

Teknisk Notat

**For Salmar Farming AS
Seterneset – Marine Donut - Sammenligning av
fullskalamålinger mot analysemetodikk i
forankringsanalyse**

Tittel:				
Teknisk Notat				
Salmar Farming AS - Seterneset – Marine Donut - Sammenligning av fullskalamålinger mot analysemetodikk				
Referanseperson:			Kunde:	
Steingrim Holm			Salmar Farming AS	
Vår ref.			Organisatorisk enhet:	
Kasper Wåsjør			Scale Aquaculture AS, Trondheim	
Sammendrag: Dette notatet sammenligner fullskalamålinger fra Marine Donut på Seterneset med resultater fra analysemodellen brukt i forankringsanalysen. Målinger av strøm, bølger, vind og laster i hanefot er utført over ett år, med særlig fokus på to utvalgte perioder. Maksimal målt strøm var 36,2 cm/s og maksimal signifikant bølgehøyde 1,0 m. De målte lastene i hanefot var lavere enn de beregnede verdiene fra analysemodellen, med avvik på 23–168 %. Analysemodellen gir dermed konservative estimater sammenlignet med faktiske målinger. Bølger er hovedbidragsyter til last, men strøm og bølge/strømretninger har også betydning. Forskjeller mellom modell og måling er diskutert i kap. 5. og kan blant annet skyldes ulike forankringstype i forsøk og fullskala, variasjon i sjøtilstand og få modellforsøk ved lave bølgehøyder. Metodikken i forankringsanalysene vurderes som valid, og gir trygge marginer for dimensjonering av forankringssystemet. Modellforsøk er idealisert med hensyn til miljøtilstander, og notatet viser godt at samvirket mellom prosjektering og modelltester fungerer godt og gir gode rammer for design.				
Marine Donut - Sammenligning av fullskalamålinger mot analysemetodikk			☒ Ingen distribusjon uten tillatelse fra Kunde	
Revisjon:	Dato	Beskrivelse	Skrevet av	Kontroll
1.0	04.11.2025	Første versjon	KW	MS
2.0	23.12.2025	Lagt til sammenligning av målt og beregnet endring i posisjon	KW	MS

INNHold

1.	Bakgrunn	4
1.1.	Bakgrunn	4
2.	Beskrivelse av fullskalamålinger og resultater.....	5
2.1.	Måleperiode 1: 3.januar 2025, kl.00.00 til 09.00	8
2.2.	Måleperiode 2: 5. mars 2025 kl 00.00 – 6 mars 2025 kl 17.00.	11
2.3.	Oppsummering fullskalamålinger	17
3.	Analysemetodikk forankringsanalyse	19
4.	Beregninger	20
4.1.	Periode 1	20
4.2.	Periode 2	21
5.	Oppsummering og Konklusjon	22
6.	Referanser	23
6.1.	Generelle referanser.....	23

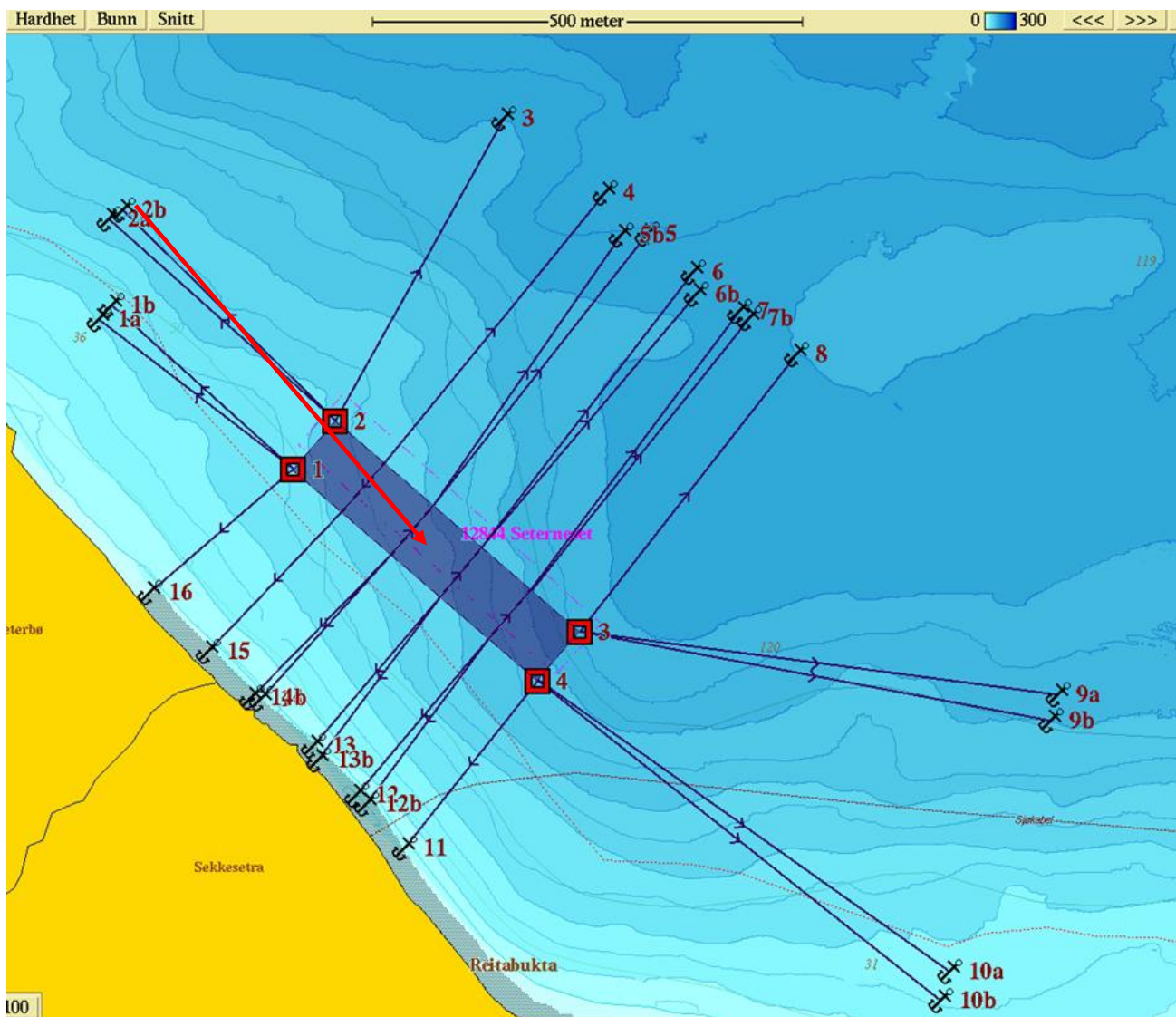
1. BAKGRUNN

1.1. Bakgrunn

ScaleAQ har tidligere analysert forankringssystemet på lokalitet Seterneset der Marine Donut er inkludert, Ref /G1/. På grunn av konstruksjonens kompleksitet ble det benyttet modellforsøk for bestemmelse av lastvirkning mot forankringssystemet med ulike belastninger, ref /G2/.

Etter installasjon har Salmar Farming monitorert oppførselen til Marine Donut fra mai 2024 til mai 2025. Det er hentet ut strøm på 5 og 15 meter, bølgestatistikk samt vind fra vindmåler. I tillegg er det fra Salmar Farming valgt ut hendelser ved to ulike perioder der det er presentert lastvirkning i et hanefotsett, posisjon og akselerasjoner.

Dette notatet presenterer målte verdier fra fullskalamålinger samt en etterberegning med lik metodikk som benyttet i forankringsanalyse for å kontrollere validitet til valgt metodikk for lastpåvirkning.

