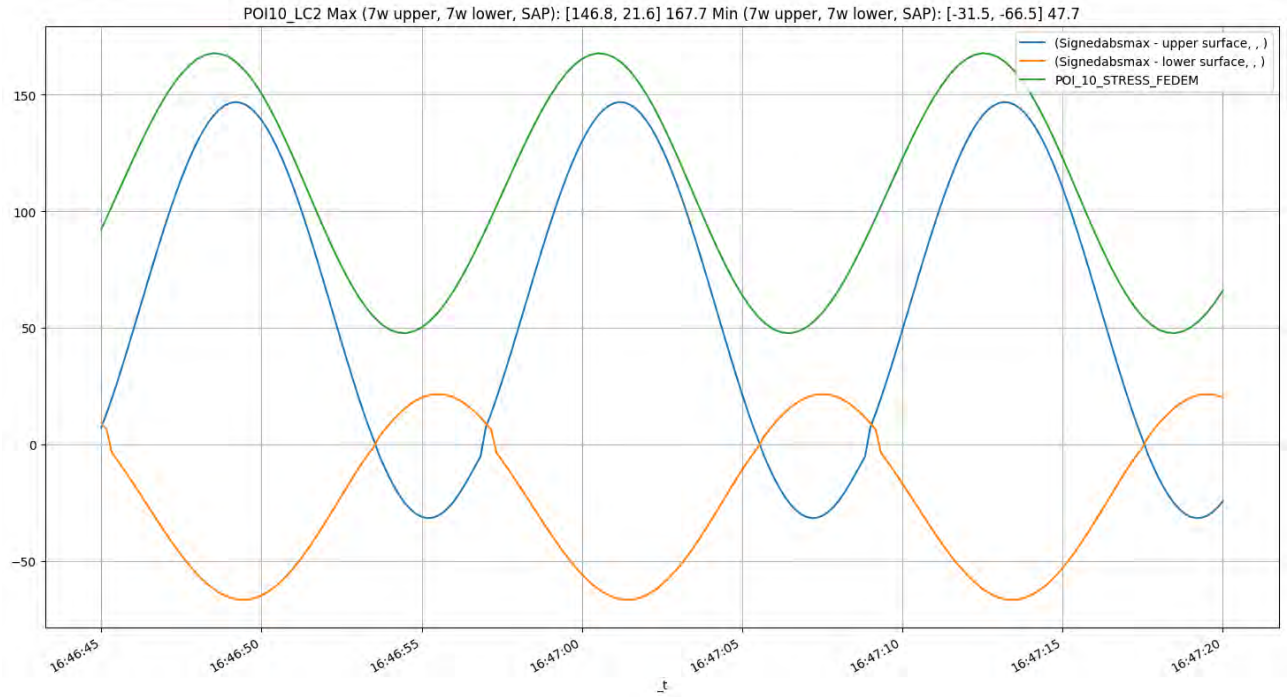


Figure 13. POI10, load case 2

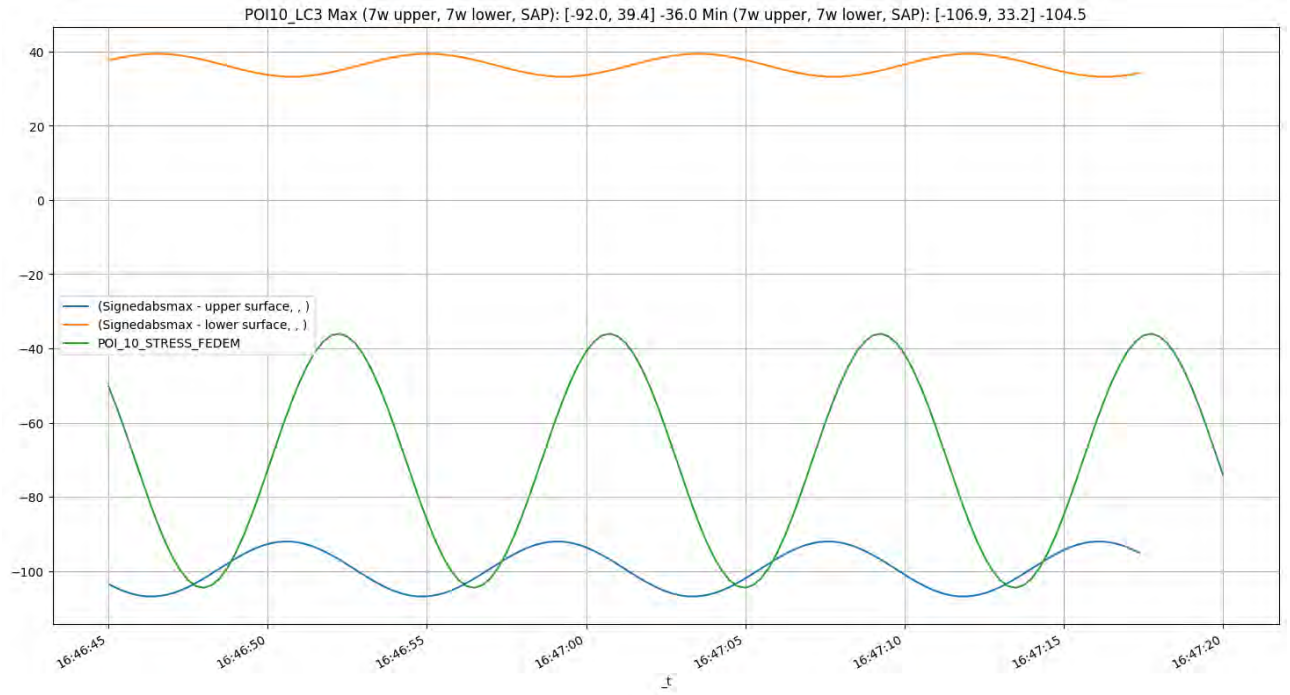


Figure 14. POI10, load case 3

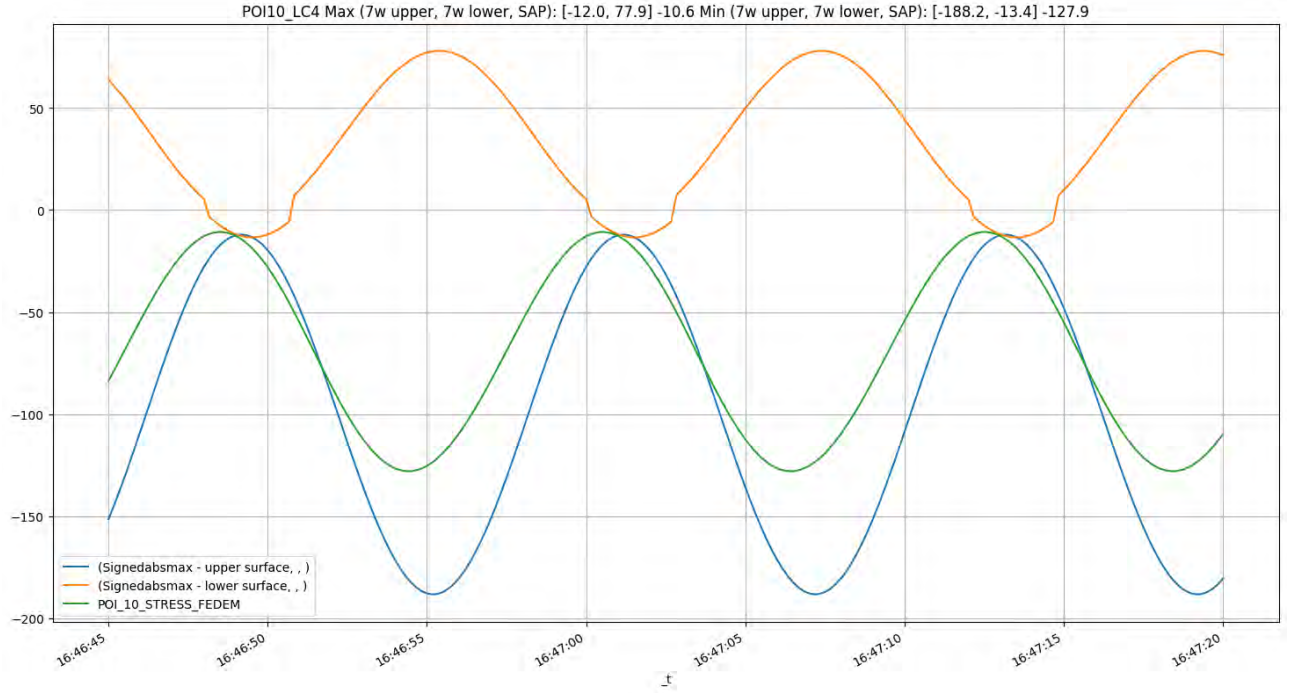


Figure 15. POI10, load case 4

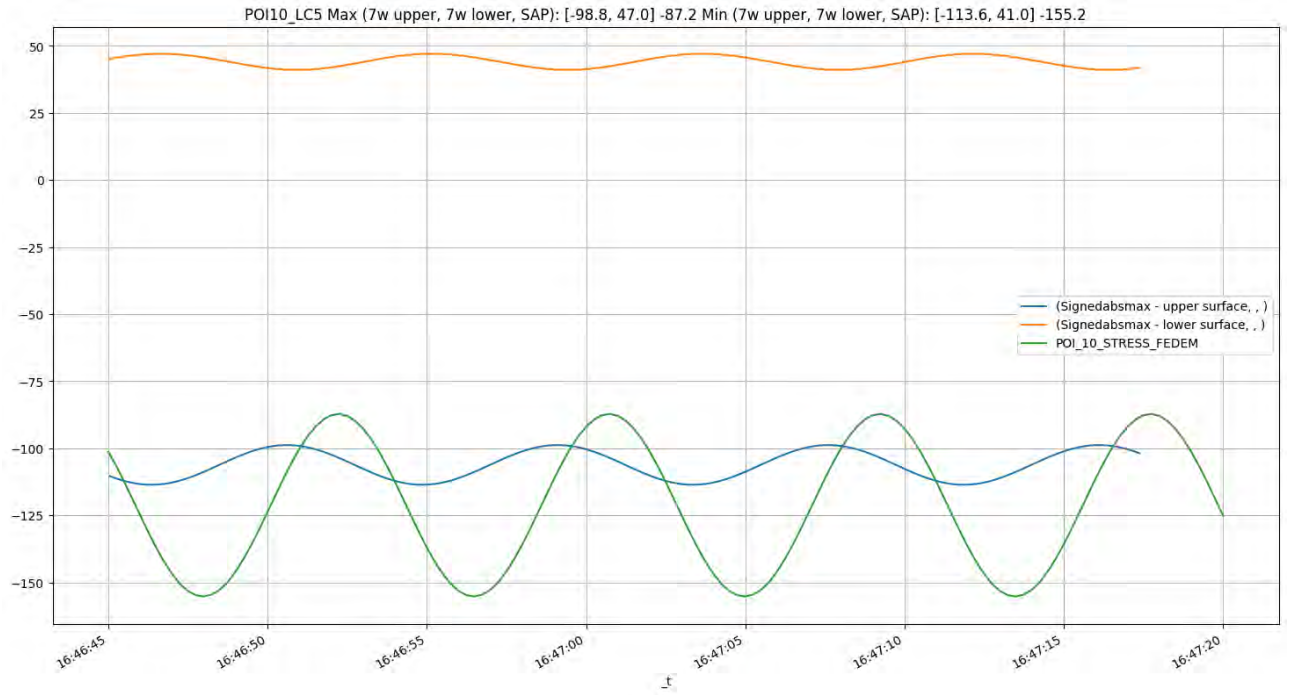


Figure 16. POI10, load case 5

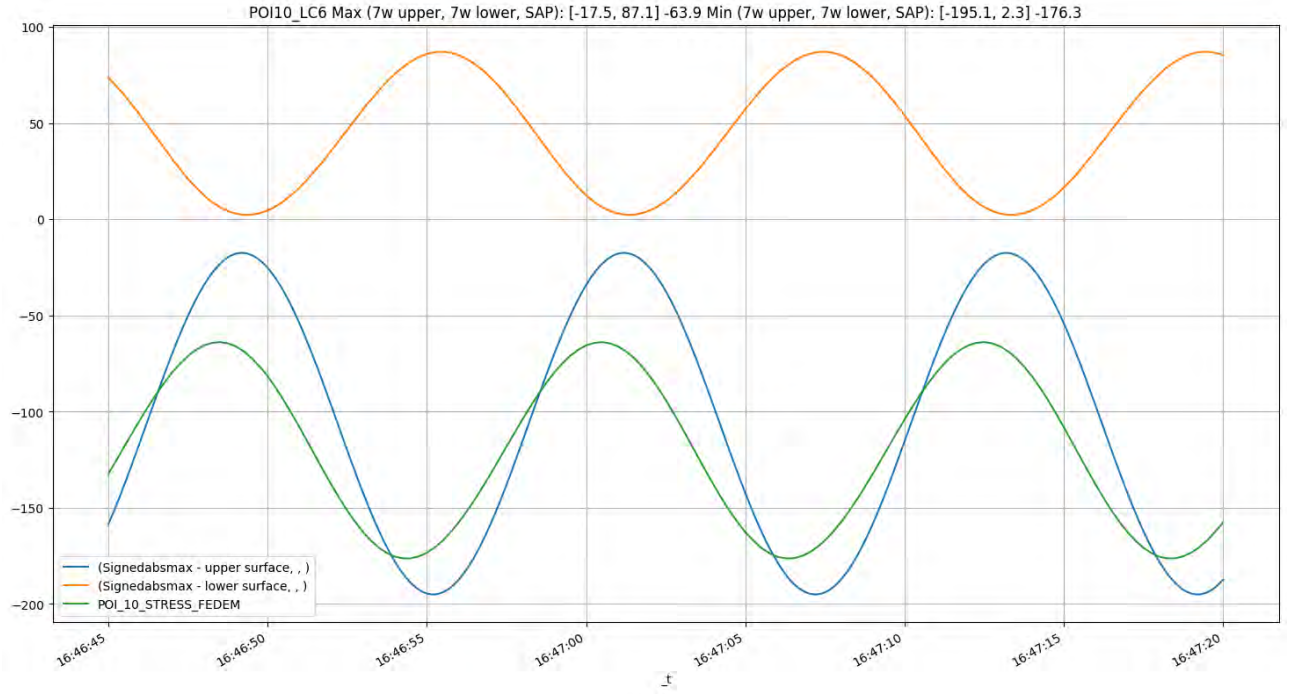


Figure 17. POI10, load case 6

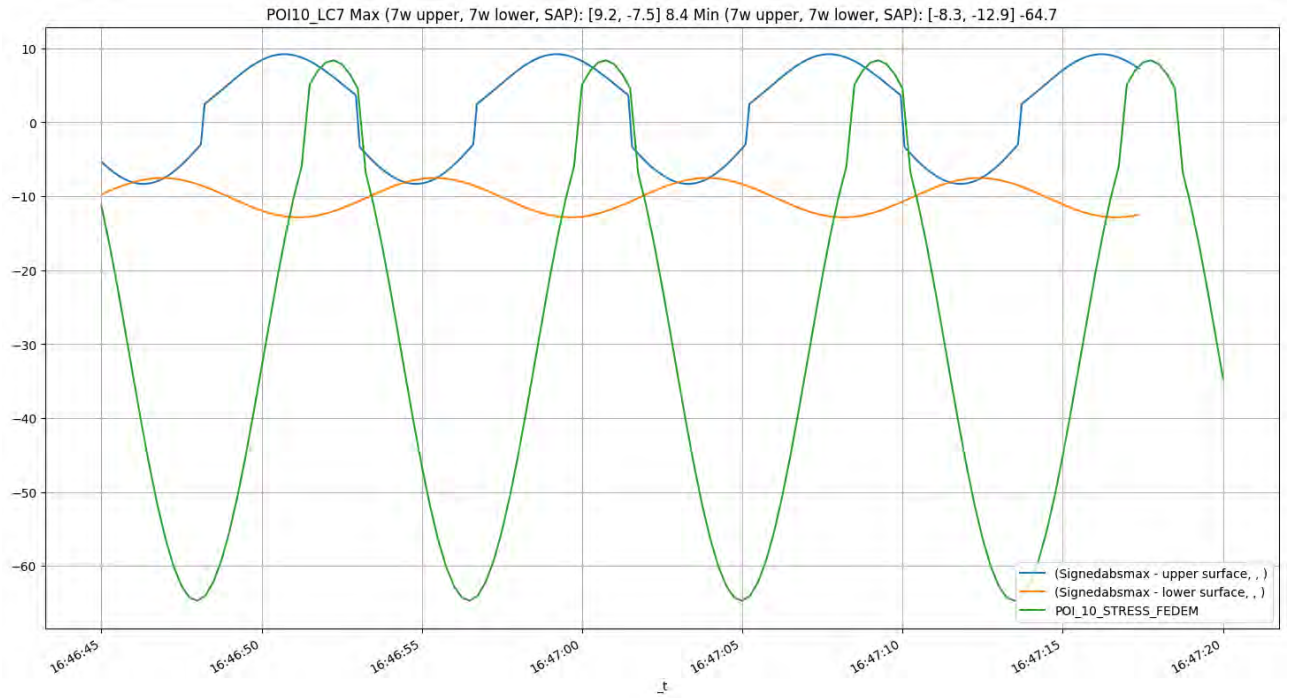


Figure 18. POI10, load case 7

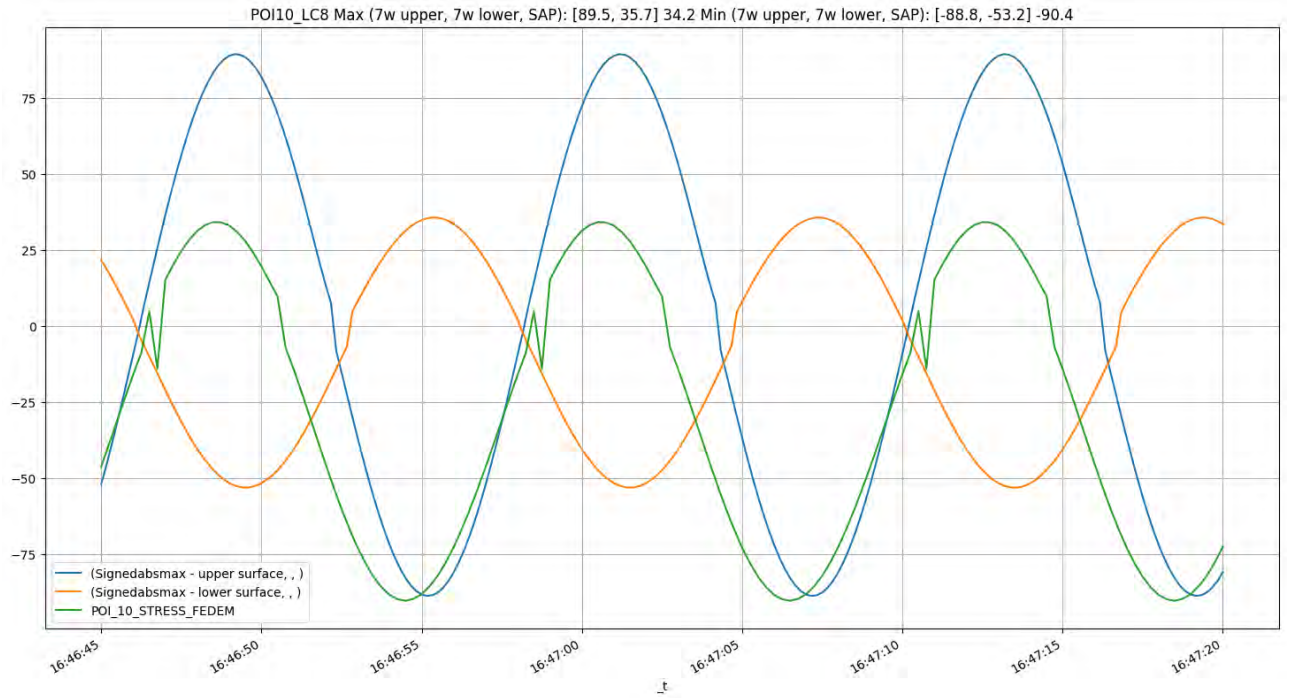


Figure 19. POI10, load case 8

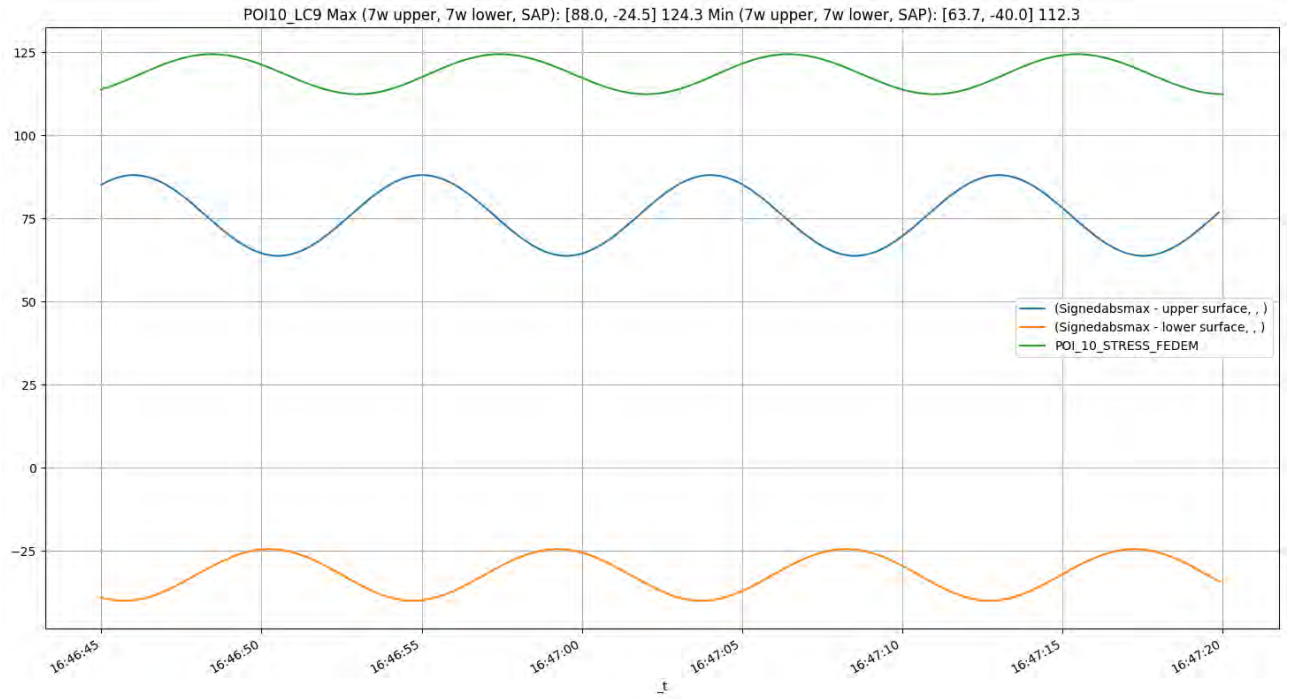


Figure 20. POI10, load case 9

2.1.3 POI11

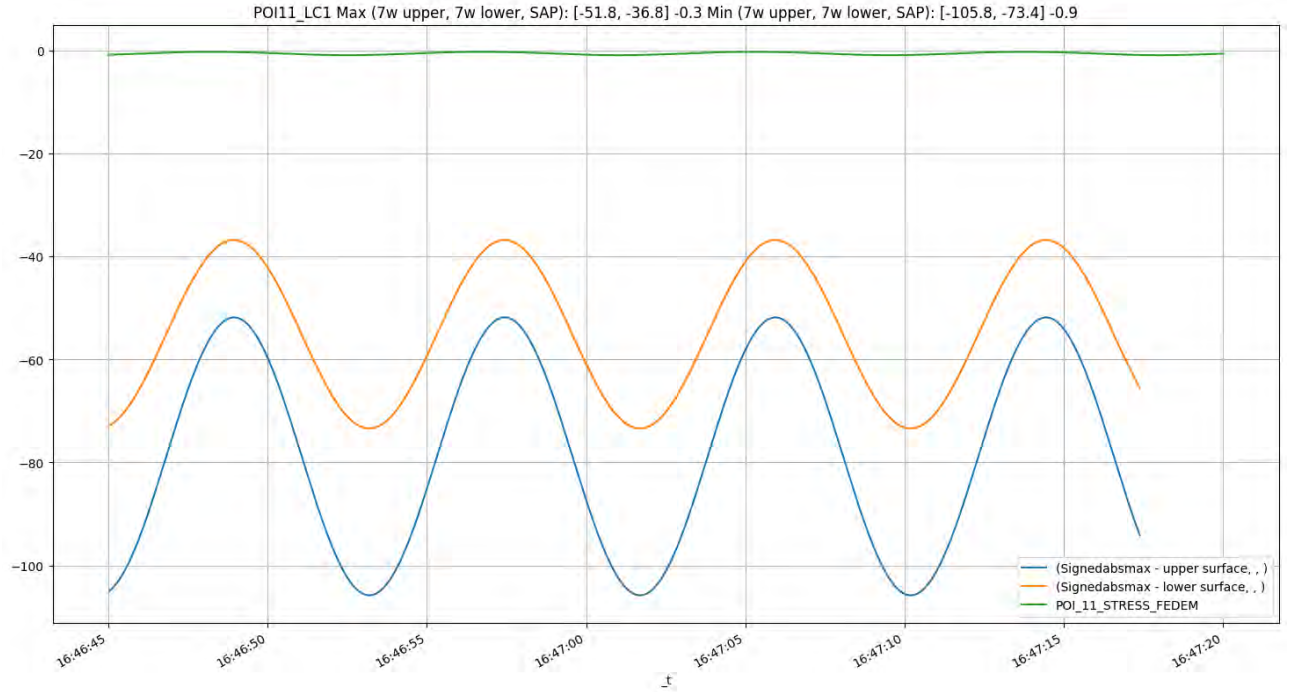


Figure 21. POI11, load case 1

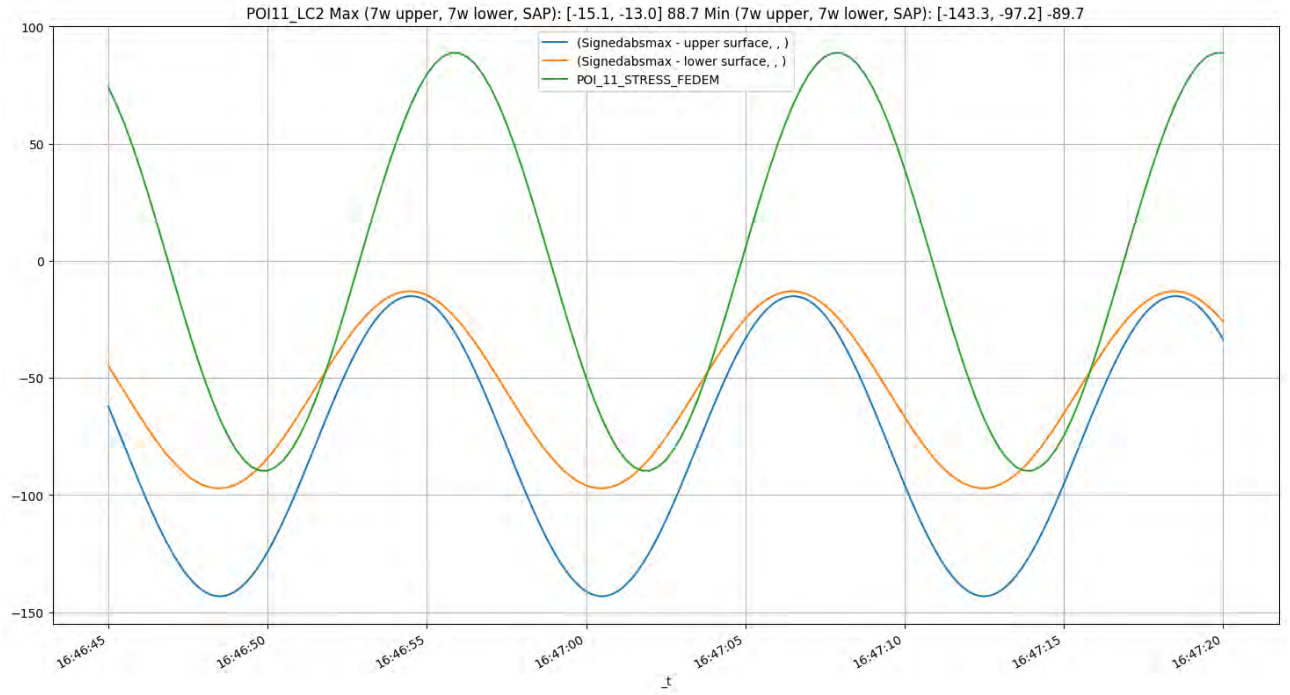


Figure 22. POI11, load case 2

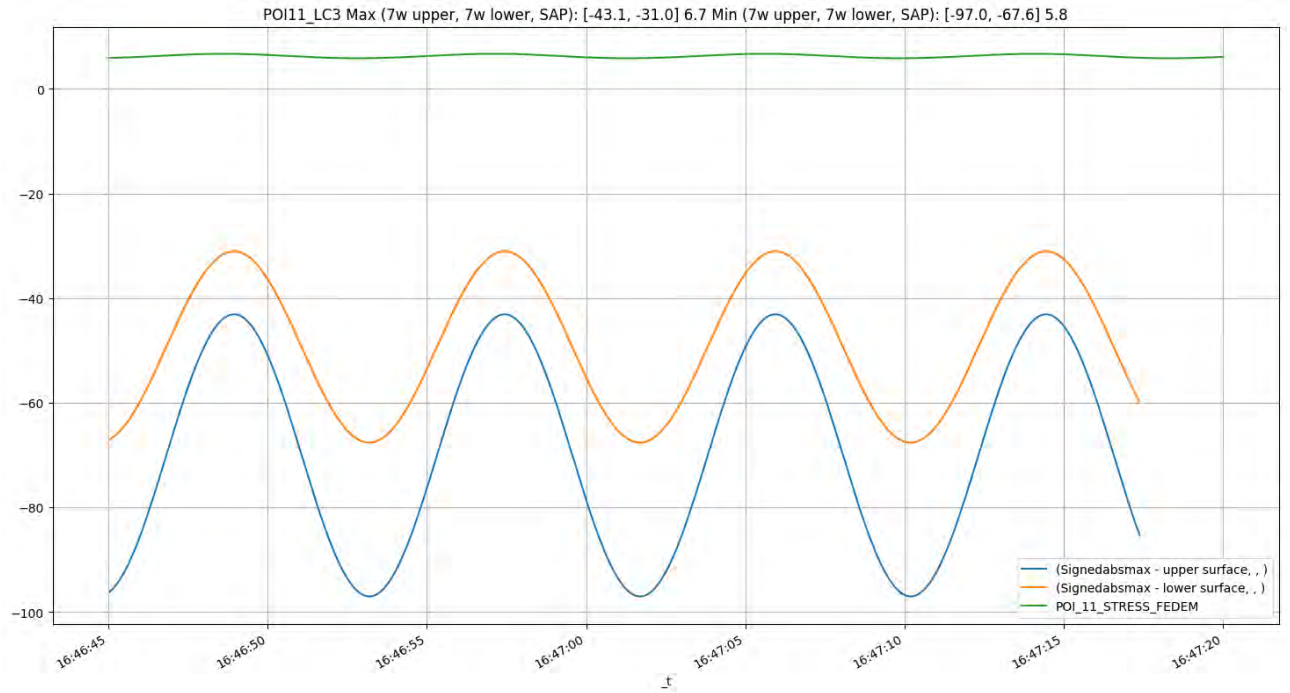


Figure 23. POI11, load case 3

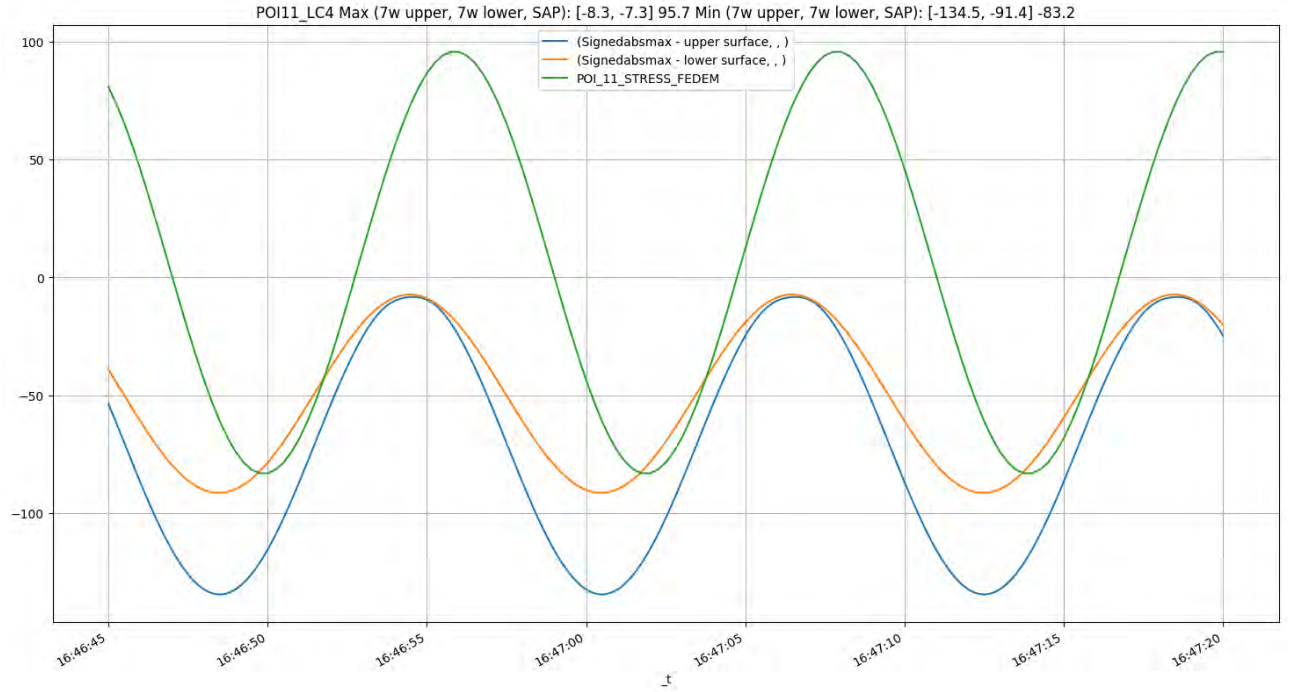


Figure 24. POI11, load case 4

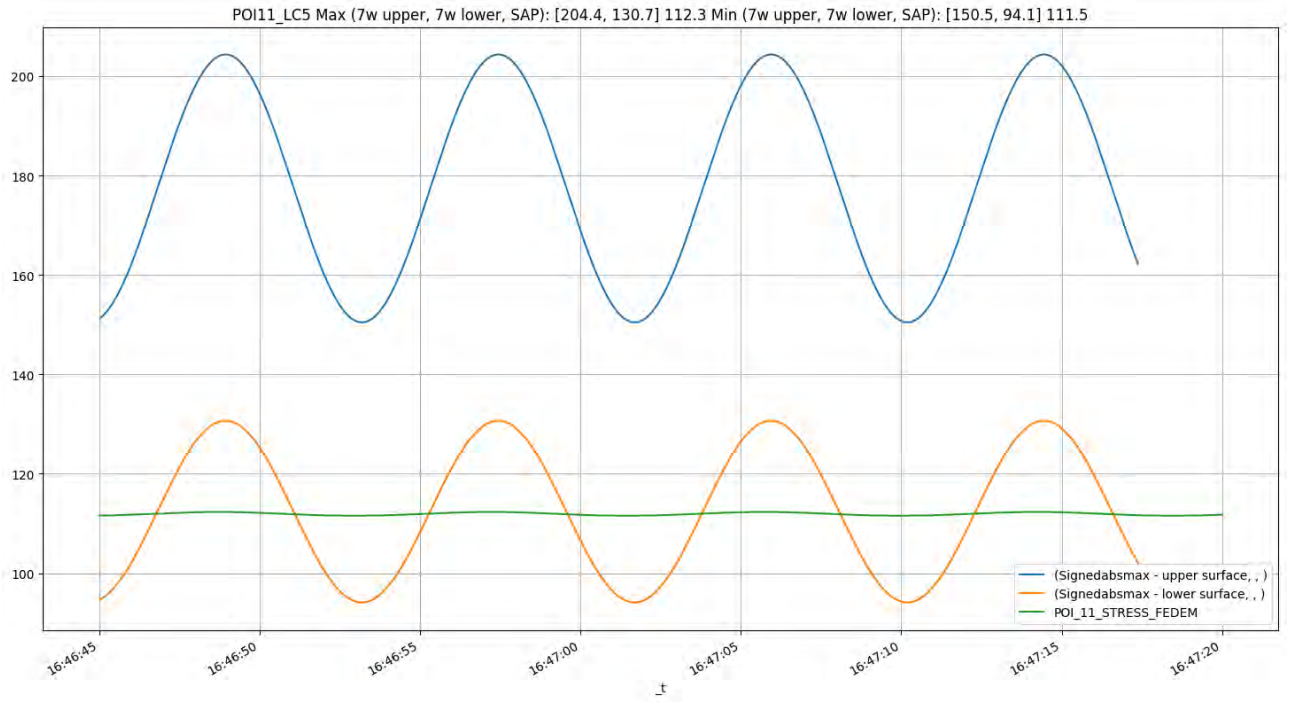


Figure 25. POI11, load case 5

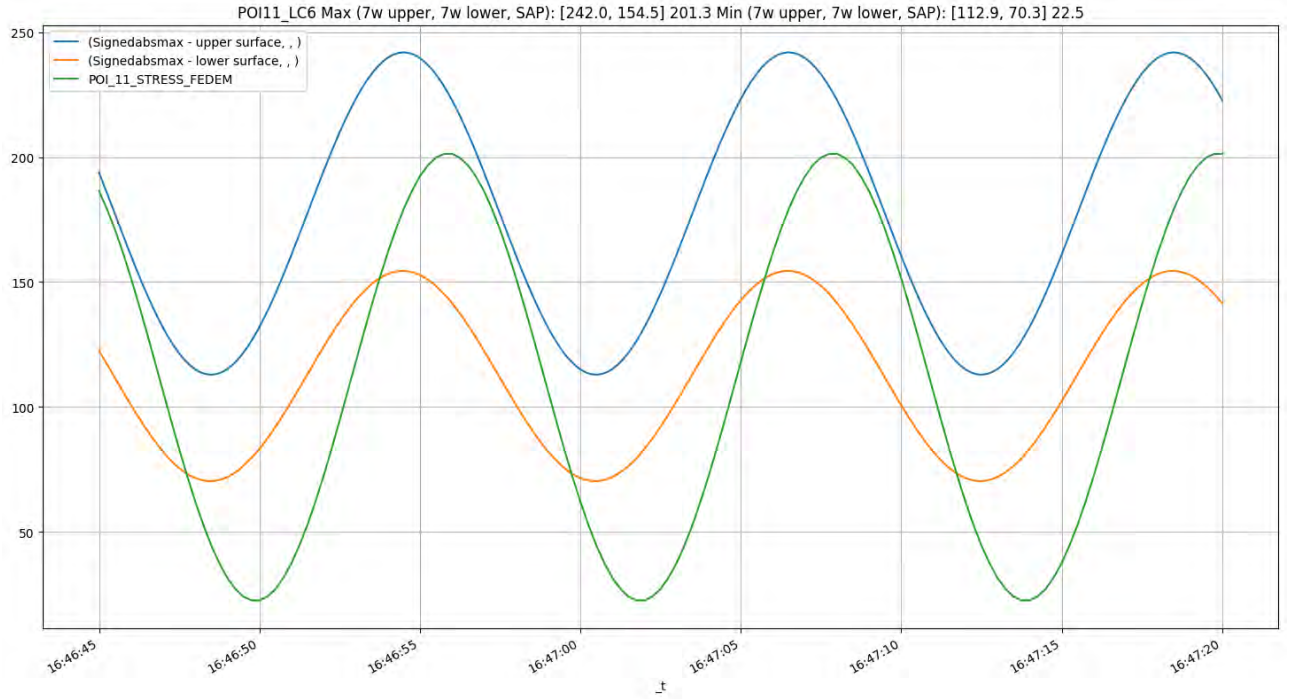


Figure 26. POI11, load case 6

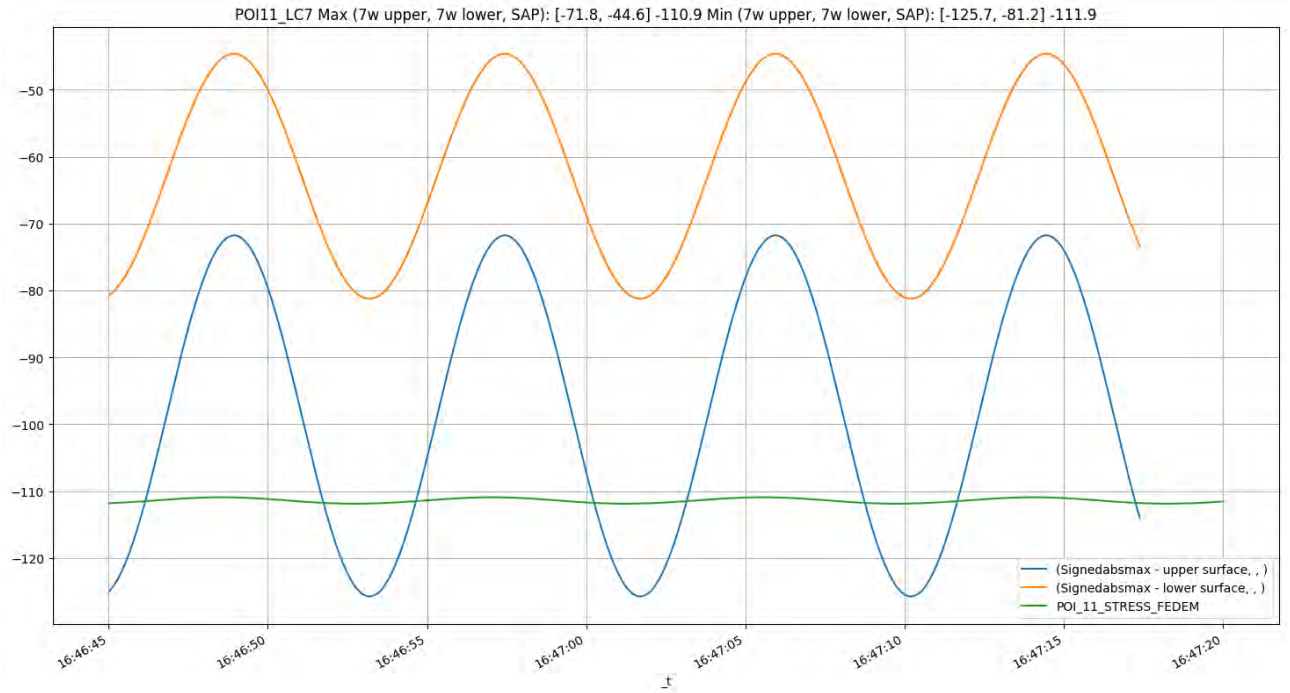


Figure 27. POI11, load case 7

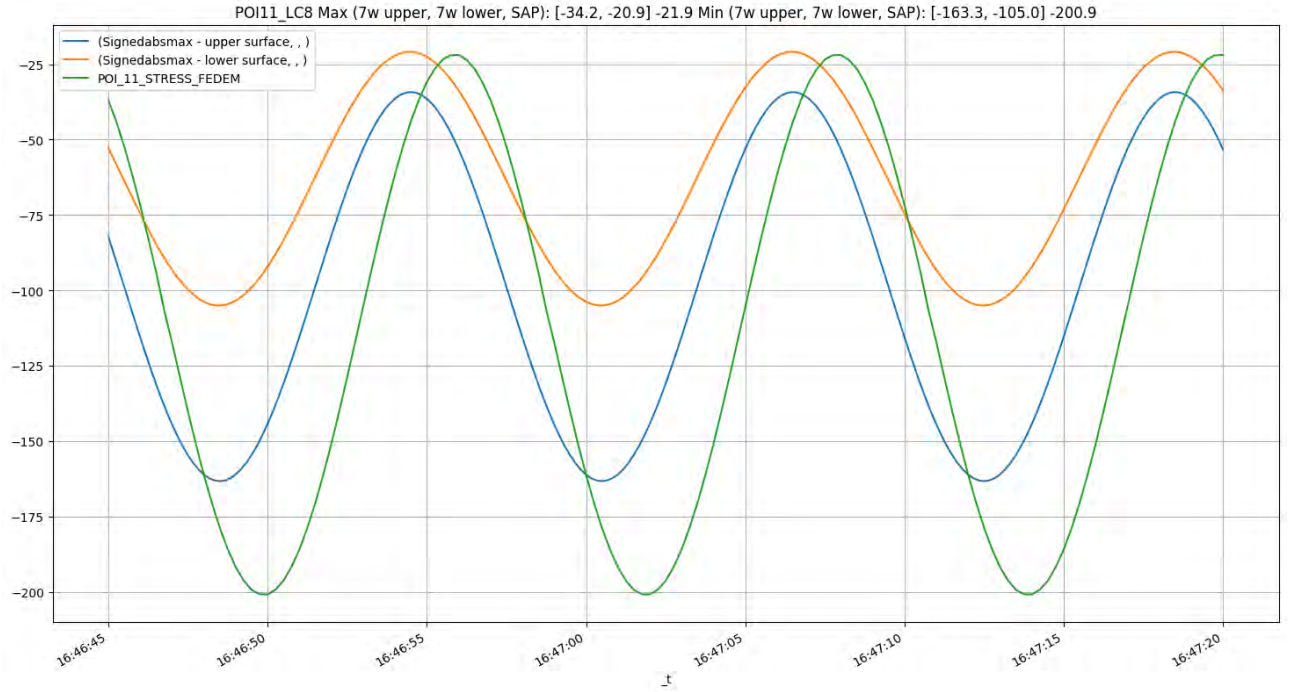


Figure 28. POI11, load case 8

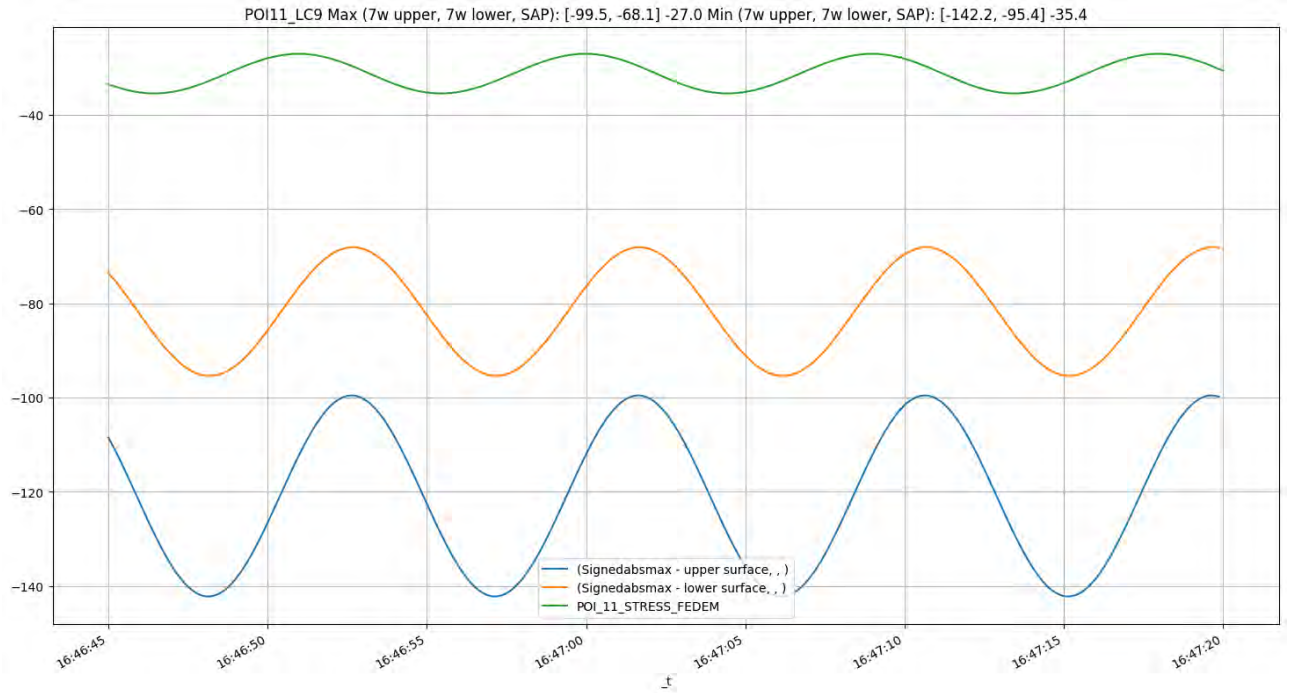


Figure 29. POI11, load case 9

2.1.4 POI16

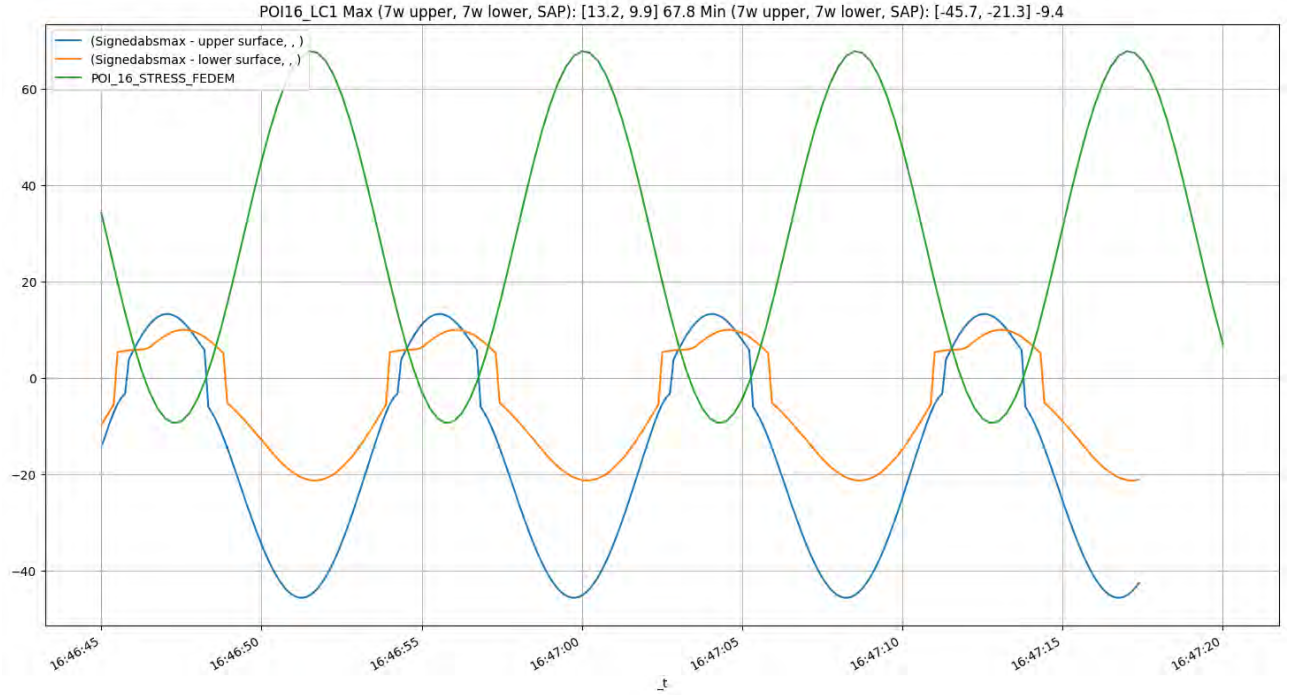


Figure 30. POI16, load case 1

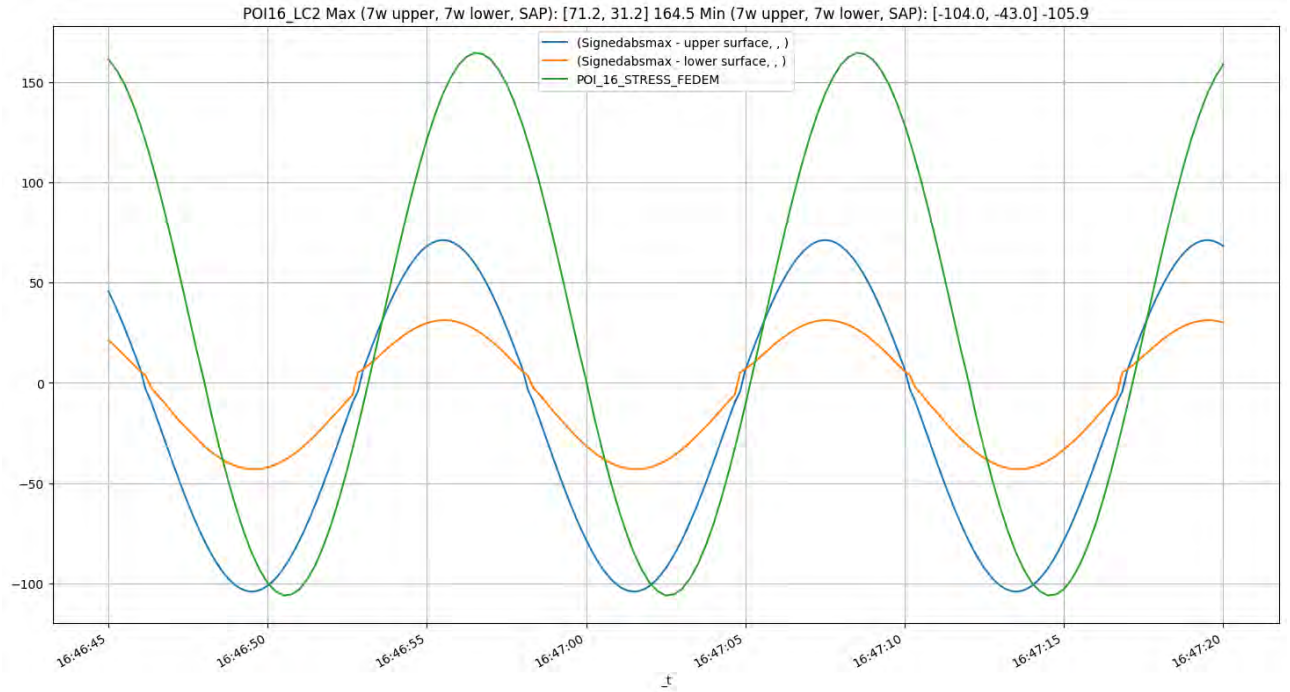


Figure 31. POI16, load case 2

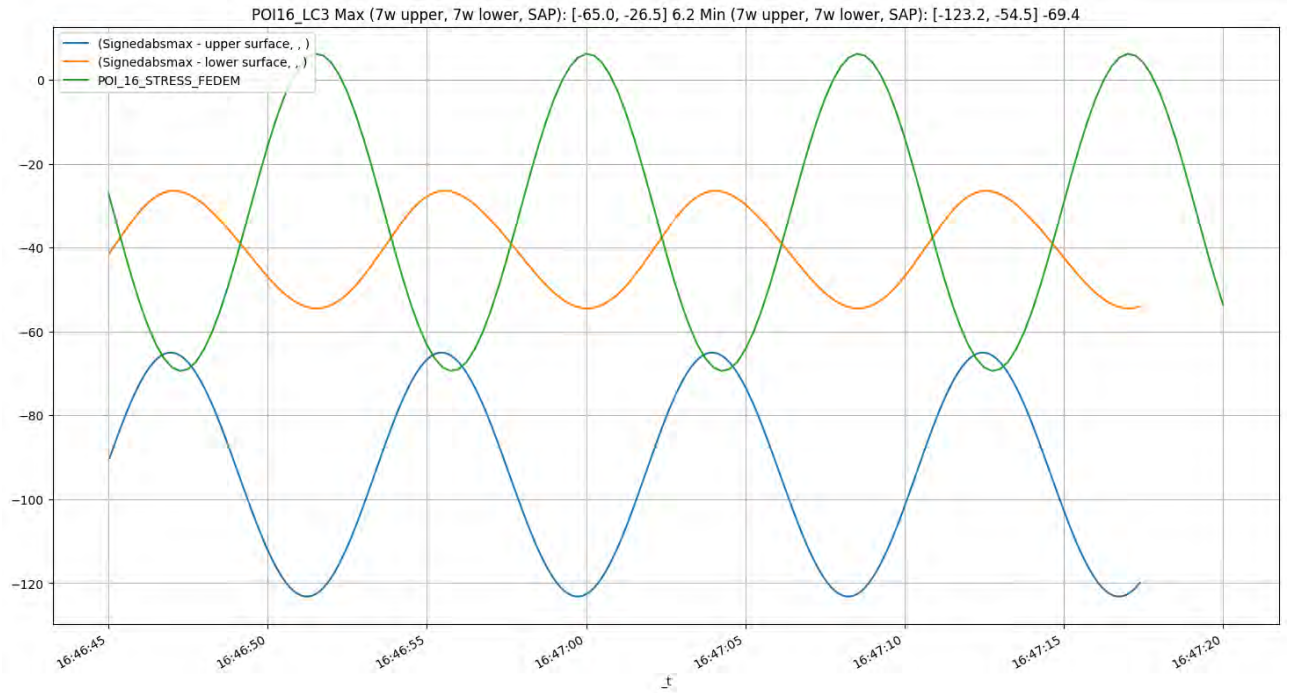