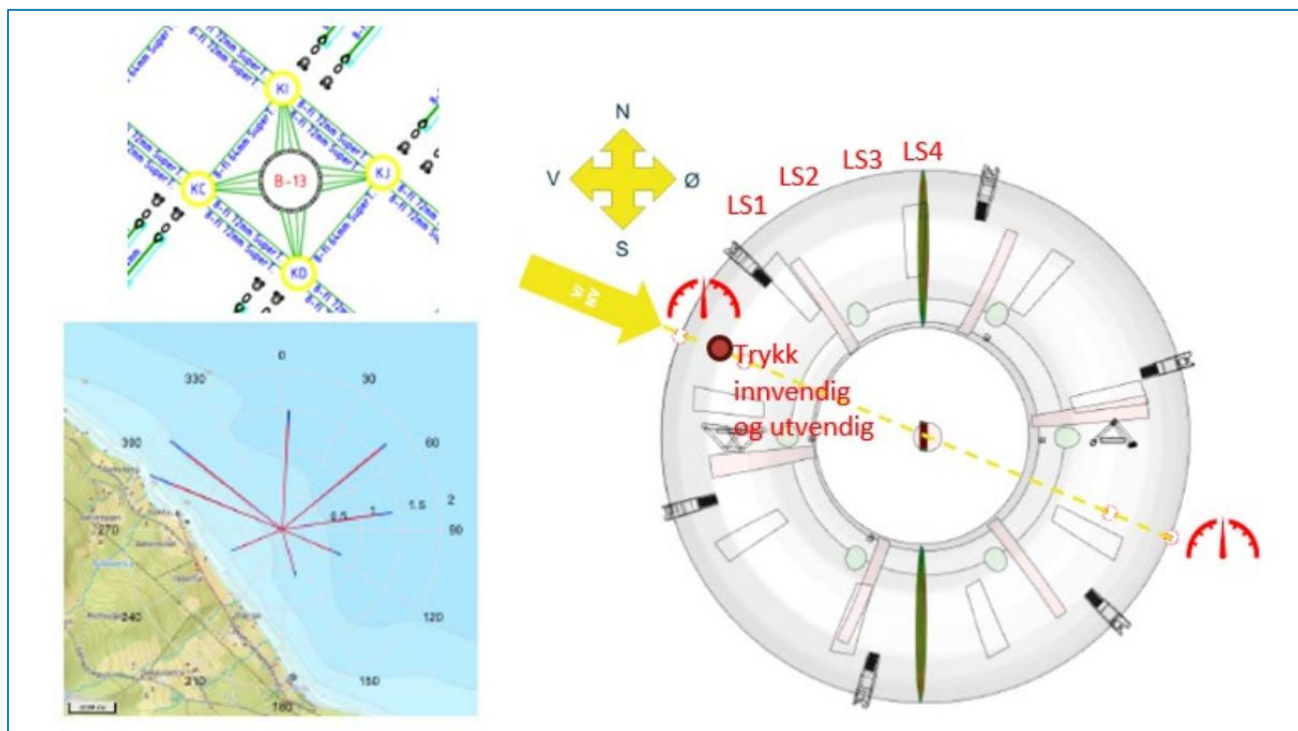


Figur 1: Lokalitet Seterneset – Marine Donut - Sammenligning av fullskalamålinger mot analysemetodikk,

2. BESKRIVELSE AV FULLSKALAMÅLINGER OG RESULTATER

Oppsett for fullskalamålingene som er utført er beskrevet i Ref /G3/. Rådata for strøm, bølger og vind er mottatt fra kunde.

I tillegg til strøm og bølgemålinger på lokaliteten er det målt laster i ett sett med haneføtter med totalt 4 parter, samt akselerasjonsdata og posisjonshistorikk.



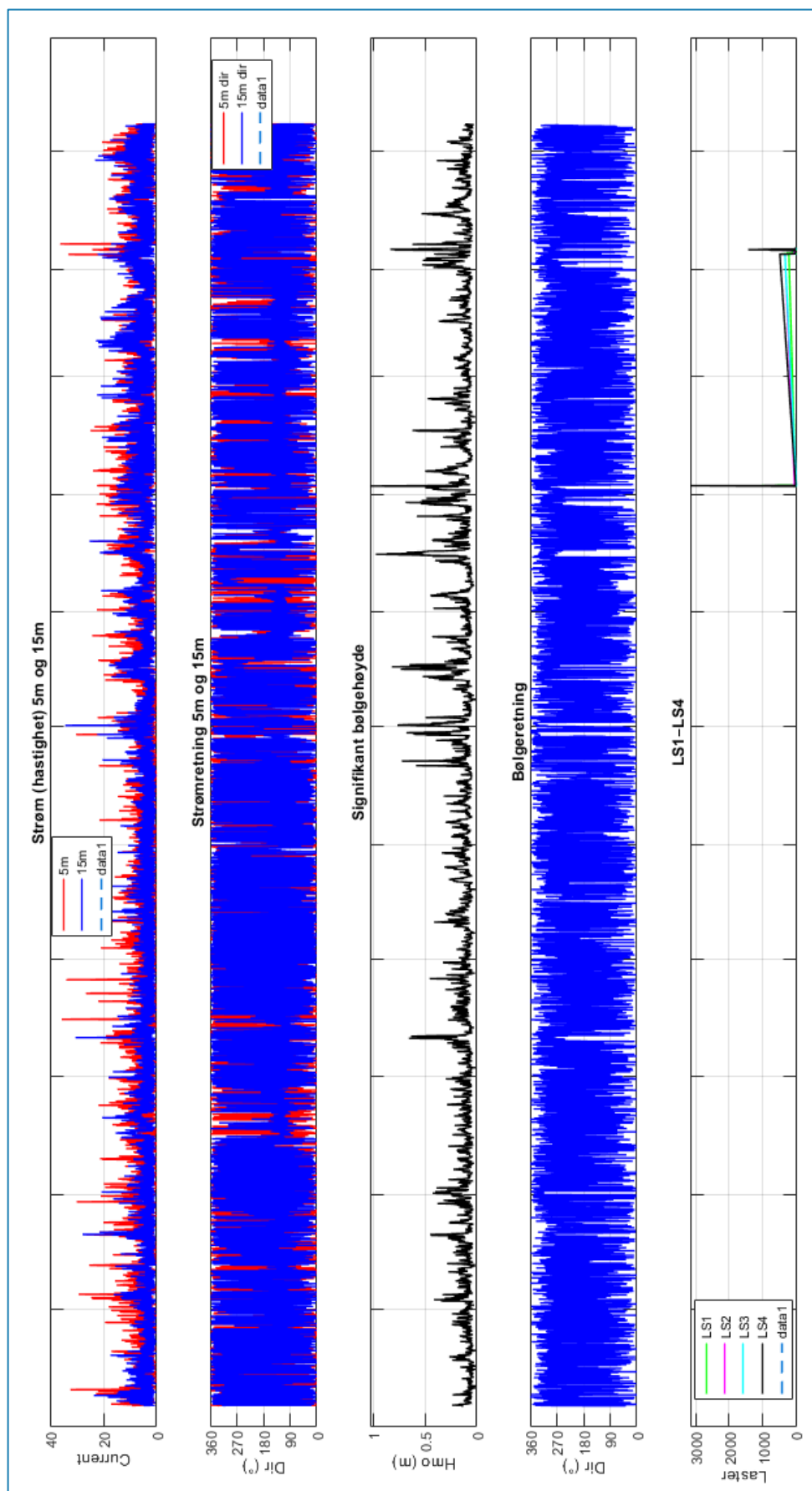
Figur 2: Plassering av sensorer på Marine Donut, Ref /G3/.

Laster, akselerasjoner og posisjonshistorikk er mottatt for to perioder:

- 3.januar 2025, kl.00.00 til 09.00
- 5. mars 2025 kl 00.00 – 6 mars 2025 kl 17.00.

Historikk for bølger, strøm og vind er mottatt for hele måleperioden.

Data er visualisert i Figur 3. Denne viser at mottatte data for laster i hanefot samsvarer med høyeste måle bølgeperiode på lokaliteten.



Figur 3 Måldata for strøm og bølger. Periode med mottatt data for laster vist i nederste graf.