Figure 32. POI16, load case 3

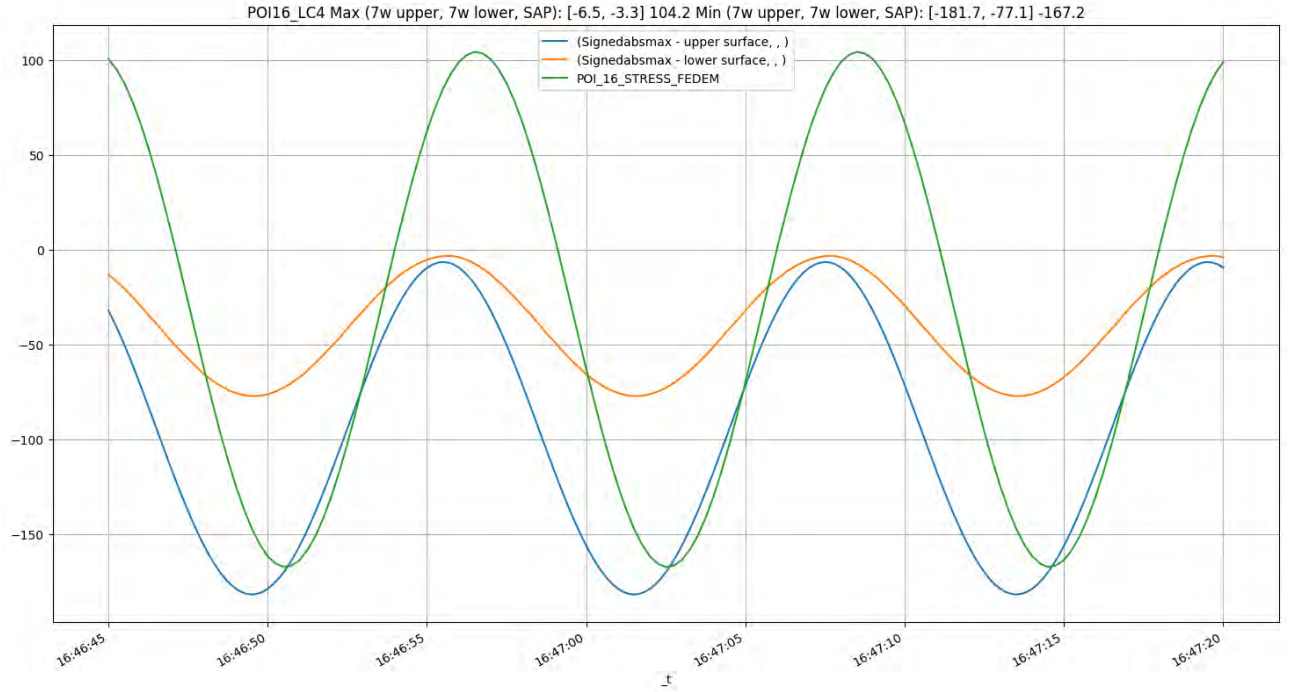


Figure 33. POI16, load case 4

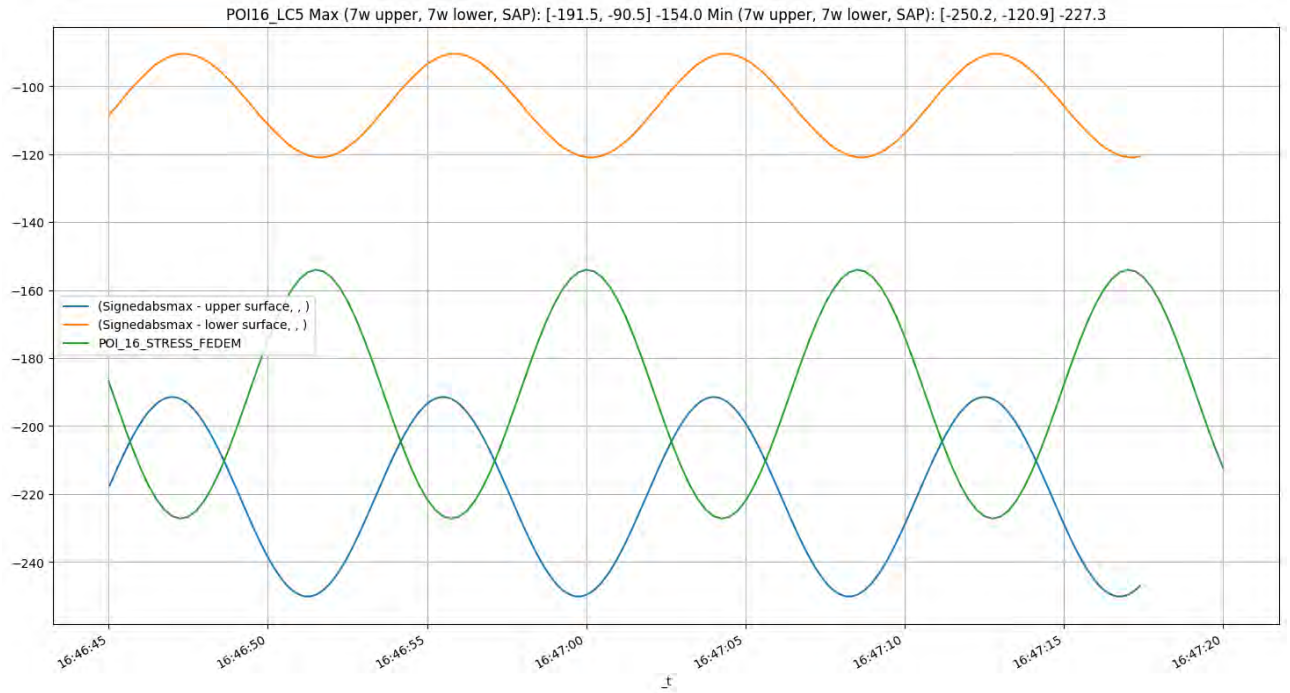


Figure 34. POI16, load case 5

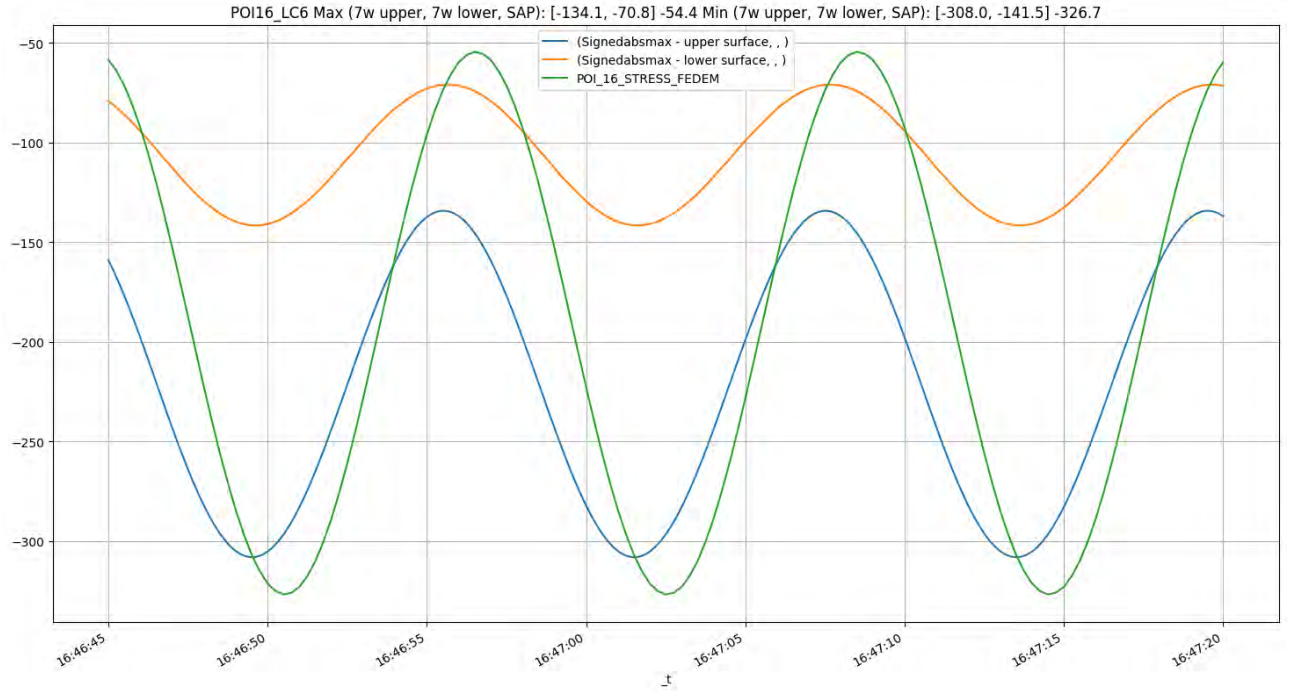


Figure 35. POI16, load case 6

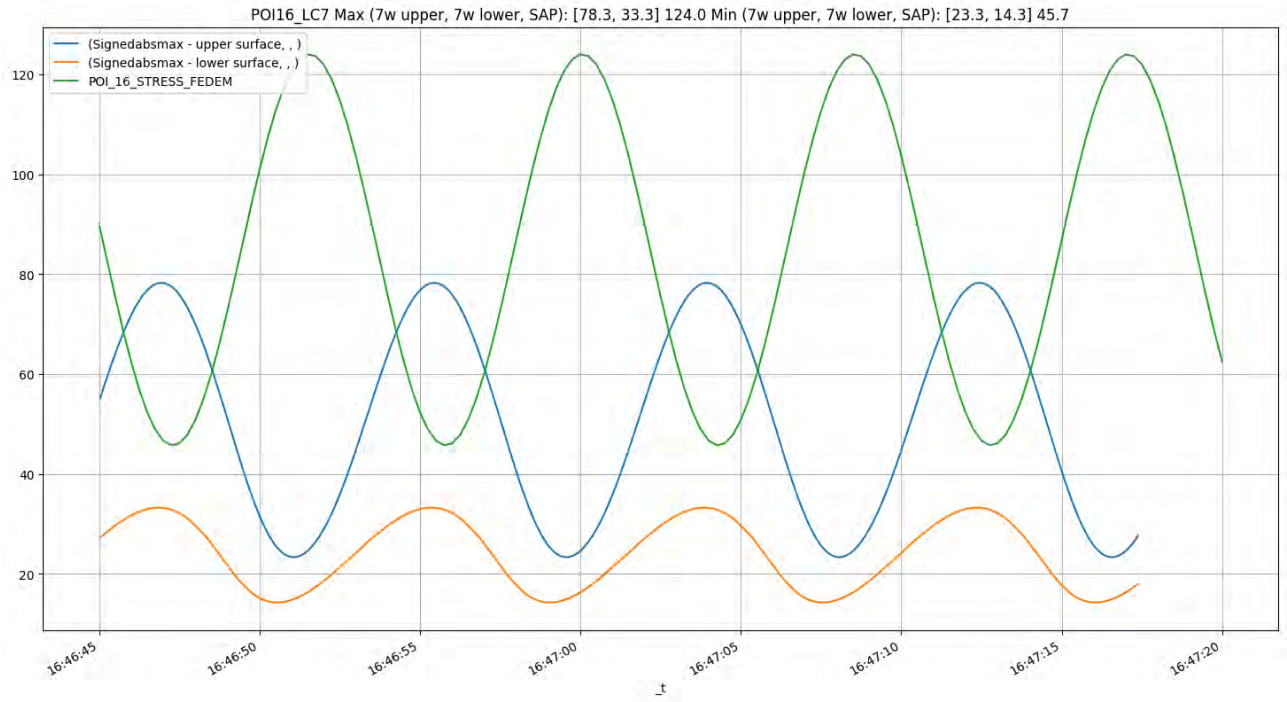


Figure 36. POI16, load case 7

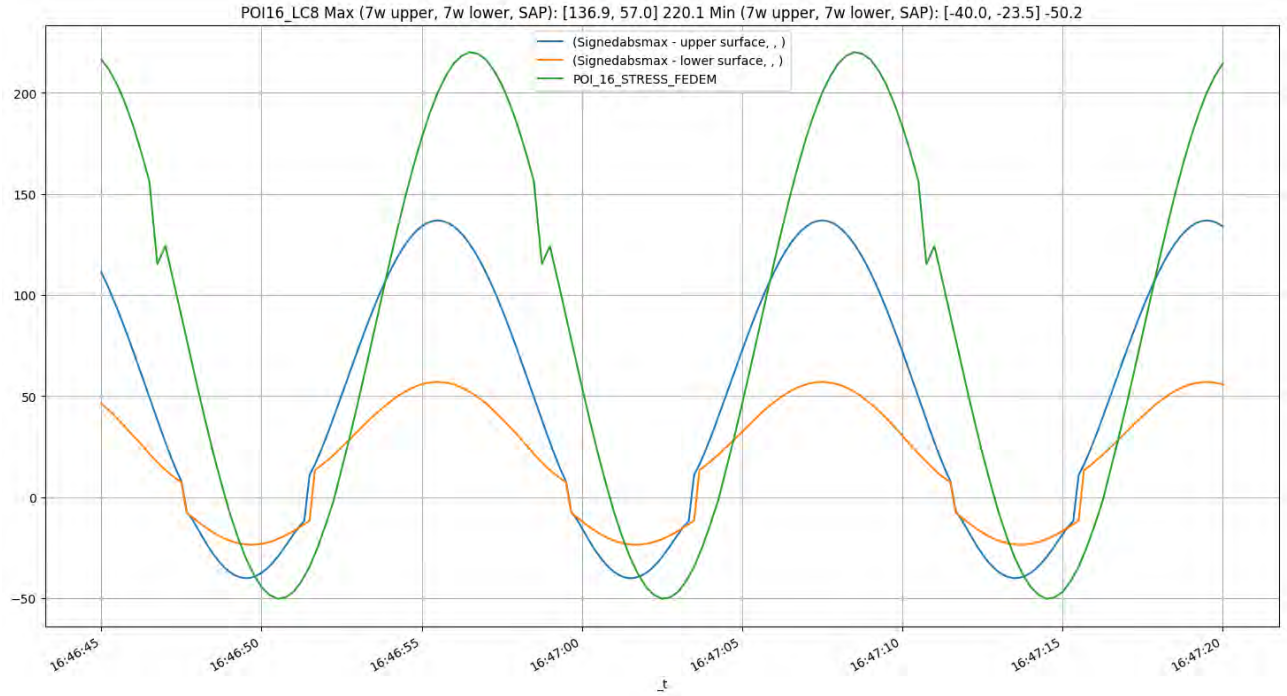


Figure 37. POI16, load case 8

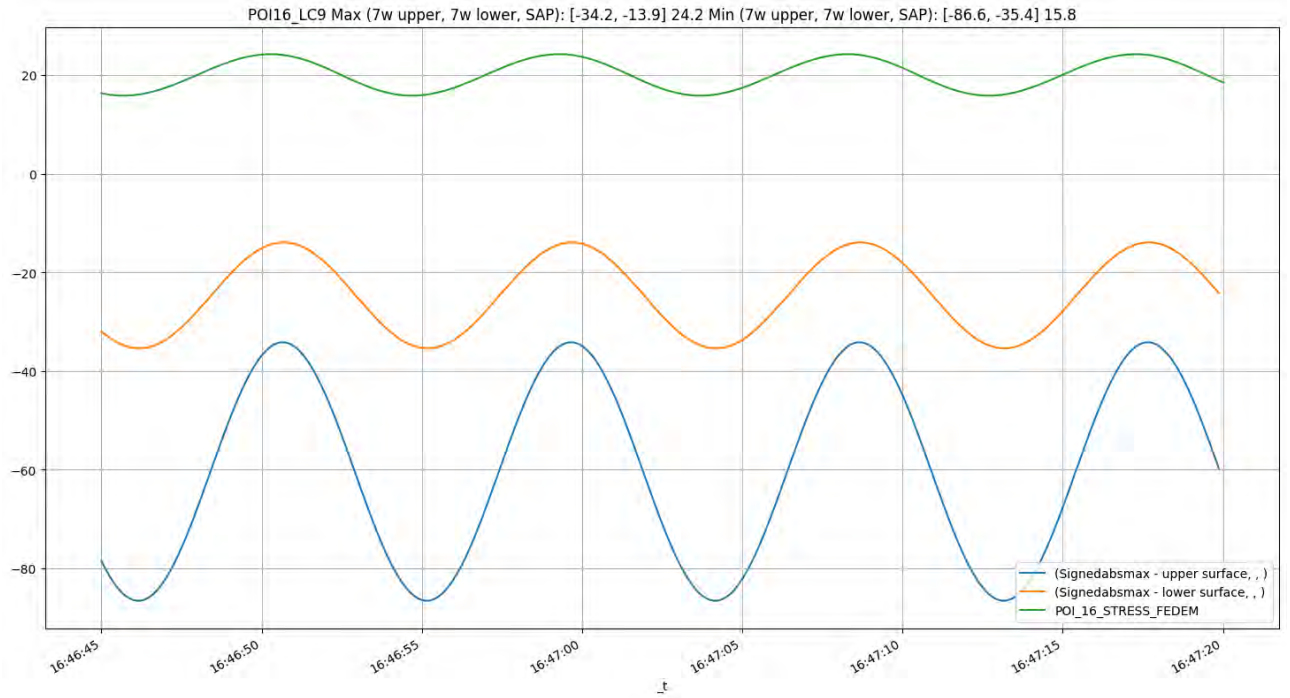


Figure 38. POI16, load case 9

2.1.5 POI17

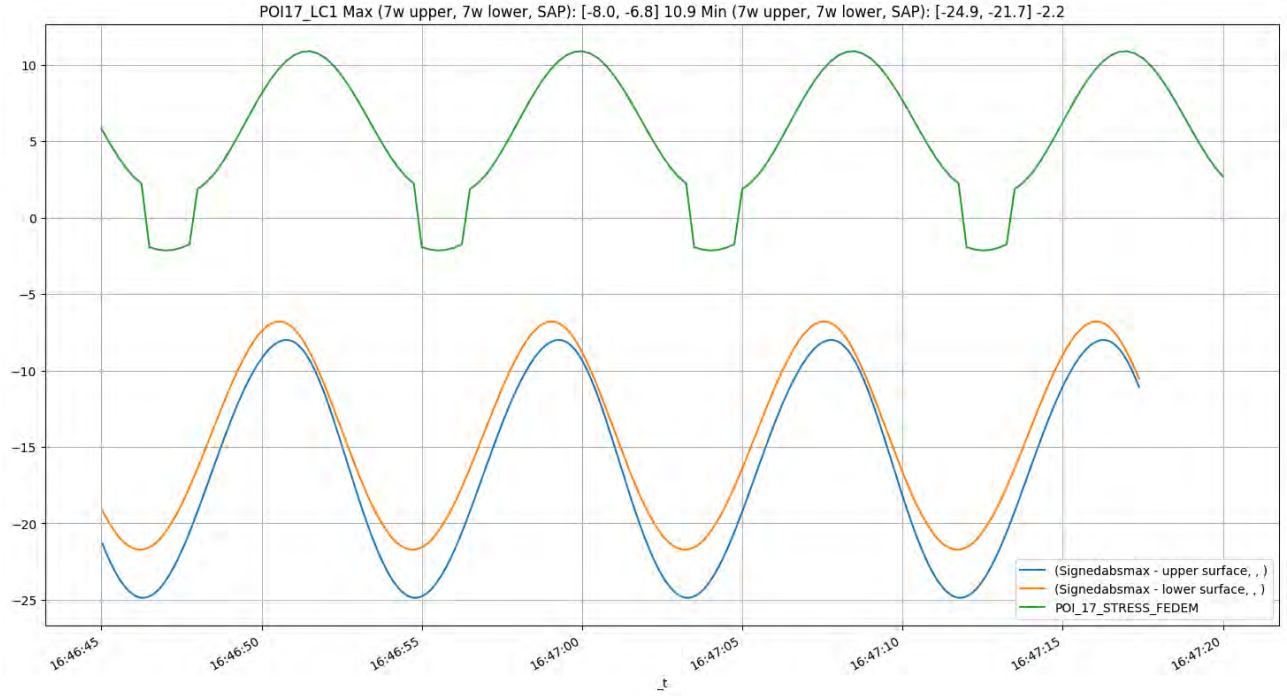


Figure 39. POI17, load case 1

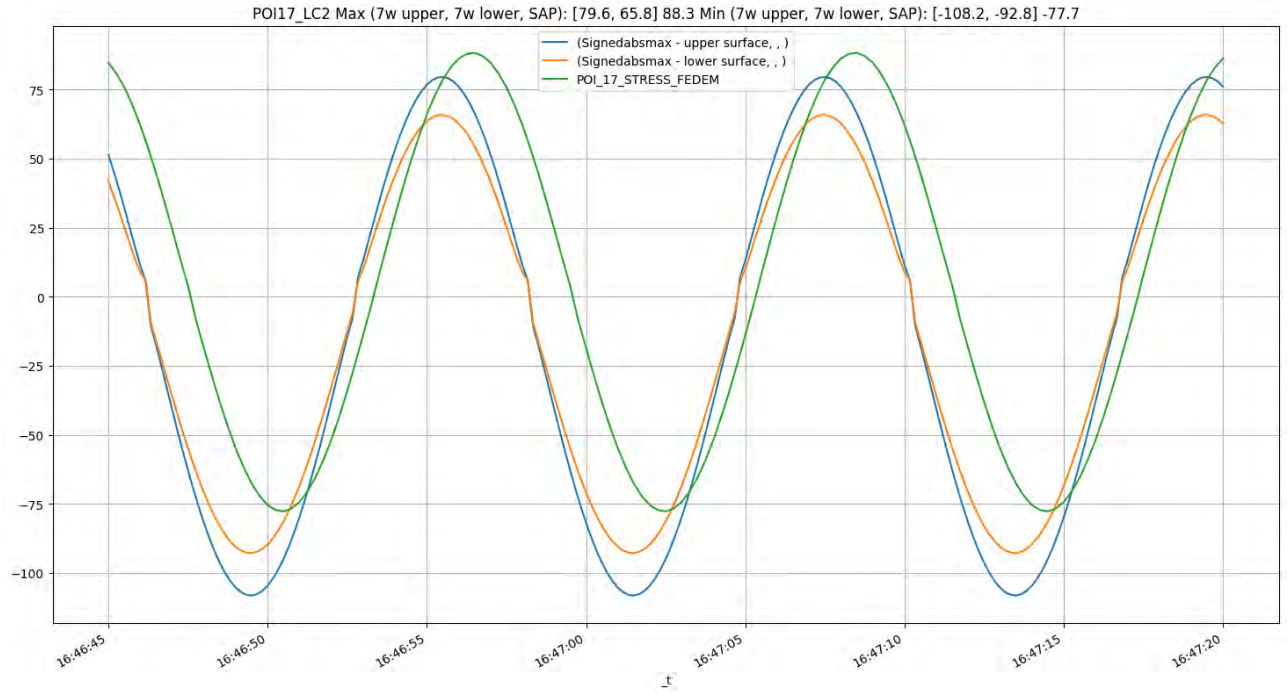


Figure 40. POI17, load case 2

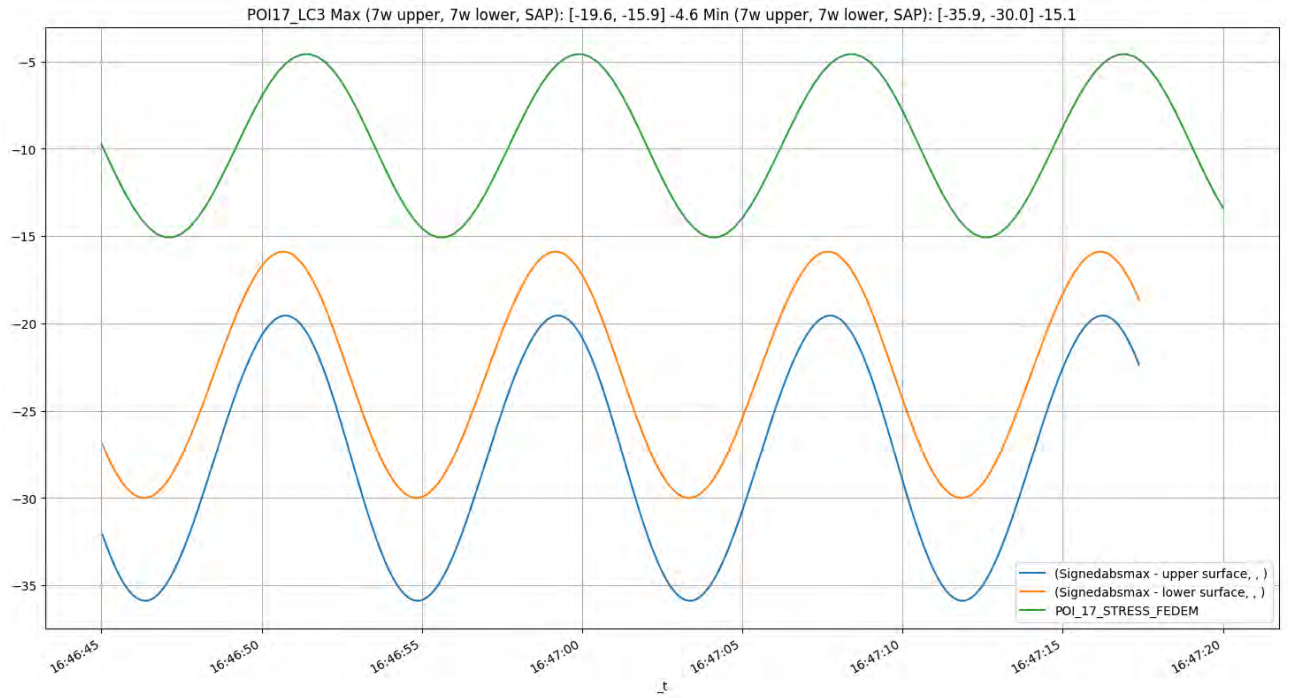


Figure 41. POI17, load case 3

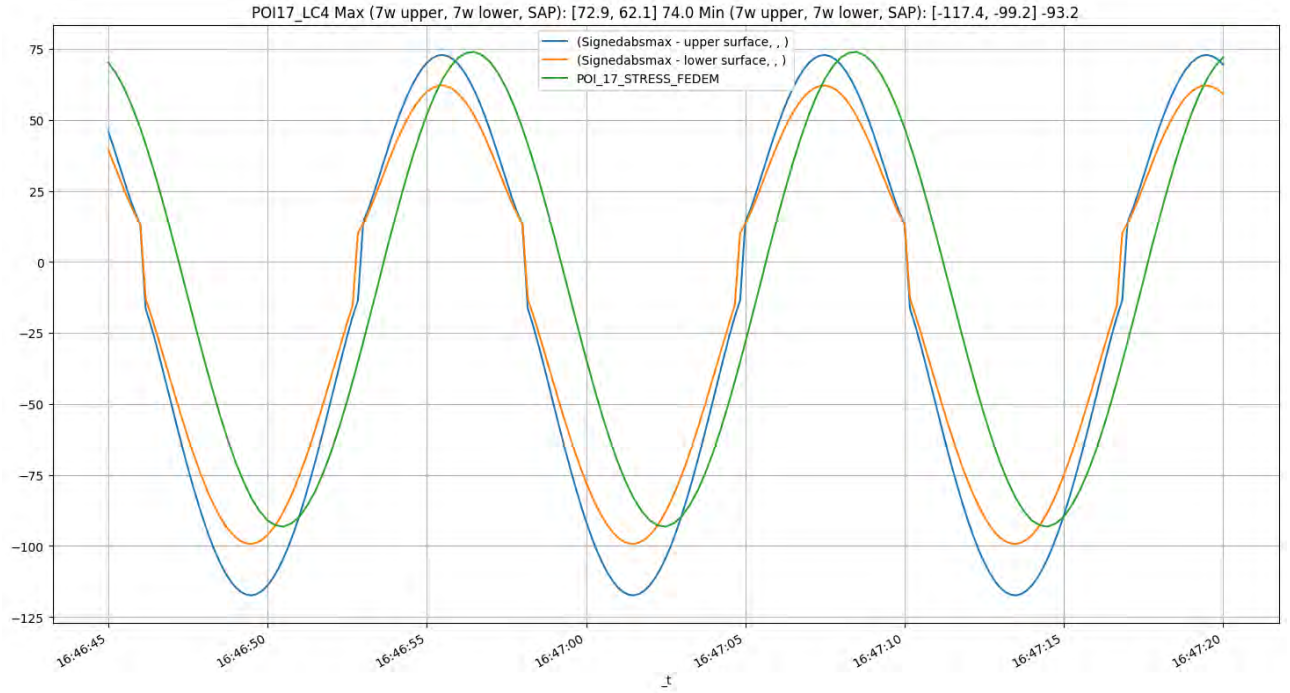


Figure 42. POI17, load case 4

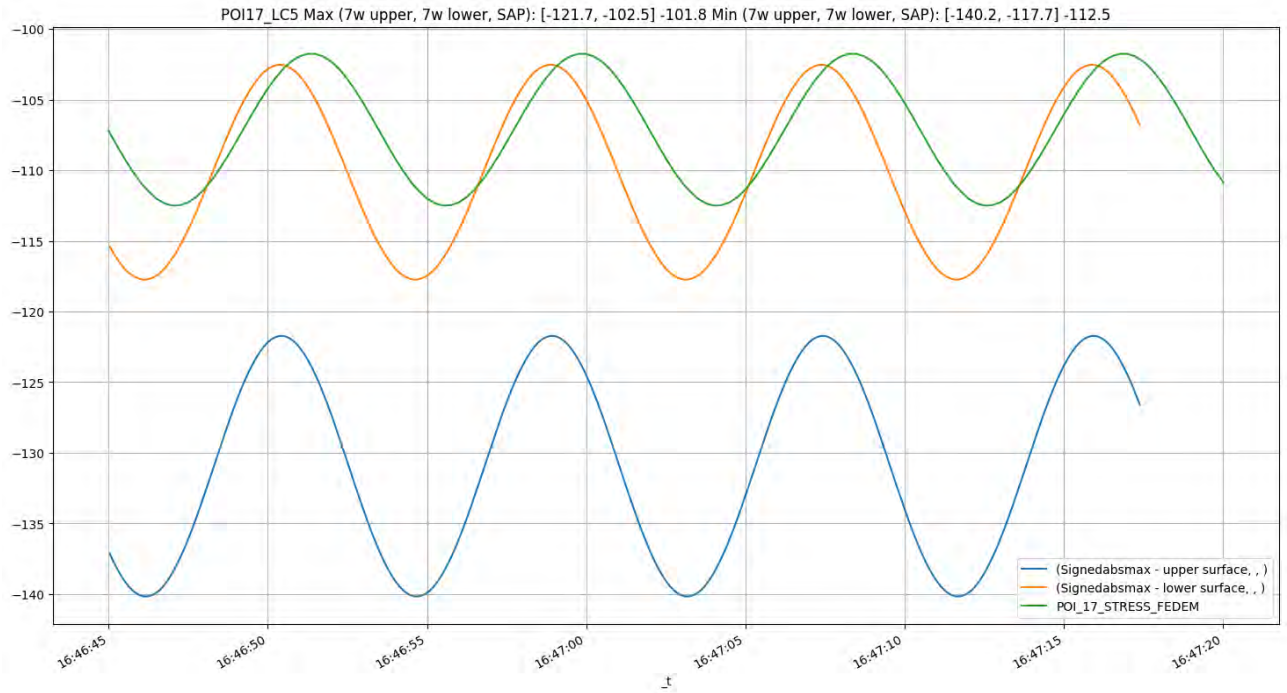


Figure 43. POI17, load case 5

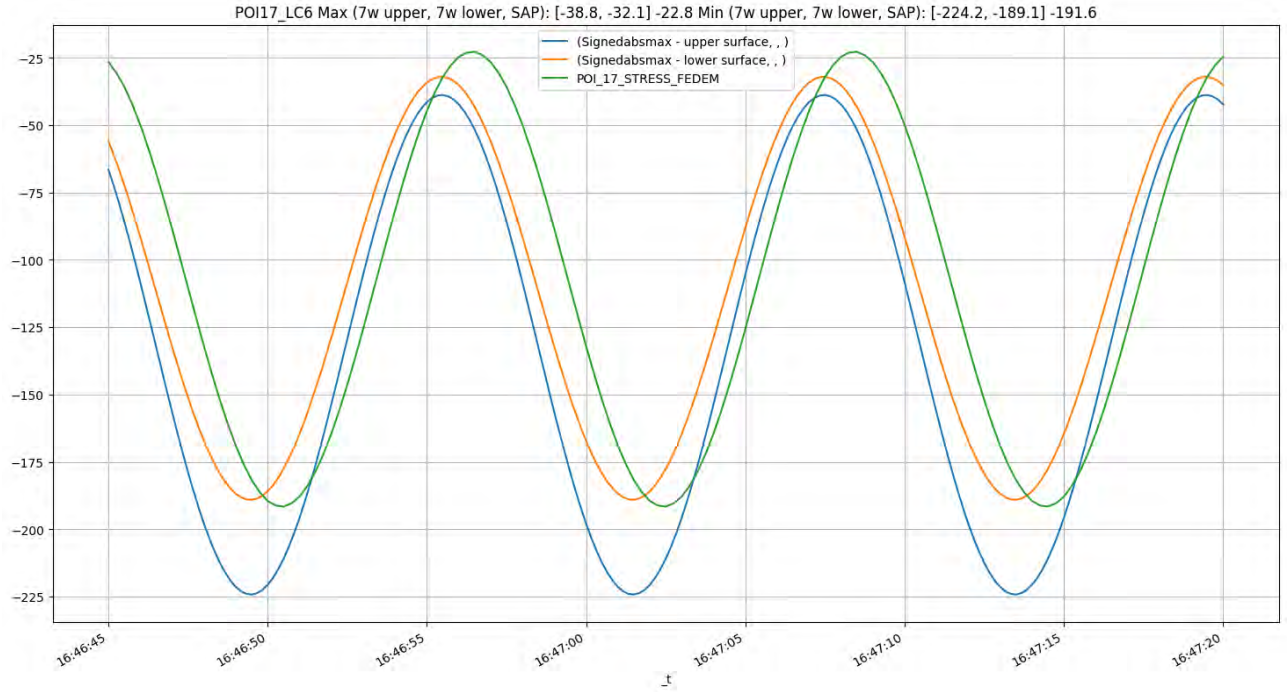


Figure 44. POI17, load case 6

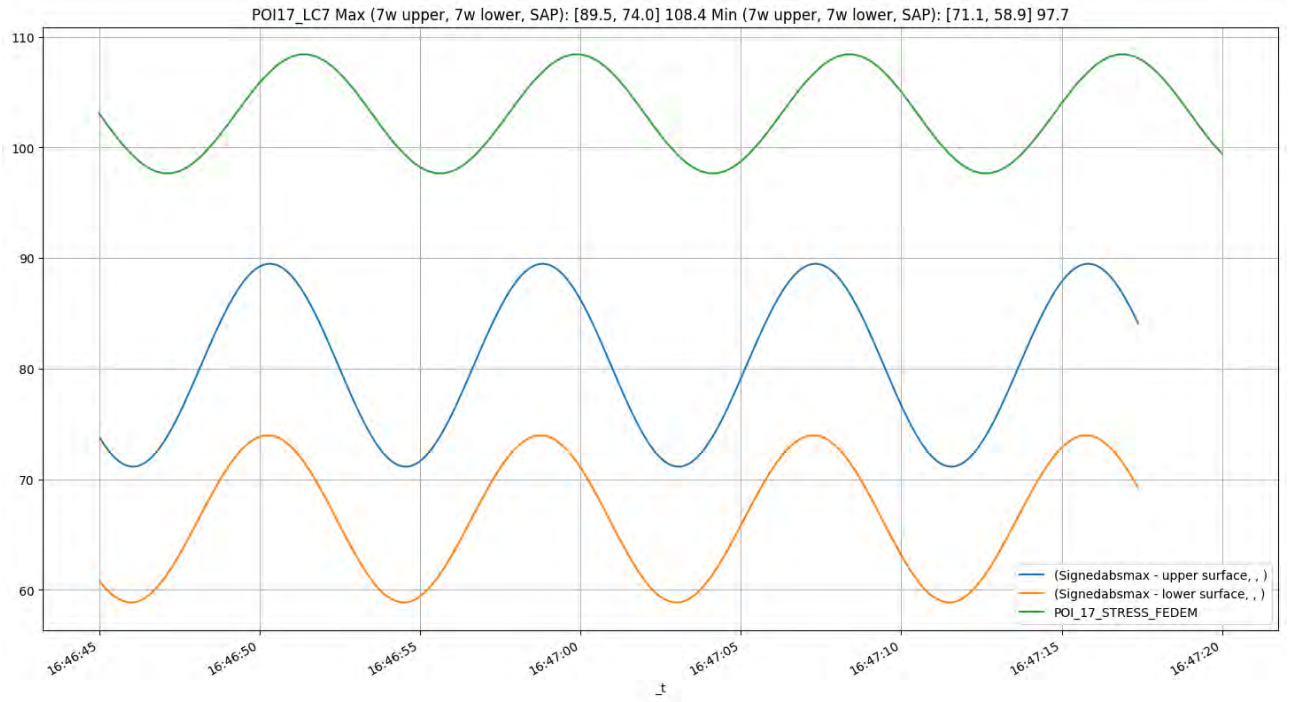


Figure 45. POI17, load case 7

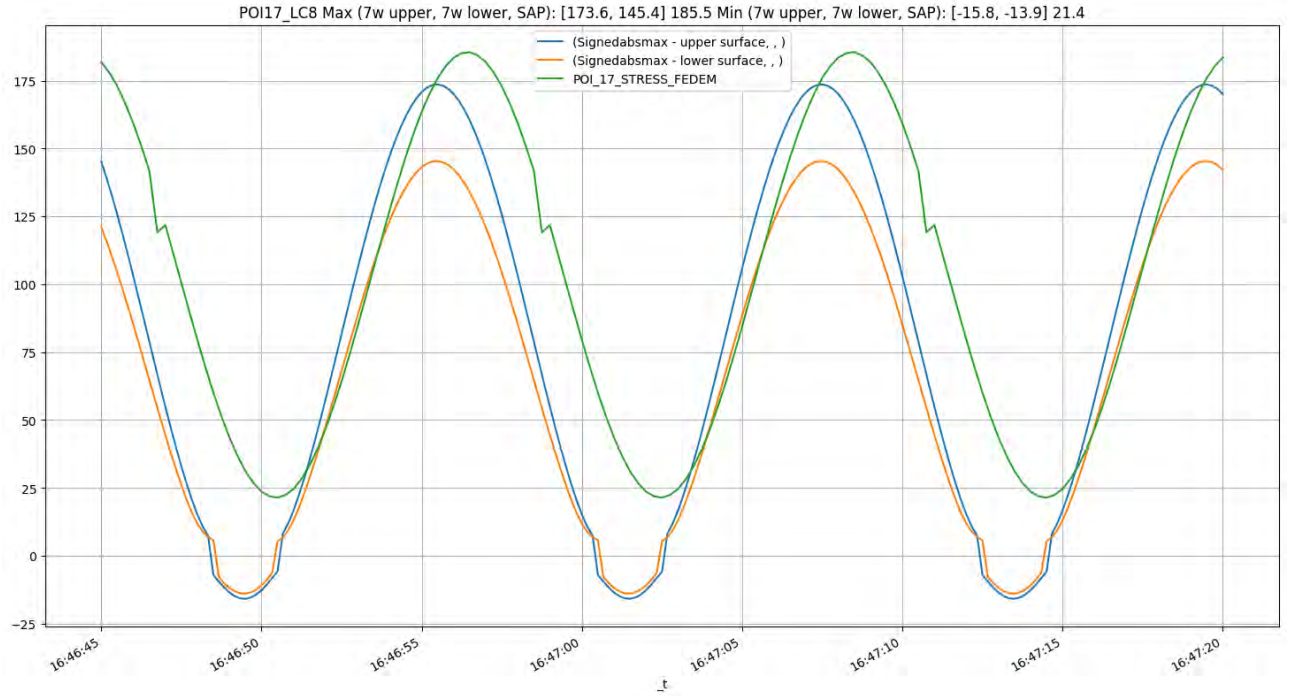


Figure 46. POI17, load case 8

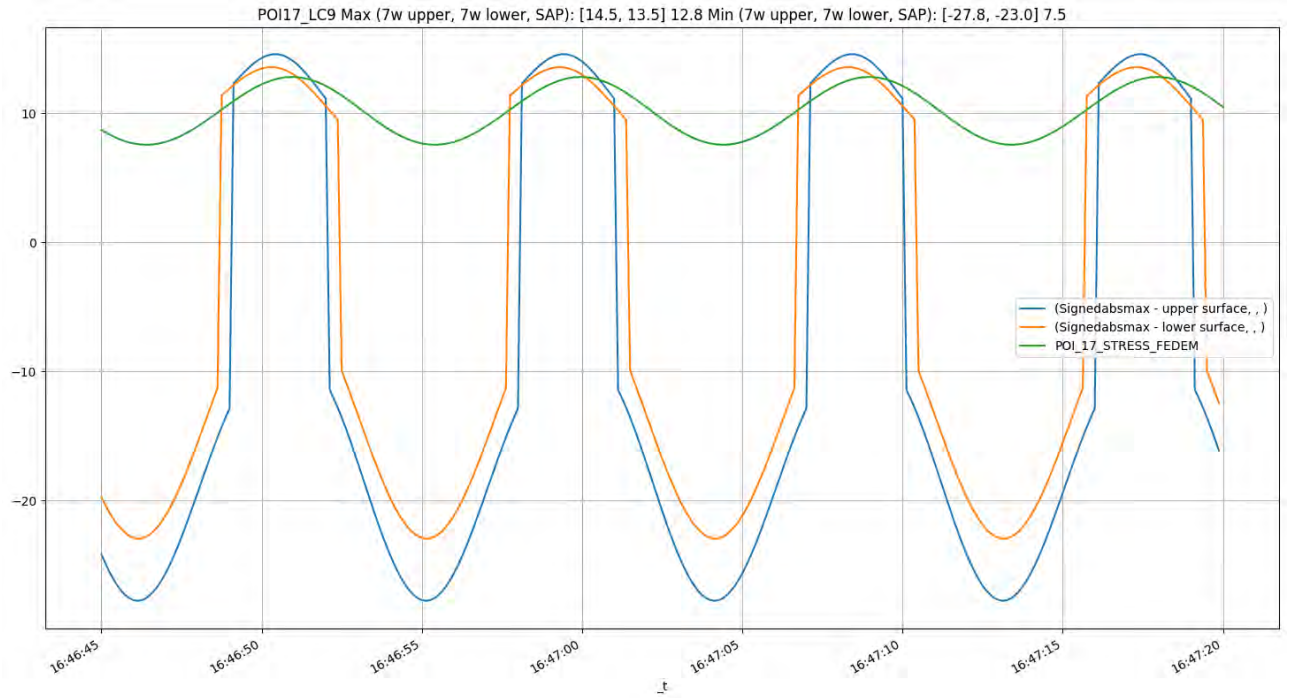


Figure 47. POI17, load case 9

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

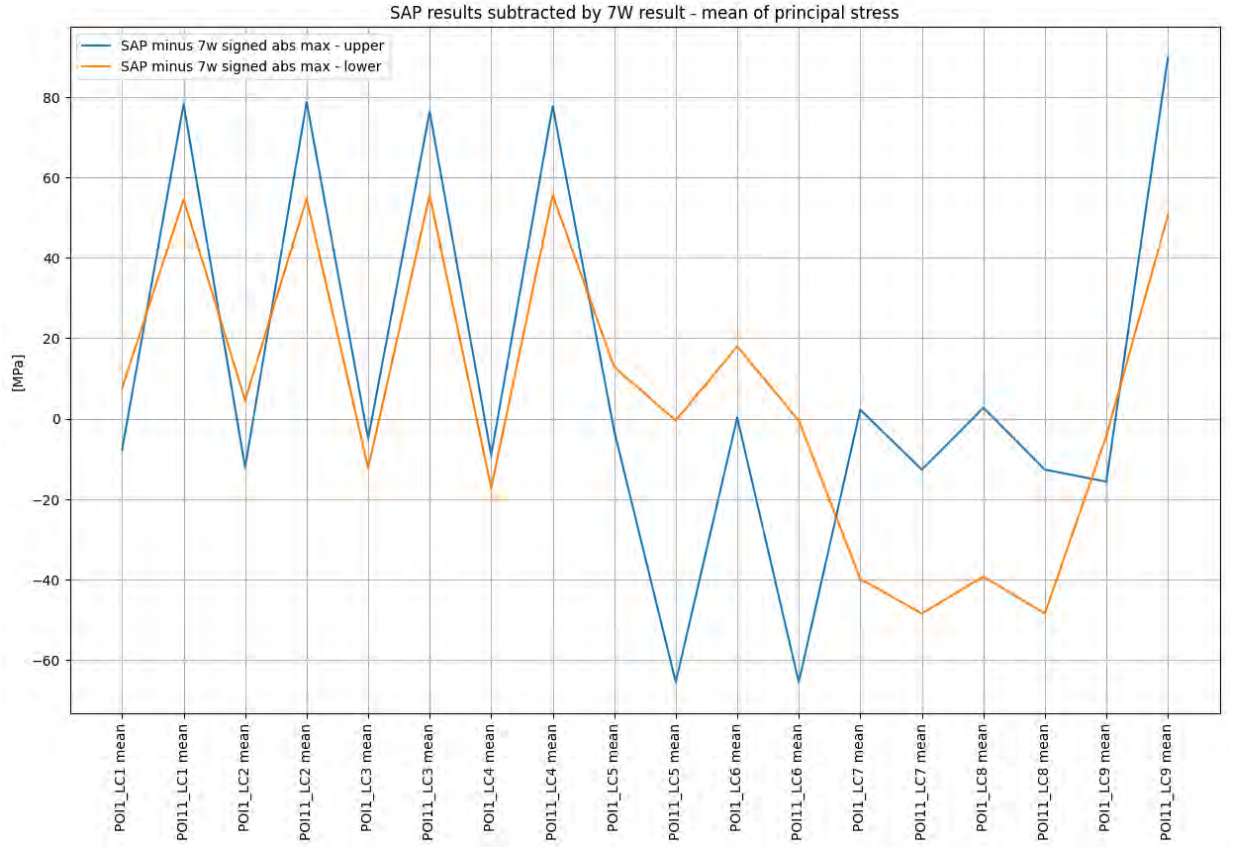


Figure 48. Difference of mean for POI1 and POI11 - SAP minus 7 waves.

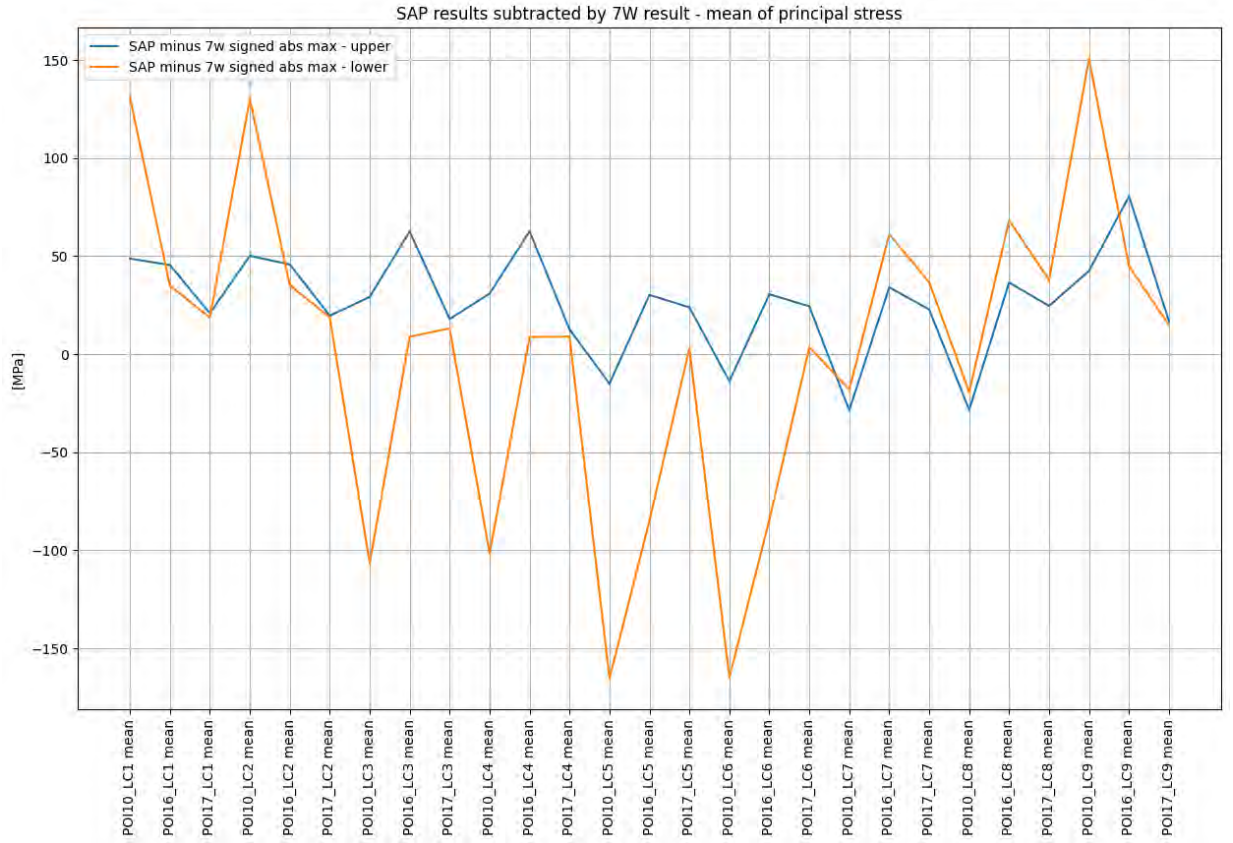


Figure 49. Difference of mean for POI10, POI16 and POI17 - SAP minus 7 waves.

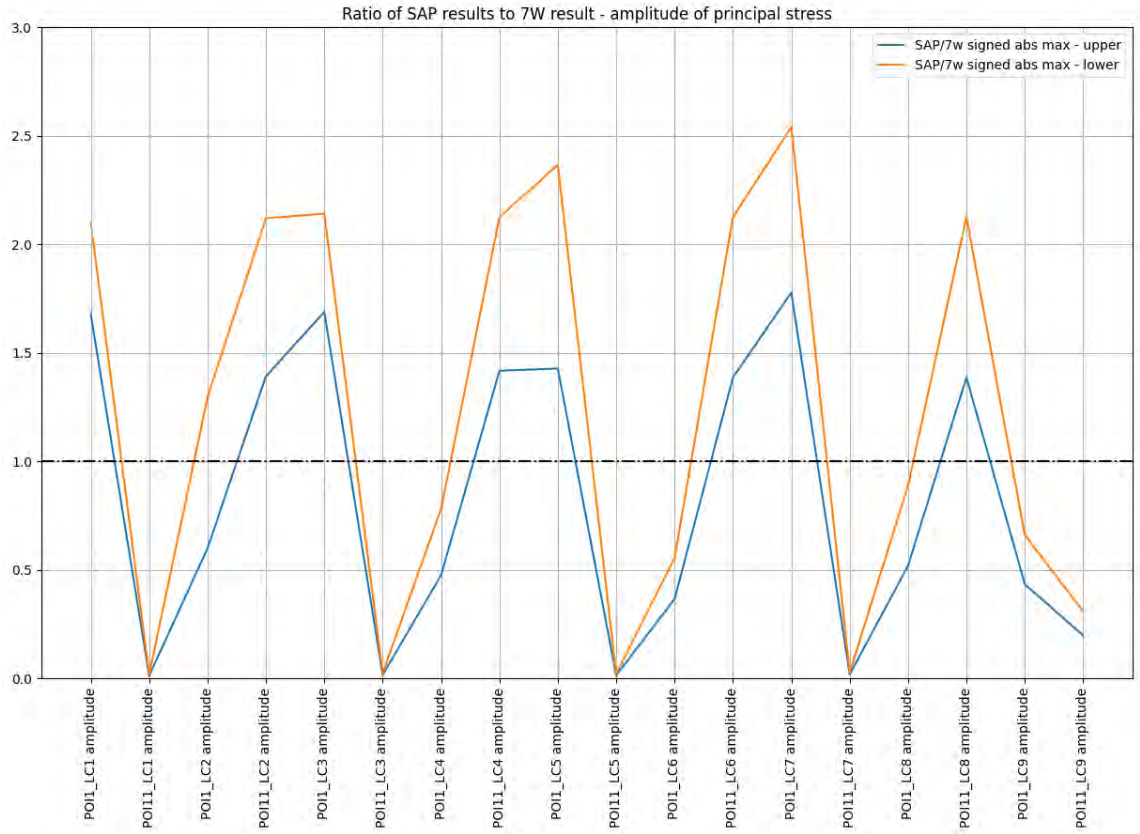