Fra målingene over et år kan man lese ut følgende:

- Maks målt strøm 5 meter: 36.2cm/s
- Maks målt strøm 15 meter: 34.3cm/s
- Maks signifikant bølgehøyde: 1.0m

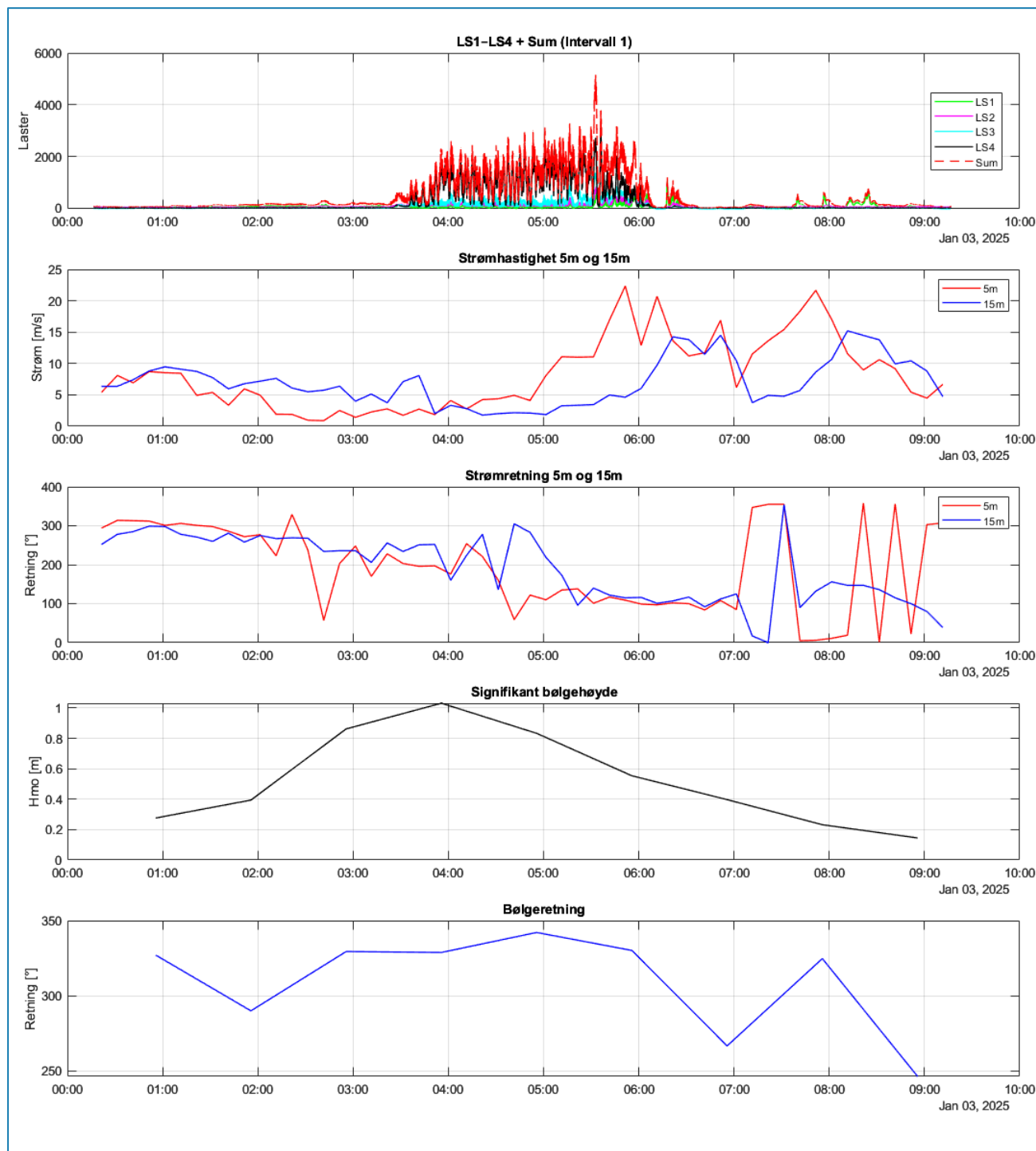
Maksverdiene opptrer ikke samtidig.

Det er videre vist detaljerte måledata i periodene som er valgt ut.

2.1. Måleperiode 1: 3.januar 2025, kl.00.00 til 09.00

2.1.1. Laster

Figur 4 og Figur 5 viser detaljerte måledata fra 3. januar 2025, inkludert laster i hanefot, strøm og bølge med tilhørende retninger.

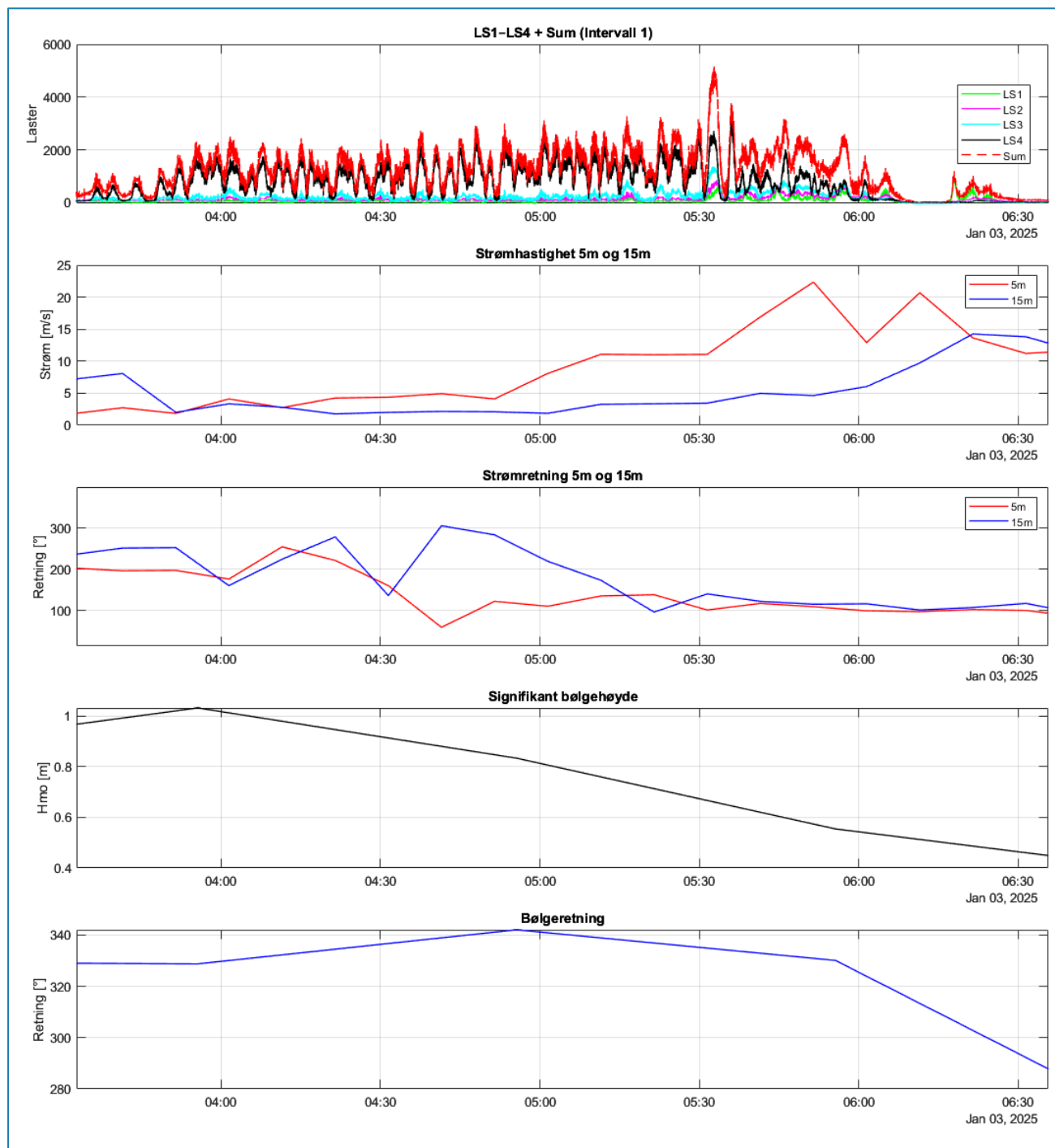


Figur 4 Laster, bølger og strøm for periode 1.

Figuren viser at haneføttene vil få laster i en periode over to timer, fra kl 04.00 til 06.00.

Bølgehøyde bygger seg opp fra 0.4m kl 0200 til 1m kl 0400. Det avtar dermed gradvis til 0.55 m kl 0600.

Strømhastigheter i starten av perioden er lav, > 5cm/s og bygger seg opp til hhc 20 og 15 cm/s mot slutten av perioden. Figur 5 viser et utsnitt over 2 timer.



Figur 5 Utsnitt av Figur 4

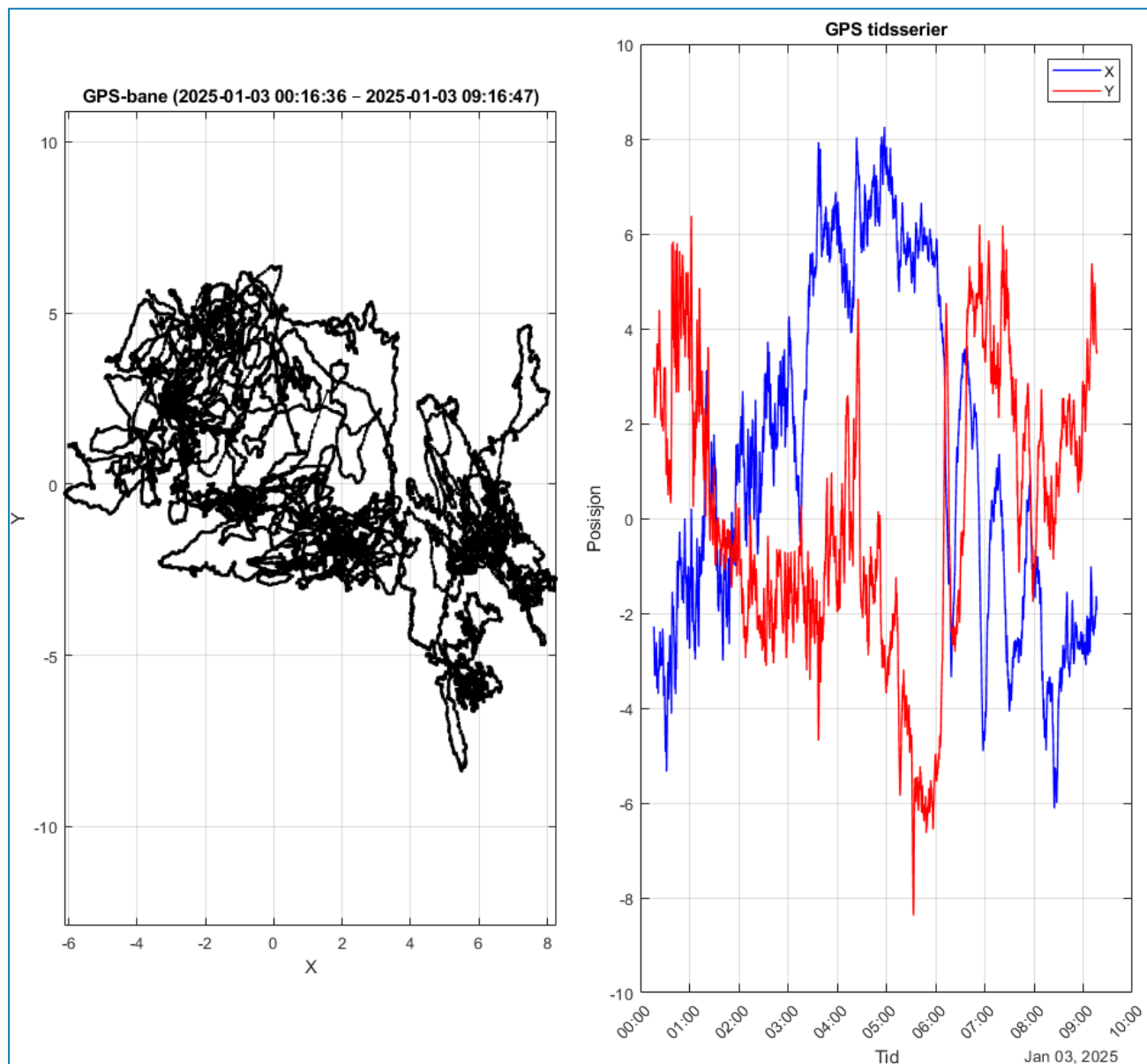
Som figuren viser er laster i hanefot dominert av last i LS4, maks last ca 3 tonn. Sum av alle hanefotparter er maksimalt 5 tonn. Maksimal respons skjer mot slutten av perioden der Hs er ca 0.7m.

Lastene har en syklisk karakteristikk med periode ca 140 sekunder

2.1.2. Deformasjon

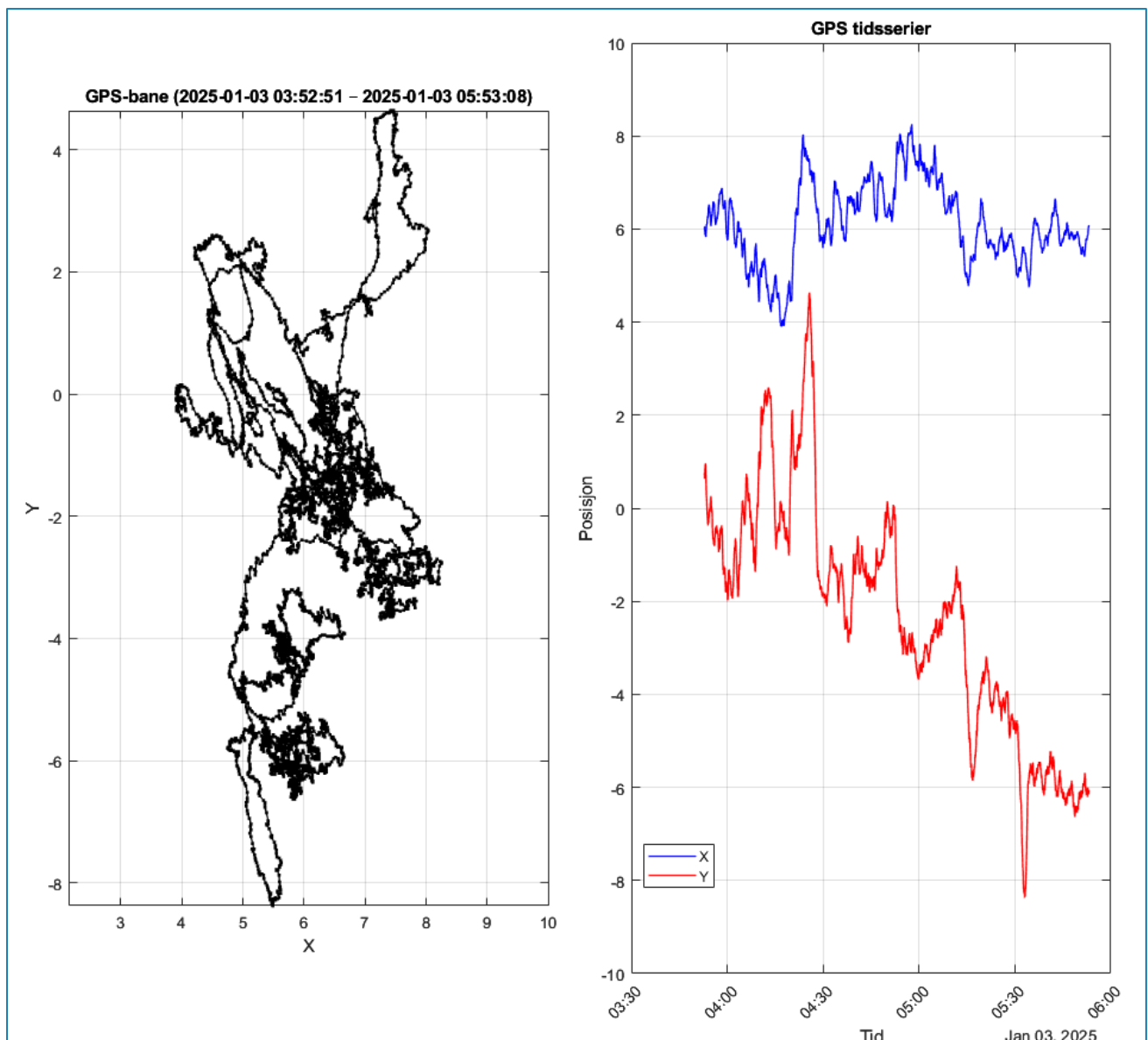
Det er logget GPS posisjoner underveis i måleperioden. Dette er bearbeidet slik at det viser forskyvning i form av X og Y koordinater. Plot for dette er videre vist for aktuell tidsperiode. Først er det vist for hele, og deretter finere utsnitt i tid for den perioden det er logget høyest laster.