Figure 50. Ratio of amplitudes for POI1 and POI11 - SAP to 7 waves

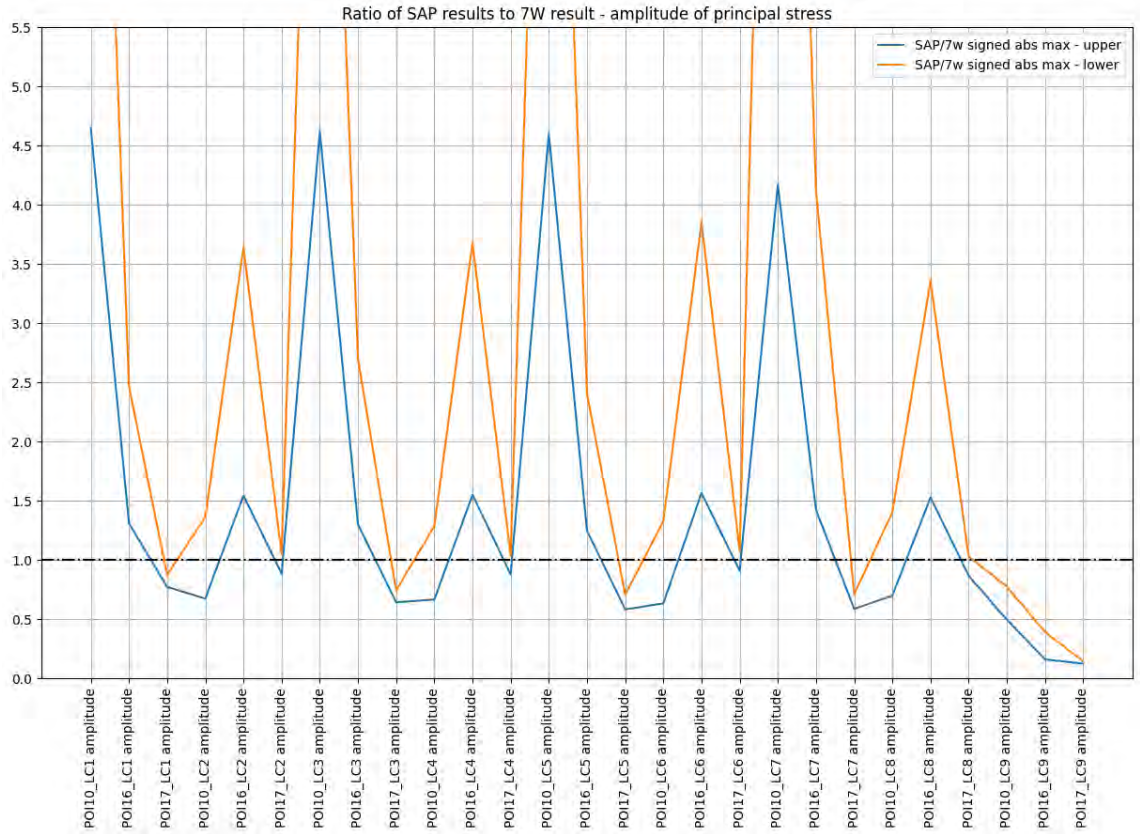


Figure 51. Ratio of amplitudes for POI10, POI16 and POI17 - SAP to 7 waves

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/trademark 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.

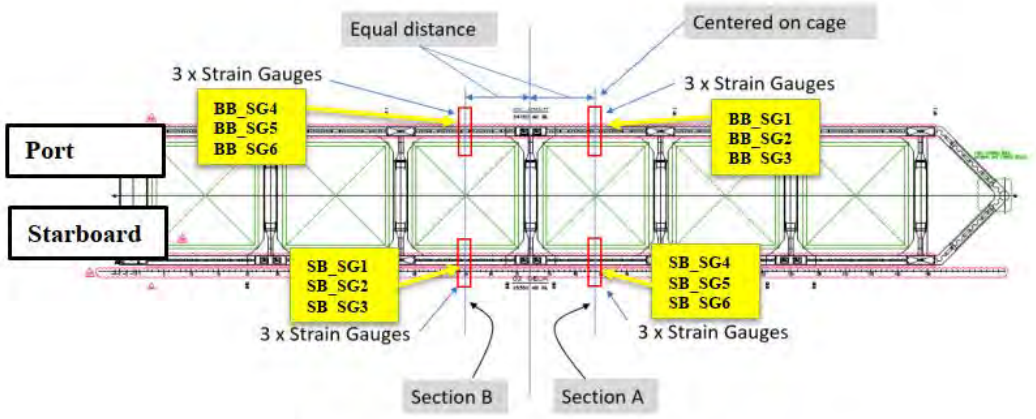


Figure 3 Overview of the instrumented sections of Havfarm1.

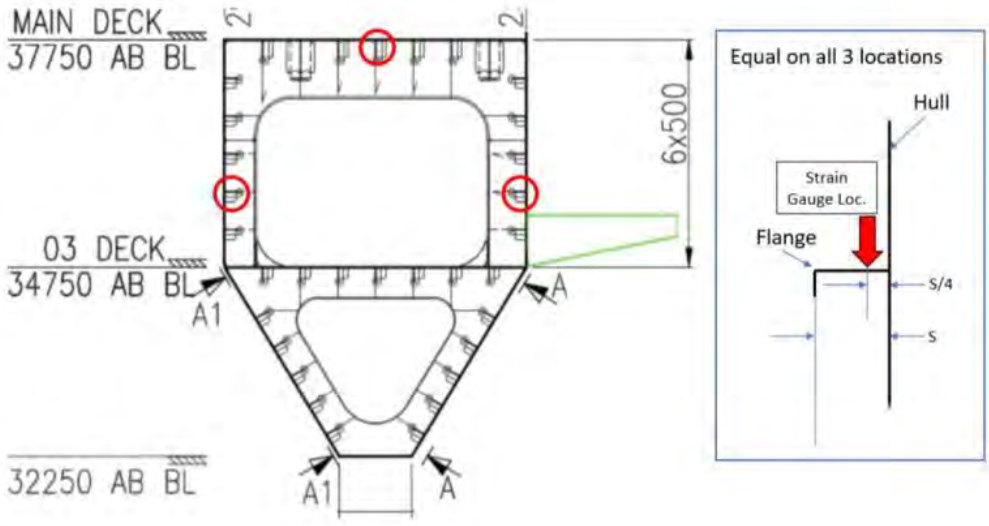


Figure 1. Strain gage locations (i).

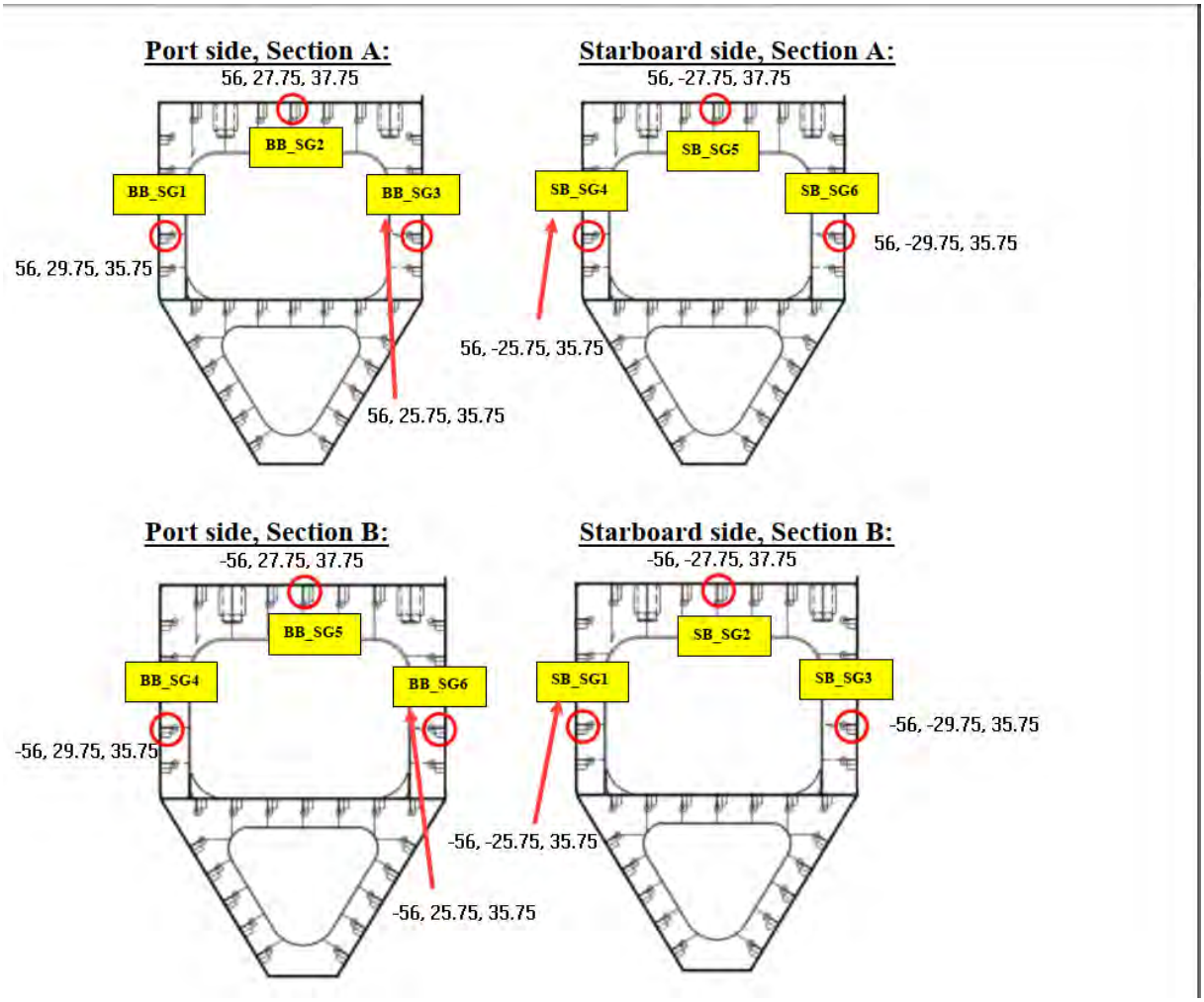


Figure 2. Strain gage locations, looking from bridge.

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:

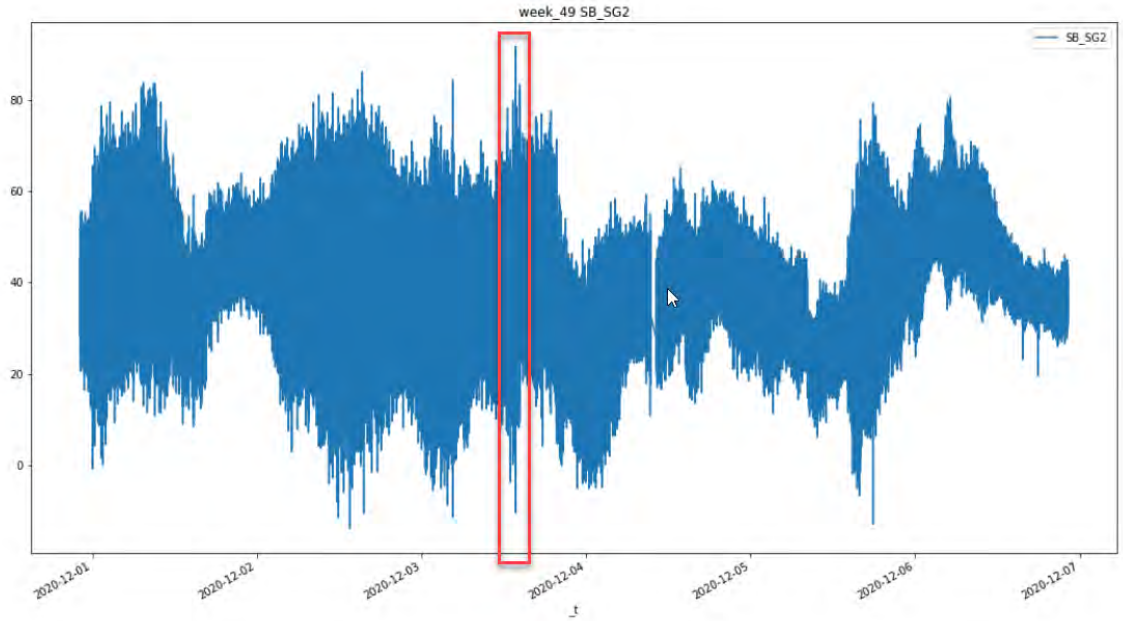


Figure 3. Strain gage SB_SG2, week 49

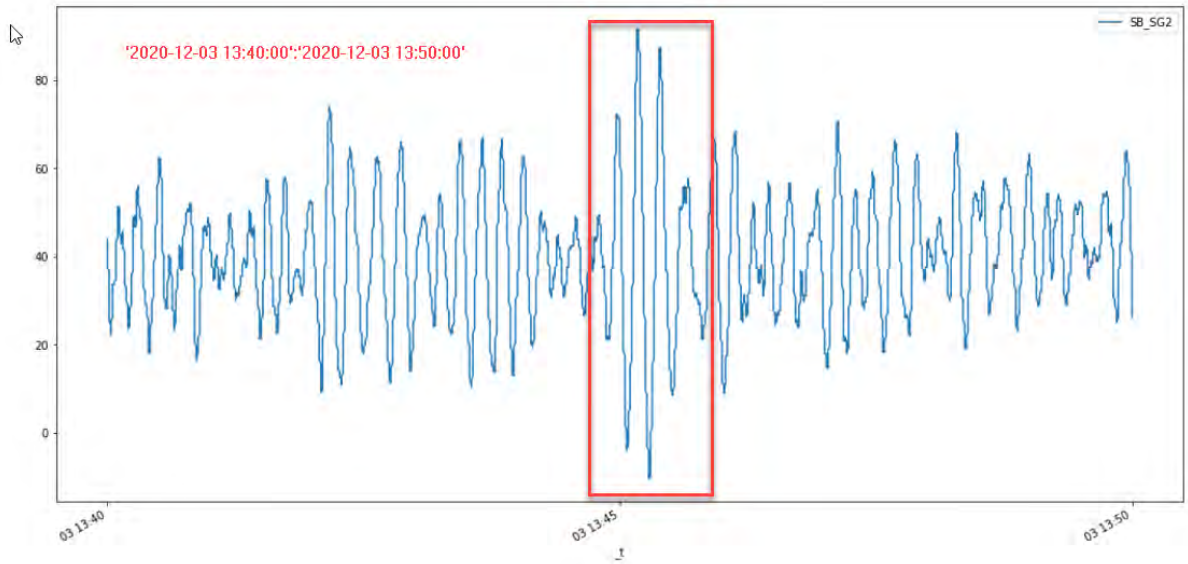


Figure 4. Strain gage SB_SG2, Dec. 3, 2020, 13:40:00 - 13:50:00 GMT +01:00

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:

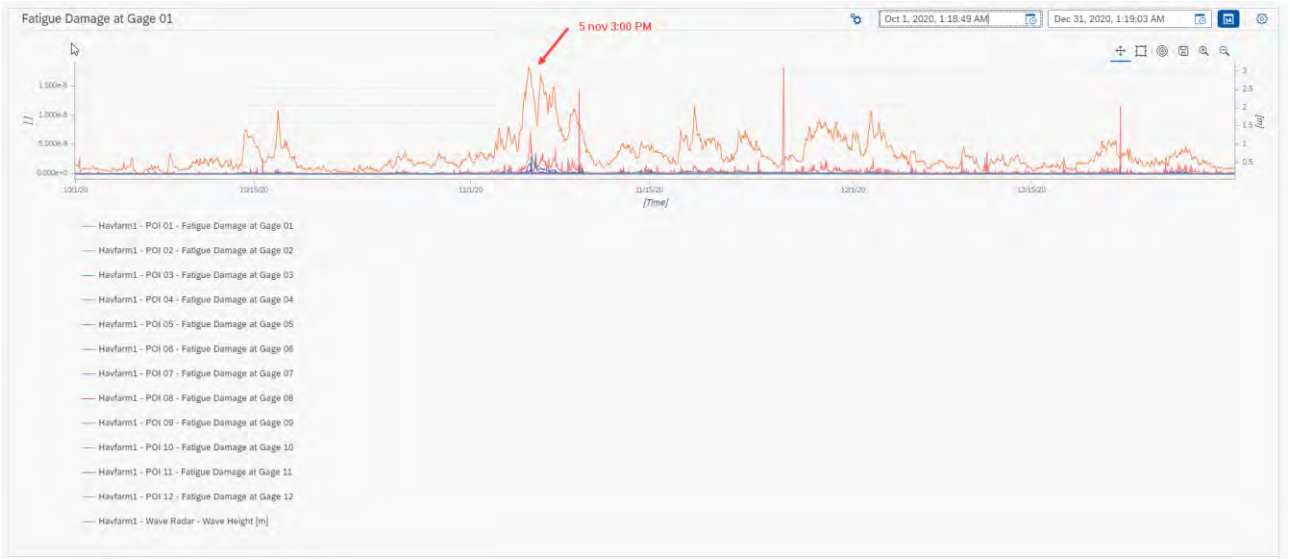


Figure 5. GUI plot, fatigue damage at POIs and Significant Wave Height. Storm condition.

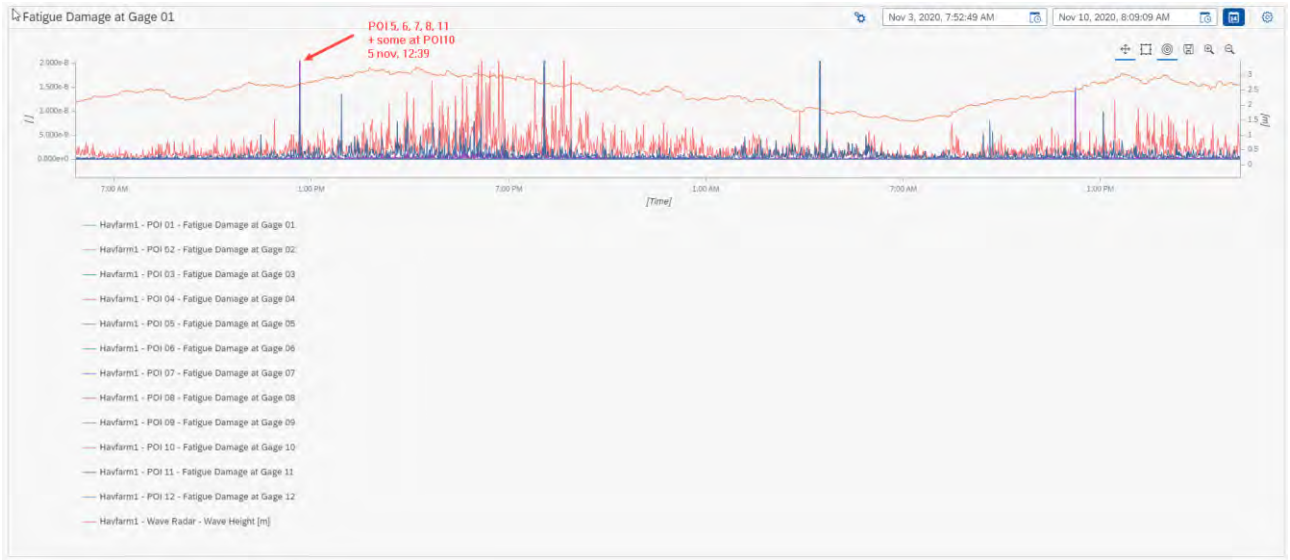


Figure 6. GUI plot close-up, fatigue damage at POIs and Significant Wave Height. Storm condition.

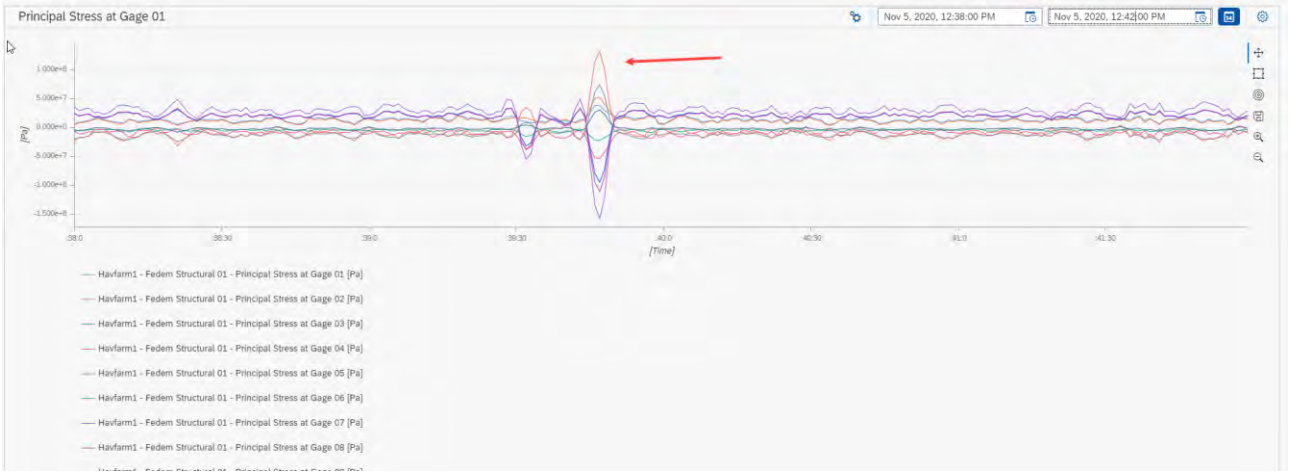


Figure 7. GUI plot. Principal stress at POIs. Storm condition.

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)

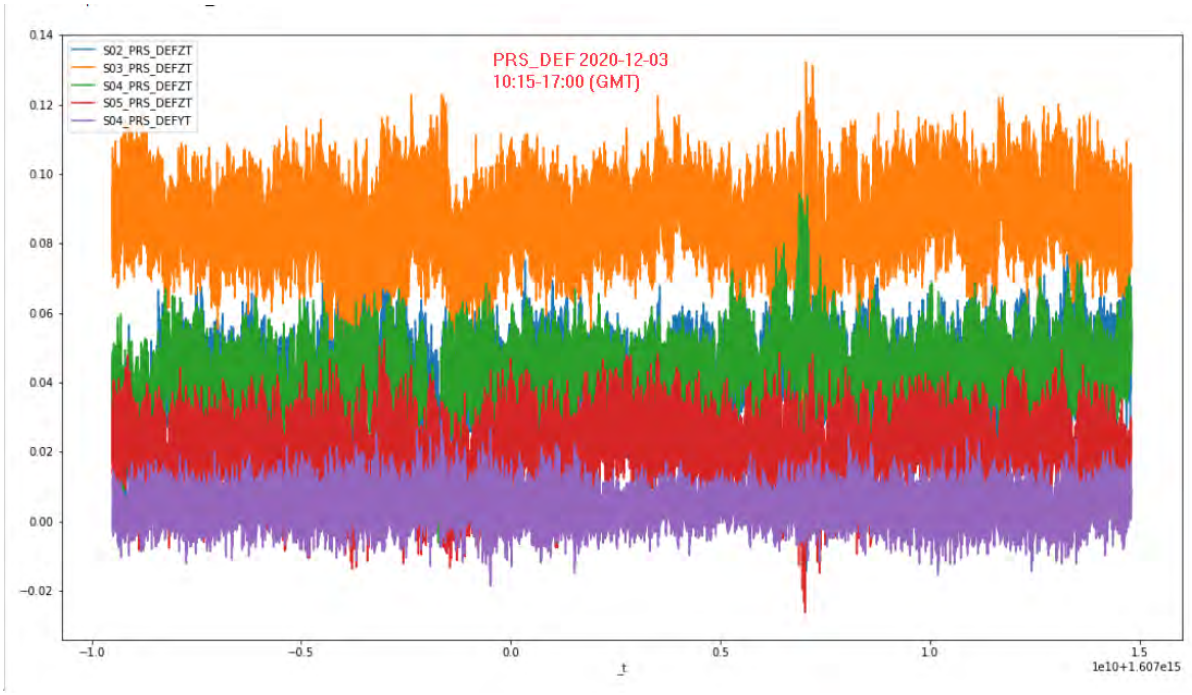


Figure 8. Input to global FE model created by Cloud application (digital twin) based on GPS sensor input (positions)