Fra Figur 5 over er periode det er logget krefter i haneføtter mellom .3.30 og 06.00.



Figur 6 Viser bane for forflytning av struktur under hele loggeperioden.

Da det ikke er logget krefter i hanefot før kl 03.30 er trolig haneføtter montert med slakke slik at struktur kan bevege seg fritt i bur. Utfra grafer maks respons over vil det i tilfellet her være rundt x lik 4 og y varierende mellom 4 og -6.



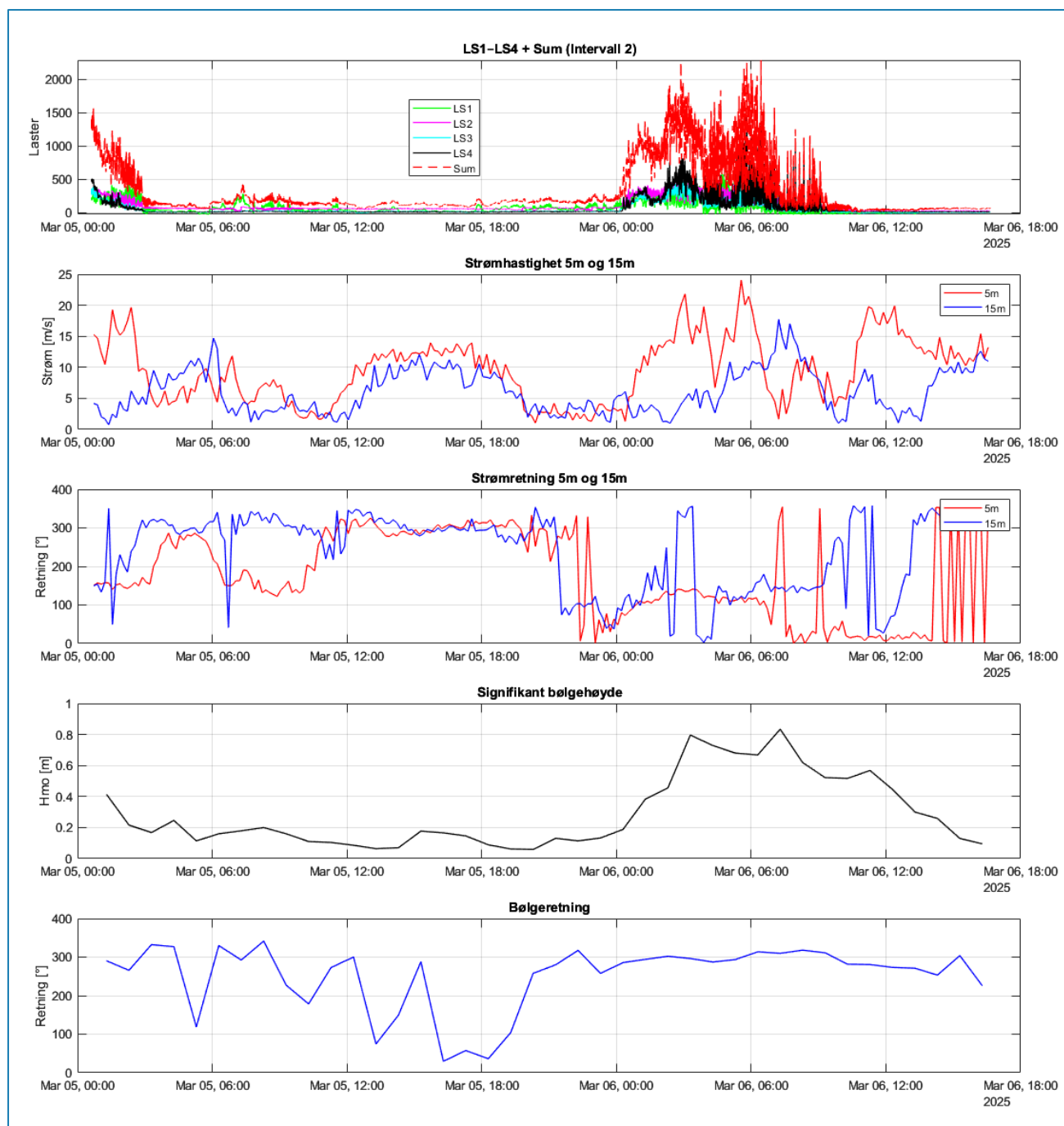
Figur 7 Utsnitt av Figur 6 for periode med laster i hanefot.

Figur 7 viser at laster i hanefot kommer ved utslag i x-retning mellom 4 og 8 og y retning mellom 4 og -8.

2.2. Måleperiode 2: 5. mars 2025 kl 00.00 – 6 mars 2025 kl 17.00.

2.2.1. Laster

Figur 4 og Figur 9 viser detaljerte måledata fra 5-6. januar 2025, inkludert laster i hanefot, strøm og bølge med tilhørende retninger.

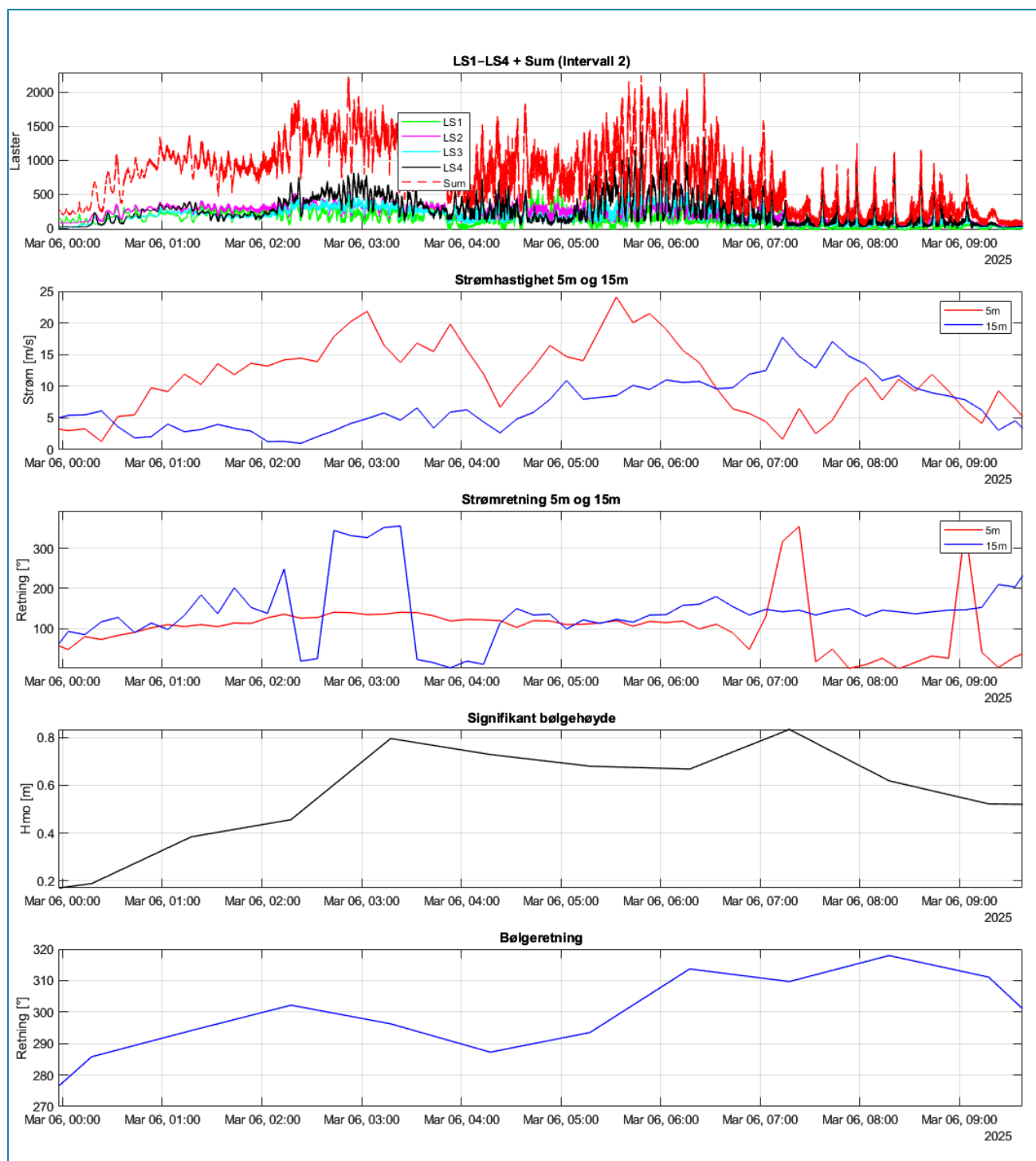


Figur 8 Laster, bølger og strøm for periode 2.

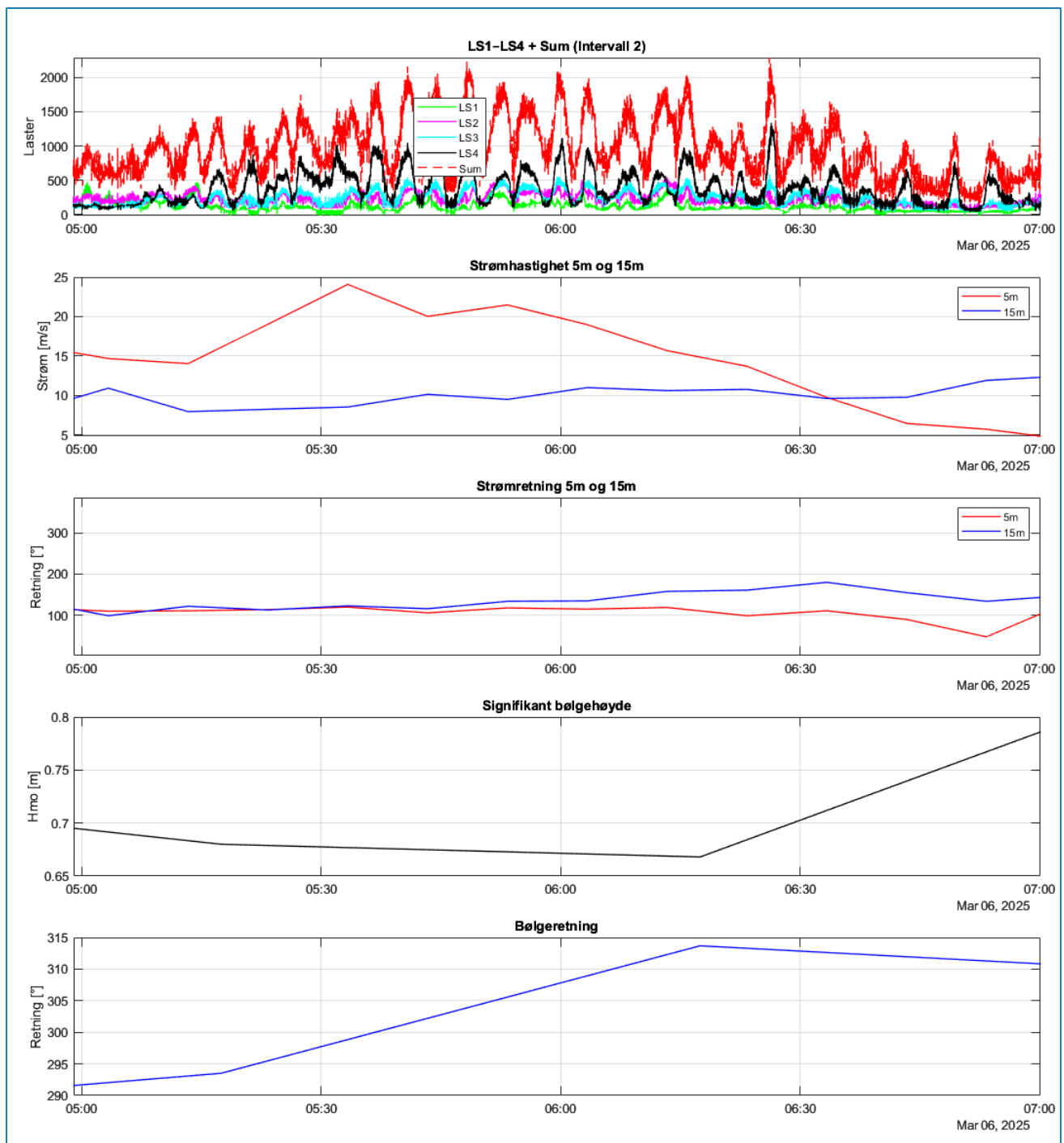
Figuren viser at haneføttene vil få laster i en periode over 9 timer, fra kl 00.00 til 09.00.

Bølgehøyde bygger seg opp fra 0.4m kl 0000 til 1m kl 0400 til 0.8 meter kl 0300. Bølgehøyden holder seg fr 0.7 til 0.8 meter frem til kl 0700 før den avtar.

Strømhastigheter i starten av periden er lav, > 5cm/s og bygger seg opp til hhv 24 og 18 cm/s mot slutten av perioden. Figur 5 viser et utsnitt over 9 timer, og i Figur 10 er det vist et utsnitt på 2 timer der høyest last er registrert.