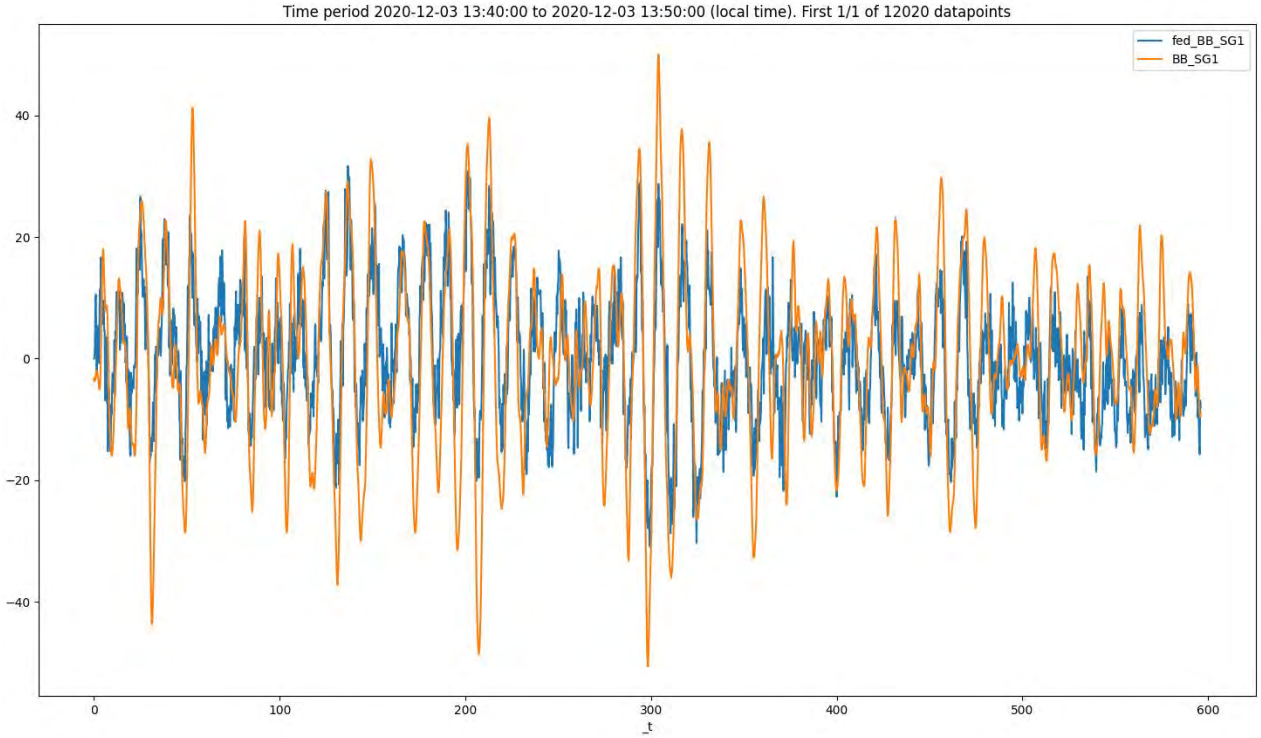


Figure 9. Comparison of physical sensor to FE model sensor, BB_SG1

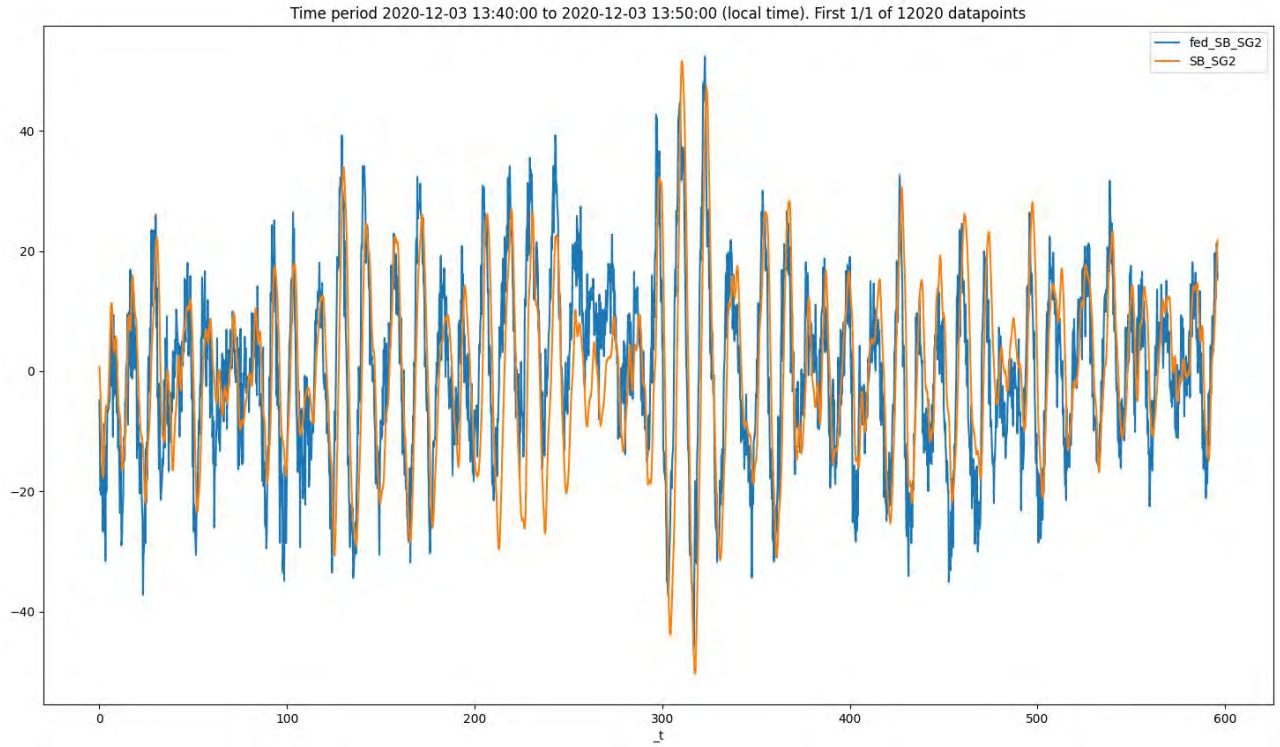


Figure 10. Figure 6. Comparison of physical sensor to FE model sensor, SB_SG2

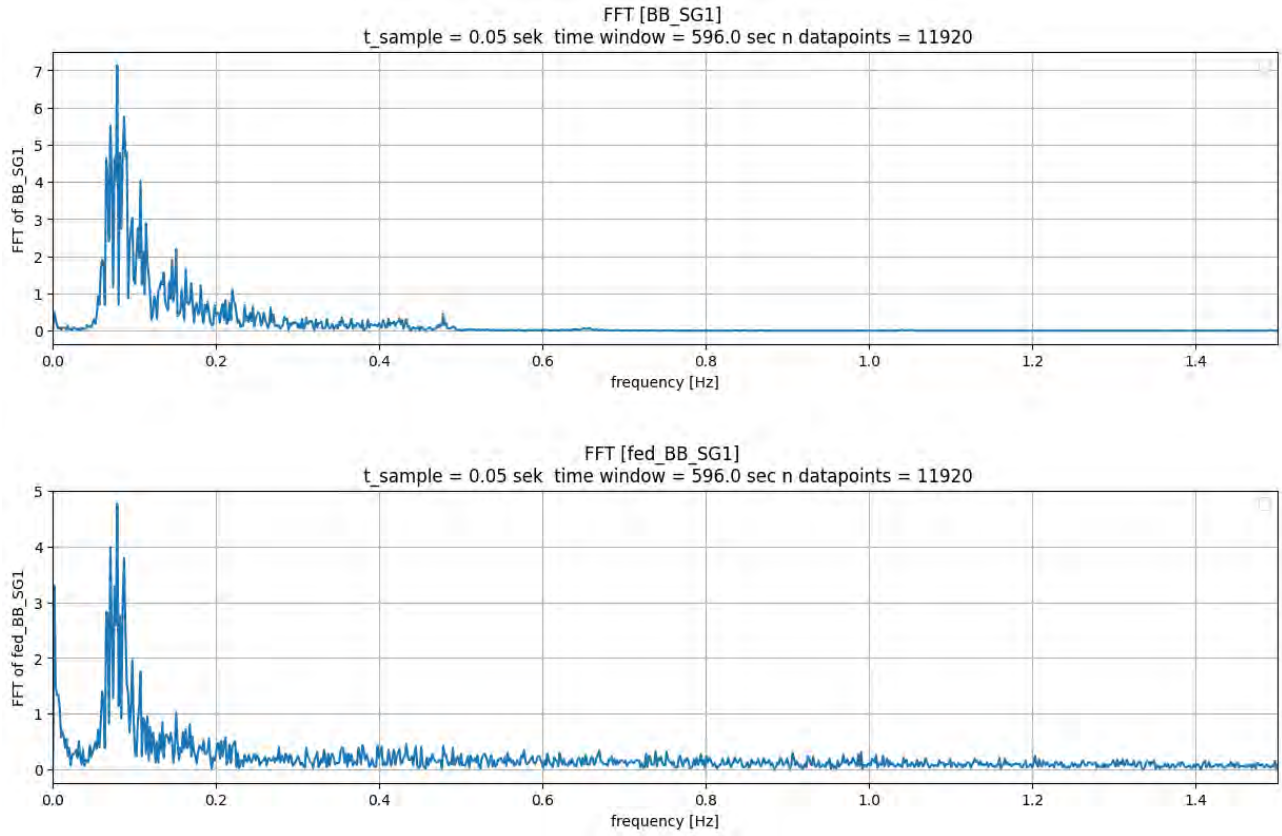


Figure 11. Comparison of the Fast Fourier Transform, BB_SG1

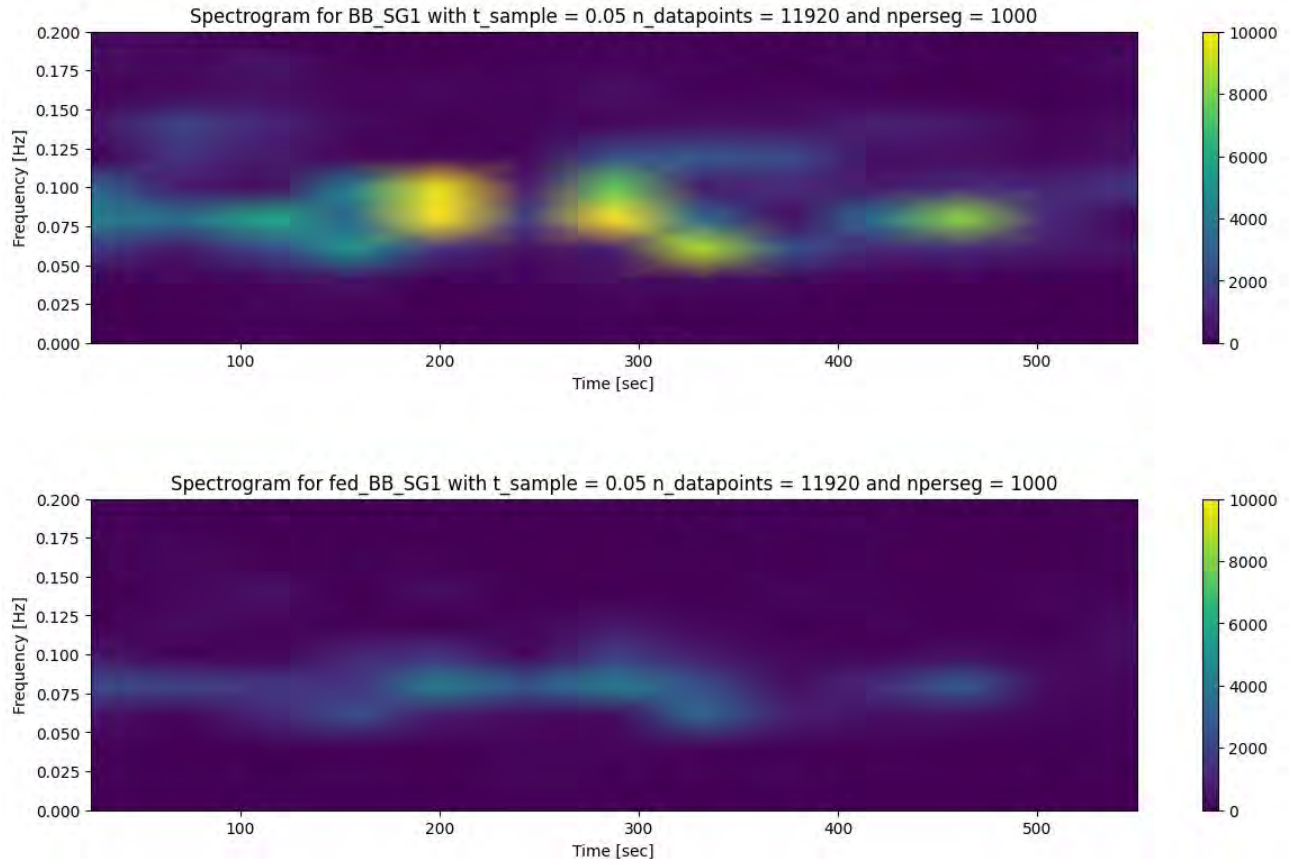


Figure 12 Comparison of spectrograms, BB_SG1

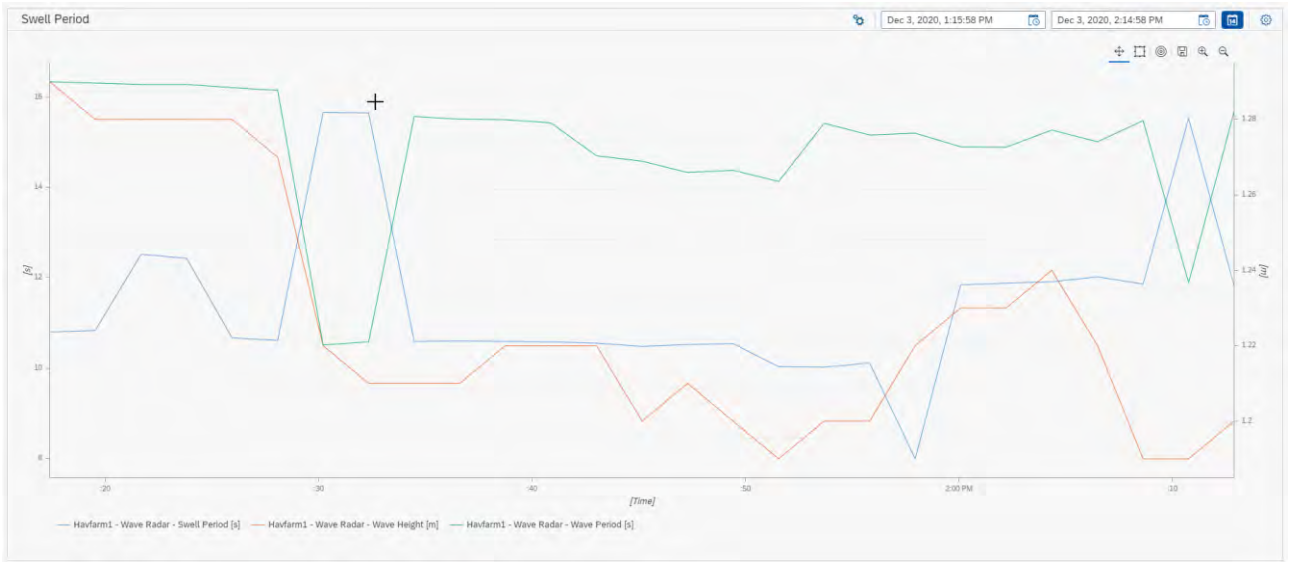


Figure 13. Wave height (Hs) and periods

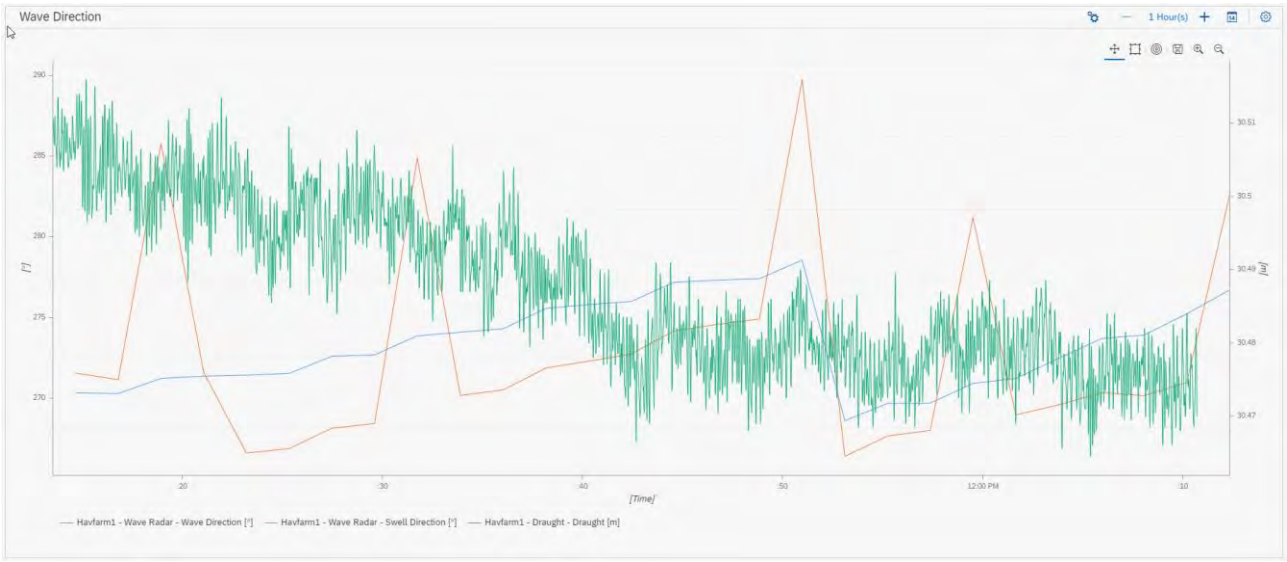


Figure 14. Draught and wave directions

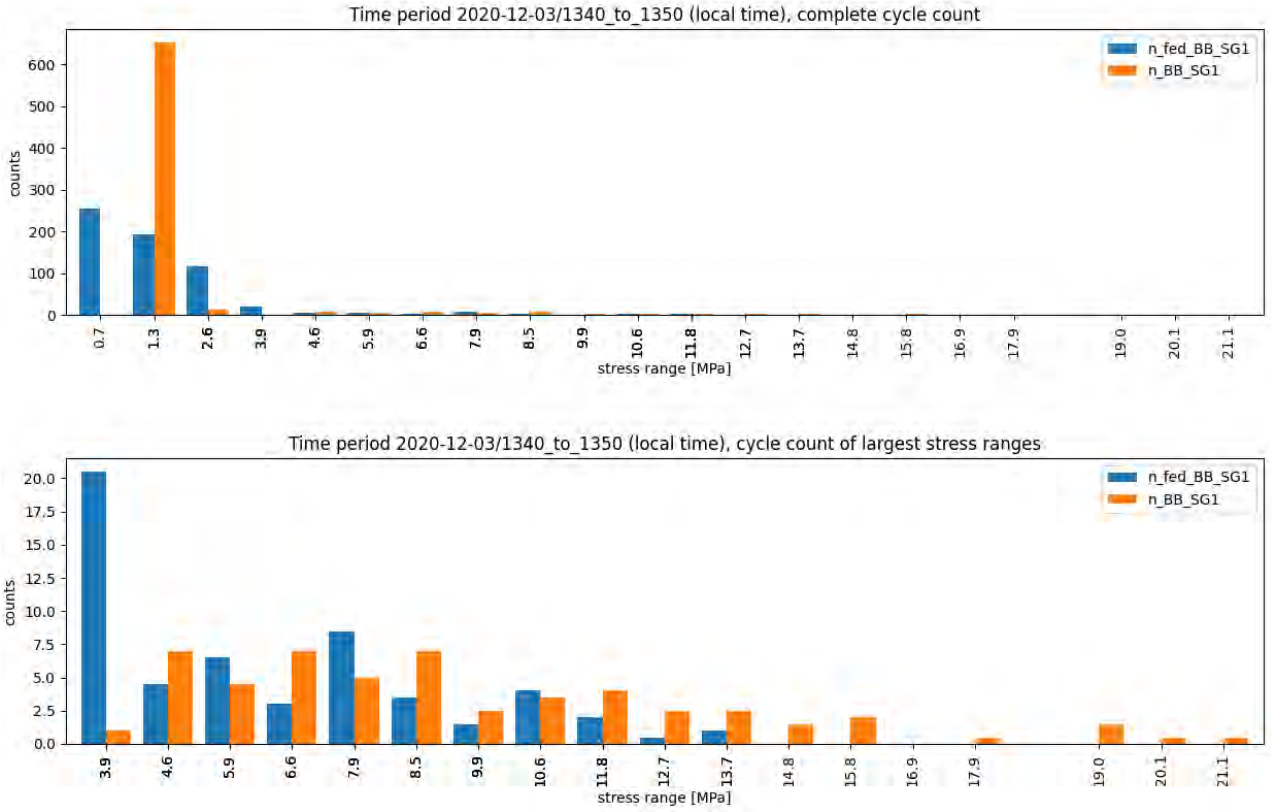


Figure 15, Stress range vs stress range counts

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

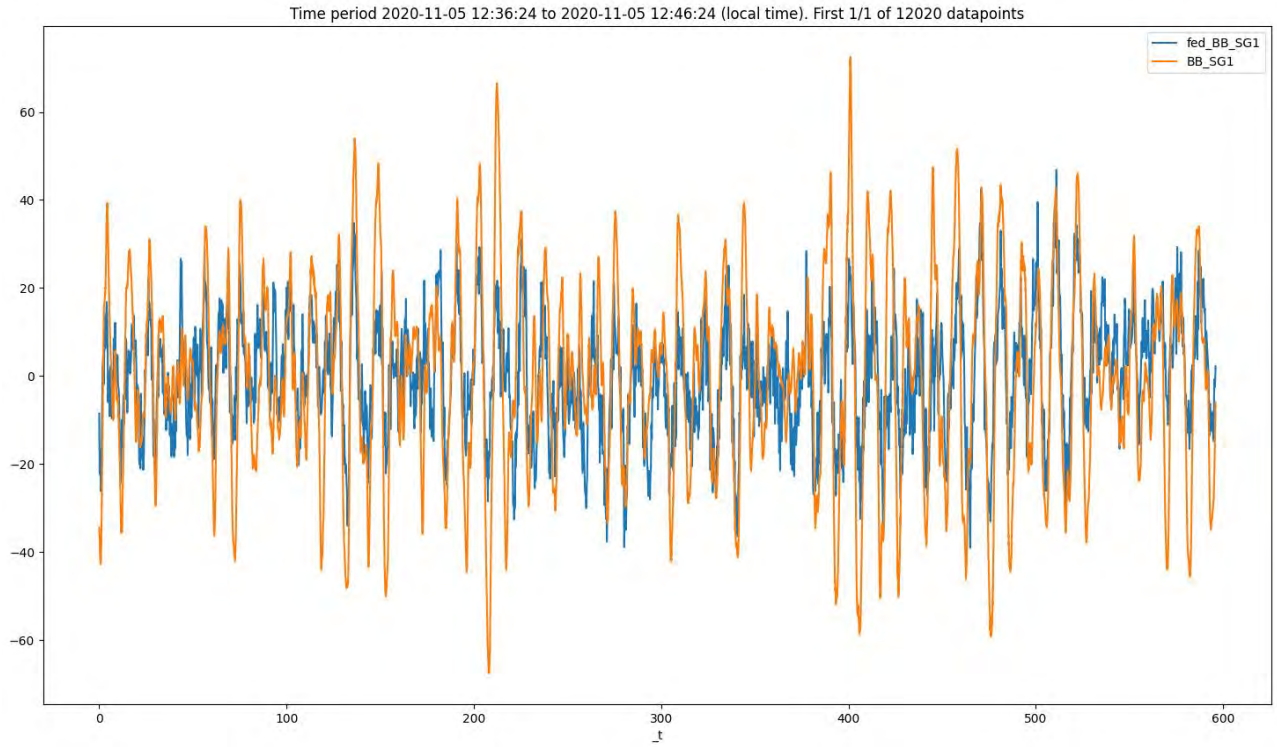


Figure 16. Comparison of physical sensor to FE model sensor, BB_SG1

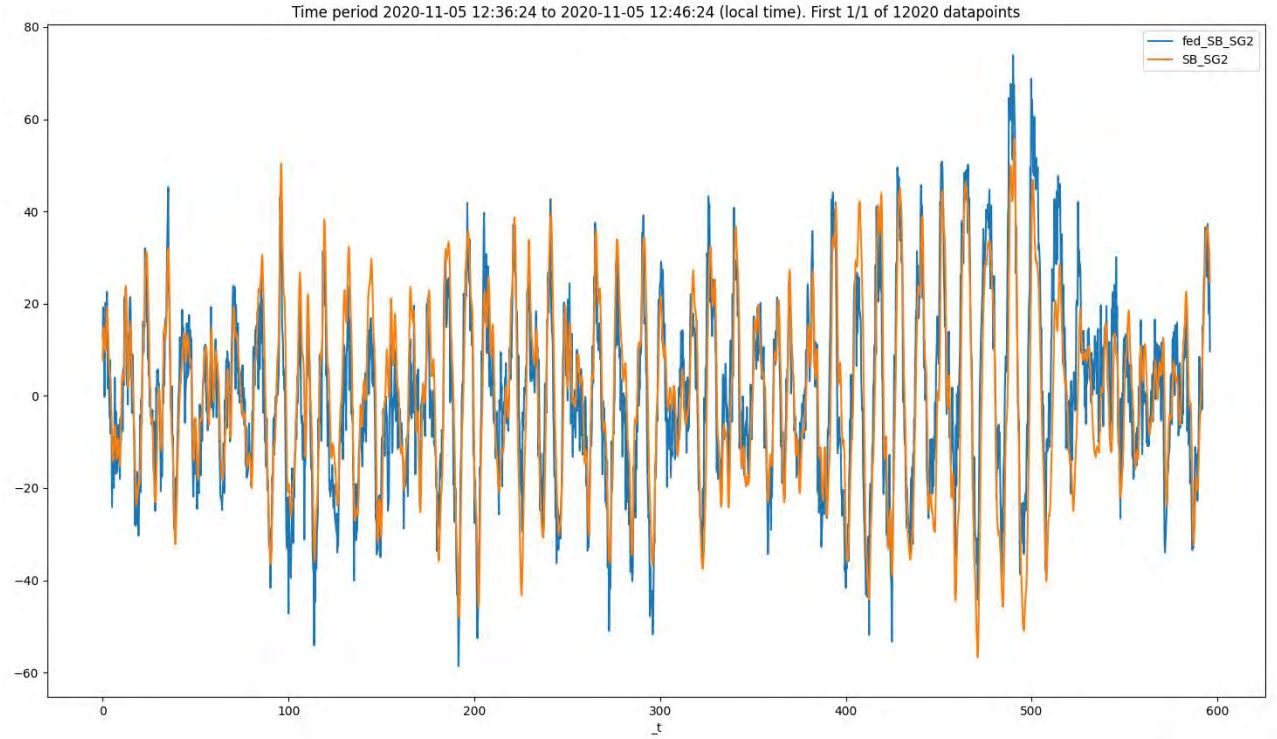


Figure 17. Figure 6. Comparison of physical sensor to FE model sensor, SB_SG2

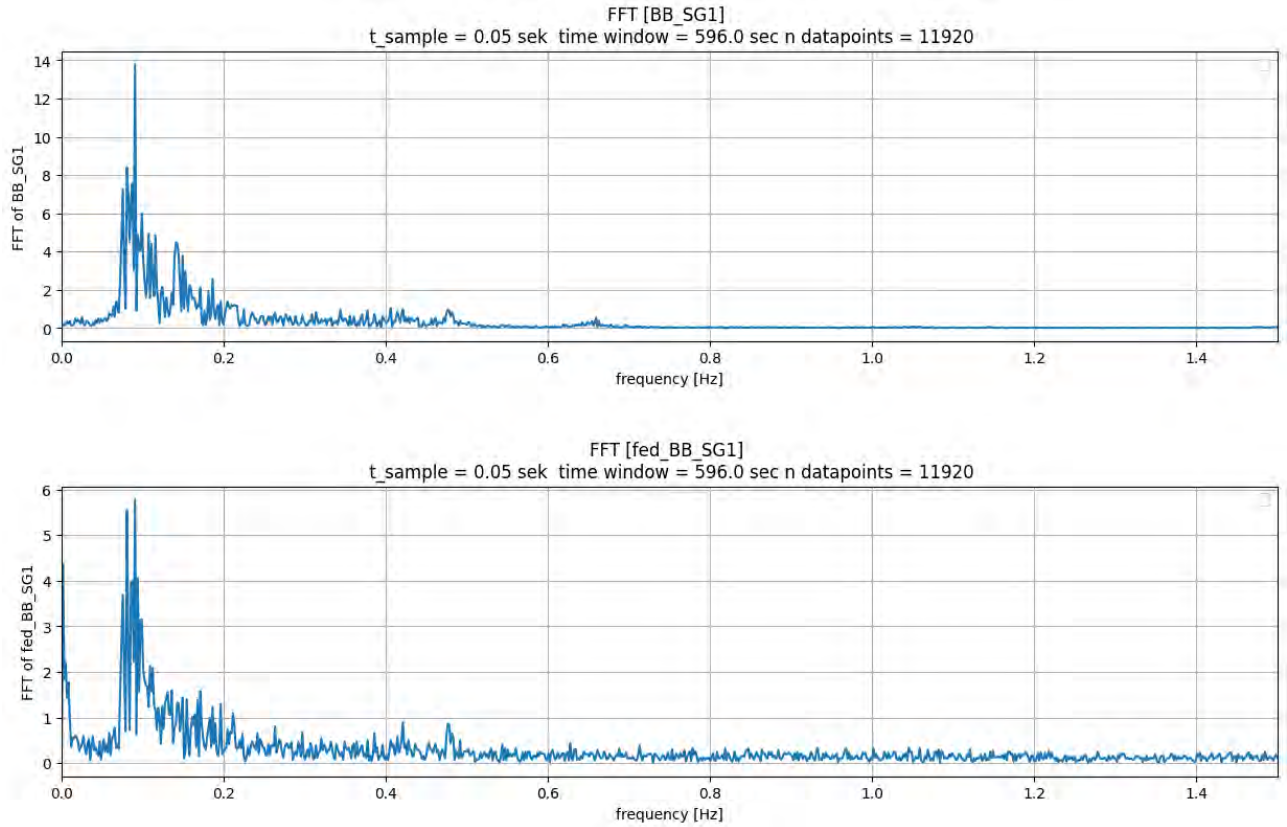


Figure 18. Comparison of the Fast Fourier Transform, BB_SG1

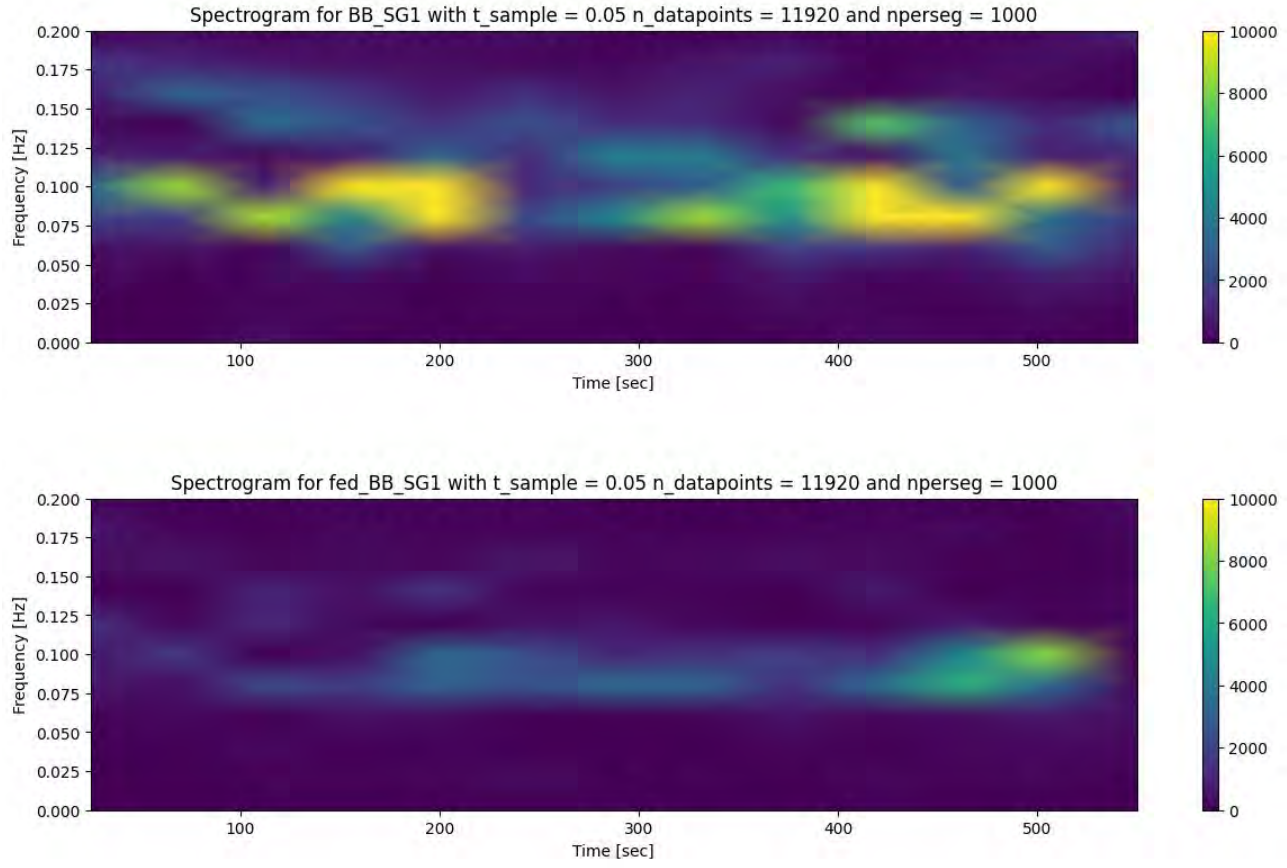


Figure 19 Comparison of spectrograms, BB_SG1

Figure 20. Wave height (Hs) and periods

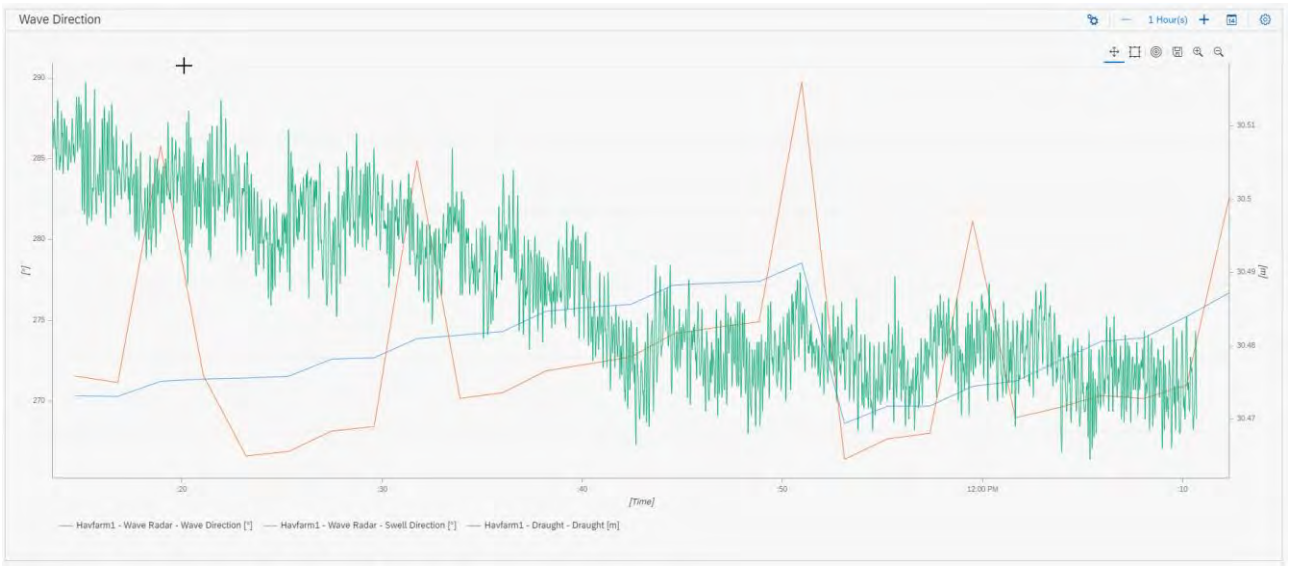


Figure 21. Draught and wave directions

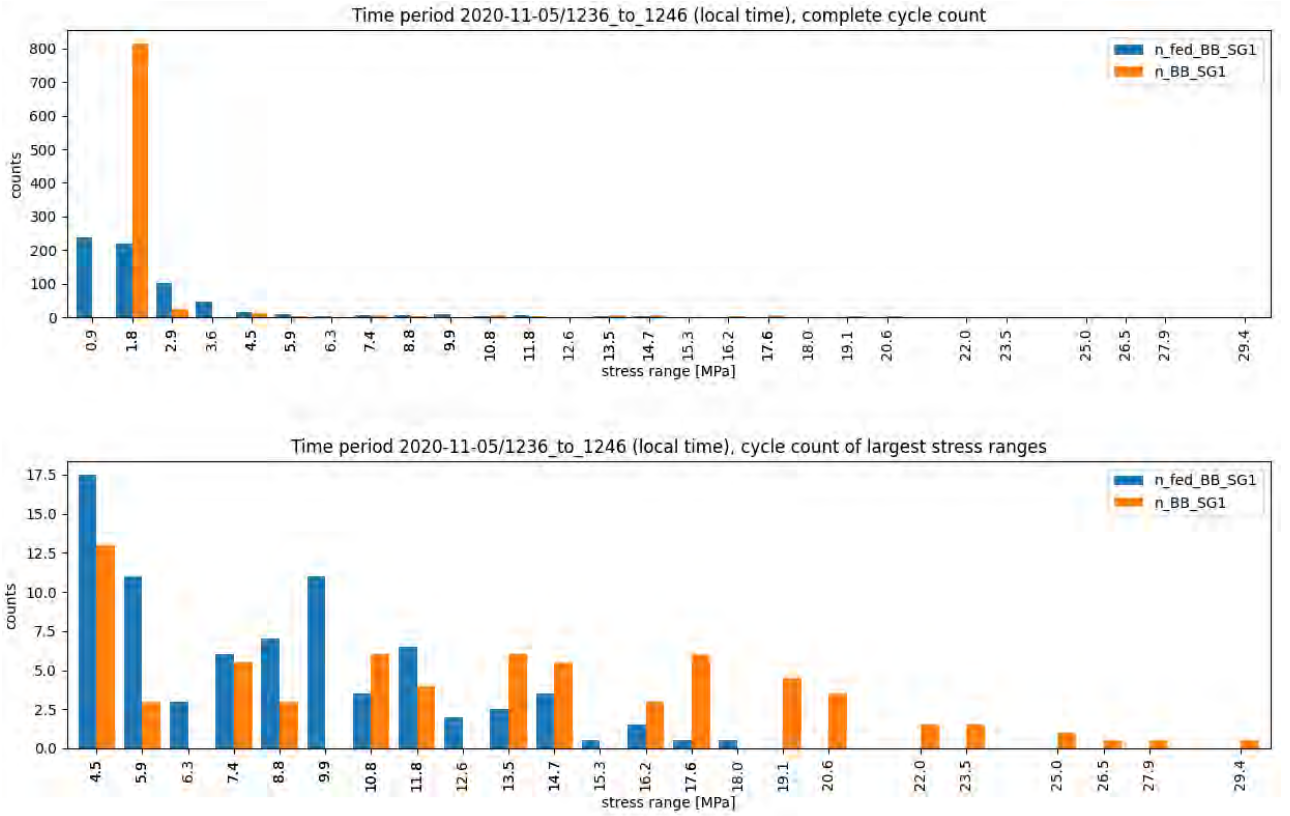


Figure 22, Stress range vs stress range counts

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

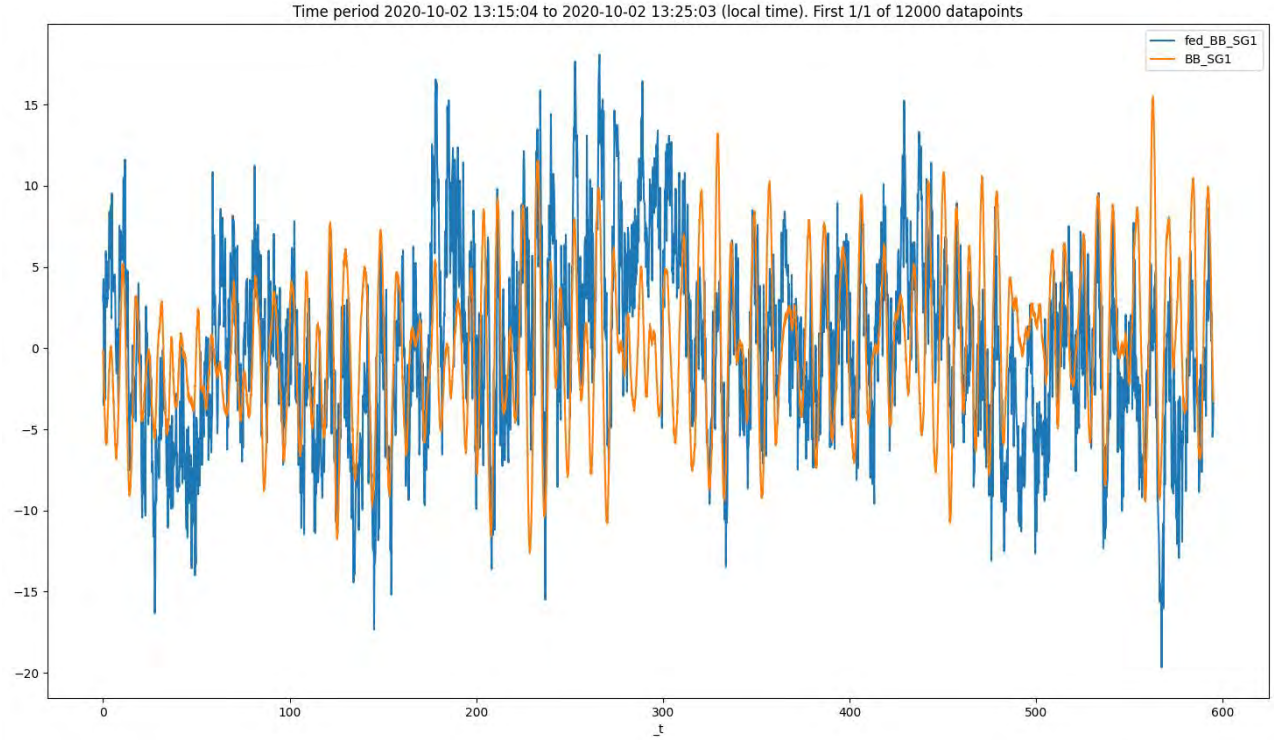


Figure 23. Comparison of physical sensor to FE model sensor, BB_SG1

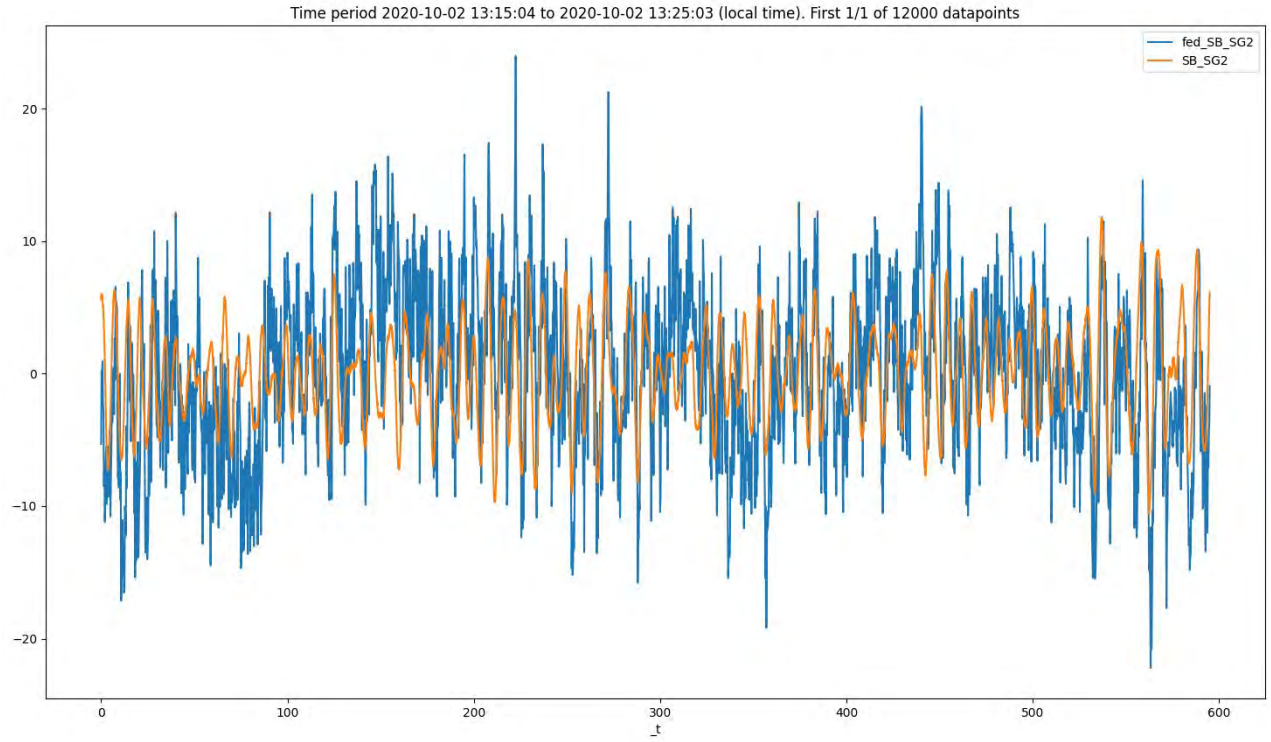


Figure 24. Figure 6. Comparison of physical sensor to FE model sensor, SB_SG2

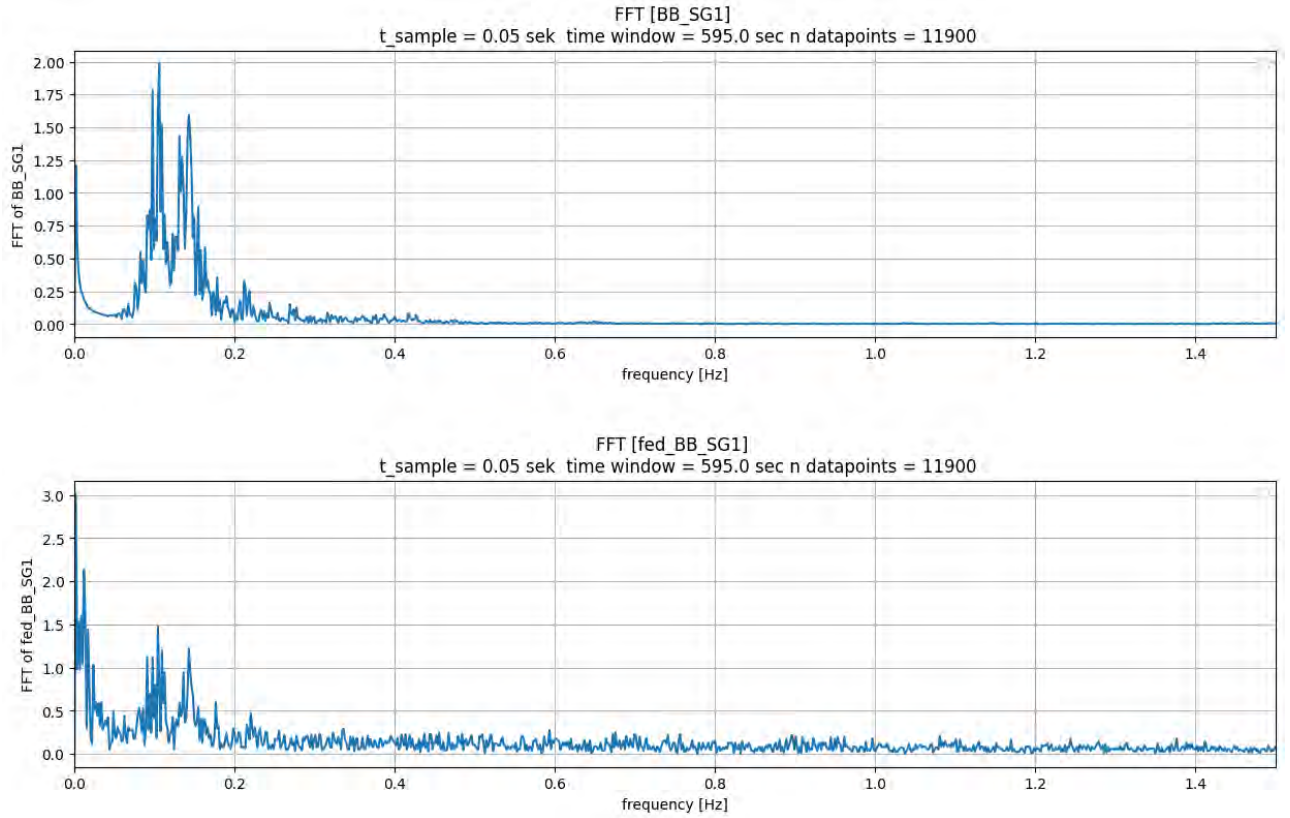


Figure 25. Comparison of the Fast Fourier Transform, BB_SG1

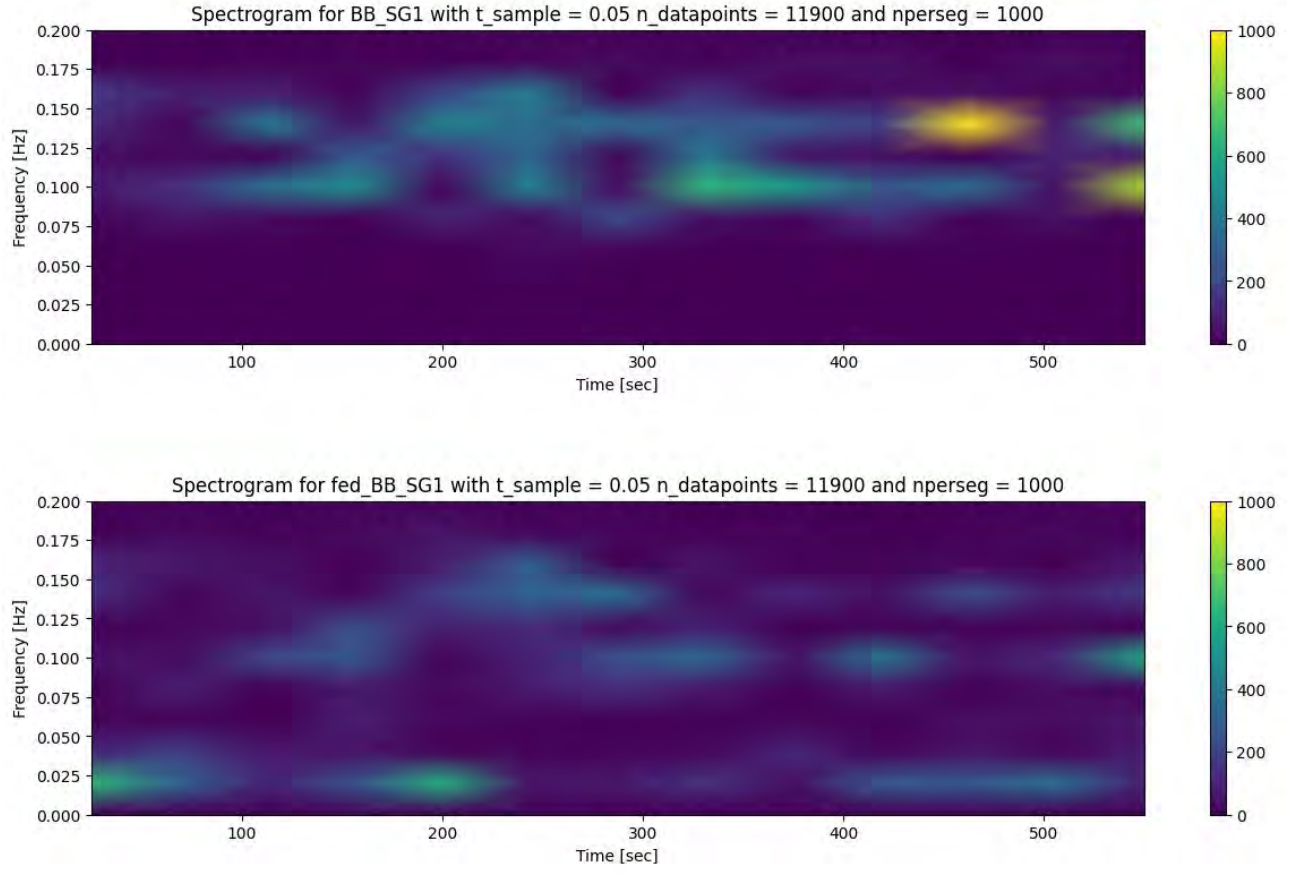


Figure 26 Comparison of spectrograms, BB_SG1

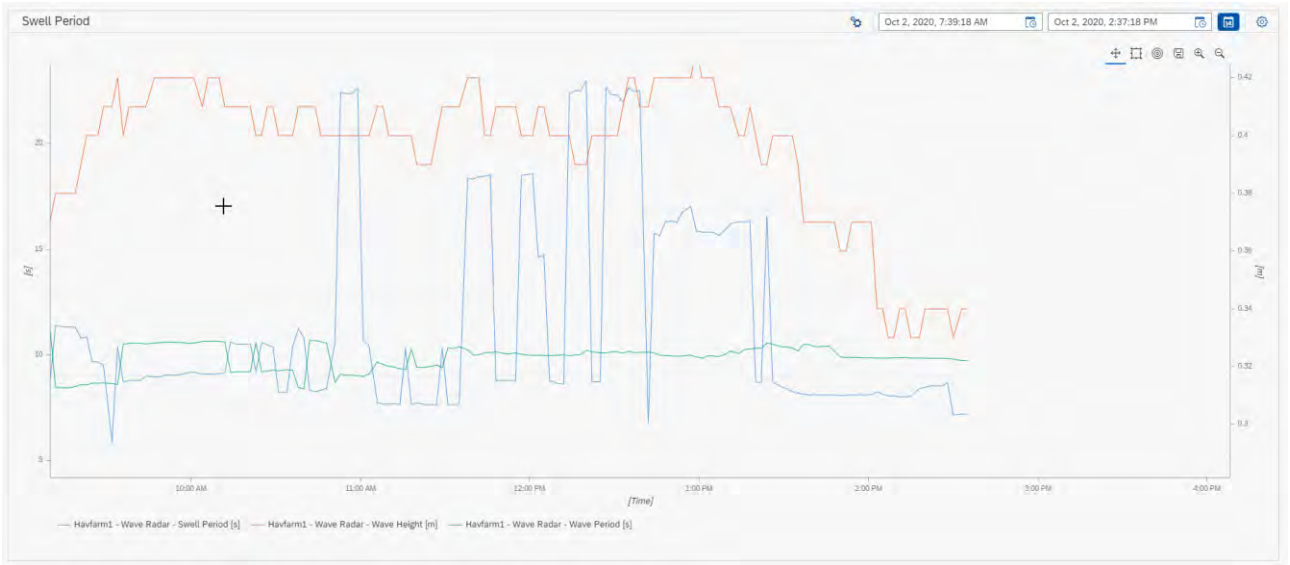


Figure 27. Wave height (Hs) and periods

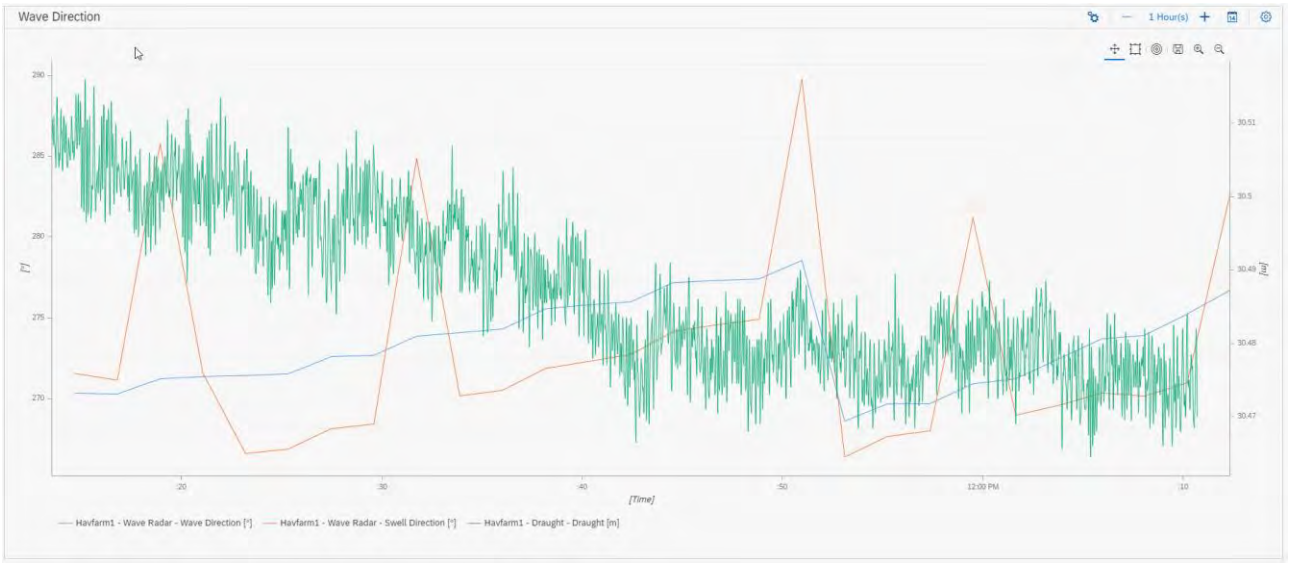


Figure 28. Draught and wave directions

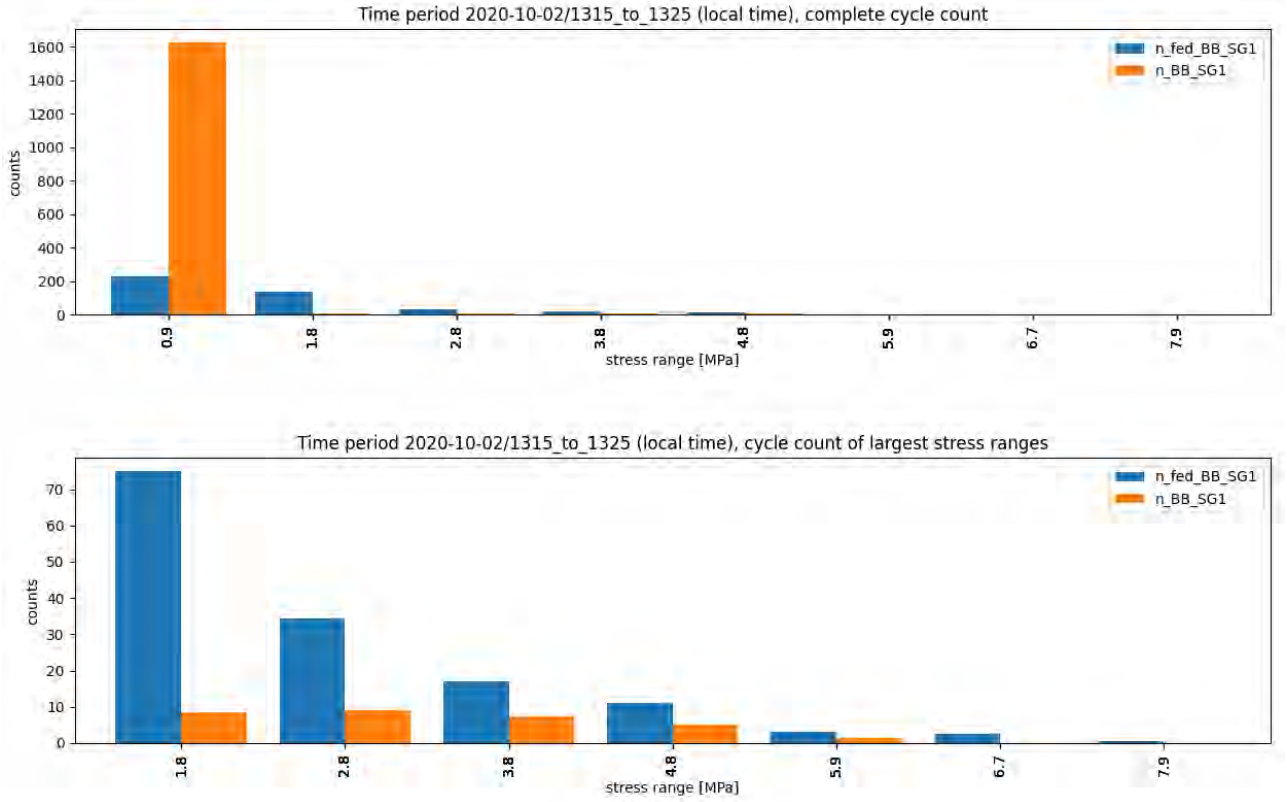


Figure 29, Stress range vs stress range counts

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.

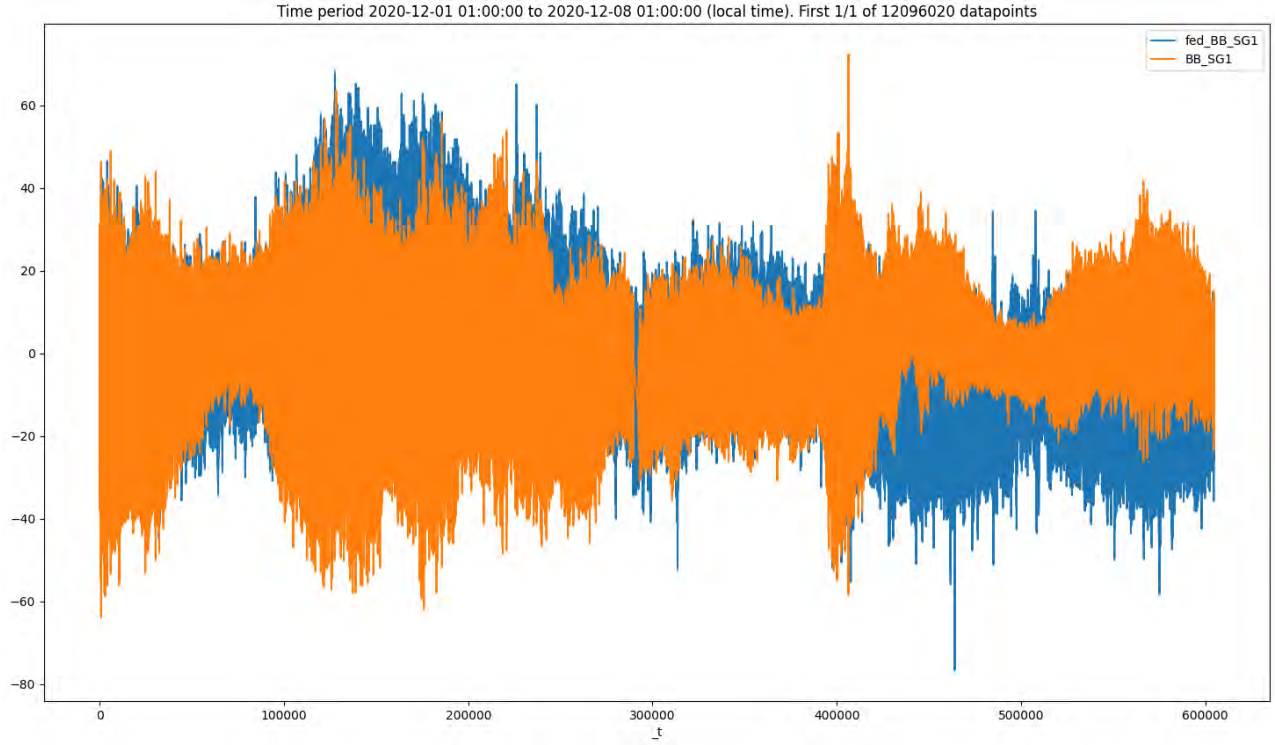


Figure 30. Comparison of physical sensor to FE model sensor, BB_SG1

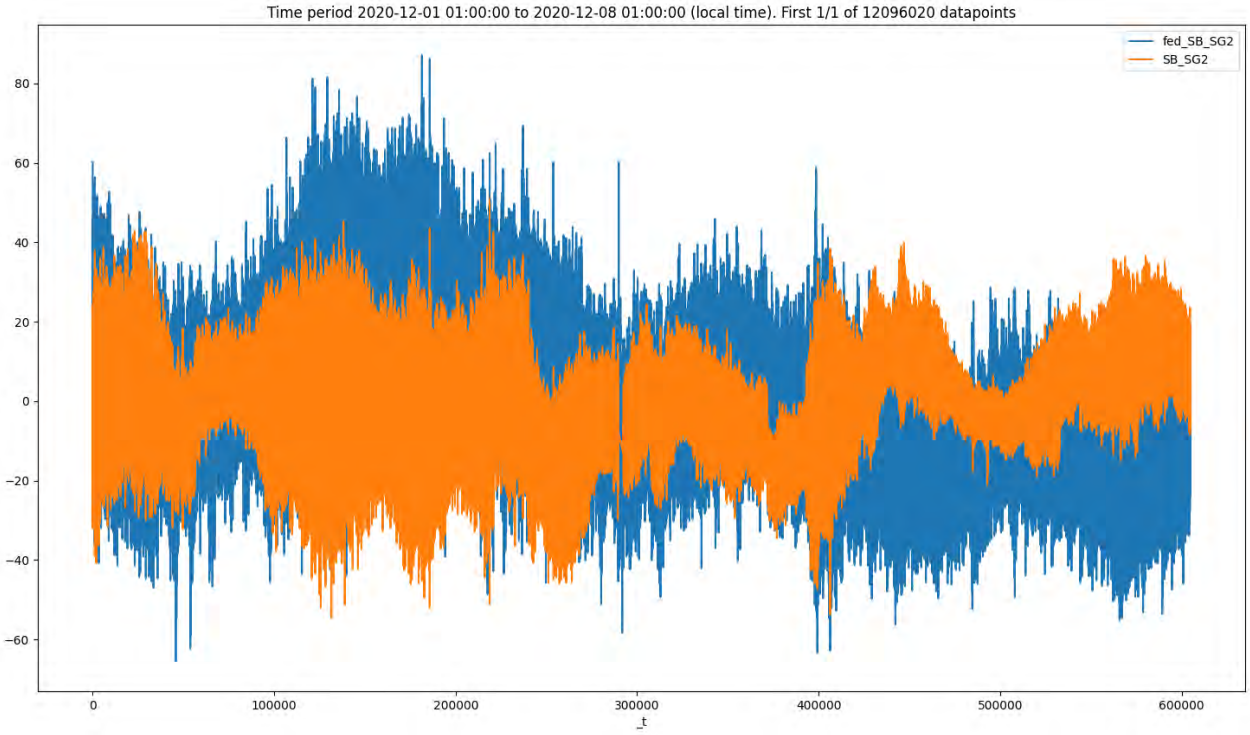


Figure 31. Figure 6. Comparison of physical sensor to FE model sensor, SB_SG2

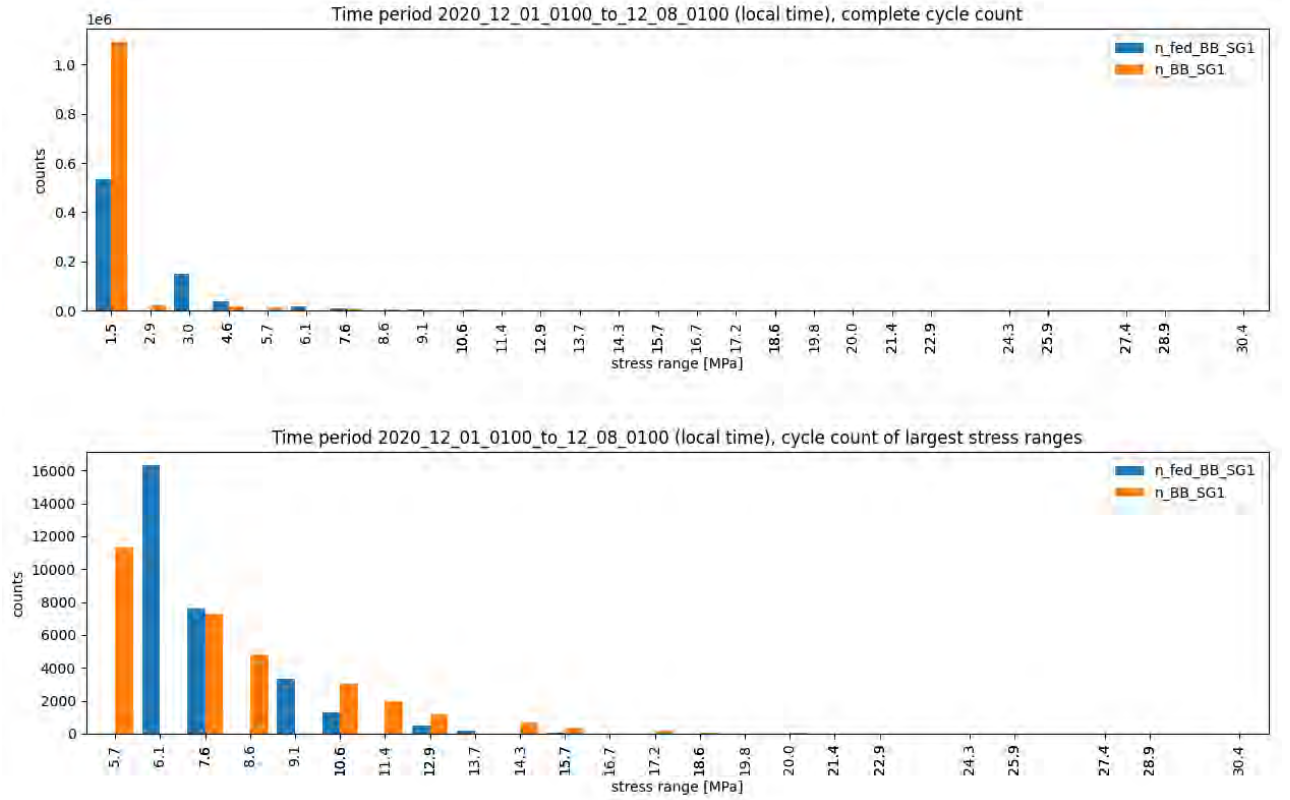


Figure 32, Stress range vs stress range counts

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:

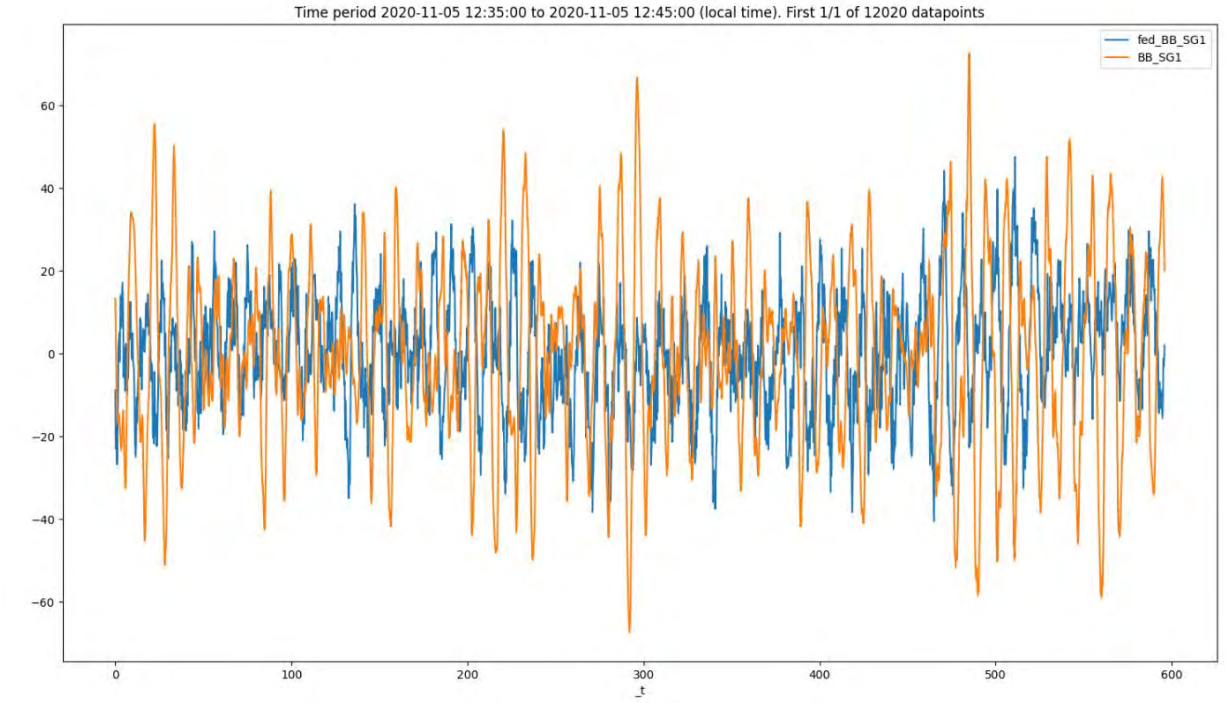


Figure 33. BB_SG1 prior time shift.

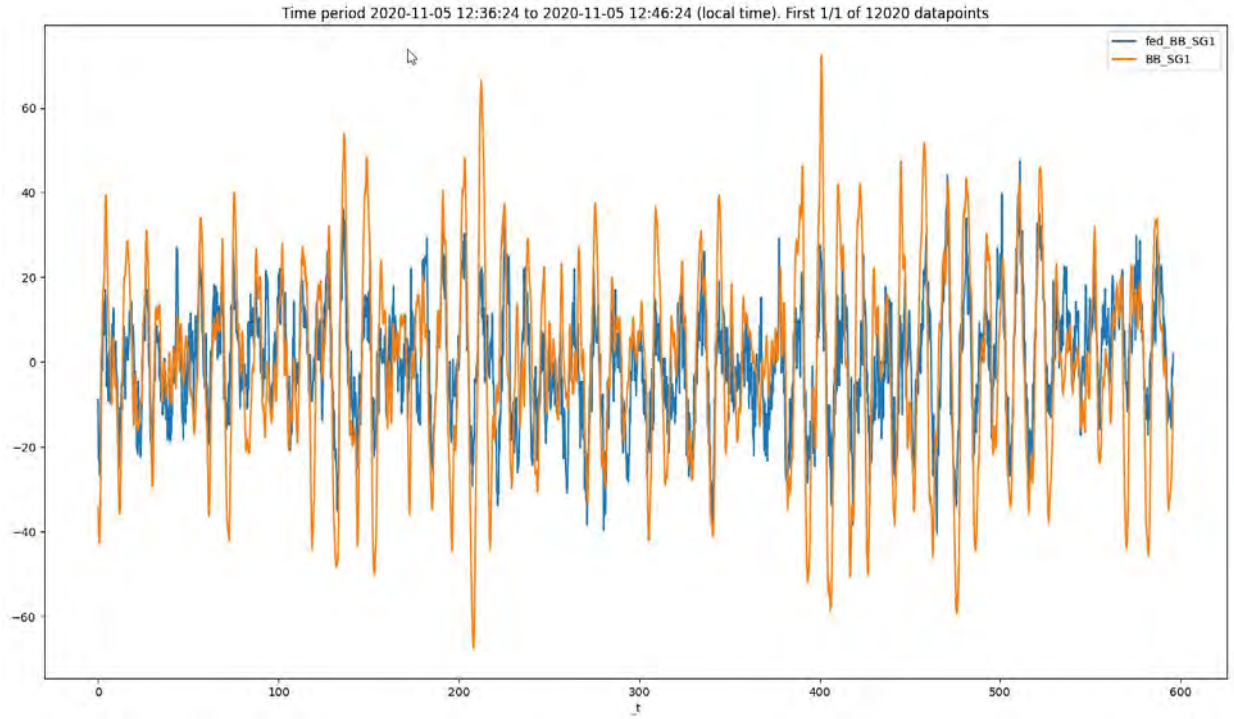


Figure 34.BB_SG1 post time shift (BB_SG1 (orange curve) shifted with +84 seconds /moved left)

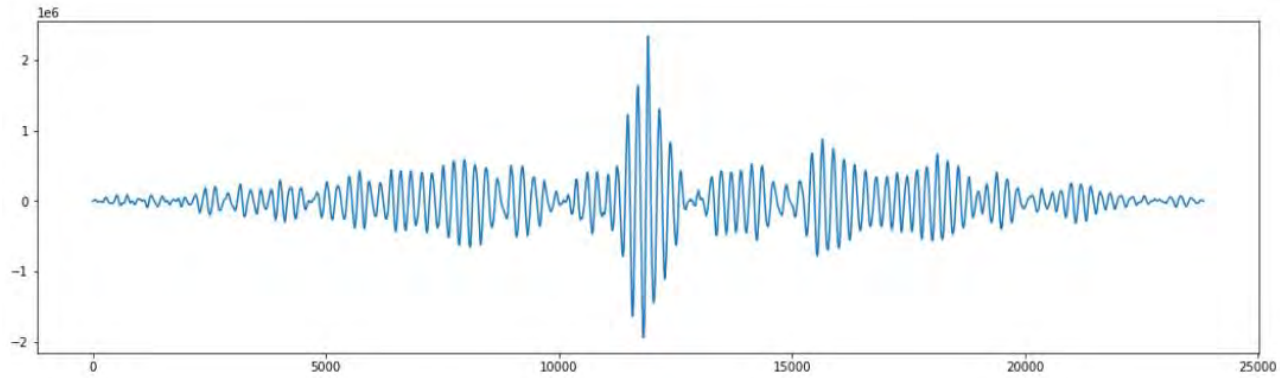


Figure 35. Correlation factor for SB_SG2, case #Nov. 05

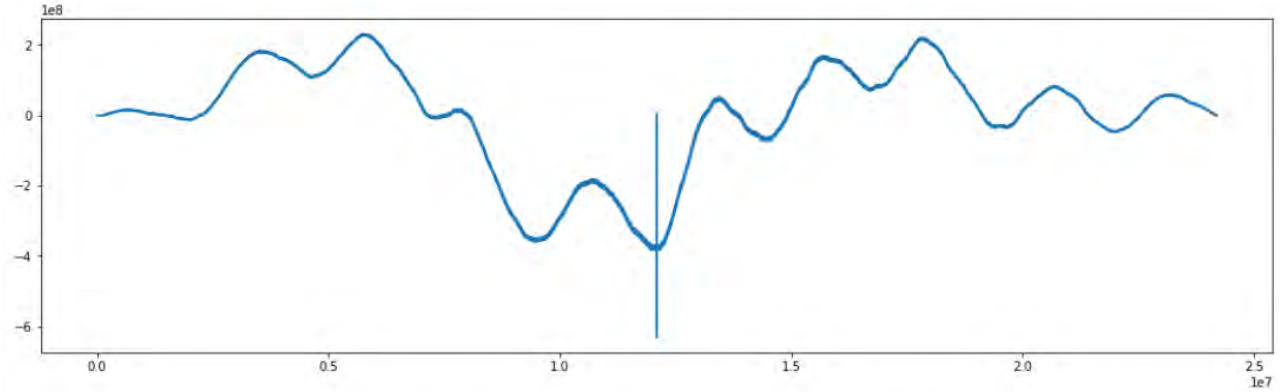


Figure 36. Correlation factor for BB_SG1, case #Dec. 1-7 ("long term")

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*

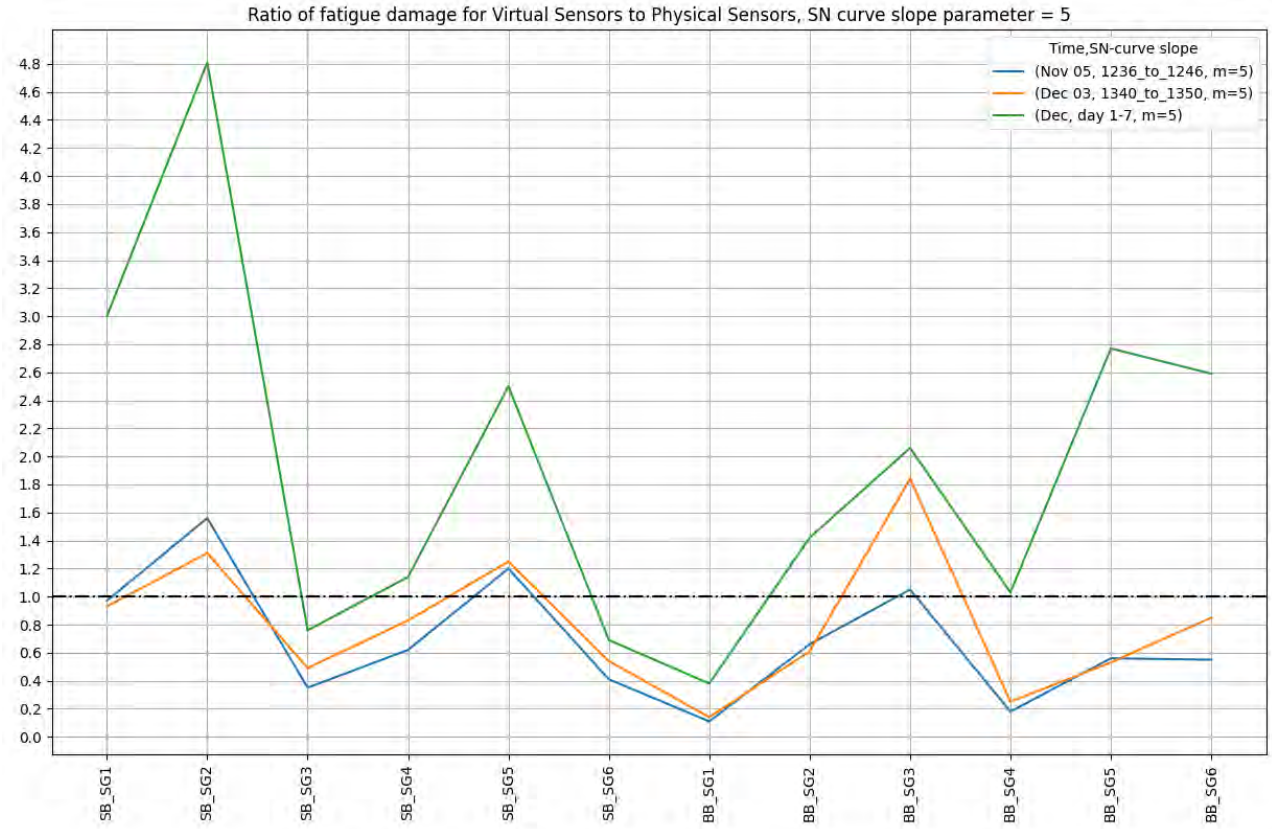


Figure 37. Ratio of fatigue damage, virtual to physical sensor, m=5

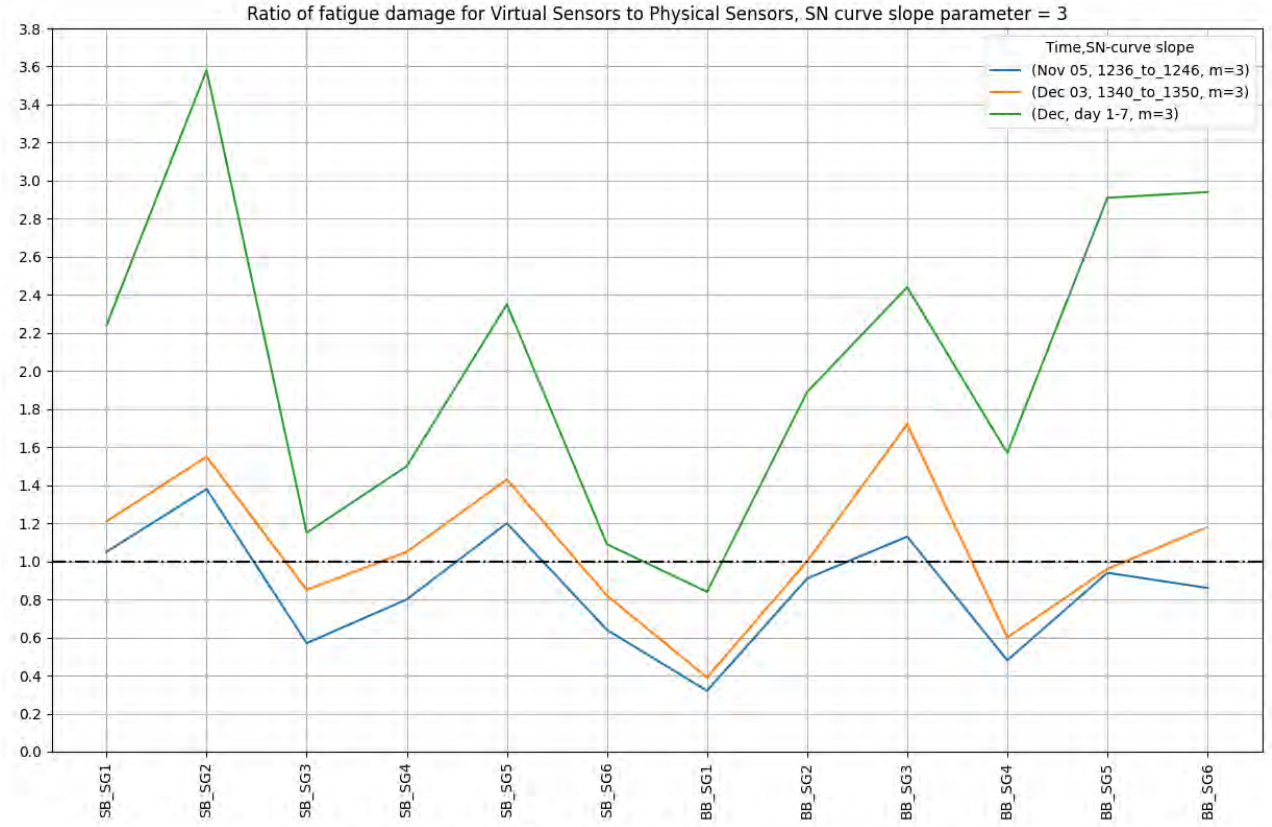


Figure 38. Ratio of fatigue damage, virtual to physical sensor, m=3

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/trademark for additional trademark information and notices.

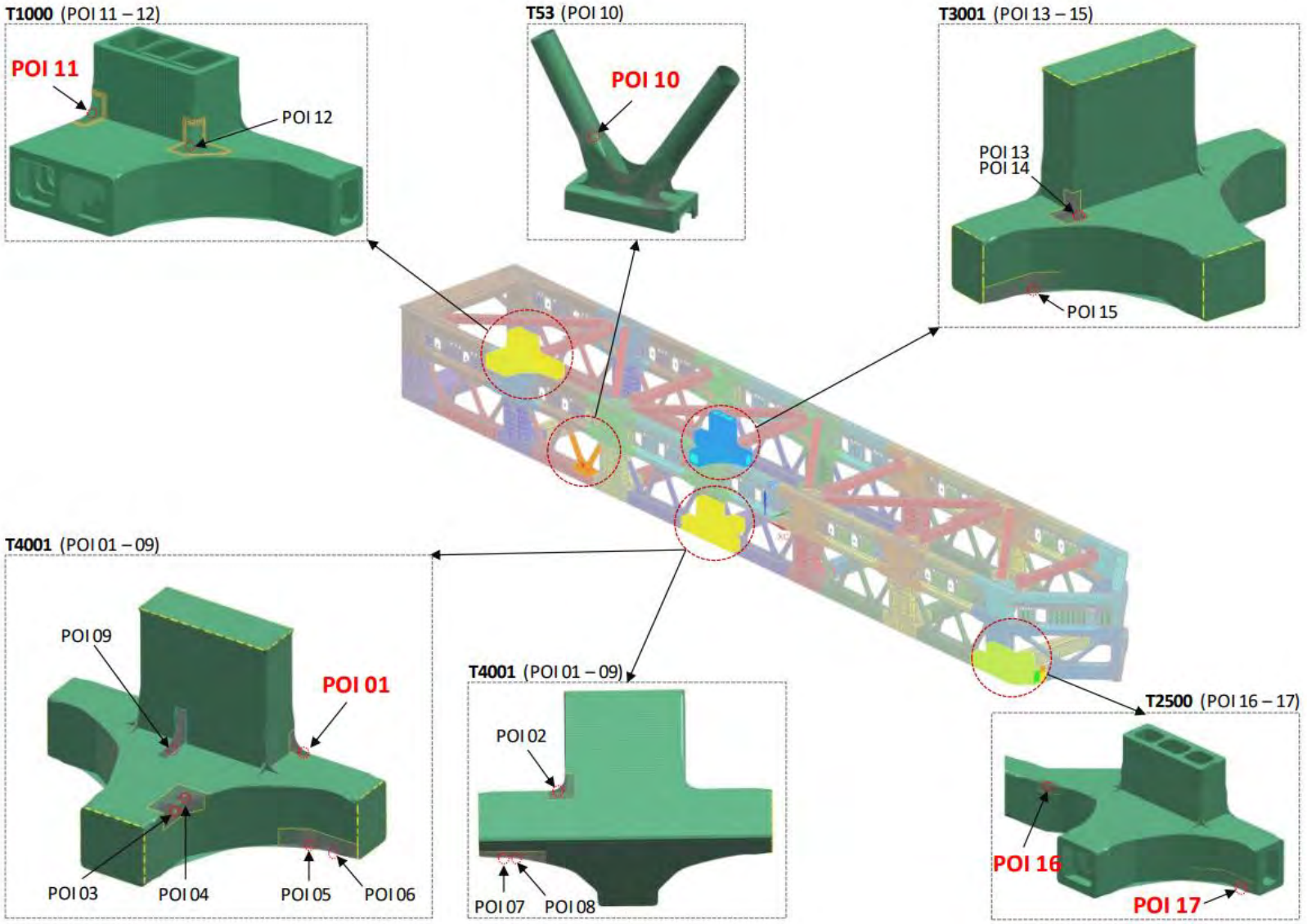
THE BEST RUN SAP

Havfarm HMS
Extracted Fatigue Data - All POIs

Extracted data from: 09.09.2021 - 14.01.2022

For information - refer to: Havfarm HMS - User Manual_01.pdf

Position of POIs



Accumulated Damage POIs

POI no.	Damage Period: 09.09.20-09.09-21	Damage Period: 10.09.21-14.01.22	Total Damage in POIs (09.09.20-14.01.22)
POI 01	9.74E-04	3.67E-04	**1.34E-03**
POI 02	4.78E-05	1.34E-04	**1.81E-04**
POI 03	1.67E-06	1.24E-06	**2.91E-06**
POI 04	5.72E-05	4.46E-05	**1.02E-04**
POI 05	1.69E-03	3.19E-03	**4.87E-03**
POI 06	3.54E-03	6.43E-03	**9.97E-03**
POI 07	3.90E-03	6.94E-03	**1.08E-02**
POI 08	2.67E-03	4.80E-03	**7.47E-03**
POI 09	2.53E-04	5.89E-04	**8.42E-04**
POI 10	9.26E-03	8.69E-03	**1.79E-02**
POI 11	4.75E-03	8.18E-03	**1.29E-02**
POI 12	3.58E-06	4.15E-06	**7.73E-06**
POI 13	5.27E-06	6.29E-06	**1.16E-05**
POI 14	6.73E-06	7.96E-06	**1.47E-05**
POI 15	1.94E-03	2.76E-03	**4.70E-03**
POI 16	3.33E+00	1.29E+00	**4.62E+00 (see Note)**
POI 17	2.69E-02	1.46E-02	**4.15E-02**

Note:

- Results shown for POI 16 can not be trusted. There is an error in the pipeline for producing this result. Improvements are ongoing to improve this.

THE BEST RUN

Havfarm HMS User Manual

Document Status

Issued for information

Revision	Date	Description	Prepared by
1	24.06.2021	Issued for information	Thomas B. Johnsen

1 INTRODUCTION

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.

The monitoring system (Havfarm HMS) is made available through a User Interface accessible for intended users part of the Nordlaks Organization. Nordlaks may also provide access to parties outside the organization.

The User Interface mainly allows the user to:

- View alerts and focus readings from the time of the event
- Monitor timeseries data available in the UI.

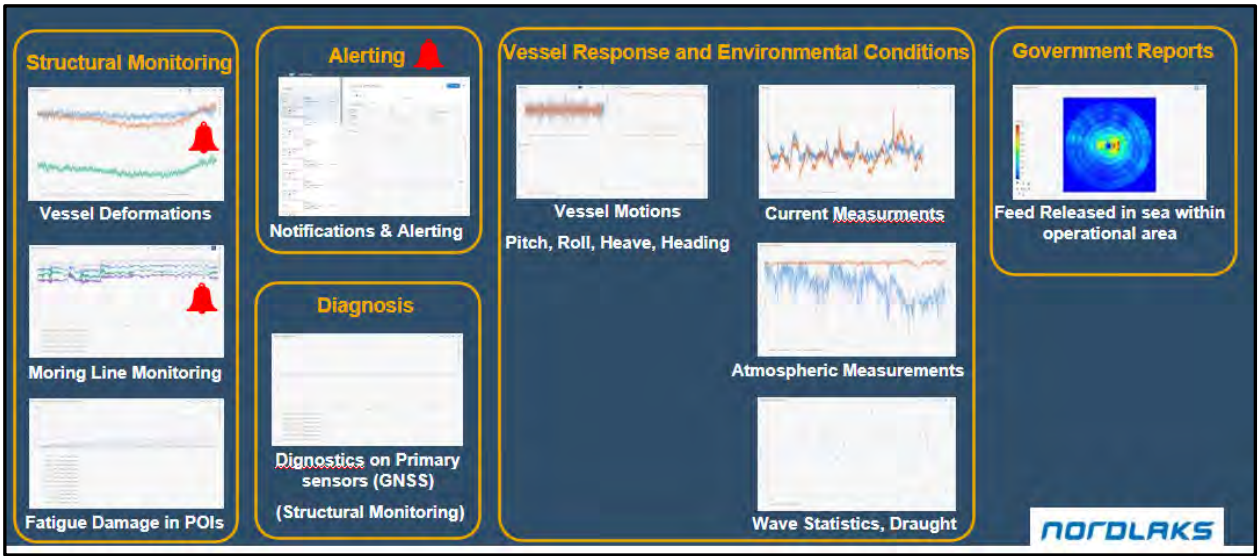


Figure 1 - Havfarm HMS: Application Overview

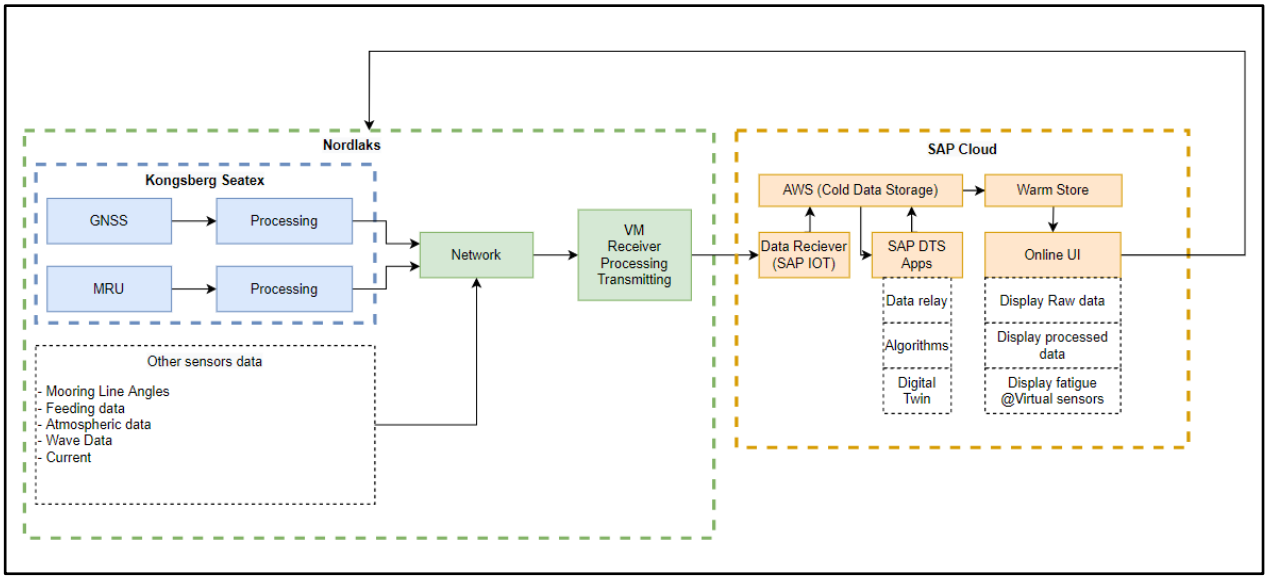


Figure 2 - High Level schematics of dataflow from GNSS sensors to online User Interface. For an overview of sensors part of the system supplied by Kongsberg Seatex, see Figure 11.

2 Havfarm HMS User Interface

The user interface available to Nordlaks has general features and features related to operations. This user manual will focus on features relevant for operations, while general features on how to create canvases, adjusting what to display and manipulating views is described in general terms using the below link:

General documentation on how to use the US shipped with SAP PEI/EPD Connected Products

2.1 Havfarm HMS "Landing Page"

After logging in to the SAP system one may choose to enter the "Early Warnings" feature or the "Product Monitoring" Feature. The features are available through the Landing Page shown in Figure 3.
Early Wanings allows the user to see new and historic warnings, while the Product Monitoring shows all data (Timeseries and Heatmap for Feed Monitoring)

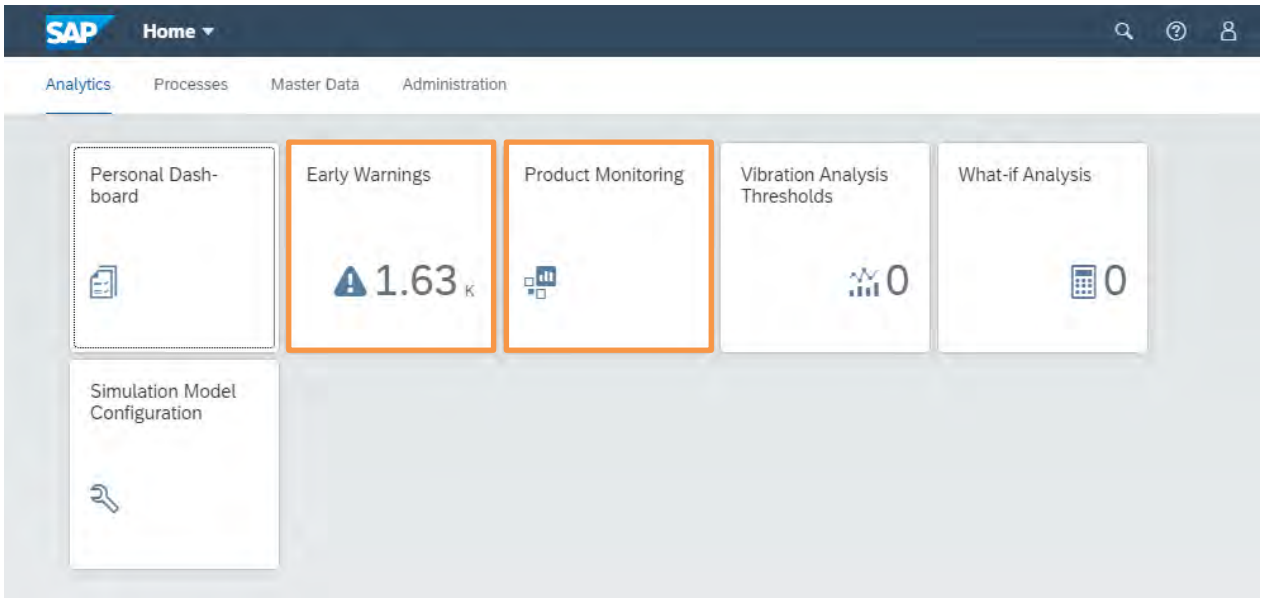


Figure 3 – Havfarm HMS Landing Page

2.2 Early Warnings

The following HMS-Output timeseries are applicable for alerting:

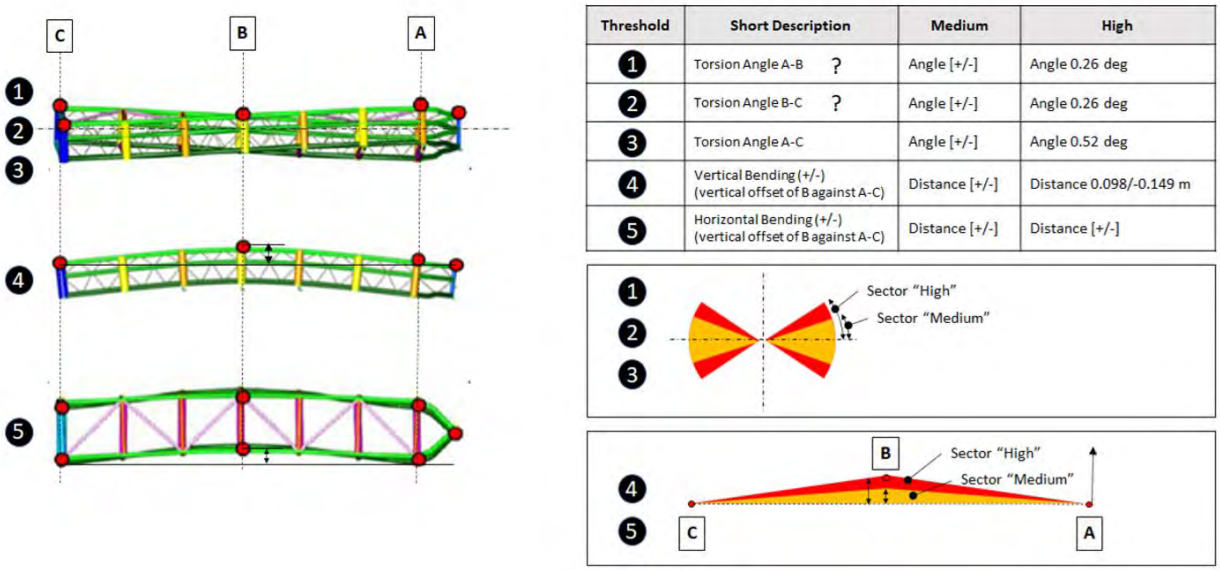
- Global Hull Deformations (Bending, Torsion)
- Angle measurements on mooring lines

2.2.1 Threshold Settings for Alerts

Thresholds for alerting is currently defined as shown on the next pages.

Threshods providers:

- 7Waves for structural deformations settings, Figure 4
- Seasystems for mooring line angle settings, Figure 6



Threshold	Short Description	Medium	High
1	Torsion Angle A-B ?	Angle [+/-]	Angle 0.26 deg
2	Torsion Angle B-C ?	Angle [+/-]	Angle 0.26 deg
3	Torsion Angle A-C	Angle [+/-]	Angle 0.52 deg
4	Vertical Bending (+/-) (vertical offset of B against A-C)	Distance [+/-]	Distance 0.098/-0.149 m
5	Horizontal Bending (+/-) (vertical offset of B against A-C)	Distance [+/-]	Distance [+/-]

Figure 4 – Early Warnings, Threshold Settings for global deformations.