Figur 9 Utsnitt av Figur 8 som fokuserer på perioden med økte laster i hanefot



Figur 10 Utsnitt av Figur 8 som fokuserer på de to timene med mest økning i hanefotlaster

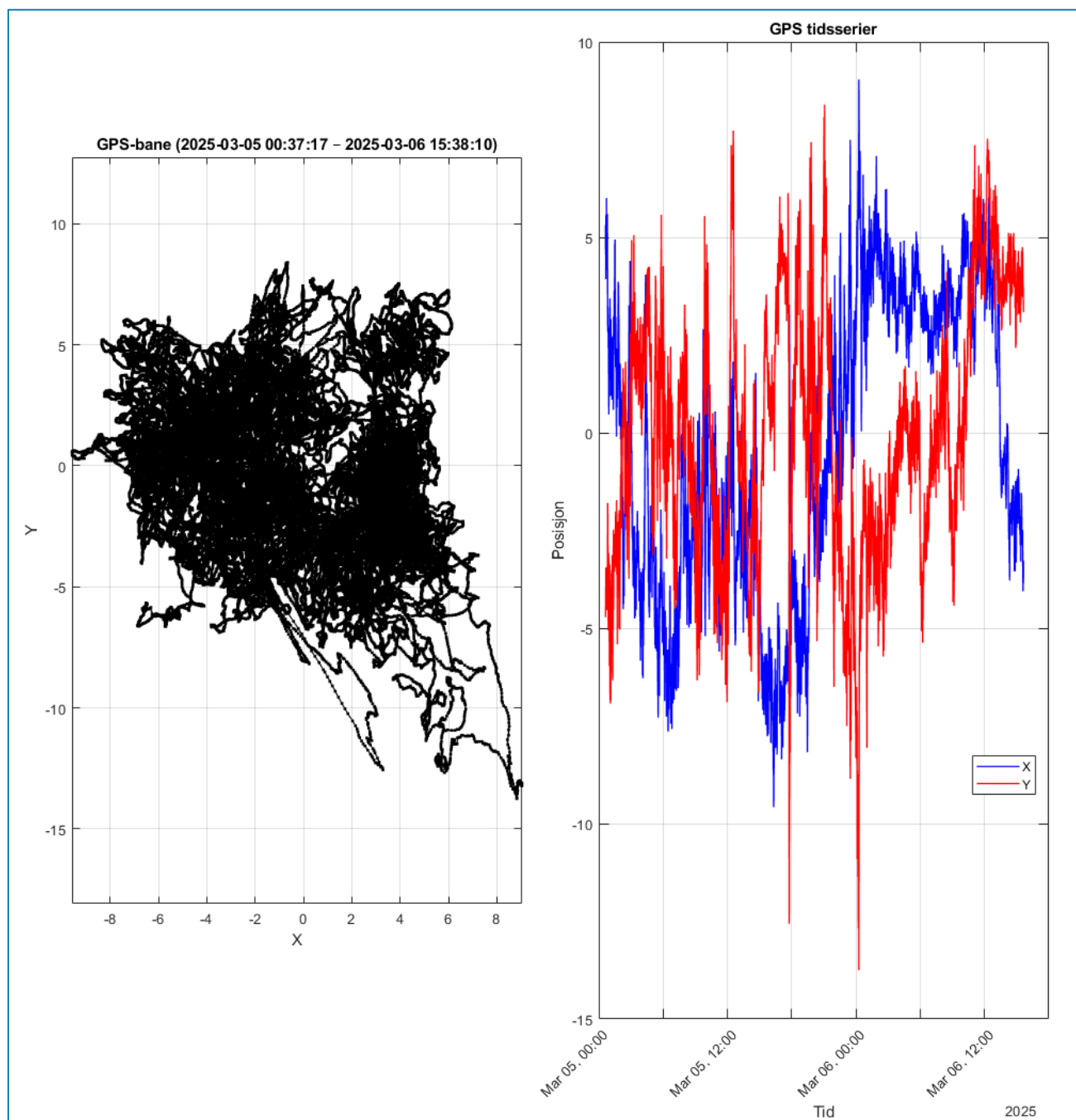
Som figuren viser er laster i hanefot dominert av last i LS4, maks last ca 1.5 tonn. Sum av alle hanefotparter er maksimalt 2.5 tonn. Responsen holder seg relativt jevn i perioden med høyest respons.

Lastene har en syklisk karakteristikk med periode ca 220 sekunder

2.2.2. Deformasjon

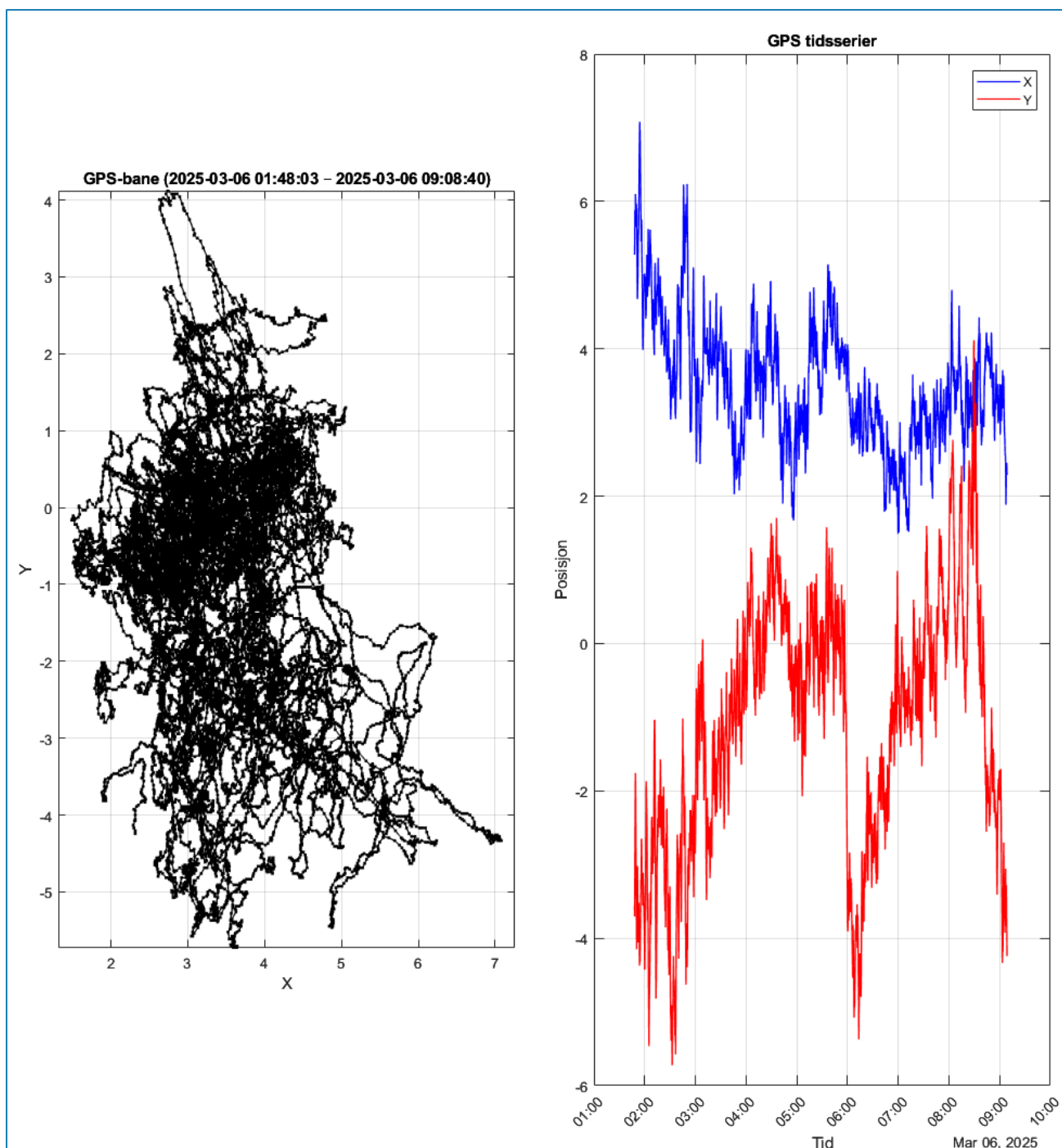
Det er logget GPS posisjoner underveis i måleperioden. Dette er bearbeidet slik at det viser forskyvning i form av X og Y koordinater. Plot for dette er videre vist for aktuell tidsperiode. Først er det vist for hele, og deretter finere utsnitt i tid for den perioden det er logget høyest laster.

Fra Figur 8 er periode det er logget krefter i haneføtter mellom 0.00 og 09.00.