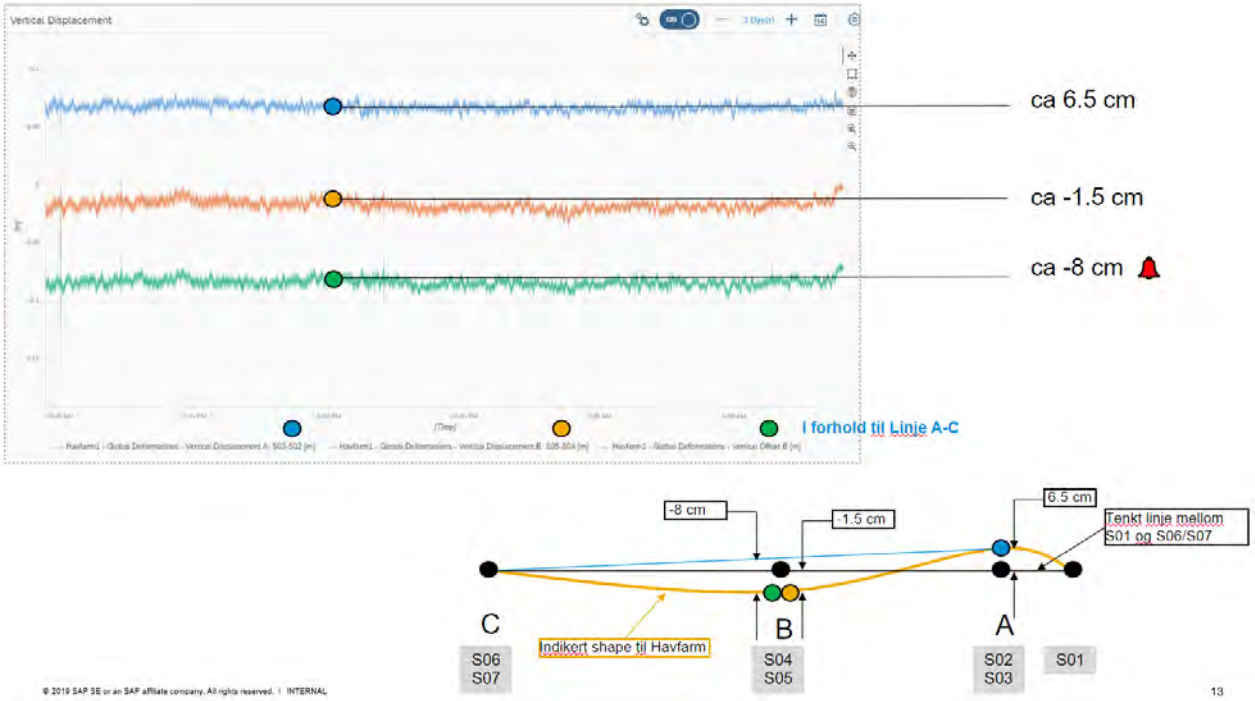


Figure 5 – Interpetation of vertical displacements. Note: threshold is set on "Vertical Offset B")

Note: For alerts utilizing timeseries data originated from the GNSS system (Global Hull Deformations), the user may investigate the system diagnosis data to verify if the alert is true or false.

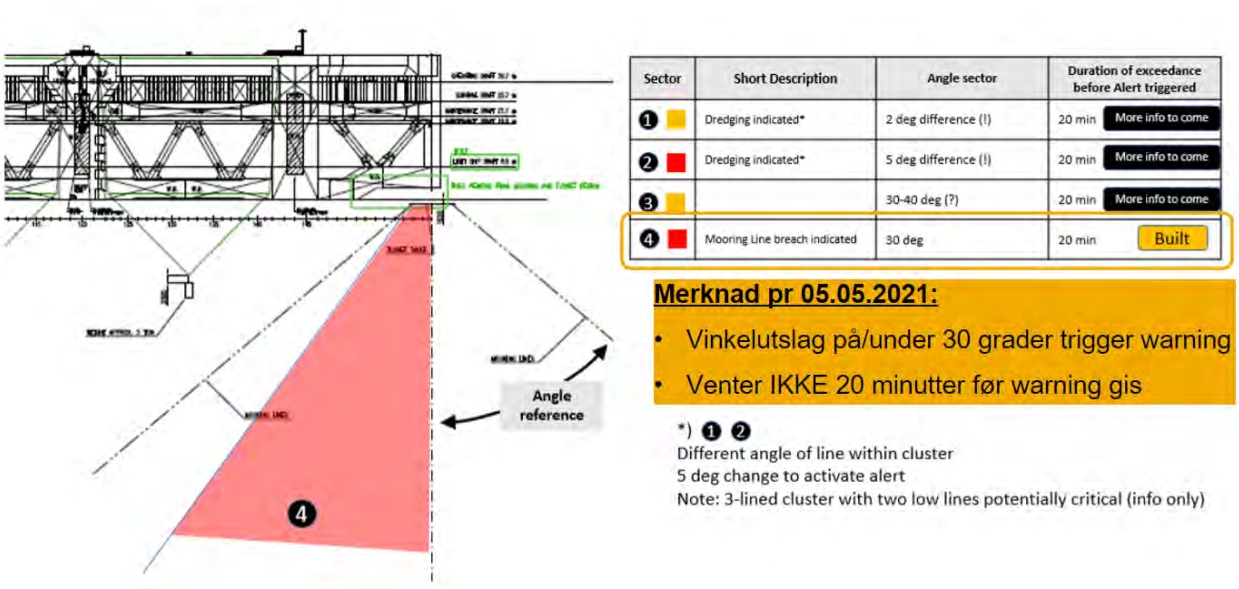


Figure 6 – Early Warnings, Threshold Settings for alerts on mooring line angles.

2.2.2 Viewing alerts and performing investigations

Entering the "Early Warings" feature takes you to the overview page for alerts. Choose "Havfarm1" to enter the detailed view for alerts, see Figure 7.

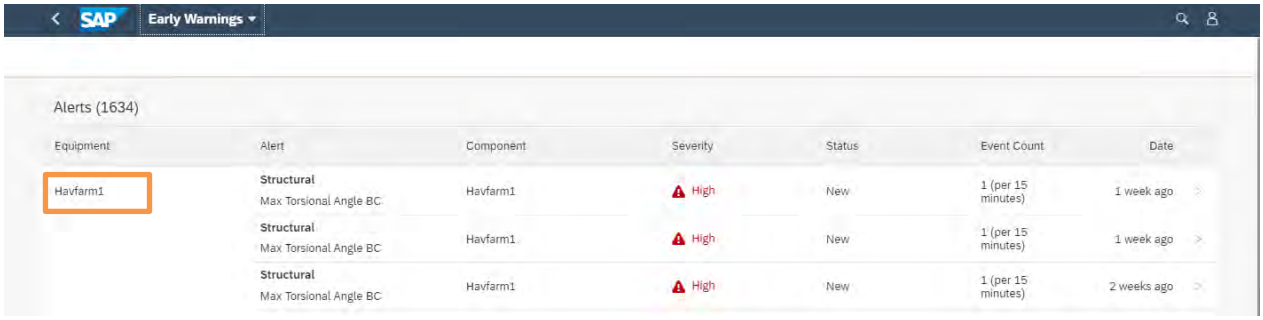


Figure 7 – Early warnigns - Landing Page.

For descriptions on how to use the UI to see and investigate alers, see Figure 8.

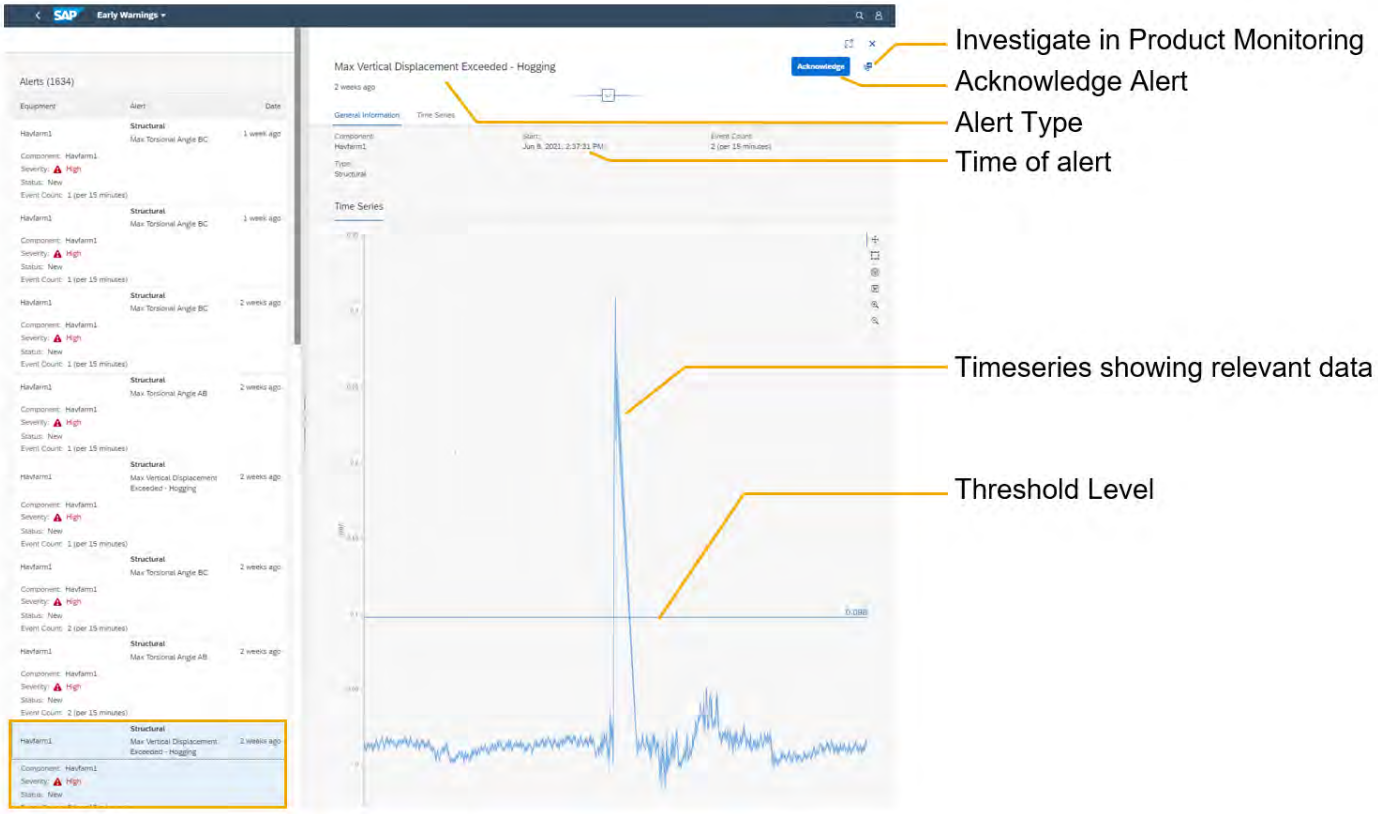


Figure 8 – Usage of functionality that can be found on alerts.

Example of use:

1) Select a Warning displayed in the right coloumb (Figure 8).
2) Investigate type, time of alert and duration.
3) Alert may be Acknowledged if i.e. a false alert is detected (removed from alert list).
4) To establish if the alert is true or false, select "investigate in Product Monitoring".
5) Since these readings are generated from the GNSS-system, Choose "GNSS QA" (Figure 9).
6) Investigate if any charts indicate that the sensor readings are not to be trusted.

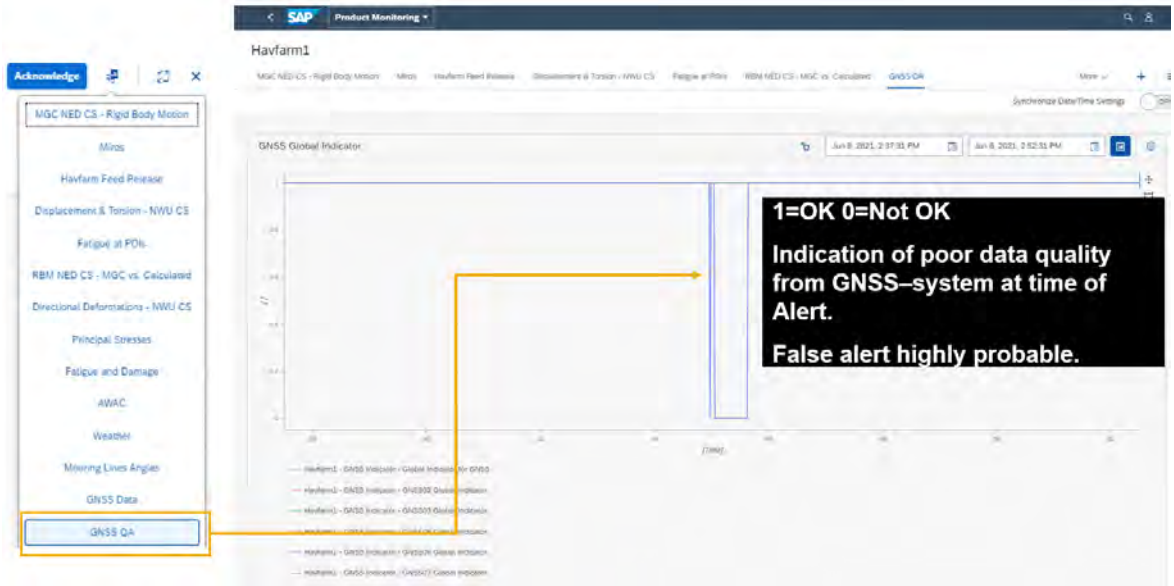


Figure 9 – Example on how to diagnose GNSS-data

2.3 Product Monitoring

2.3.1 Canvas Overview

Several Canvases are available from within the product monitoring feature as depicted in Figure 10.

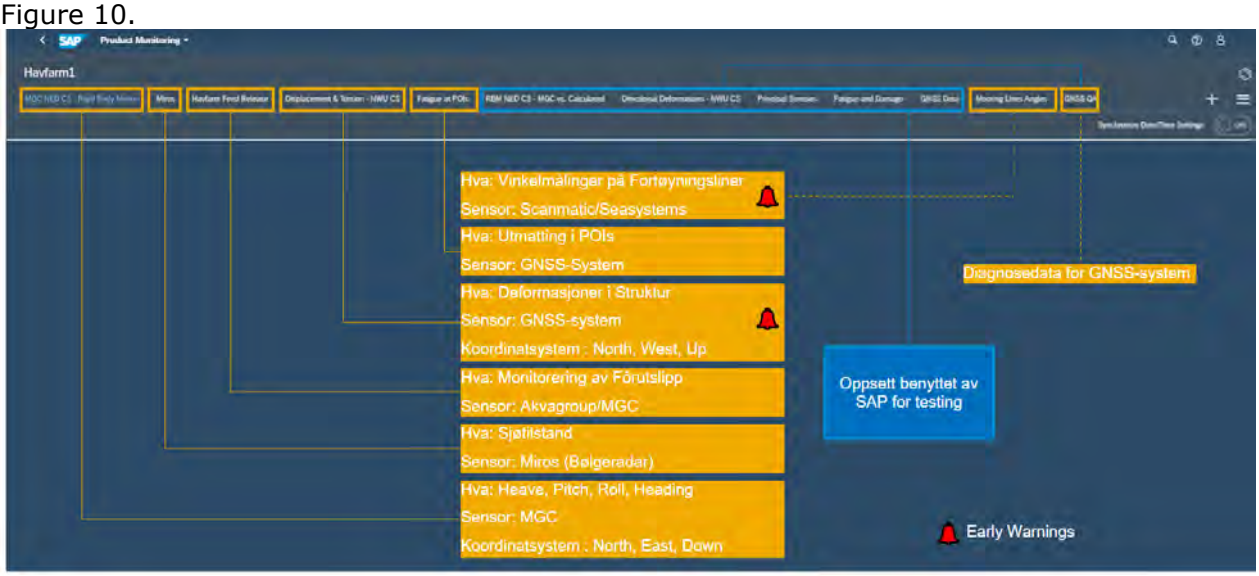


Figure 10 – Description of relevant canvas available in the HMS User Interface.

Table 1 shows most relevant canvases (yellow in Figure 10) and the corresponding charts that are available when entering the canvas.

Table 1 – Overviwe of most relevant Canvas' and Charts

Canvas Name	Chart name and description (Main feature described)	Note
MGC NED CS - RBM	MGC data: Heave, Pitch, Roll, heading	*
Miros	Wave radar data: Hs, Current Direction, Current Speed, Draught, Air Gap, Wave Direction, Wave Period	*
Havfarm Feed Release	2D Heatmap with feeding data from selected timeperiod	**
Displacement & Torsion (North/West/Up Coord.Sys)	Calculated from GNSS-Data: Vertical Displacement, Torsion, Horizontal Displacement	*
Fatigue at POIs	Output data from Digital Twin: Chart 1: Output data from App01 (POI 1-10), Output data from App02 POI (11-17)	*** Figure 12
AWAC	Data from current Sensor: Velocity X, Velocity Y, water pressure and Temperature	*
Weather	Anemometer Data: Wind speed and Direction, Humidity and Pressure	*
Mooring Line Angles	Data from angle sensors at chains: Mooring Lines – North East Cluster, Mooring Lines – North West Cluster, Mooring Lines – Sout Cluster	****
GNSS Data	GNSS Raw data (per direction)	*
GNSS QA	Diagnosis data from the GNSS system (individual sensors): - GNSS Global Indicator: General indicator (1 if all is ok) - GNSS Sensor status (1=OK, 0=Not OK) - Accurapy EPE: Horizontal accuracy - Accuracy EHE: Vertical Accuracy - Integrity: Wether data should be trusted or not. - Resampled vs Raw data: made for SAP troubleshooting	*

*) Data is showing for the timeframe shown in the top of the chart.
**) 2D Heatmap is populated with processed data from the timeframe indicated on the plot.
***) Fatigue is calculated for the POIs *within the timeframe* shown in the top of the chart.
****) Data is shown for both "slow" and "rapid" angle sensors

Please Note:
Canvas and charts can be set up easily, hence the above description may be deviating from the actual setup. The users may change what kind of information to show in a canvas, and the indicated setup shown here is only a proposal made by SAP.

3 Appendix: 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.

3.1 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 3.1.2. Nordlaks has requested for other functionalities listed in 3.1.1. In addition there are functionalities for thresholding and alerting (3.1.3) and for investigation quality of sensor data from the GNSS system (3.1.4).

3.1.1 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)

3.1.2 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

3.1.3 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

3.1.4 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.

3.2 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.

3.3 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.

3.4 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 11 shows the locations of the sensors used for the HMS.

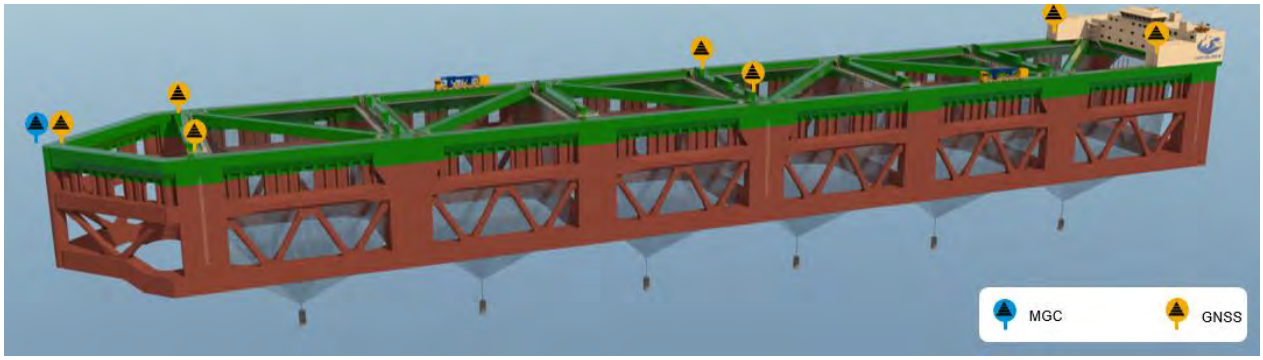


Figure 11 – Overview of locations for GNSS and MGC sensor onboard Havfarm 1

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.

3.4.1 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 Sub-models 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.

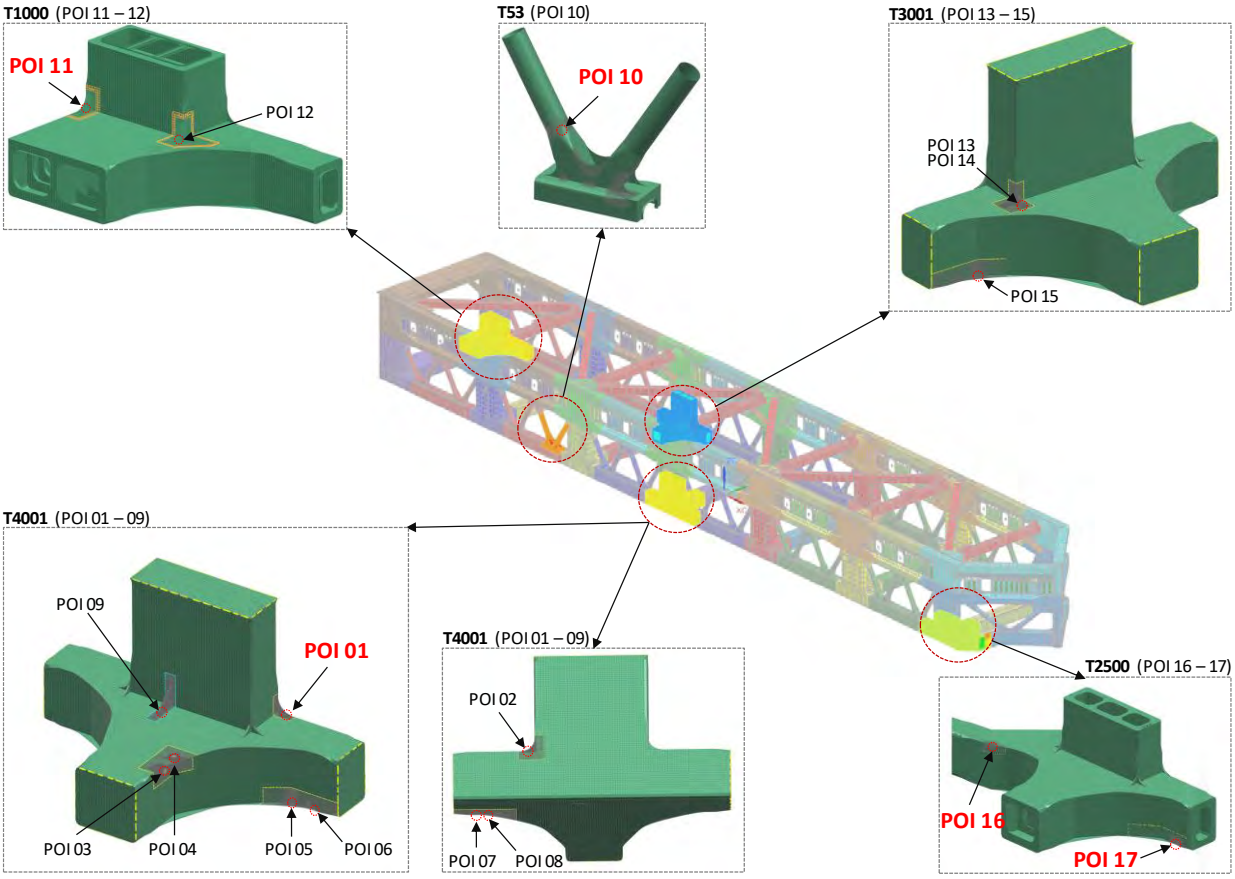


Figure 12 – Overview of locations for POIs (virtual Sensors output from Digital Twin).

3.4.2 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.

CLASSIFICATION CERTIFICATE

DNV Id No:
42218
Date of issue:
2021-07-02

Issued under the provisions of the Rules of DNV

Particulars of unit

Name of unit:	JOSTEIN ALBERT
Builder:	Yantai CIMC Raffles Offshore Ltd.
Yard No/Hull No:	-
Owner:	Nordlaks Oppdrett AS
IMO Number:	-

This is to certify:

that the above-mentioned unit has been surveyed by DNV according to the Rules and that, upon completion of the survey on the 2021-07-02 the administration of the Society is of the opinion that the unit's hull, machinery and equipment are in compliance with the applicable Rule requirements for the following class notation:

✠ **OI Offshore fish farming Installation NYTEK POSMOOR**

Important assumptions and conditions related to maintenance and handling of the unit are found in the unit's Appendix to the Classification Certificate. Current status of surveys and conditions of class is given in the Class status issued by the Society.

This Certificate is valid until 2025-09-15 provided the requirements for the retention of class in the Rules will be complied with, and unless the class has been suspended or withdrawn.

Issued at Tromsø on 2021-07-02

for DNV

This document is signed electronically in accordance with IMO FAL.5/Circ.39/Rev.2. Validation and authentication can be obtained from trust.dnv.com by using the Unique Tracking Number (UTN):
n1619433-gvb and ID: 42218

Olaf Rune Nilssen

LEGAL DISCLAIMER: Unless otherwise stated in the applicable contract with the holder of this document, or following from mandatory law, the liability of DNV AS, its parent companies and their subsidiaries as well as their officers, directors and employees ("DNV") arising from or in connection with the services rendered for the purpose of the issuance of this document or reliance thereon, whether in contract or in tort (including negligence), shall be limited to direct losses and under any circumstance be limited to 300,000 USD, and any claims made against DNV based upon alleged defective services provided by DNV to designers, yards, manufacturers or other stakeholders in the newbuilding process shall under any circumstance be time-barred if made later than 12 months from delivery of the vessel. Based upon written request to the DNV legal entity which has issued this document, a higher limitation of liability may be agreed on a case-by-case basis.

DNV Id No: 42218
Date of issue: 2021-07-02

Name of unit: **"JOSTEIN ALBERT"**

Endorsement for annual and intermediate surveys

THIS IS TO CERTIFY:
that, at a survey required by DNV Rules, the unit was found to comply with the relevant requirements of the Rules.

Annual survey: Place: **Tromsø** Date: **2021-07-02**

Signature: **Olaf Rune Nilssen**

Annual/Intermediate[1] survey: Place: _____ Date: _____

Signature: _____

Stamp

Annual/Intermediate[1] survey: Place: _____ Date: _____

Signature: _____

Stamp

Annual survey: Place: _____ Date: _____

Signature: _____

Stamp

Endorsement for advancement of anniversary date

In accordance with DNV Rules, the new anniversary date is _____

Place: _____ Date: _____

Signature: _____

Stamp

Endorsement to extend the validity of the Certificate until reaching the port of survey

This Certificate shall, in accordance with DNV Rules, be accepted as valid until _____

Place: _____ Date: _____

Signature: _____

Stamp

1 Delete as appropriate.

DNV Id No: **42218**
Date of issue: **2021-07-02**

Name of unit: **"JOSTEIN ALBERT"**

Endorsement where the renewal survey has been completed

ERC

THIS IS TO CERTIFY that, at a survey required by DNV Rules, the unit was found to comply with the relevant requirements of the Rules.
This Certificate shall be accepted valid until _____

Place: _____. Date: _____.

Signature: _____.

Stamp

IMPORTANT!
The unit's class will be automatically suspended if the renewal survey is not completed or under completion before the expiry date of the Classification Certificate, unless the survey has been accepted postponed prior to the Certificate's expiry date. Furthermore, the ship's class will also be automatically suspended if the annual/intermediate surveys, required for retention of this Certificate, are not carried out within 3 months after the anniversary date of the Classification Certificate, unless the vessel is under completion of the survey.

DNV·GL

APPENDIX TO CLASSIFICATION CERTIFICATE FOR MOBILE OFFSHORE UNIT

DNV GL Id No:
42218
Date of issue:
2020-10-02

Particulars of unit

Yard: **Yantai CIMC Raffles Offshore Ltd.**

Yard No: -

IMO Number: -

Classification of an offshore unit is based on certain assumptions regarding operation of the unit. This appendix outlines such assumptions and gives an explanation of class notations which have been assigned to the unit.

The validity of the declaration can be obtained from trust.dnvgl.com.

Issued at **Høvik, Norway** on **2020-10-02**

for **DNV GL**

This document is signed electronically in accordance with IMO FAL.5/Circ.39/Rev.2. Validation and authentication can be obtained from trust.dnvgl.com by using the Unique Tracking Number (UTN): n1508875-msk and ID: 42218

Are Hofstad
Surveyor

© DNV GL 2014. DNV GL and the Horizon Graphic are trademarks of DNV GL AS.

DNV·GL

APPENDIX TO CLASSIFICATION CERTIFICATE FOR COLUMN-STABILISED OFFSHORE UNIT

Date of issue:
2020-09-29

The contents of this Appendix are applicable to the vessel with DNV GL Id No: **42218**

Built by: **Yantai CIMC Raffles Offshore Ltd.**

as Yard No: ----

The Appendix is to be kept on board the vessel, and should upon request be made available to surveyors of DNV GL.

It is important that the responsible officers on board are informed about the contents of this Appendix.

Issued at **Høvik** on **2020-09-29**

for **DNV GL**

Eirik Edalnd Pedersen
Head of Department

© DNV GL 2014. DNV GL and the Horizon Graphic are trademarks of DNV GL AS.

DNV GL Id No: **42218**
Date of issue: **2020-09-29**

Table of contents

1	INTRODUCTION	3
2	BASIC ASSUMPTIONS	4
2.1	General	4
2.2	Written Manuals and Procedures	4
2.3	Design and Loading Conditions	4
2.4	Design temperatures	5
2.5	Stability	5
2.6	Fatigue	5
3	OPERATIONAL LIMITATIONS	6
3.1	General	6
3.2	Service area	6
3.3	Operation Condition	6
3.4	Service/inspection Condition	6
3.5	Survival Condition	6
3.6	Transit	7
3.7	Corrosion protection	7
4	CLASS NOTATIONS	8
4.1	POSMOOR	8
5	ACCEPTED ALTERNATIVE SOLUTIONS AND SPECIAL CONCIDERATIONS	9
6	ENCLOSURE: APPLICABLE RULES AND OFFSHORE STANDARDS	10

1 INTRODUCTION

Classification of an offshore unit is based on certain assumptions regarding operation of the unit. This appendix outlines such assumptions and gives an explanation of class notations which have been assigned to the unit.

In case of amendments, additions and/or deletions, a new appendix will be issued by the Society.

The unit's Class notations are given in the Class Certificate. A detailed explanation of the different main class-, service- and system notations is given in:

- DNVGL-RU-OU-0503 Ch.1 Sec.3 "Classification Scope and Notations"

2 BASIC ASSUMPTIONS

2.1 General

General regulations for the assignment and the retention of class are given in:

- DNVGL-RU-OU-0503 Ch.1 – July 2018

The class for this Offshore Installation covers hull structure, stability (ballast), electrical, machinery and mooring systems. All other systems are excluded from class

2.2 Written Manuals and Procedures

It is assumed that the unit will be competently handled and maintained on basis of relevant written operations and maintenance procedures.

Such operations manuals and procedures are not in general subject to approval for classification. They are referred to in this appendix only where they give essential additional operational limitations as basis of class.

2.3 Design and Loading Conditions

The column-stabilised offshore unit has been approved for different design conditions, each design condition represents one or more specified modes of operation. The following design conditions have been considered:

- Operation
- Survival
- Transit

For each design condition one (or more) set(s) of loading conditions have been considered as basis for the approval. It is the responsibility of the Owner, for each design condition, to assure that the unit is operating within the approved limits defined by these loading conditions.

Functional Loads

For each design condition the unit has been approved for functional loads as specified in the relevant parts of the stability manual and the operation manual. Some basic key figures describing the limiting functional loads for each design condition is reproduced under pt. 3 Operational Limitations in this Appendix.

Environmental Loads

Environmental conditions are described by a set of parameters for definition of:

- Waves
- Current
- Wind
- Temperature
- Water depths

For each design condition the unit has been approved for one or more reference environmental condition(s). These approved reference environmental conditions together with the associated functional loads represent the limiting loading condition for which the unit may operate safely.

The environmental parameters describing the approved reference environmental conditions are specified in the relevant parts of the stability manual and the operation manual. The environmental conditions and restrictions for service are given in this Appendix under pt. 3 Operational Limitations.

2.4 Design temperatures

Structural steel

The design temperature for selection of steel is based on the lowest mean daily average temperature (LMDAT) for the area the unit is designed to operate.

Lowest mean daily average temperature: -10°C

Ambient temperature, sea: min. 0 °C

2.5 Stability

The stability capacity of the unit has been documented in the approved Stability Analysis.

Alterations in hydrostatic particulars, wind exposed portions, draught range at various modes of service, extent of watertight/weathertight closing of external openings and internal watertight integrity/subdivision are to be reported to the Society and the Stability Analysis is to be updated accordingly.

All loading conditions have to meet the criteria and limitations set forth in the approved stability manual/operations manual.

The data for lightweight and centre of gravity shall be continuously recorded and adjusted by the Master for any items taken on board or ashore after the inclining test. Significant alterations in lightweight data are to be reported to the Society.

2.6 Fatigue

The design life for the unit is 25years and has been documented with respect to operation, survival and transit condition. Reference is made to "Structural Design Brief HAVFARM", Rev 07, Section 11-1, page 43

3 OPERATIONAL LIMITATIONS

3.1 General

The approval of an offshore unit is based on certain limitations regarding operation of the unit. The most important operational limitations are specified below.

3.2 Service area

The unit is designed for operation in the following areas: Ytre Hadseløya, Norway

3.3 Operation Condition

For design operation condition the following limiting criteria applies for the structure:

	Limiting Design Values
	Operation Condition
Operation Draught[1]	30.7 m
Max significant wave height H_s[2]	2.0 m

The unit shall be de-ballasted to survival draught when wave heights are exceeding the specified value above.

The unit shall be operated so to avoiding severe wave impacts to the lower deck structure.

3.4 Service/inspection Condition

For inspection and service condition the following limiting criteria applies for the structure:

	Limiting Design Values
	Inspection/service Condition
Inspecttion Draught[3]	21.7 m
Max significant wave height H_s[4]	2.0 m

3.5 Survival Condition

The unit is considered to be in survival condition when subjected to the most severe environmental loading for which the unit is structurally designed.

	Design Values
	Survival Condition
Survival draught[1]	25.7 m

1 Used as basis for approval
2 Alternatively maximum wave height
3 Used as basis for approval
4 Alternatively maximum wave height

	Design Values
	Survival Condition
Max. significant wave height H_s[5]	# m

3.6 Transit

Transit is not considered as the installation is permanently moored at operating location.

3.7 Corrosion protection

The corrosion protection system for the unit is based on a combination of the sacrificial anodes and coating installed in accordance with approved plans. The corrosion protection system shall be regularly inspected and maintained.

5 Alternatively significant wave height

4 CLASS NOTATIONS

4.1 POSMOOR

The maximum operational conditions and corresponding procedures as basis for POSMOOR Class are described in the Mooring Analysis.

5 ACCEPTED ALTERNATIVE SOLUTIONS AND SPECIAL CONCIDERATIONS

DNV GL has accepted the following alternative solutions as they are found to represent an overall safety level equivalent to that of the DNV GL rules:

The unit was not originally built to have class during operational stage. However. It is verified according to the standards in Ch.5 and found to comply with DNV GL Rules.

6 ENCLOSURE: APPLICABLE RULES AND OFFSHORE STANDARDS

Area/Systems	Recommended Regulatory references	Comments
UNIT GENERAL		
Stability	DNVGL-OS-C301	It is recommended that the unit's reserve buoyancy capacity is investigated.
OTHER		
Arrangement, including internal/access routes, etc.	Regulations of 1 July 2014 No. 1072 on the construction of ships Regulations of 21 April 2017 No. 515 on accommodation, recreational facilities, food and catering on ships Regulations of 1 July 2014 No. 1099 on fire protection on ships	Cargo Ship rules to be followed
Escape Routes	Regulations of 1 July 2014 No. 1072 on the construction of ships Regulations of 21 April 2017 No. 515 on accommodation, recreational facilities, food and catering on ships Regulations of 1 July 2014 No. 1099 on fire protection on ships	Cargo ship rules to be followed
Working environment	Regulations of 21 April 2017 No. 515 on accommodation, recreational facilities, food and catering on ships	Requirements relating to working environment issues are applicable for all areas and systems on board.
Access, Living quarters, Health department, emergency unit	Regulations of 21 April 2017 No. 515 on accommodation, recreational facilities, food and catering on ships Regulations of 1 July 2014 No. 1099 on fire protection on ships	
HULL and Structure	Regulations of 1 July 2014 No. 1099 on fire protection on ships	
General		
	NMA's "Regulation 4 Septembe 1987 No. 856 concerning constr ction of mobile offshore units", 6, 7 and 10, and the following DNV Offshore Standards: DNVGL-OS-C101 Design of Offsh ore Structures General	

	DNVGL-OS-C103 Structural Design of Column Stabilised Units (LRFD method) DNVGL-OS-A101 Safety principles and Arrangement	
Hull materials, general hull work	DNVGL-OS-B101 DNVGL-OS-C103	
Material protection, external and internal	DNVGL-OS-B101 DNVGL-OS-C103	
Turret	DNVGL-OS-E301 Position Mooring	
Turret supporting structure	DNVGL-OS-C102 Structural design of offshore ships	
Facility Equipment	DNVGL-OS-C101	
Marking, lights and signal equipment (lanterns, whistles, etc.)	NCA's Provisions related to the marking of permanently located offshore units in the petroleum industry. FOR-2012-12-19-1329 Regulation relating to signboards and aids to navigation, attachment 2 – Marking of aquaculture facilities NMA's "Regulation 4 September 1987 No. 856 concerning construction of mobile offshore units", §13 - "Marking and navigational aids"(as am. 2014.09.15), which includes COLREG	Relevance and applicability of individual clauses to be verified with "The Norwegian Coastal Administration" (NCA).
Navigation and searching equipment	NMA's "Regulations of 5 September 2014 No. 1157 on navigational aids for ships and mobile offshore units".	MODU requirements to be followed
External communication equipment	NMA's "Regulations of 1 July 2014 No. 955 on radio communication equipment for Norwegian ships and mobile offshore units".	MODU requirements to be followed

Internal communication equipment (Calling systems, command telephone, telephone plants, walkie-talkies, etc.)	NMAs "Regulation of 2 February 2016 No. 90 on evacuation and life-saving appliances on offshore units", Section 3 "VHFs and SARDs".	Cargo ship rules to be followed
	Regulations of 1 July 2014 No. 1099 on fire protection on ships	Cargo ship rules to be followed
Anchoring, mooring and towing equipment	Regulations of 1 July 2014 No. 1019 on life-saving appliances on ships	Requirements per NYTEK regulation and NS 9415 to be followed as a minimum.
	DNV GL-OS-E301 Position mooring DNV GL-OS-E302 Offshore Mooring Chain DNV GL-OS-E303 Offshore Fibre Ropes DNV GL-OS-E304 Offshore Mooring Steel Wire Ropes	As applicable, which means areas relevant for Havfarm 1 to be complied with.
Repair maintenance and cleaning equipment and outfitting	Regulations of 25 April 2002 No. 422 on welding, welding equipment, hot work and storage of gas cylinders on board ship	As applicable, which means areas relevant for Havfarm 1 to be complied with.
Name plates (markings) on machinery, equipment, pipes cables	Regulations of 4 September 1987 No. 859 on protective, environmental, and safety measures on mobile offshore units	As applicable, which means areas relevant for Havfarm 1 to be complied with.
Lifting and transport equipment for machinery comp.	Regulations of 4 September 1987 No. 859 on protective, environmental, and safety measures on mobile offshore units	Either Cargo ship rules or Manned barge rules to be followed wrt. number of life-saving appliances. Dependent of selected rule basis and actual arrangement (cargo ship / mannad barge) a risk evaluation may be required, as described in [3.1.8] With the exemption of number of life saving equipment the
EQUIPMENT FOR CREW		
Lifesaving, protection and medical equipment		
Life rafts with equipment	Regulations of 1 July 2014 No. 1019 on life-saving appliances on ships	

		Havfarm 1 shall follow the requirements of SOLAS III as referred to in NMA No. 1019 Section 2.
Medical and dental equipment, medicines and first aid equipment		Cargo ship rules to be followed
Loose firefighting apparatuses and equipment, firemen's suit	Regulations of 21 April 2017 No. 515 on accommodation, recreational facilities, food and catering on ships	Cargo ship rules to be followed
Insulation, panels, bulkheads, doors, side scuttles, windows, skylight	Regulations of 1 July 2014 No. 1099 on fire protection on ships	
Internal deck covering, ladders, steps, railings etc.	DNVGL-OS-C101 Design of Offsh ore Structures General DNVGL-OS-C103 Structural Design of Column Stabilised Uni DNV-OS-C301 - Stability and Watertight Integrity Regulations of 21 April 2017 No. 515 on accommodation, recreational facilities, food and catering on ships Regulations of 4 September 198 No. 856 on the construction of mobile offshore units – Section 6, 7, 10 Regulations of 1 July 2014 No. 1099 on fire protection on ships DNVGL Rules for Ships Pt.3 Ch.12 (ICLL)	
External deck covering, steps, ladders etc, fore-and-aft gangway	Regulations of 4 September 1987 16, 17 DNVGL Rules for Ships Pt.3 Ch.12	
Furniture, inventory and entertainment equipment	Regulations of 4 September 1987 No. 856 on the construction of mobile offshore units - Section 14, 15, 16, 17 DNVGL Rules for Ships Pt.3 Ch.12 (ICLL)	

Galley & pantry equipment, arrangement for provisions, ironing/drying equipment	Regulations of 21 April 2017 No. 515 on accommodation, recreational facilities, food and catering on ships	NA
Galley & pantry equipment, arrangement for provisions, ironing/drying equipment	Regulations of 21 April 2017 No. 515 on accommodation, recreational facilities, food and catering on ships	NA – No personnel lifts nor escalators onboard Havfarm 1.
Personnel lifts, escalators		
Deck cranes		Additional requirements in EN 13852-1:2004, kap.5.8 are to be complied with to allow for lifting of personnel.
	Regulations of 13 January 1986 No. 31 on cranes used on ships in open waters for loading and unloading, new version entering into force 2018-01-01.	Movable side cranes Additional requirements in EN 13852-1:2004, kap.5 are to be complied with to allow for lifting of personnel.
Ventilation, air-conditioning and heating system	Regulations of 17 January 1978 N force 2018-01-01.	Cargo ship rules to be followed
Sanitary systems with Discharges	Regulations of 1 July 2014 No. 1099 on fire protection on ships DNVGL-RU-SHIP Pt.4 Ch.6 – Piping systems Regulations of 21 April 2017 No. 515 on accommodation, recreational facilities, food and catering on ships	Scuppers and sanitary discharges shall be arranged in accordance with DNVGL-OS-C301.
MACHINERY AND MAIN COMPONENTS		
Motor aggregates for main electric power production	DNV-OS-C301 - Stability and Watertight Integrity DNVGL-RU-SHIP Pt.4 Ch.6 – Piping systems	Scuppers and sanitary discharges shall be arranged in accordance with DNVGL-OS-C301.
Other aggregates and generators for main and emergency power productions	DNVGL-RU-SHIP Pt.4 Ch.8 -	As applicable, which means areas relevant for Havfarm 1 to be complied with.

	Electrical Installations DNVGL-RU-SHIP Pt.4 Ch.6 - Piping systems	
SYSTEMS FOR MACHINERY MAIN COMPONENTS	Regulations of 1 July 2014 No. 1072 on the construction of ships	
Fuel systems	DNVGL-RU-SHIP Pt.4 Ch.8 - Electr	
Lube oil systems	DNVGL-RU-SHIP Pt.4 Ch.6 – Piping system	
Cooling systems		
Compressed air Systems	DNVGL-RU-SHIP Pt.4 Ch.6 - Piping systems	
Exhaust systems And air intake	DNVGL-RU-SHIP Pt.4 Ch.6 - Piping systems	
	DNVGL-RU-SHIP Pt.4 Ch.6 - Piping systems	
Destilled and make-up water systems	DNVGL-RU-SHIP Pt.4 Ch.6 - Piping systems	
Automation systems for machinery	Regulations of 1 July 2014 No. 1099 on fire protection on ships DNVGL-RU-SHIP Pt.4 Ch.6 – Piping systems	
	Regulations of 4 December 2015 No. 1406 on potable water and potable water systems on mobile offshore units	
UNIT COMMON SYSTEMS	DNVGL-RU-SHIP Pt.4 Ch.9 - Control and monitoring system DNVGL-RU-SHIP Pt.4 Ch.6 - Piping systems	
Ballast and bilge systems, gutter pipes outside accommodation	Regulations of 27 January 2016 No. 67 on ballast systems on mobile offshore units (Ballast) DNVGL-OS-C301 - Stability and	Ballast system to follow requirements given in DNVGL-OS-D101 and NMA No.67.

	Watertight Integrity Regulations of 1 July 2014 No. 1099 on fire protection on ships	
Fire detection, fire and lifeboat alarm systems	Regulations of 1 July 2014 No. 1099 on fire protection on ships	Cargo ship rules to be followed
Fire/wash down systems, emergency fire pumps, general service pumps, Firefighting systems for external fires, Firefighting systems with C	Regulations of 1 July 2014 No. 1099 on fire protection on ships	Cargo ship rules to be followed
Air and sounding systems from tank to deck	Regulations of 27 January 2016 No. 67 on ballast systems on mobile offshore units (Ballast Regulations) DNVGL-RU-SHIP Pt.4 Ch.6 – Piping systems	In addition, special consideration should be given to DNVGL-OS-D101 Ch.2 Sec.3 [6.5.11]
Special common hydraulic systems	DNVGL-RU-SHIP Pt.4 Ch.6 - Piping systems	
Electrical systems general part	DNVGL-RU-SHIP Pt.4 Ch.8 - Electrical Installations	
Electrical power supply	DNVGL-RU-SHIP Pt.4 Ch.8 - Electrical Installations	
Electrical distribution common systems	DNVGL-RU-SHIP Pt.4 Ch.8 - Electrical Installations	
Electrical cable installation	DNVGL-RU-SHIP Pt.4 Ch.8 - Electrical Installations	
Electrical consumers (lighting etc.)	DNVGL-RU-SHIP Pt.4 Ch.8 - Electrical Installations	

DNV

SURVEY STATEMENT

DNV Id No:
42218
Job Id:
1619433
Revision No:
3 (2021-07-09)
Narrative annex issued *

Particulars of vessel

Name of vessel:	**JOSTEIN ALBERT**
Owner:	**Nordlaks Oppdrett AS**
IMO Number:	

Particulars of survey

Survey station:	**Norway Fleet in Service, Mid-North**
Place of survey:	**Tromsø**
Survey started:	**2021-06-28**
Survey completed:	**2021-07-02**
Lead surveyor:	**Nilssen, Olaf Rune**
Surveyor:	**Mikalsen, Ulf-Gunnar; Høegh, Martin**

Periodical surveys

This is to confirm:

That the following have been carried out:

Certificates

Certificate Name	Endorsed	Issued/ Extended	New expiry date	UTN
Classification Certificate	S1	Full Term	2025-09-15	n1619433-gvb

**) S1: 1st Scheduled Survey*

Surveys

Survey Code	Survey Name	Result
MC.A	Main class annual	Complete
HS.Sa	Hull items	Part-held
REBR.O	Rebranding main certificates to DNV	Complete
POSMOOR.A	Position mooring system annual	Complete

Survey of Hull items

Survey Code	Onboard Name	Survey Item	Result
HULEXA		Void tank 452P(Void-452P)(076-094) (ULG3P) periodical	Complete
HULEXA		Void tank 553P(Void-553P)(050-068) (ULG4P) periodical	Complete
HULEXA		Void tank 563S(Void-563S)(050-068) (ULG4S) periodical	Complete
HULEXA		Void tank 662S(Void-662S)(028-046) (ULG5S) periodical	Complete
HULEXA		Void pontoon tank 431P(Void-431P)(076-094) (MP3P) periodical	Complete
HULEXA		Void pontoon tank 432P(Void-432P)(074-076) (MP3P) periodical	Complete

Survey Code	Onboard Name	Survey Item	Result
HULEXA		Void pontoon tank 441S(Void-441S)(076-094) (MP3S) periodical	Complete
HULEXA		Void pontoon tank 442S(Void-442S)(074-076) (MP3S) periodical	Complete
HULEXA		Void pontoon tank 531P(Void-531P)(068-070) (MP4P) periodical	Complete
HULEXA		Void pontoon tank 532P(Void-532P)(050-068) (MP4P) periodical	Complete
HULEXA		Void pontoon tank 541S(Void-541S)(068-070) (MP4S) periodical	Complete
HULEXA		Void pontoon tank 542S(Void-542S)(050-068) (MP4S) periodical	Complete
BTKEXA		Ballast pontoon tank 411P(WB-411P)(084-094) (LP3P) periodical	Complete
BTKEXA		Ballast pontoon tank 412P(WB-412P)(074-084) (LP3P) periodical	Complete
BTKEXA		Ballast pontoon tank 421S(WB-421S)(084-094) (LP3S) periodical	Complete
BTKEXA		Ballast pontoon tank 422S(WB-422S)(074-084) (LP3S) periodical	Complete
BTKEXA		Ballast pontoon tank 511P(WB-511P)(060-070) (LP4P) periodical	Complete
BTKEXA		Ballast pontoon tank 512P(WB-512P)(050-060) (LP4P) periodical	Complete
BTKEXA		Ballast pontoon tank 521S(WB-521S)(060-070) (LP4S) periodical	Complete
BTKEXA		Ballast pontoon tank 522S(WB-522S)(050-060) (LP4S) periodical	Complete
BTKEXA		Ballast brace compartment 501P(WB-501P)(068-076) (TB4P) periodical	Complete
BTKEXA		Ballast brace compartment 502S(WB-502S)(068-076) (TB4S) periodical	Complete

Follow-Up Surveys

Retroactive requirements(RR)

RR 1 Ref 1055a — **Deleted**

Issued: 2021-05-12
Re-branding of certificates:
The main certificates for this vessel will be re-branded from DNV GL to DNV free of charge when it is performed as part of the annual survey.
Please include this RR in the relevant request.
The re-branding will not include any changes to the certificate content.
For more info about re-branding, see: https://www.dnv.com/about/name-change-faq.html

Action:
Rebranding completed

DNV Id No: **42218**
Job Id: **1619433**

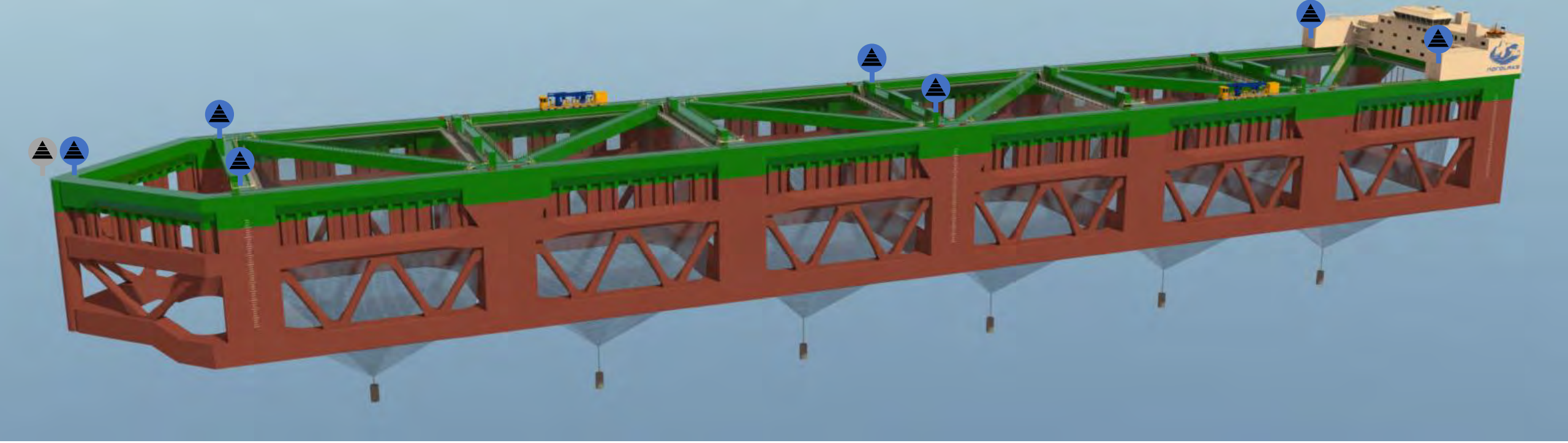
for **DNV**

This document is signed electronically in accordance with IMO FAL.6/Circ.39/Rev.2. Validation and authentication can be obtained from trust.dnv.com by using the Unique Tracking Number (UTN):
n1619433-nto and ID: 42218

Nilssen, Olaf Rune
Surveyor

Notwithstanding anything to the contrary stated in the classification documentation for the present vessel DNV reserves the right to initiate a suspension procedure before finally suspending class.
*) Issued latest 7 days after completion-date, containing information regarding the survey. Possible restrictions regarding the use of the vessel is documented in the survey statement.

Vedlegg D



• Fôringsrapport 17.juli 2020–30.mai 2021

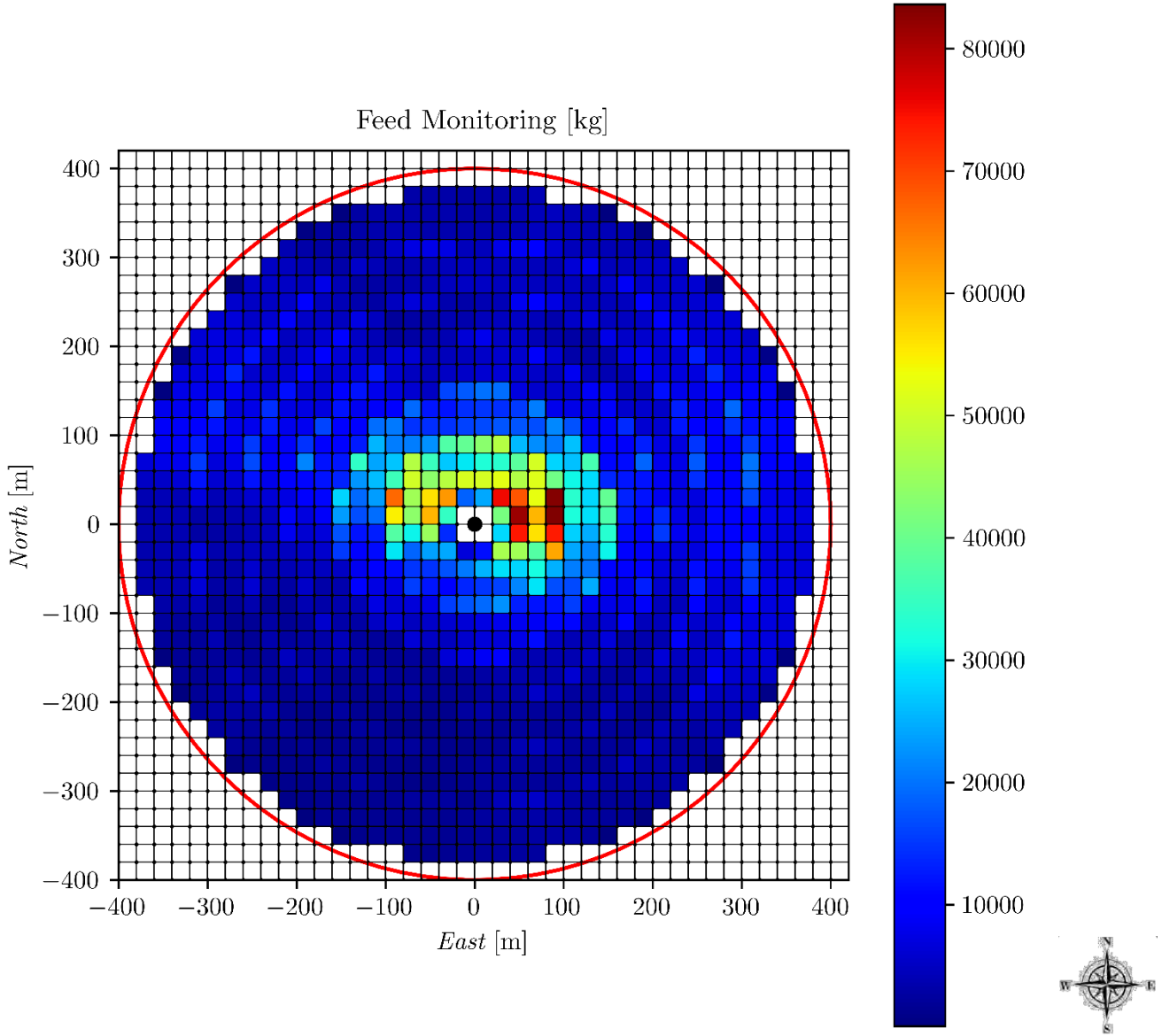
Havfarm 1 - Jostein Albert

SAP Norway Center of Excellence / SAP PEI
04. okt 2021

INTERNAL

THE BEST RUN SAP®

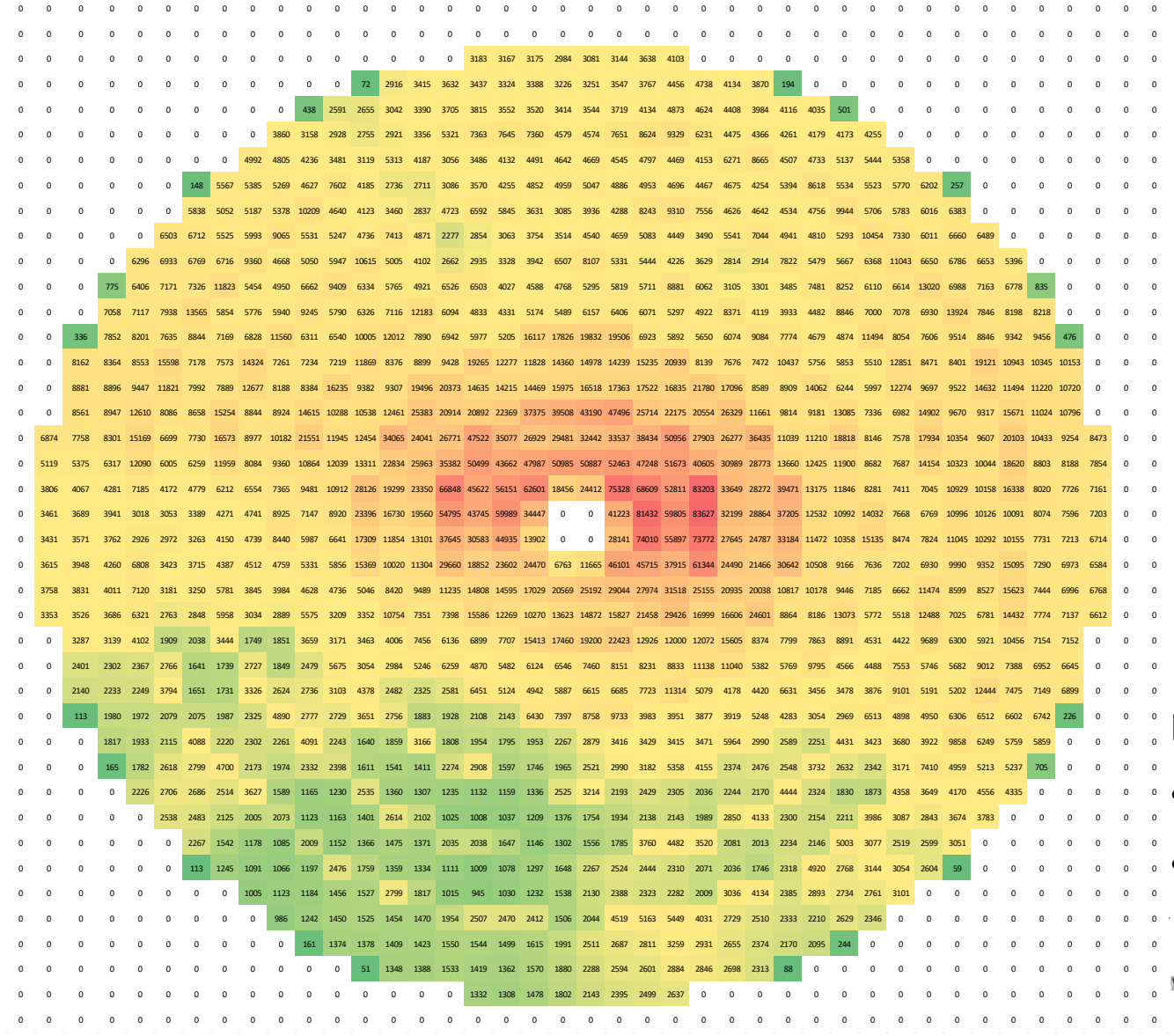
Fôrutslipp hele perioden – «heatmap»



Kommentar

- Senter av figur er senter av turret
- Hver rute er 20m x 20 m

Fôrutslipp hele perioden - Excel



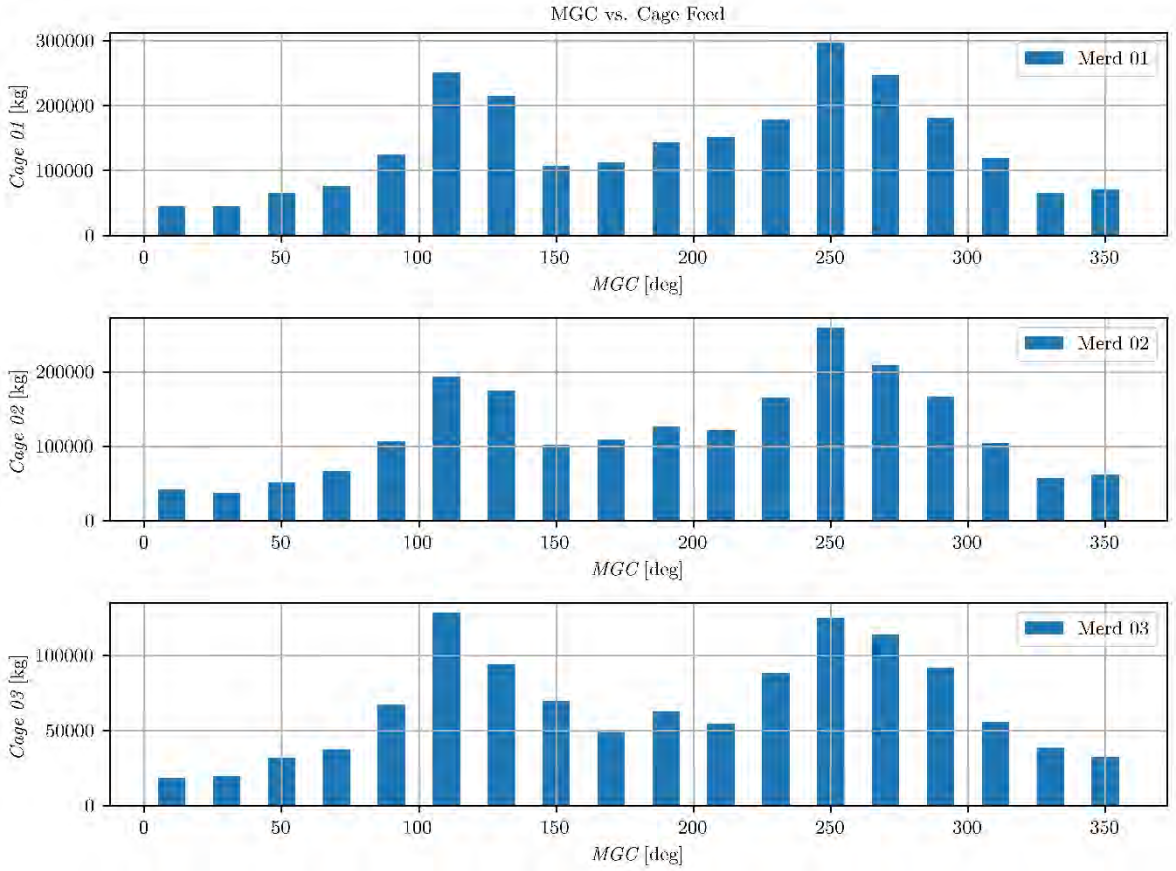
9382	9307	19496	20373	14635	14215	14469	15975	16518	17363	17522	16835	21780	17096	8589	8909
10538	12461	25383	20914	20892	22369	37375	39508	43190	47496	25714	22175	20554	26329	11661	9814
12454	34065	24041	26771	47522	35077	26929	29481	32442	33537	38434	50956	27903	26277	36435	11039
13311	22834	25963	35382	50499	43662	47987	50985	50887	52463	47248	51673	40605	30989	28773	13660
28126	19299	23350	66848	45622	56151	62601	18456	24412	75328	68609	52811	83203	33649	28272	39471
23396	16730	19560	54795	43745	59989	34447	0	0	41223	81432	59805	83627	32199	28864	37205
17309	11854	13101	37645	30583	44935	13902	0	0	28141	74010	55897	73772	27645	24787	33184
15369	10020	11304	29660	18852	23602	24470	6763	11665	46101	45715	37915	61344	24490	21466	30642
5046	8420	9489	11235	14808	14595	17029	20569	25192	29044	27974	31518	25155	20935	20038	10817
3352	10754	7351	7398	15586	12269	10270	13623	14872	15827	21458	29426	16999	16606	24601	8864

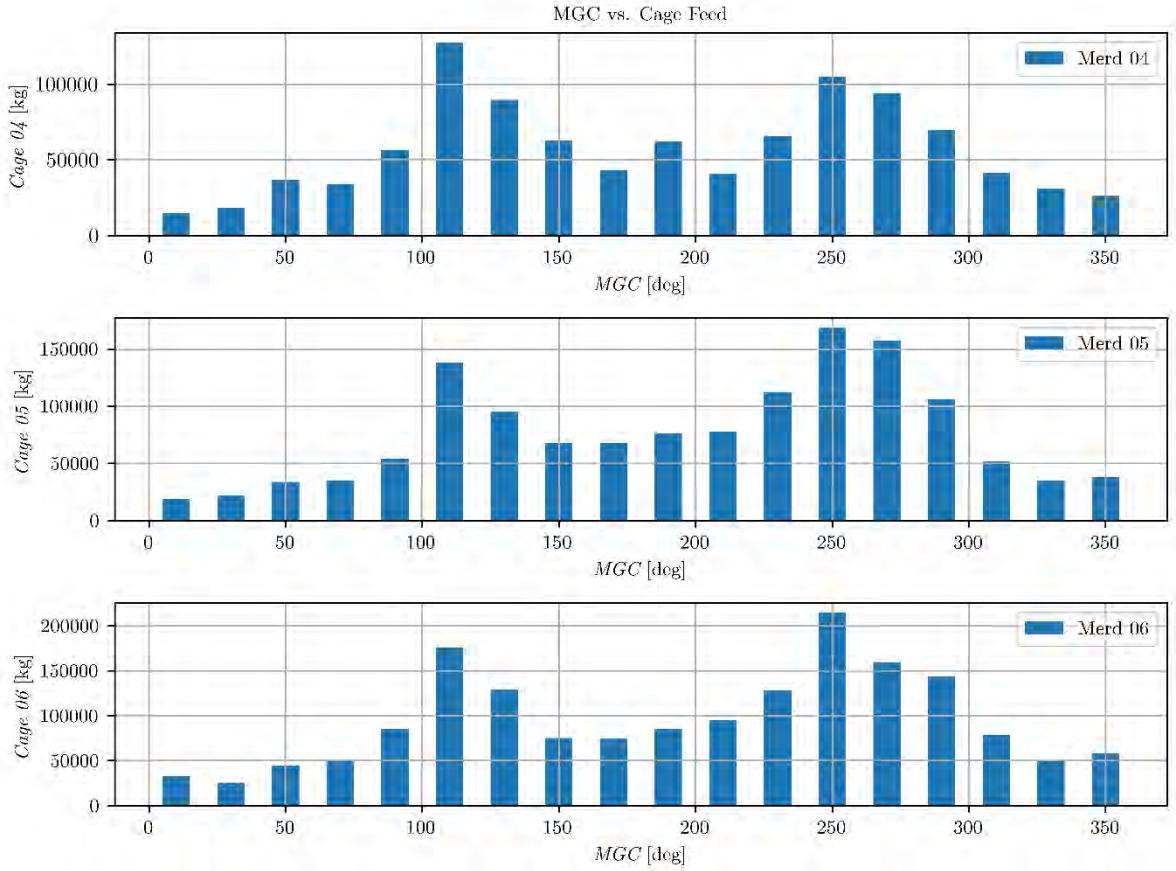
Kvadranter med 20 høyest utfôret verdier

Kommentar:

- Fôrutslipp pr kvadrant i [kg].
- Totalt utfôret i hele perioden er **9920.3 tonn**

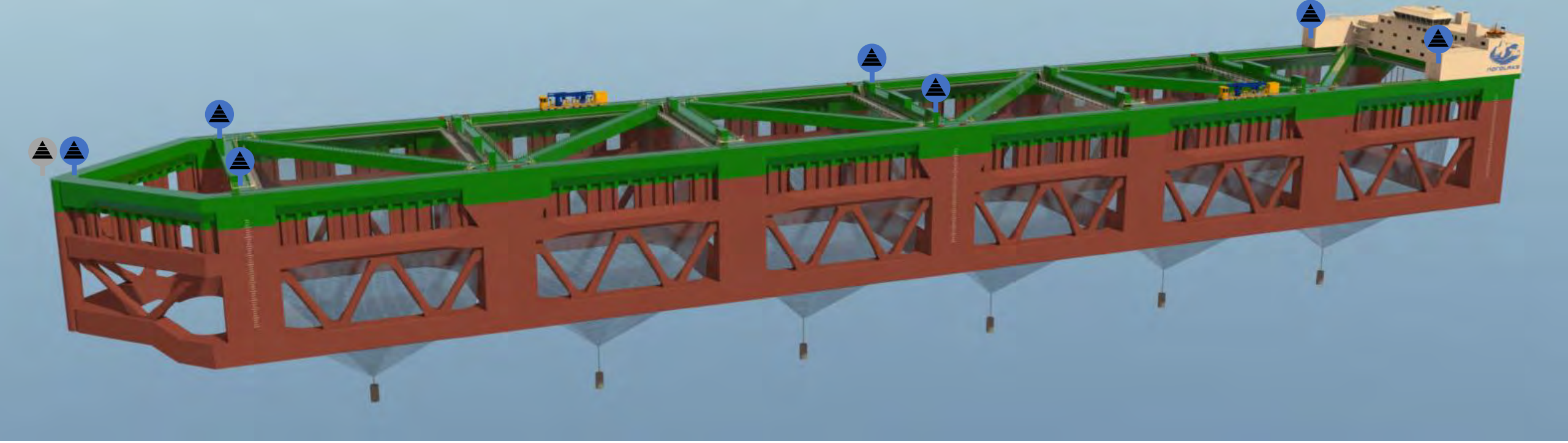
Fôrutslipp fordelt på sektorer





Kommentar:

- Diagram viser fôr fordelt pr sektor pr merd
- Hver sektor er 20°
- 0° /360° er nord



• Fôringsrapport fra og med 14.juli 2021 til og med 14.januar 2022

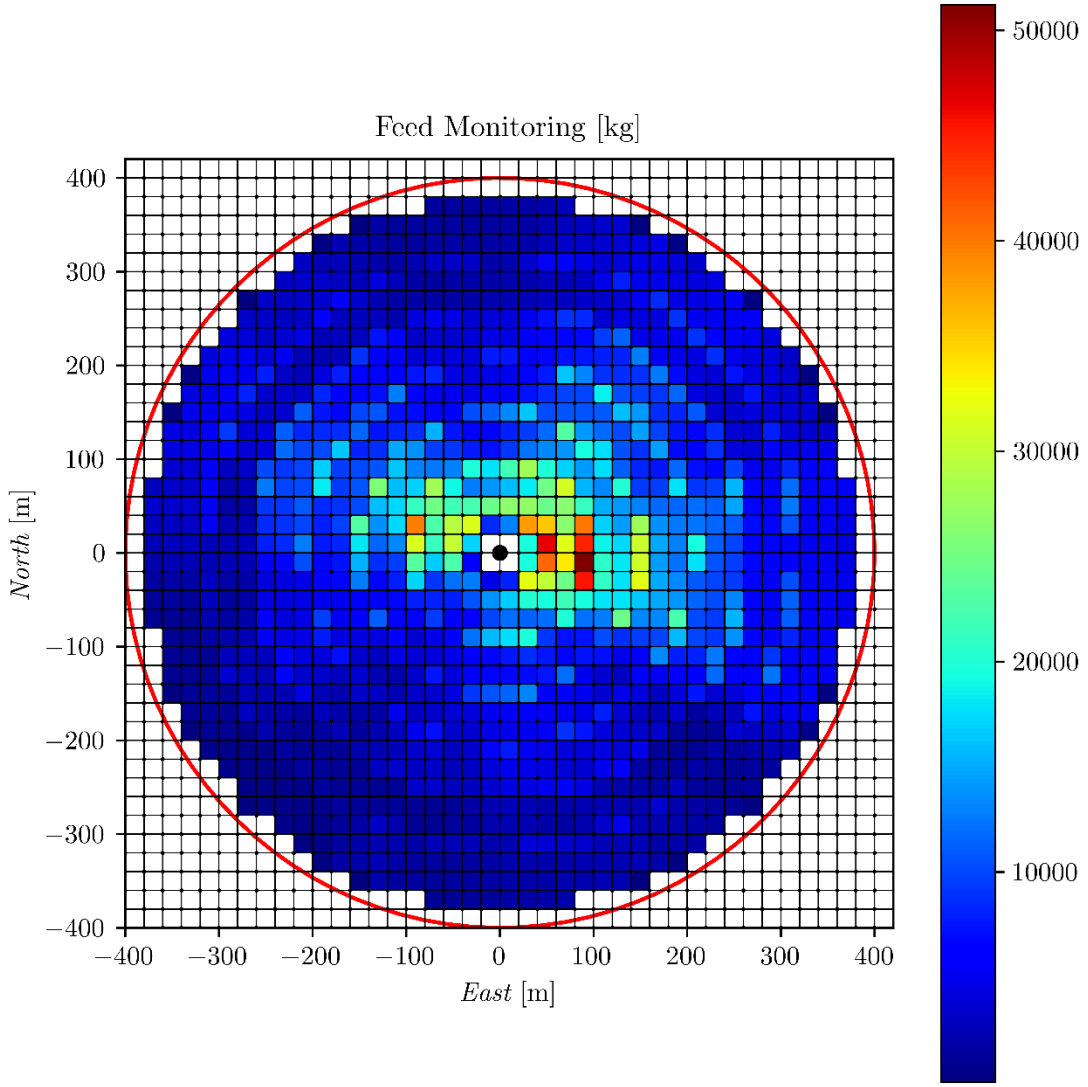
Havfarm 1 - Jostein Albert

SAP Norway Center of Excellence / SAP PEI
16. jan 2022

INTERNAL

THE BEST RUN SAP®

Fôrutslipp hele perioden – «heatmap»



Kommentar

- Senter av figur er senter av turret
- Hver rute er 20m x 20 m

Fôrutslipp hele perioden - Excel

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1426	1521	1423	1526	1646
37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22	1622	1355	1580	1549	1557	1525	1574	1757
36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	347	2412	2009	1721	1597	1571	1631	1636	1666	1687	1862
35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3016	2606	2616	2320	1830	1625	2323	3135	3256	3215	1919	2110
34	0	0	0	0	0	0	0	0	3151	3362	3358	2957	2732	4063	2676	1656	1480	1709	1861	1916	2157
33	0	0	0	0	0	0	110	3092	3162	3351	3617	5651	3540	2327	1806	1716	1666	1750	1937	2113	2303
32	0	0	0	0	0	0	3263	3082	2912	3150	5789	2816	2853	2752	2108	4207	5211	4508	3705	3926	4043
31	0	0	0	0	0	4262	3845	3102	3674	4538	2489	2975	2936	7336	5693	3346	3719	3574	3831	4601	4428
30	0	0	0	0	4315	4997	4858	3858	5155	2457	2288	2787	8895	5974	5298	3985	4090	4135	4137	7659	7458
29	0	0	0	539	4875	5341	5166	7923	3097	2714	4327	7826	6420	6478	6161	7577	8281	4491	4227	4674	5095
28	0	0	0	4586	4943	5375	8164	3407	3475	3497	8253	5921	6609	7180	12744	6309	5183	4998	4778	5239	6153
27	0	0	129	4973	5015	5200	4609	3364	3611	11135	7448	6764	9819	10813	7082	6933	6430	6027	10395	11076	13342
26	0	0	4450	4580	5232	9221	3882	4093	11209	8374	8531	8666	11611	7217	8089	8728	15221	7588	5880	6327	7952
25	0	0	4291	4532	4829	5775	3877	4036	11791	9993	10062	16535	8199	8684	14943	13753	9428	9140	7803	7102	9117
24	0	0	3763	3939	5444	2994	3353	10056	9183	9885	16701	9567	10026	10647	16312	12963	12605	12989	19811	17802	22055
23	0	2948	3247	3482	5495	2107	2808	12476	9927	10071	18381	9243	10742	25725	15851	16929	27945	18878	12807	13933	15880
22	0	3456	3481	3712	5339	1768	1850	9168	9131	10855	8498	8828	10017	15849	17243	21152	24965	21823	22223	24425	26734
21	0	2940	3161	3248	5149	2275	2414	8538	8937	9920	7912	9767	23175	13725	17411	39627	22769	29299	31601	8517	12821
20	0	2545	2697	2927	2558	2474	2698	7847	8506	12615	7651	8392	18212	11428	13332	31307	21576	30134	17189	0	0
19	0	2164	2367	2527	2473	2444	2548	6358	6741	10297	6679	7347	15292	8671	9584	23325	16638	22795	6315	0	0
18	0	1544	1628	1653	3102	1745	1815	4048	4231	4788	5730	6512	12624	6481	7909	17044	9024	12145	12808	4789	8149
17	0	1359	1411	1407	2851	1544	1619	4588	4223	4767	4922	5191	5732	6314	6784	7821	8080	7998	10593	13704	16649
16	0	915	940	983	2244	1435	1915	5779	4035	4542	9557	5137	5626	11137	5995	5952	9398	6265	6587	9924	11880
15	0	0	873	921	1647	2036	2239	5386	4481	4723	7697	4381	4521	4400	5910	3720	4730	5650	12027	15803	17526
14	0	0	830	918	964	2794	2745	2792	5793	4249	4150	7128	3489	2982	4438	3978	4053	4728	5698	6621	7572
13	0	0	885	990	1167	3742	2667	2569	5770	3459	3489	2988	3811	2340	2145	3589	7548	4172	5273	5893	6688
12	0	0	29	1198	1216	1134	2486	2273	2241	4418	2573	2196	3247	3089	2267	3330	3532	4153	9196	10437	11600
11	0	0	0	1075	1079	1050	2876	1857	1628	1533	2654	1932	1856	1733	4862	3207	3525	3976	4211	5045	5413
10	0	0	0	109	908	872	742	2028	1352	1047	1570	2563	1584	2093	2961	5114	7068	3562	3629	4423	5008
9	0	0	0	0	642	611	564	525	1442	980	1089	1082	2404	2403	2691	3217	3620	2993	3416	6498	7760
8	0	0	0	0	0	532	509	422	587	1415	1042	951	1025	3013	3592	3214	3139	2449	3111	4106	4942
7	0	0	0	0	0	0	422	442	440	442	1358	909	1058	898	1062	3590	3596	2892	2966	3802	4514
6	0	0	0	0	0	0	59	451	452	434	418	1314	1175	933	1043	1058	997	1203	1660	2326	2524
5	0	0	0	0	0	0	0	0	428	453	455	1043	1743	3064	2167	909	928	1227	1532	2171	2377
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	332	534	1493	1859	2204	2065	1925	2469	2527	2639	2195	2328
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	200	1633	1926	2216	1728	1484	1471	1337	1483	1768	2029
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	79	2137	1542	1466	1272	1256	1441	1665	1890
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1180	1209	1320	1607	1735
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

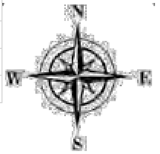
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
38	1671	2147	2661	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
37	1751	2295	2921	3170	3343	3668	108	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
36	1833	2613	3220	3269	3726	3819	4112	4681	480	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
35	3647	5242	5885	4650	3981	4201	4685	4673	4129	3807	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
34	2206	2718	2686	3105	4973	7888	5077	4835	4503	4255	4424	0	0	0	0	0	0	0	0	0
33	2570	2817	2836	3359	3416	3872	5377	8500	4587	4496	5117	5460	100	0	0	0	0	0	0	0
32	5091	7183	8934	8544	3761	4419	4409	4409	8880	5041	5163	5370	5586	0	0	0	0	0	0	0
31	5457	5708	6608	6758	9594	11340	4717	4867	5008	8996	6105	5316	5034	4271	0	0	0	0	0	0
30	6025	6803	7281	7473	8003	8116	12645	5363	4812	4607	8688	4948	4310	4054	3390	0	0	0	0	0
29	6427	7738	16324	13120	8964	8802	8871	12568	6947	4348	3855	7239	4295	4231	3689	396	0	0	0	0
28	7344	8579	9797	9849	18501	10361	9433	9206	11419	4245	3686	3549	7293	4059	3753	3659	0	0	0	0
27	16355	10406	10711	10794	11000	15867	14107	8763	8257	11003	3744	3538	4353	4029	3987	3762	238	0	0	0
26	9327	11792	23022	14016	11672	10099	14534	9682	7423	6537	8684	3635	3769	7834	4076	3715	3705	0	0	0
25	12248	13323	13907	19321	17492	10485	8851	14358	6939	6342	8647	4195	3956	5813	4807	4882	4962	0	0	0
24	28004	19903	16840	14099	17512	11179	8238	7592	11760	7146	6756	9681	4990	4903	8229	5843	6118	0	0	0
23	18384	24923	30911	15602	13217	20044	9378	9609	17618	9146	9506	15504	6086	5666	11967	6476	6054	5923	0	0
22	26871	24612	26265	21332	15041	14066	12897	11722	11604	11831	11067	14798	6335	6158	12456	6307	5702	5406	0	0
21	38179	35643	26474	40165	16983	14363	27757	13703	12451	12244	11556	11094	6912	6195	10568	5550	5379	4899	0	0
20	19467	46672	31912	44682	18673	17224	30591	14890	12882	19405	11033	9886	6560	5792	5695	5099	4856	4558	0	0
19	19512	40999	33997	51213	20795	18168	30739	14343	12035	17703	10428	9513	6736	6198	6089	5556	5124	4720	0	0
18	32174	29935	24787	45492	21058	17701	31972	14875	13232	10892	9873	9254	6119	5607	10267	5449	5286	5051	0	0
17	20028	19424	21748	19237	17878	17906	16474	14841	13940	11463	10143	13199	6115	5967	11408	5664	5233	5037	0	0
16	11244	11975	19864	12162	12812	24599	13244	13339	22379	10063	9400	15431	5949	5347	11068	5854	5397	5175	0	0
15	19762	9126	7371	7250	10294	8729	9611	9885	15746	9896	9171	13668	6448	6036	8220	5460	5443	0	0	0
14	8683	7543	6466	7277	7131	4828	6295	13337	7888	8081	12587	6427	6123	9074	6493	6303	5764	0	0	0
13	6998	7457	11990	4977	3707	3061	5639	5330	6168	6274	11626	5869	6279	12247	6204	5937	5744	0	0	0
12	13112	6160	5634	5038	3804	4981	4412	3102	4344	7584	3804	4199	6384	5990	6320	5776	272	0	0	0
11	6174	5287	5172	4789	7837	3781	3165	2604	3570	1481	2696	3011	7371	4558	5087	5573	0	0	0	0
10	5172	5100	8897	7527	4303	3829	3231	3549	1599	855	1177	3616	3207	3384	3780	561	0	0	0	0
9	5234	4747	4040	4032	4441	3853	4956	1299	907	857	1842	1494	1938	2564	2789	0	0	0	0	0
8	4727	4221	3868	3724	5124	5617	1813	1481	1148	1812	1414	1165	1502	1593	0	0	0	0	0	0
7	4538	4949	5900	4567	2468	2092	1866	1671	2952	1376	989	1156	1234	0	0	0	0	0	0	0
6	2471	1891	2126	2275	2378	2395	2344	3634	2082	1729	1370	1100	15	0	0	0	0	0	0	0
5	2356	1890	1678	2079	3288	4856	2284	2297	2064	1908	1530	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	3843	3758	3778	3505	2610	2536	2460	1998	1963	1761	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	2032	1912	2150	2345	2370	2411	2418	1973	178	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1915	1815	2027	2084	2228	2383	72	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1761	1781	1866	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

16312	12963	12605	12989	19811	17802	22055	28004	19903	16840	14099	17512	11179	8238	7592
15851	16929	27945	18878	12807	13933	15880	18384	24923	30911	15602	13217	20044	9378	9609
17243	21152	24965	21823	22223	24425	26734	26871	24612	26265	21332	15041	14066	12897	11722
17411	39627	22769	29299	31601	8517	12821	38179	35643	26474	40165	16983	14363	27757	13703
13332	31307	21576	30134	17189	0	0	19467	46672	31912	44682	18673	17224	30591	14890
9584	23325	16638	22795	6315	0	0	19512	40999	33997	51213	20795	18168	30739	14343
7909	17044	9024	12145	12808	4789	8149	32174	29935	24787	45492	21058	17701	31972	14875
6784	7821	8080	7998	10593	13704	16649	20028	19424	21748	19237	17878	17906	16474	14841
5995	5952	9398	6265	6587	9924	11880	11244	11975	19864	12162	12812	24599	13244	13339

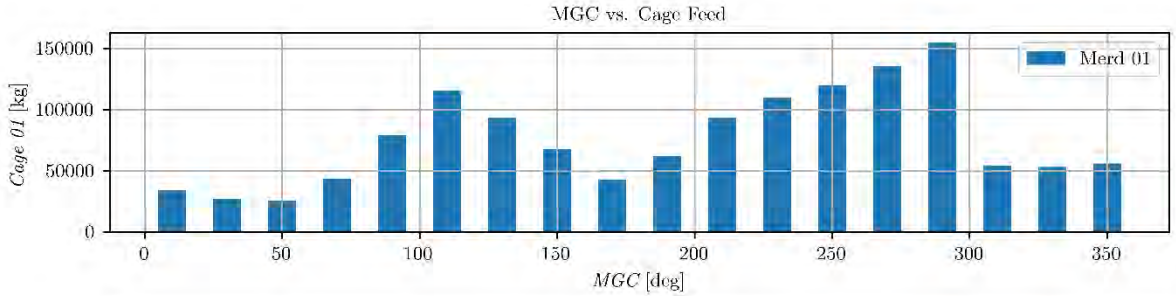
Kvadranter med 20 høyest utfôret verdier

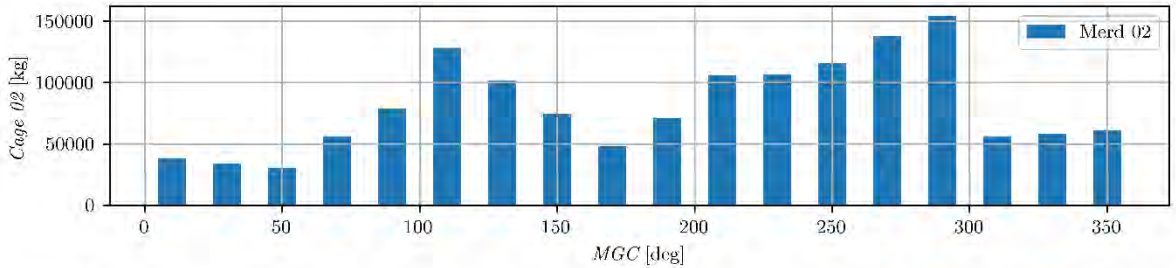
Kommentar:

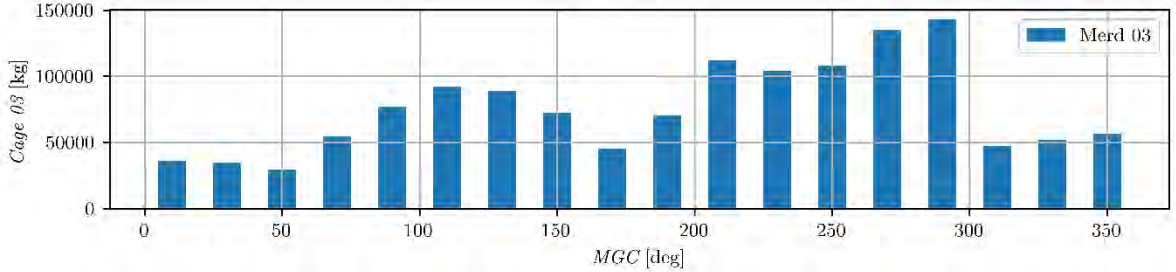
- Fôrutslipp pr kvadrant i [kg].
- Totalt utfôret i hele perioden er **7649.4 tonn**

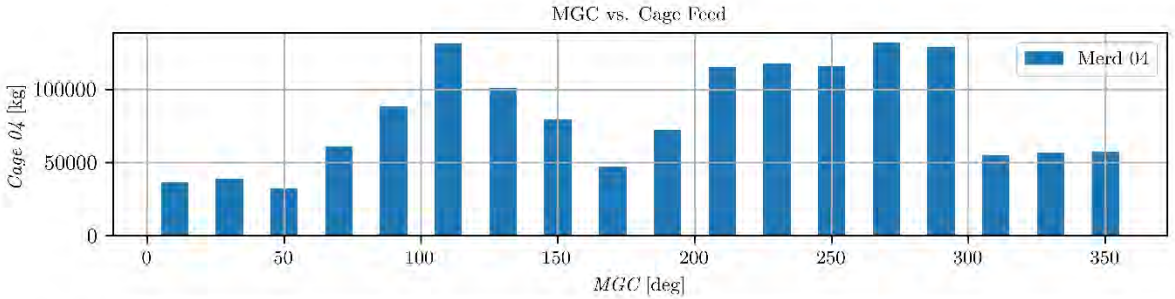


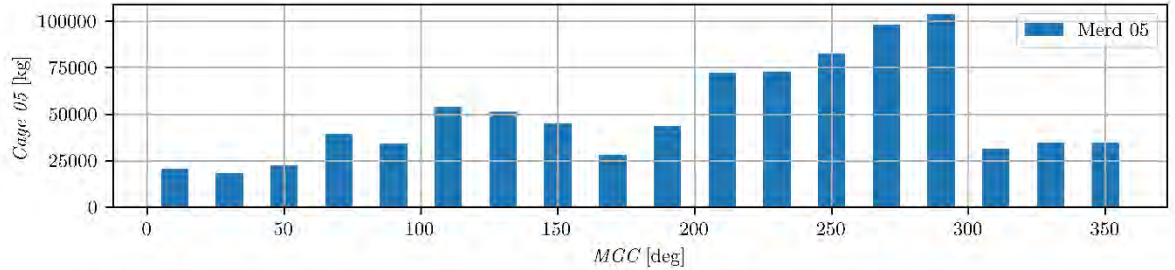
Fôrutslipp fordelt på sektorer

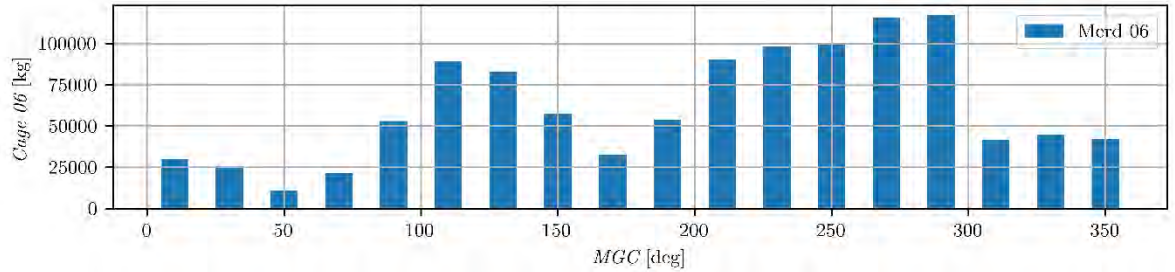












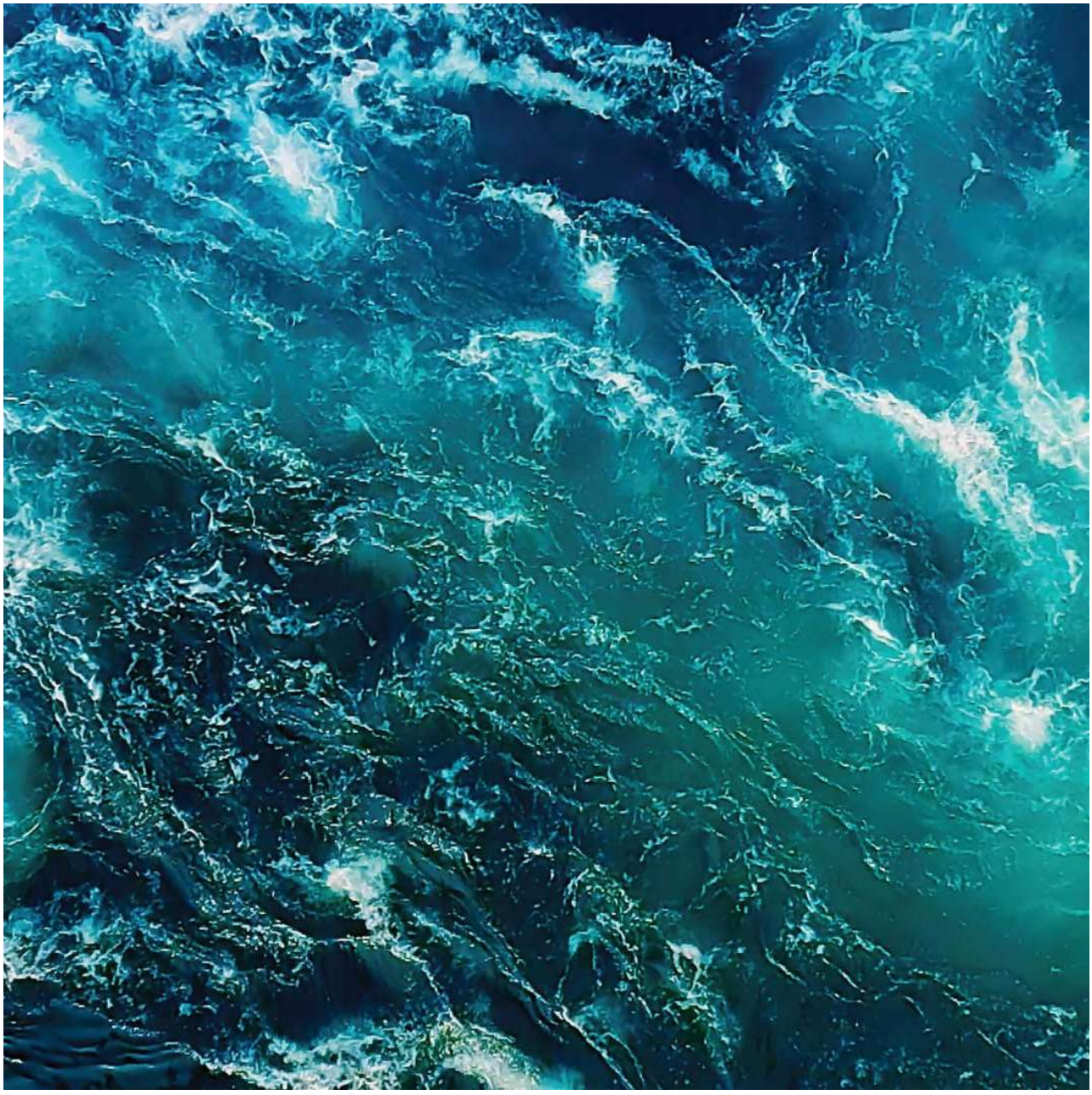
Kommentar:

- Diagram viser fôr fordelt pr sektor pr merd
- Hver sektor er 20°
- 0° /360° er nord

B-undersøkelse ved Ytre Hadseløya (39777), oktober 2021. Halv belastning.

Nordlaks Oppdrett AS

Akvaplan-niva AS Report: 2021 63536.01



Framsenteret | Postboks 6066 Stakkevollan | 9296 Tromsø | +47 777 50 300 | www.akvaplan.niva.no

Forfatter(e) Vera Remen

Dato 29.10.2021
Rapport nr. 2021 63536.01
Antall sider 26
Distribusjon Gjennom kunde

Kunde Nordlaks Oppdrett AS
Kontaktperson Remi Mathisen

Sammendrag

Det er gjennomført en B-undersøkelse på lokaliteten 39777 Ytre Hadseløya i oktober 2021. Undersøkelsen er gjennomført ved halv maksimal belastning, iht. krav i utslippstillatelse fra Statsforvalteren. Det inngikk 26 stasjoner i undersøkelsen, og det ble registrert 85 % bløtbunn og 15 % hardbunn. Av de undersøkte stasjonene ble det tilstand 1 – "Meget god" på ti stasjoner, tilstand 2 – "God" på fire stasjoner, tilstand 3 – "Dårlig" på tre stasjoner og tilstand 4 – "Meget dårlig" på ni stasjoner. Resultatene gir samlet lokalitetstilstand 2 – "God".

I henhold til vilkår i utslippstillatelse fra Statforvalteren, og Fiskeridirektoratets vedtak om overvåkingsprogram for lokaliteten, skal neste B-undersøkelse gjennomføres ved maksimal organisk belastning for inneværende generasjon, og de ni stasjonen som fikk tilstand 4 – "Dårlig" ved inneværende undersøkelse skal følges opp ved neste undersøkelsen.

Godkjenning

Vera Remen
Prosjektleder

Gyda W. Lorås
Kvalitetskontroll

©2021 Akvaplan-niva AS. The report may only be reproduced in its entirety. Copying of partial content (texts, figures, table, conclusions, etc.) or other methods of publication is only permitted after obtaining written consent from Akvaplan-niva AS.

Nøkkelinformasjon

Informasjon om anlegg og oppdragsgiver			
Lokalitetsnummer	39777	Kartkoordinater	68°30.081' N 14°35.140' Ø
Fylke	Nordland	Kommune	Hadsel
MTB-tillatelse	10 000 tonn (midlertidig tillatelse)	Kontaktperson	Remi Mathisen
Oppdragsgiver	Nordlaks Oppdrett AS		

Biomasse/produksjonsstatus ved undersøkelsesdato			
Biomasse anlegg ved undersøkelse	7378 tonn	Utfôret mengde	4363 tonn
Fiskegruppe	Laks	Produsert mengde	3969 tonn
Bakgrunnen for undersøkelsen	Angitt ved kryss	Merknad	
Maksimal organisk belastning jfr. kap 7.9	☐	Undersøkelse gjennomført ved halv maksimal organisk belastning iht. krav i utslippstillatelse fra Statsforvalteren.	
Oppfølgende undersøkelse	☐		
Halv maksimal belastning	☒		
Før nytt utsett	☐		
Krav statsforvalteren forundersøkelse	☐		
Annet	☐		
Siste brakkleggingsperiode:	03.06 – 13.07.2021		

Resultat fra B-undersøkelse iht. NS 9410:2016 (hovedresultat)			
Parametergruppe og indeks		Parametergruppe og tilstand	
Gr. II. pH/Eh	2,65	Gr. II. pH/Eh	3
Gr. III. Sensorikk	1,25	Gr. III. Sensorikk	2
GR. II + III	1,81	GR. II+ III	2
Dato feltarbeid	14 – 15.10.2021	Dato rapport	29.10.2021
Lokalitetstilstand (NS 9410:2016):			2

Innholdsfortegnelse

1 INNLEDNING 4

2 FAGLIG PROGRAM OG METODIKK 5

3 LOKALITETSBESKRIVELSE, DRIFT OG STASJONSPLASSERING 6

3.1 Lokalitetsbeskrivelse og drift 6
3.2 Nåværende og tidligere undersøkelser 7
3.3 Spredningsstrøm 7
3.4 Stasjonsopplysninger 7

4 RESULTATER 10

5 SAMMENFATTENDE VURDERING 11

6 LITTERATUR 12

7 VEDLEGG 13

7.1 Skjema (B.1 og B.2) NS 9410:2016 13
7.2 Bilder av prøver ved Ytre Hadseløya 19
7.3 Bunntopografi og 3D-visning 25

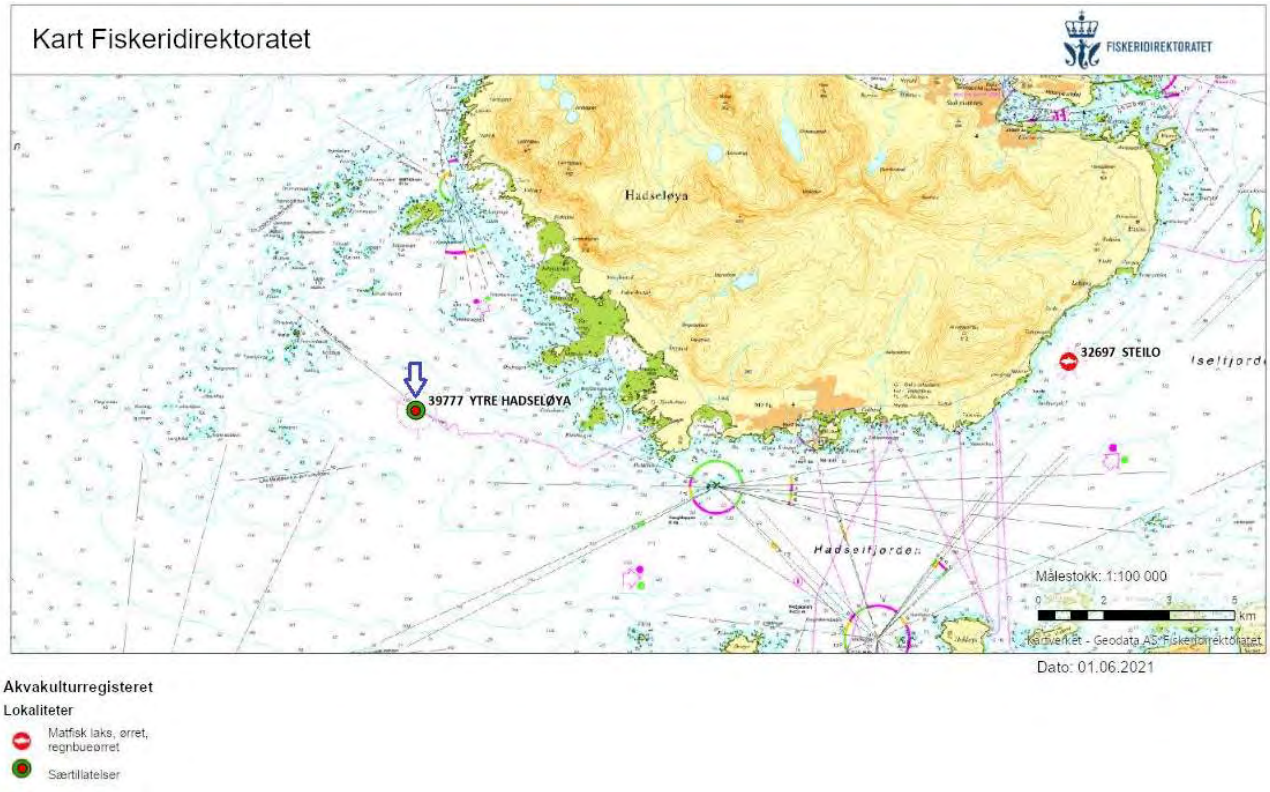
1 Innledning

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 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. Kartet er nordlig orientert. På grunn av teknisk feil på Fiskeridirektoratets kartside var det ikke mulig å få lastet ned oversiktskart av nyere dato.

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.

For B-undersøkelser på Ytre Hadseløya er det utslippstillatelse fra Statsforvalteren og vedtak om overvåkingsprogram for lokaliteten som gir føringer for antall stasjoner, og plassering av disse. Det er også krav at Fiskeridirektoratet skal godkjenne feltplanen før gjennomføring av feltarbeidet. Feltplanen for inneværende undersøkelsen ble godkjent av Fiskeridirektoratet 12.10.2021 (pers. medd. Wadsworth).

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

Følgende utstyr ble anvendt i denne undersøkelsen:
Grabb: Van Veen grabb (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
Digitalkamera

3 Lokalitetsbeskrivelse, drift og stasjonsplassering

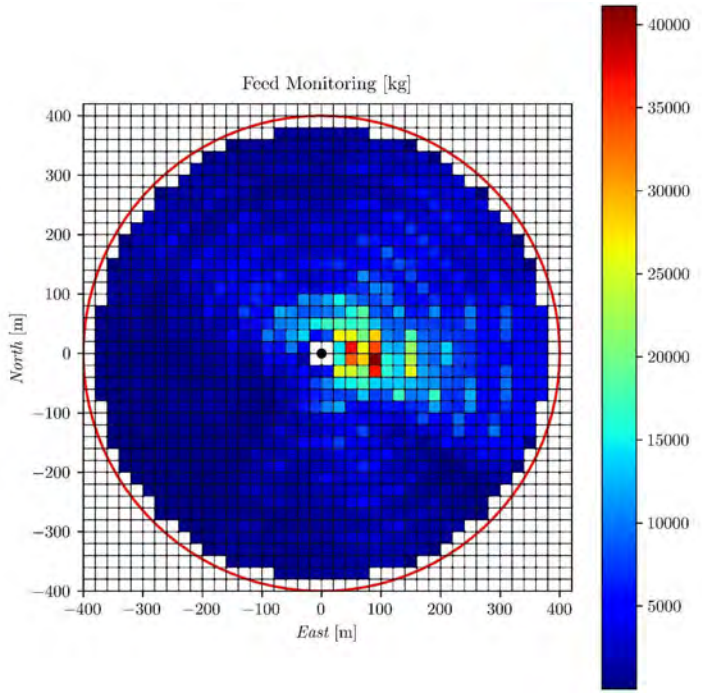
3.1 Lokalitetsbeskrivelse og drift

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, og inneværende produksjonssyklus er andre generasjon på lokaliteten. Merdene er på 50 x 50 meter, og alle hadde vært benyttet i produksjonen da undersøkelsen ble gjennomført. Det ble flyttet fisk fra Helgeneshamn til Ytre Hadseløya 13.07.2021, og da med snitt vekt på ca. 1360 gram. Ved tidspunktet for undersøkelsen var stående biomasse på 7378 tonn, med snittvekt på 3,5 kg, og totalt utfôret mengde i produksjonssyklusen lå på ca. 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 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 14. juli 2021 – 6. oktober 2021, og Tabell 2 viser produksjon og fôrforbruk for inneværende generasjon og den forutgående generasjonen (første generasjon) på lokaliteten.



Figur 2. Grafisk fremstilling av fôrforbruk per gridpunkt i perioden 14. juli – 6. 0ktober 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. Figuren er innhentet fra oppdragsgiver.

Tabell 2. Produksjon og fôrforbruk for lokaliteten Ytre Hadseløya. Data er innhentet fra oppdragsgiver.

Generasjon av fisk (G)	Produksjon (tonn)	Fôrforbruk (tonn)
Inneværende generasjon (H20)	3969	4363
Forutgående generasjon (H19)	7173	9410

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 Ytre Hadseløya.

Dato prøvetaking	Rapportnummer	Type undersøkelse	Lokalitetstilstand
14-15.10.2021	APn-63536.01 (Remen, 2021)	Halv belastning (iht. krav i utslippstillatelse fra Statsforvalteren)	2
25-26.02.2021	APn-62897.02 (Remen, 2021a)	Høyeste belastning	1
26.11.2020	APn-62637.01 (Remen, 2020)	Halv belastning (iht. krav i utslippstillatelse fra Statsforvalteren)	2
11.03.2019	APn-61043.01 (Heggem, 2019)	Ekstra prøvepunkter ifm. ny lokalitet. (iht. krav fra myndighetene)	1
27.11.2017 og 06.12.2017	APn-9238.01 (Remen, 2018)	Ny lokalitet (forundersøkelse)	1

3.3 Spredningsstrøm

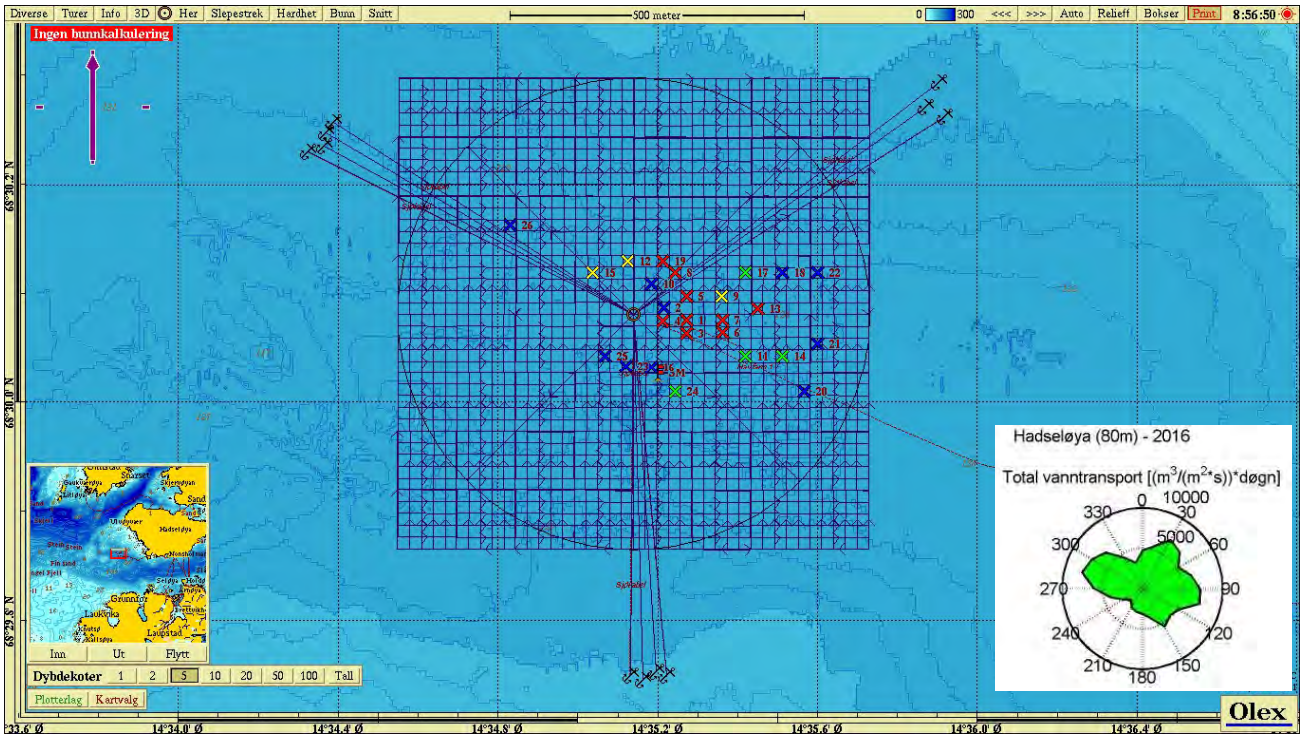
Dominerende strømretning på spredningsdyp (80 m) er noe uklart definert. Målingene ved spredningsdypet viser vanntransport mot nordvest, nordøst, øst og sørøst, med høyest vanntransport mot nordvest (285 grader). Gjennomsnittlig strømhastighet er målt til 4,7 cm/s. Høyeste strømhastighet er målt til 18,8 cm/s og 3,7 % av målingene er < 1 cm/s (Heggem, 2017).

3.4 Stasjonsopplysninger

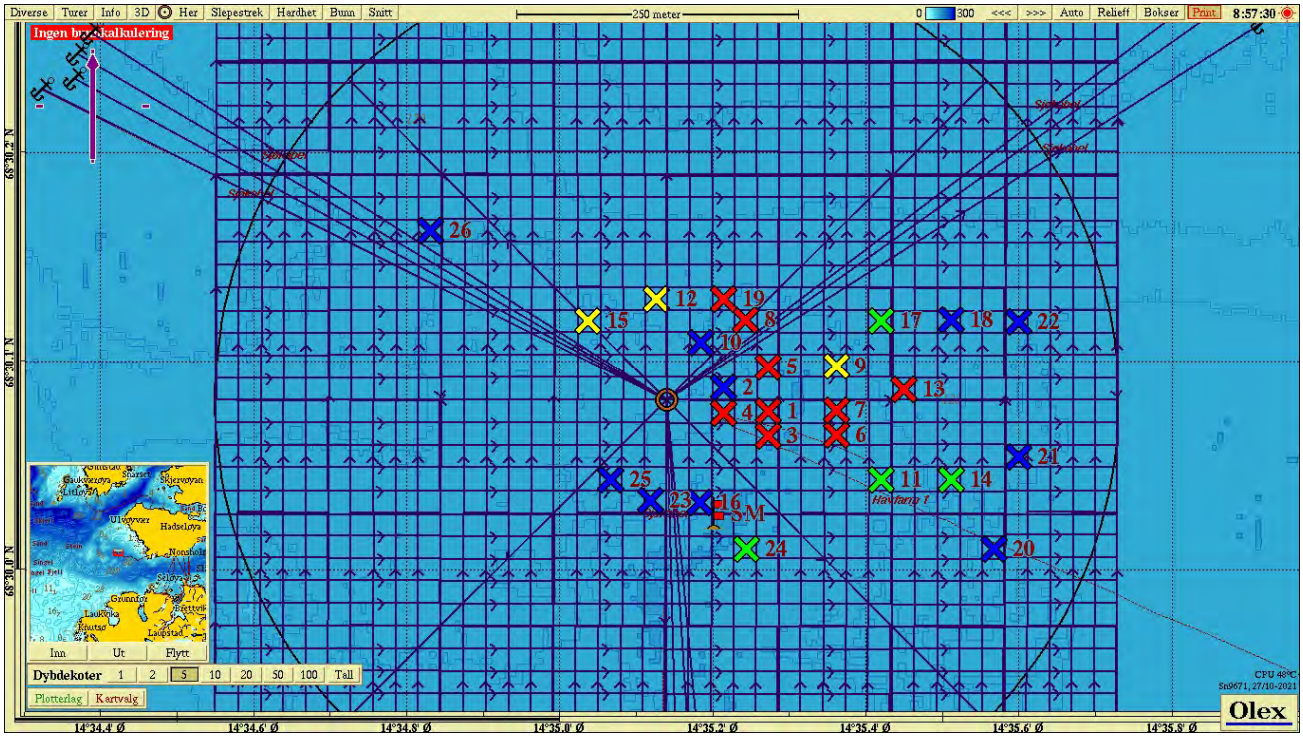
Valg av stasjonsplassering er gjort iht. utslippstillatelse fra Statsforvalteren og i samråd med Fiskeridirektoratet. Kart med stasjonene som inngikk i undersøkelsen er vist i Figur 3, med nærbilde i Figur 4. Det er plassert grid (20 x 20 meter) over anleggssirkelen, og oppdretter har laget en grafisk fremstilling av det totale forbruket av fôr per gridpunkt for perioden 14. juli 2021 – 6. oktober 2021 (Figur 2). Stasjonene ble plassert utfra hvor utfôringen hadde vært størst, og slik at et større område rundt senterpunkt ble dekket. I tillegg ble det plassert minimum to stasjoner i områdene hvor hver merd hadde hatt høyest utfôring, samt stasjoner i hovedretning for spredningsstrøm mot nordvest. Koordinater og dyp, samt utfôret mengde for gridpunktene hvor stasjonene ble plassert er vist i Tabell 4. Tabellen viser også hvilke merdområder (merdnummer) stasjonene er plassert ved.

Stasjon 12, 19, 23 og 25 ble flyttet noe på i felt for å komme klar av Havfarmen, og de nye prøvepunktene ble etter beste evne plassert i områder med tilsvarende grad av utfôring og/eller retning av senterpunkt som de opprinnelige prøvepunktene.

Det er valgt å ikke tegne inn nøyaktig plassering av Havfarmen ved undersøkelsen i figurene. Dette 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 vestlig side av senterpunktet, med dreining fra senterpunkt og mot nordvest.



Figur 3. Stasjonsoversikt. B-undersøkelse ved halv maksimal belastning, Ytre Hadseløya, oktober 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 flaggviser plassering av strømmåler.



Figur 4. Stasjonsoversikt, nærbilde. B-undersøkelse ved halv organisk belastning, Ytre Hadseløya, oktober 2021. 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 14.07 – 06.10.2021) for prøvetakningsstasjonene, samt hvilke merdnummer stasjonen er plassert ved. B-undersøkelsen, halv organisk belastning. Ytre Hadseløya, oktober, 2021.

Stasjonsnummer	Nordlig bredde	Østlig lengde	Dyp (m)	Merdnummer
1	68°30.075'	14°35.272'	137	Merd 2
2	68°30.086'	14°35.214'	132	Merd 1
3	68°30.063'	14°35.272'	138	Merd 2
4	68°30.074'	14°35.213'	135	Merd 1
5	68°30.097'	14°35.272'	137	Merd 2
6	68°30.064'	14°35.361'	139	Merd 3
7	68°30.076'	14°35.361'	138	Merd 3
8	68°30.119'	14°35.243'	136	Merd 2
9	68°30.097'	14°35.361'	139	Merd 3
10	68°30.108'	14°35.183'	134	Merd 1
11	68°30.042'	14°35.419'	136	Merd 4
12	68°30.129'	14°35.125'	133	Merd 2
13	68°30.086'	14°35.449'	134	Merd 4
14	68°30.042'	14°35.511'	135	Merd 5
15	68°30.119'	14°35.037'	129	Merd 2
16	68°30.032'	14°35.183'	139	Merd 2
17	68°30.119'	14°35.419'	134	Merd 4
18	68°30.119'	14°35.511'	134	Merd 5
19	68°30.129'	14°35.213'	135	Merd 2
20	68°30.009'	14°35.567'	135	Merd 6
21	68°30.053'	14°35.599'	134	Merd 6
22	68°30.118'	14°35.599'	135	Merd 6
23	68°30.032'	14°35.119'	134	Merd 2
24	68°30.009'	14°35.243'	140	Merd 3
25	68°30.042'	14°35.066'	125	Merd 2
26	68°30.162'	14°35.831'	130	Merd 5

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. B-undersøkelse ved halv organisk belastning, Ytre Hadseløya, oktober 2021.

Parameter	Tilstand
Gruppe II - parametere (pH/Eh) Gruppe III – parametere, (sensorisk) Gruppe II + III – parametere (middelverdi)	3 2 2
LOKALITETSTILSTAND	2

Totalt ble det tatt 35 grabbskudd fordelt på 26 stasjoner, og det ble registrert 85 % bløtbunn og 15 % hardbunn på lokaliteten. Primærsedimentet ble i hovedsak definert til å være silt, med innslag av sand, skjellsand og grus. Noen av prøvene inneholdt også noe terrestrisk materiale. På fire stasjoner var det utfordringer med hardbunn.

Ved stasjon 16, 18 og 20 - 22, 24 og 26 framsto fargen på sedimentene som naturlig, og det ble derfor gitt karakter 0 (lys/grå) på farge i B-1 skjema. Prøvematerialet på de resterende stasjoner var brun/sort.

Det ble målt pH/redoks-verdier på 22 av stasjonene, og av disse var det lave pH- og redoksverdier på 12 av stasjonene. På stasjon 2 var det hardbunn/fjellbunn, og ikke mulig å måle pH- og redoksverdier fordi det var for lite sediment i grabb på begge forsøkene. Her ble gruppe II parameterne satt som "ut" i B.1 skjema, og det ble gjort en vurdering av gruppe III parameterne.

På stasjon 10 og 23 var det utfordringer med steinbunn, og pga. stein i grabbkjeften rant alt sediment ut av grabben slik at det ikke var mulig å måle gruppe II parameterne eller gjøre vurdering av gruppe III. Her ble gruppe II parameterne satt som "ut" i B.1 skjema, og det ble ikke gjort en vurdering av gruppe III parameterne.

På stasjon 25 var det ved det siste forsøk på å hente opp sediment kun vann i grabben, og derfor ble gruppe II parameterne satt som blank for denne stasjonen i B.1 skjema.

Det ble registrert dyr på alle bløtbunnsstasjonene. Børstemark var dominerende dyregrupper, men det ble også registrert forekomster av skjell.

Registrering av lukt i prøvene er basert på lukten i øverste laget i prøvematerialet. I prøvematerialet på 14 av stasjonene ble det registrert noe avvikende lukt, og på de resterende 12 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.

Det ble ikke observert gassbobler, bakteriebelegg, fôrrester eller fekalier på noen av stasjonene.

Av de undersøkte stasjonene ble det tilstand 1 – "Meget god" på ti stasjoner, tilstand 2 – "God" på fire stasjoner, tilstand 3 – "Dårlig" på tre stasjoner og tilstand 4 – "Meget dårlig" på ni stasjoner.

Samlet tilstand for lokaliteten ble 2 – "God".

5 Sammenfattende vurdering

Ut fra vurderingskriteriene i NS 9410:2016 er det dokumentert at lokaliteten Ytre Hadseløya på prøvetidspunktet fikk tilstand 2 – "God".

Foreliggende undersøkelse ble gjennomført iht. krav i utslippstillatelse fra Statsforvalteren og Fiskeridirektoratets vedtak om overvåkingsprogram for lokaliteten.

Det ble totalt gjennomført 35 grabbskudd med Van Veen grabb (0,01 m^2), fordelt på 26 stasjoner. Prøvepunktene ble plassert innenfor anleggssirkelen, og stasjonsplassering samt feltplan ble godkjent av Fiskeridirektoratet i forkant av feltarbeidet.

Undersøkelsen ble gjennomført ved halv organisk belastning, og utfôret mengde lå på ca. 50 %. Resultatene viser at av de undersøkte stasjonene ble det tilstand 1 – "Meget god" på ti stasjoner, tilstand 2 – "God" på fire stasjoner, tilstand 3 – "Dårlig" på tre stasjoner og tilstand 4 – "Meget dårlig" på ni stasjoner.

I henhold til NS 9410:2016 kap. 7.10 defineres Ytre Hadseløya som en bløtbunnslokalitet med 85 % bløtbunn og 15 % hardbunn.

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 den 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).

Fra et miljømessig synspunkt og i henhold til metodikk er det registrert organisk belastning fra oppdrettsvirksomheten på deler av anleggsområdet. Resultatene viser særlig belastning i områdene for stasjonene som ligger i nordlig og østlig retning for senterpunktet, og det er markant høyest belastning (tilstand 4) på stasjoner som er plassert innenfor områder hvor merd 1 – 4 har beveget seg. Dette kan trolig sammenfalle med at det er i disse områdene og merdene utfôringen har vært størst.

Forrige B-undersøkelse ved halv organisk belastning på Ytre Hadseløya ble gjennomført i november 2020, og lokaliteten fikk da tilstand 2 – "God" (Remen, 2020). Sammenlignet med inneværende undersøkelse er lokalitetstilstanden nå uendret. Det som skiller de to undersøkelsene er at tilstanden på stasjonene ved inneværende undersøkelse er innenfor intervallet 1- "Meget god" til 4 – "Meget dårlig", mens det ved forrige undersøkelse var innenfor 1 – "Meget god" til 3 – "Dårlig". Dette innebærer at tilstanden på enkelte stasjoner er dårligere nå enn ved undersøkelsen i 2020. Begge undersøkelsene er gjennomført på omtrent samme tidspunkt i produksjonssyklusen, og er dermed sammenlignbare.

Lokaliteten gis tilstand 2 – "God". I henhold til utslippstillatelse fra Statsforvalteren og Fiskeridirektoratets vedtak om overvåkingsprogram for lokaliteten, skal neste B-undersøkelse gjennomføres ved maksimal organisk belastning for inneværende generasjon, og de ni stasjonen som fikk tilstand 4 – "Dårlig" ved inneværende undersøkelse skal følges opp ved neste undersøkelse.

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.
- Remen, V., 2021a. Nordlaks Oppdrett AS. B-undersøkelse, 39777 Ytre Hadseløya, 2021. Høyeste belastning. APn-62897.02.
- Velvin, R., Remen, V. & Guneriussen, A., 2018. Nordlaks Oppdrett AS. C-undersøkelse på oppdrettslokaliteten Ytre Hadseløya, 2017. APn-9239.01.
- Pers medd. Remi Mathisen, Prosjektleder, Nordlaks Oppdrett AS.
- Pers. medd. Silje Wadsworth, Kvalitetsleder – Fiskehelse og Miljø / Nordlaks Group, Nordlaks Oppdrett AS.
- Utslippstillatelse fra Statsforvalteren Ytre Hadseløya, 2019. Saksnummer 2015/47.
- Utslippstillatelse fra Statsforvalteren Ytre Hadseløya, 2020. Innvilget søknad om endringer av vilkår. Referansenummer 2020/6490.
- Vedtak om overvåkingsprogram for lokalitet 39777 Ytre Hadseløya, 2021. Fiskeridirektoratet referansenummer: 18/9357.
- www.fiskeridir.no

7 Vedlegg

7.1 Skjema (B.1 og B.2) NS 9410:2016

Prøveskjema B.1

Firma:	Nordlaks Oppdrett AS	Dato:	14-15.10.21
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	H	B	B	B	B	B	B	B	H
I	Dyr > 1mm		Ja (0) Nei (1)	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
II	pH		verdi	6,41	ut	6,18	6,45	6,59	6,47	6,22	6,50	6,83	ut
	Eh (mV)		ORP	-261	ut	-279	-280	-281	-264	-268	-261	-241	ut
			med ref. verdi	-61		-79	-80	-81	-64	-68	-61	-41	
	pH/Eh		fra figur	5	ut	5	5	5	5	5	5	3	ut
		Tilstand, prøve		4	ut	4	4	4	4	4	4	3	ut
			Buffer-temp	8,0 C			Sjø-temp	9,2 C		Sediment-temp		C	
		pH sjø	7,81	ORP sjø	158 mV		Eh sjø	358 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
			Brun/sort (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)		0								0
			Myk (2)	2		2	2	2	2	2	2	2	
			Løs (4)										
	Grabb-volum (v)		v < 1/4 (0)		0								0
			1/4 < v < 3/4 (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	8,0	2,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	0,0
			Korrigert (*0,22)	1,8	0,4	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	0,0
		Tilstand prøve		2	1	2	2	2	2	2	2	2	1
	Middelverdi gruppe II og III			3,4	0,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	2,4	0,0
		Tilstand prøve		4	1	4	4	4	4	4	4	3	1

Grabb ID	K-6
pH / Eh ID	23

side 1 av 8 sider

Prøveskjema B.1

Firma:	Nordlaks Oppdrett AS
Lokalitet:	Ytre Hadseløya
Prøvetakingsansvarlig:	Vera Remen

Dato:	14-15.10.21
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	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	7,31	6,99	6,79	7,30	7,00	7,43	7,48	7,58	6,62	7,46
	Eh (mV)		verdi	-165	-224	-251	-188	-283	-136	-108	23	-292	29
			med ref. verdi	35	-24	-51	12	-83	64	92	223	-92	229
	pH/Eh		fra figur	1	3	5	2	3	1	1	0	5	0
	Tilstand prøve			1	3	4	2	3	1	1	1	4	1
				Buffer-temp	8,0 C		Sjø-temp	9,2 C		Sediment-temp		0,0 C	
		pH sjø	7,81	ORP sjø	158 mV		Eh sjø	358 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
			Brun/sort (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)										
			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	8,0	8,0	8,0	6,0	8,0	4,0	8,0	4,0	8,0	4,0
			Korrigert (*0,22)	1,8	1,8	1,8	1,3	1,8	0,9	1,8	0,9	1,8	0,9
			Tilstand prøve	2	2	2	2	2	1	2	1	2	1
	Middelverdi gruppe II og III			1,4	2,4	3,4	1,7	2,4	0,9	1,4	0,4	3,4	0,4
	Tilstand prøve			2	3	4	2	3	1	2	1	4	1

Grabb ID	K-6
pH / Eh ID	23

side 2 av 8 sider

Prøveskjema B.1

Firma:	Nordlaks Oppdrett AS	Dato:	14-15.10.21
Lokalitet:	Ytre Hadseløya	Lokalitetsnr:	39777
Prøvetakingsansvarlig:	Vera Remen		

Gr	Parameter	Poeng	Prøvepunkt										Indeks	
			21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	B%	H%
	Bunntype: B (bløt) eller H (hard)		B	B	H	B	H	B					85	15
I	Dyr > 1mm	Ja (0) Nei (1)	0	0	1	0	1	0						
II	pH	verdi	7,47	7,51	ut	7,13		7,55						
	Eh (mV)	verdi	-60	-22	ut	-216		-62						
		med ref. verdi	140	178		-16		138						
	pH/Eh	fra figur	0	0	ut	2	0	0						2,65
		Tilstand prøve	1	1	ut	2	1	1						
		Tilstand, gruppe II	3	Buffer-temp	8,0 C		Sjø-temp	9,2 C		Sediment-temp	0,0 C			
		pH sjø 7,81	ORP sjø	158 mV		Eh sjø	358 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)			0		0							
		Myk (2)	2	2		2		2						
		Løs (4)												
	Grabb-volum (v)	v < 1/4 (0)			0		0							
		1/4 < v < 3/4 (1)												
		v > 3/4 (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	0,0	4,0	0,0	4,0						
		Korrigert (*0,22)	0,9	0,9	0,0	0,9	0,0	0,9						1,25
		Tilstand prøve	1	1	1	1	1	1						
		Tilstand gruppe III	2											
		Middelverdi gruppe II og III	0,4	0,4	0,0	1,4	0,0	0,4						1,81
		Tilstand prøve	1	1	1	2	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-6
pH / Eh ID	23

side 3 av 8 sider

Prøveskjema B.2

Firma:	**Nordlaks Oppdrett AS**	**Dato:**	**14-15.10.21**
Lokalitet:	**Ytre Hadseløya**	**Lokalitetsnr:**	**39777**
Prøvetakingsansvarlig:	**Vera Remen**		

Prøvepunkt		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Dyp (m)		137	132	138	135	137	139	138	136	139	134
Antall forsøk		2	2	1	2	1	1	1	2	1	2
Bobling (i prøve)											
Sedimenttype	**Leire**										
	Silt	X		X	X	X	X	X	X	X	
	Sand	(X)	(X)	(X)	(X)	(X)	(X)	(X)	(X)	(X)	
	Grus										
	Skjellsand	(X)		(X)	(X)	(X)	(X)	(X)	(X)	(X)	
Fjellbunn			X								
Steinbunn											X
Pigghuder, antall											
Krepsdyr, antall											
Skjell, antall											
Børstemark, antall		50		100+	100+	100+	100+	100+	30	100+	
Andre dyr, totalt antall											
Beggiatoa											
Fôr											
Fekalier											

Kommentar

Mye strøm og vind, samt båt uten DP, ga utfordringer i å holde posisjon. Gjorde ett forsøk med 0,04m² grabb på st. 1, men pga. utfordringen nevnt over ble det for liten tyngde i denne grabben til å nå bunnen før vi drev ut av posisjon. Det ble derfor valgt å bruke 0,1m² grabb, som hadde mer tyngde og dermed sank hurtigere ned mot bunnen. Prøvematerialet på **st. 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8 og 9** hadde brun/sort unaturlig farge i øverste laget av sedimentet, og olivengrønn farge under. Derfor er det satt karakter 2 (brun/sort) på farge. **St 1:** Slimete overflatelag. noe terrestrisk materiale. **St 2:** Skrap frafjell på begge forsøk. ikke nok til å måle pH/Eh, men vurdert gr.III. **St 3:** Noe terrestrisk materiale. **St 4 og 8:** første forsøk; kun vann. Neste forsøk; ok. **St 5 og 6:** noe terrestrisk materiale. **St 9:** Noe terrestrisk materiale. Noe tang. **St 10:** Stein i grabbkjeften på begge forsøk. sedimentet hadde lekket ut av grabb.

Grabb	**Areal [m²]**	0,1	**Grabb ID**	K-6

Prøveskjema B.2

Firma:	**Nordlaks Oppdrett AS**	**Dato:**	**14-15.10.21**
Lokalitet:	**Ytre Hadseløya**	**Lokalitetsnr:**	**39777**
Prøvetakingsansvarlig:	**Vera Remen**		

Prøvepunkt		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Dyp (m)		136	133	134	135	129	139	134	134	135	135
Antall forsøk		1	1	1	1	1	1	1	2	2	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)	(X)
Fjellbunn											
Steinbunn											
Pigghuder, antall											
Krepsdyr, antall											
Skjell, antall									10		20
Børstemark, antall		100+	100+	100+	100+	50	100+	100+	100+	100+	100+
Andre dyr, totalt antall											
Beggiatoa											
Fôr											
Fekalier											

Kommentar

St. 12 og 19 ble flyttet på i felt, for å komme klar av havfarmen. Prøvematerialet på **st. 11, 12, 13, 14, 15, 17 og 19** hadde brun/sort unaturlig farge i øverste laget av sedimentet, og olivengrønn farge under. Derfor er det satt karakter 2 (brun/sort) på farge. Prøvematerialet på **st. 16, 18 og 20** hadde naturlig farge. Derfor er det satt karakter 0 (lys/grå) på farge. **St 11 og 14:** Noe terrestrisk materiale. **St 16:** Noe småstein. **St 18:** Første forsøk; skrap fra fjell. Andre forsøk; ok. Noe lukt i nedre lag, men dette regnes som naturlig for denne type sediment og er dermed ikke tatt med i vurderingen av karakter på lukt for denne stasjonen (jfr. tidligere undersøkelser på lokaliteten). **St 19:** Første forsøk; kun vann. Andre forsøk; ok. **St 20:** Noe lukt i nedre lag, men dette regnes som naturlig for denne type sediment og er dermed ikke tatt med i vurderingen av karakter på lukt for denne stasjonen (jfr. tidligere undersøkelser på lokaliteten).

Grabb	**Areal [m²]**	0,1	**Grabb ID**	K-6

Prøveskjema B.2

Firma:	Nordlaks Oppdrett AS	Dato:	14-15.10.21
Lokalitet:	Ytre Hadseløya	Lokalitetsnr:	39777
Prøvetakingsansvarlig:	Vera Remen		

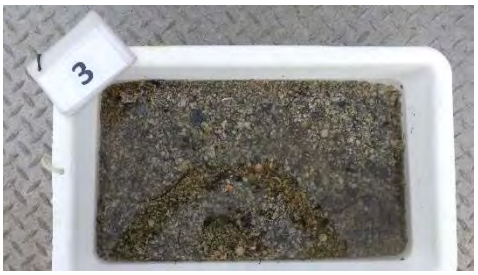
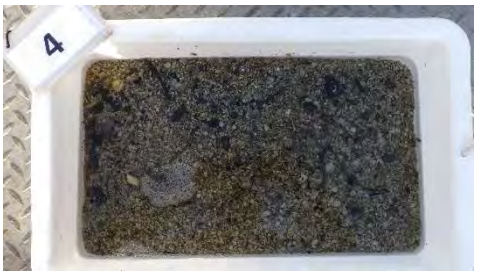
Prøvepunkt		21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Dyp (m)		134	135	134	140	125	130				
Antall forsøk		1	1	2	1	2	1				
Bobling (i prøve)											
Sedimenttype	Leire										
	Silt	X	X		X		X				
	Sand	(X)	(X)		(X)		(X)				
	Grus										
	Skjellsand										
Fjellbunn											
Steinbunn				X		X					
Pigghuder, antall											
Krepsdyr, antall											
Skjell, antall		10	15		20		60				
Børstemark, antall		100+	100+		100+		100+				
Andre dyr, totalt antall											
Beggiatoa											
Fôr											
Fekalier											

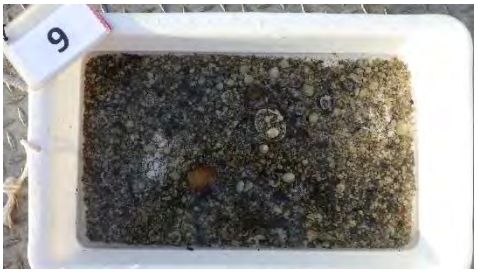
Kommentar

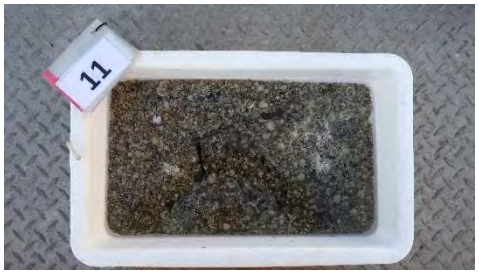
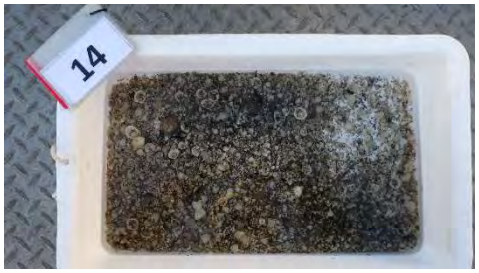
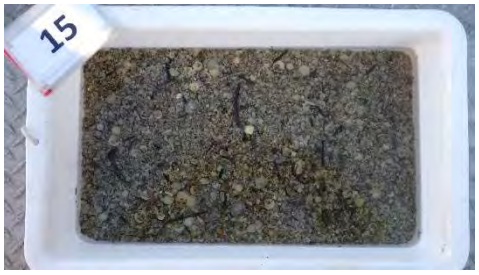
St. 23 og 25 ble flyttet på i felt for å komme klar av havfarmen. Prøvematerialet på **st. 21, 22, 24 og 26** hadde naturlig farge. Derfor er det satt karakter 0 (lys/grå) på farge. På **stasjon 21, 22, 24 og 26** var det noe lukt i nedre lag, men dette regnes som naturlig for denne type sediment og er dermed ikke tatt med i vurderingen av karakter på lukt for denne stasjonen (jfr. tidligere undersøkelser på lokaliteten). **St 23:** Stein i grabbkjeften på begge forsøk. sedimentet hadde lekket ut av grabb. Stein datt ut av grabbkjeften da grabb skulle opp på dekk. Stasjonen ble satt som hardbunn og steinbunn. Det var ikke mulig å måle pH/Eh, og heller ikke mulig å gjøre vurderinger av gr. III. **St 25:** Første forsøk; stein grabbkjeften og sediment hadde rent ut. Steinen datt ut av grabbkjeften da grabb skulle opp på dekk. Andre forsøk; kun vann. Stasjonen ble satt som hardbunn og steinbunn. Det var ikke mulig å måle pH/Eh, og heller ikke mulig å gjøre vurderinger av gr. III.

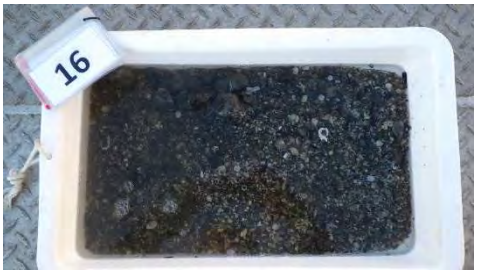
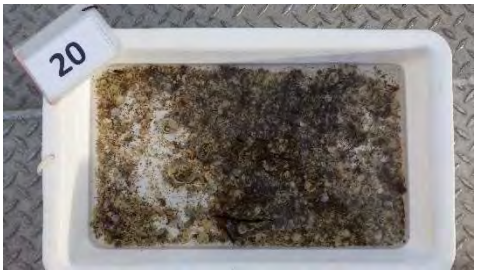
Grabb	Areal [m²]	0,1	Grabb ID	K-6
Signatur prøvetakingsansvarlig:	Vera Remen			side 6 av 8 sider

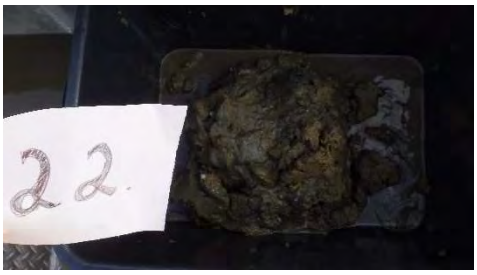
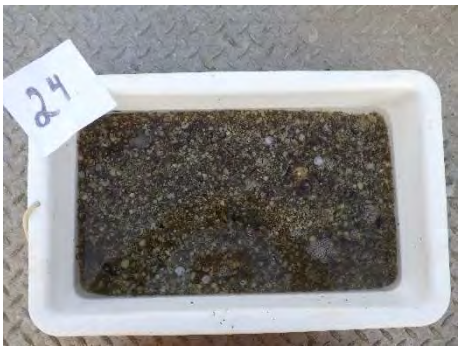
7.2 Bilder av prøver ved Ytre Hadseløya

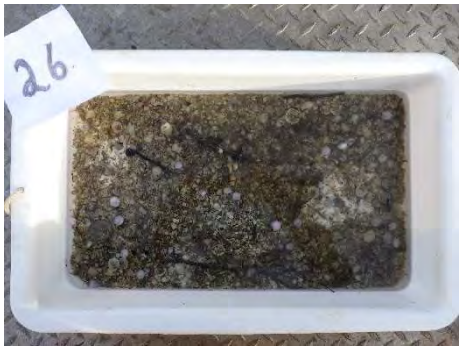
St	Bilde før sikting	Bilde etter sikting
1		
2		Ingen bilde
3		
4		
5		

St	Bilde før sikting	Bilde etter sikting
6		
7		
8		
9		
10	Ingen bilde	Ingen bilde

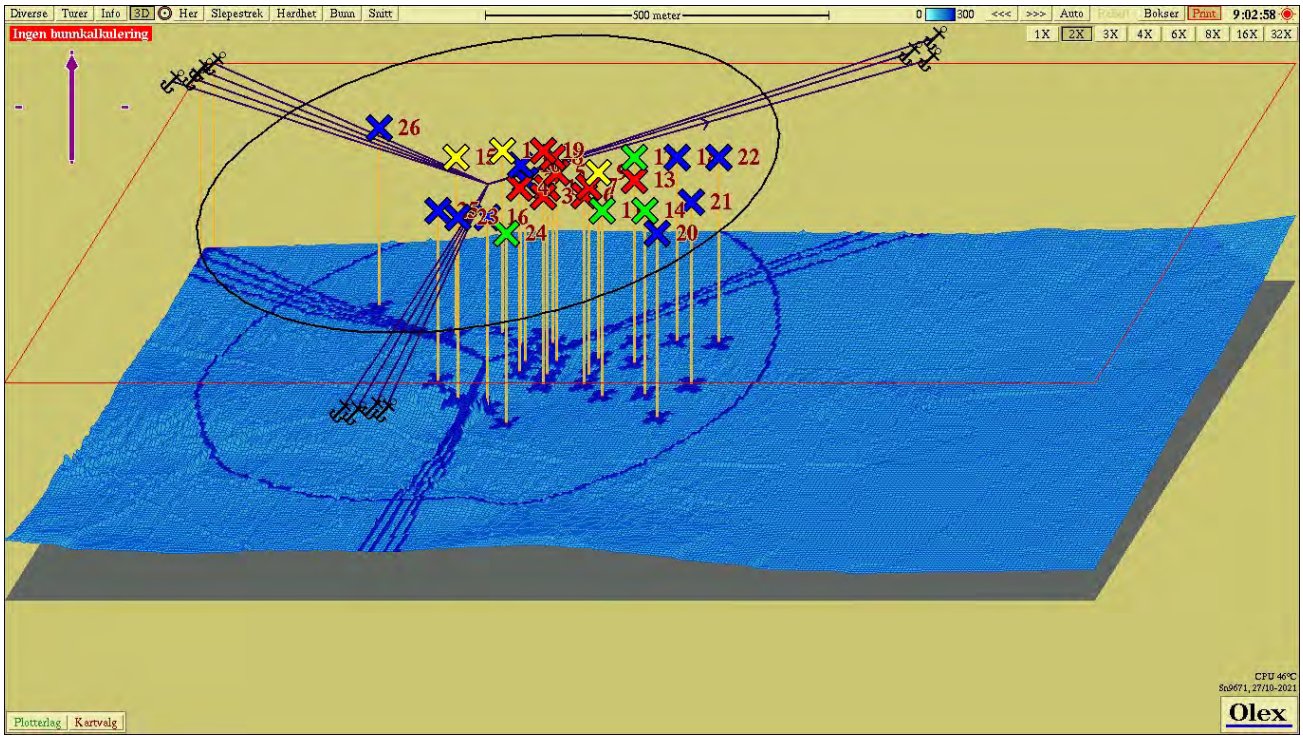
St	Bilde før sikting	Bilde etter sikting
11		
12		
13		
14		
15		

St	Bilde før sikting	Bilde etter sikting
16		
17		
18		
19		
20		

St	Bilde før sikting	Bilde etter sikting
21		
22		
23	Ingen bilde	Ingen bilde
24		
25	Ingen bilde	Ingen bilde

St	Bilde før sikting	Bilde etter sikting
26		

7.3 Bunntopografi og 3D-visning



Figur 5. 3-D visning av bunntopografi. B-undersøkelse ved halv organisk belastning, Ytre Hadseløya, oktober 2021. Nummererte stasjoner gjengitt i Figur 3 og Tabell 4.