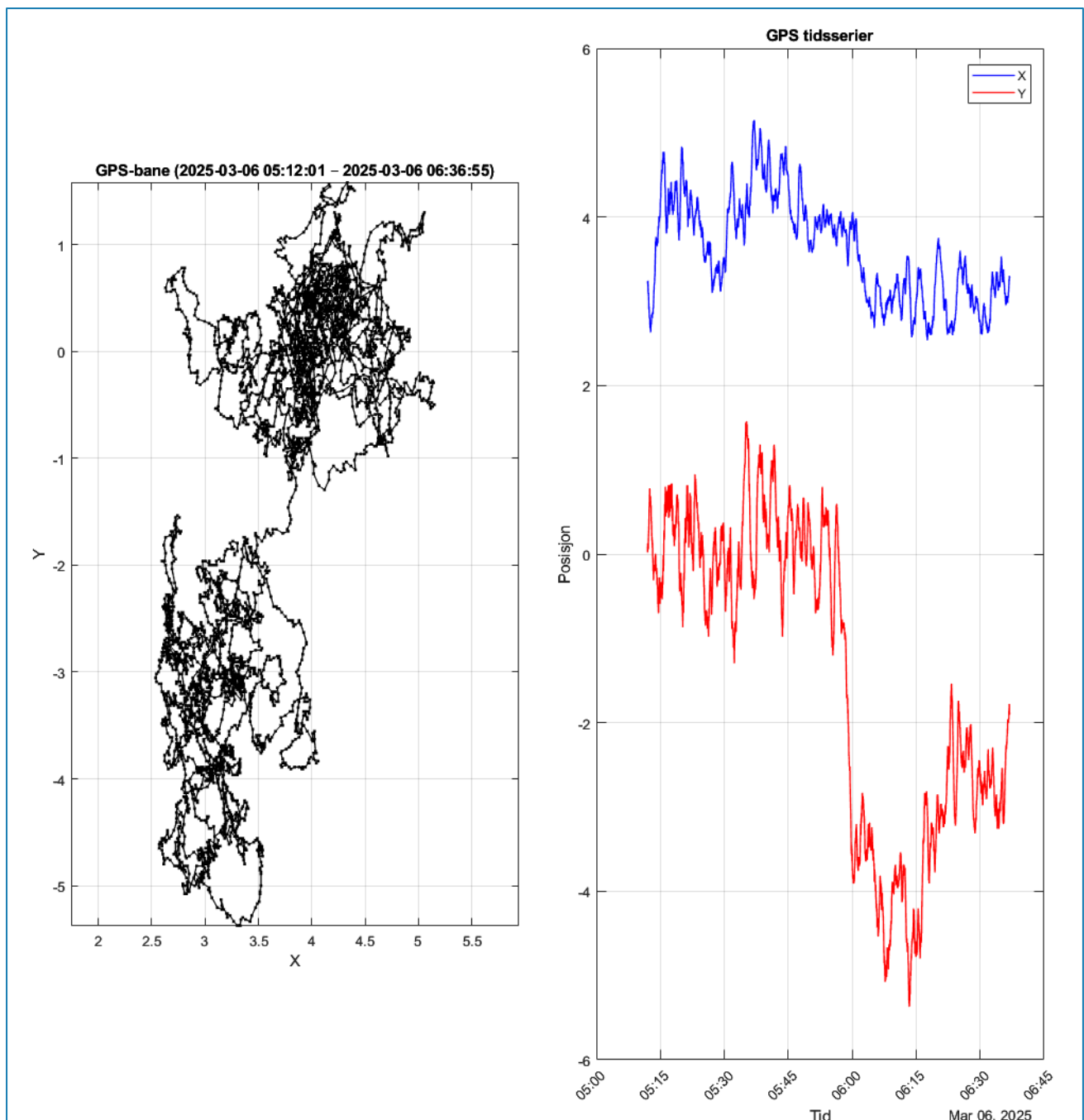


Figur 11 Viser bane for forflytning av struktur under hele loggeperioden.

I likhet med periode 1 ser vi at krefter i hanefot blir fremtredende når x er ca 3m, med varierende y verdi.



Figur 12 Figur 11 vist for periode mellom 02.00 til 0900



Figur 13 Figur 11 vist for periode mellom 05.00 til 06.30.

Figur 12 viser et utsnitt der det er markant høye krefter i hanefot.

X-verdi er jevn på mellom 2.5 til 5m, mens y varierer fra 1.5 til .5m.

2.3. Oppsummering fullskalamålinger

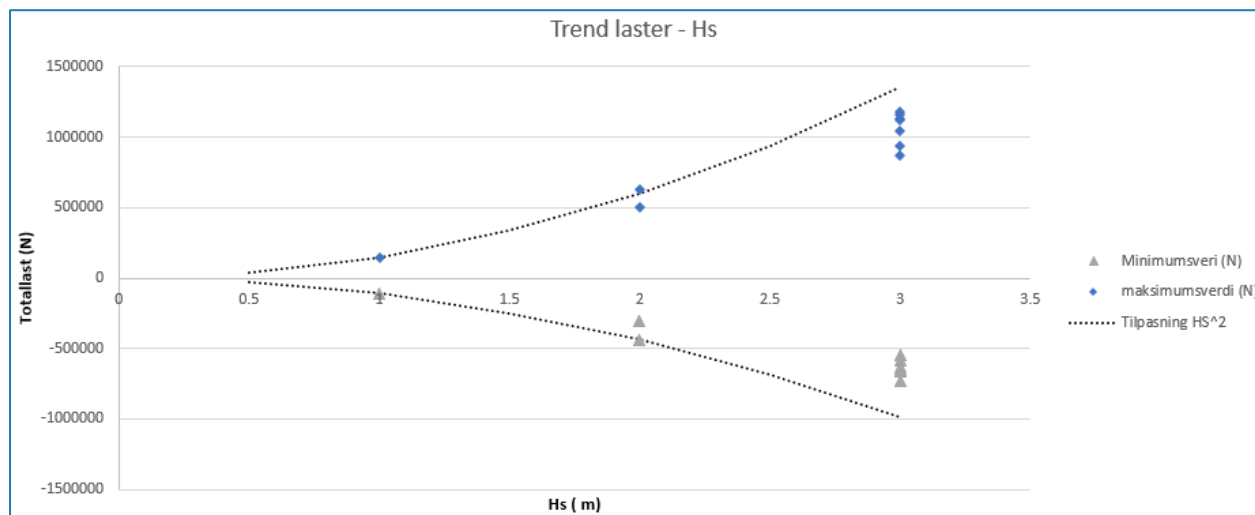
Hovedobservasjoner fra målingene er hentet ut og oppsummert under. Disse er grunnlag for miljøkondisjoner i analyse for å validere beregningsmetode.

Parameter	Periode 1	Periode 2
Strøm 5 meter (cm/s)	20	24
Strøm 15 meter (cm/s)	15	18
Signifikant bølgehøyde (m)	1.0	0.8
Retning bølger	330	305
Maks hanefotlast part	3.0	1.5
Maks sum hanefot	5.0	2.5
Svingeperiode (s)	140	220

3. ANALYSEMETODIKK FORANKRINGSANALYSE

Det er videre analyser med samme analysemodell som ble benyttet i forankringsanalysen for Seternester, Ref. /G1/.

Metodikk for fortøyningskrefter: Miljøkrefter for Marine Donut hentes fra modellforsøk og implementeres som nodelaster i Aquasim. Det er her kun fokus på maksimalkrefter fra analysemodellen for de analyserte miljøkondisjonene. Utdrag fra /G2/ er videre vist.



Figur 14 Miljøkrefter mot H_s^2 .

Hvert punkt i Figur 14 representerer maks respons fra modellforsøk. Det gjøres oppmerksom på at det er få forsøk i området $H_s=1$.

Følgende sammenheng ble etablert for å interpolere miljøkreftene til bruk i Aquasim. For enkelthet brukes konstant strømsøyle med høyeste strømhastighet for 5m og 15m. Forholdet mellom kraft (T) og hastighet² er funnet til ca. 270 basert på strømtestene.

$F_M = \alpha \cdot H_s^2 + 270 \cdot u^2$, hvor α er 150 for maksimalrespons. Minimum respons i motfase er ikke relevant for sammenligning her.

Dette er videre benyttet som input til Aquasim.

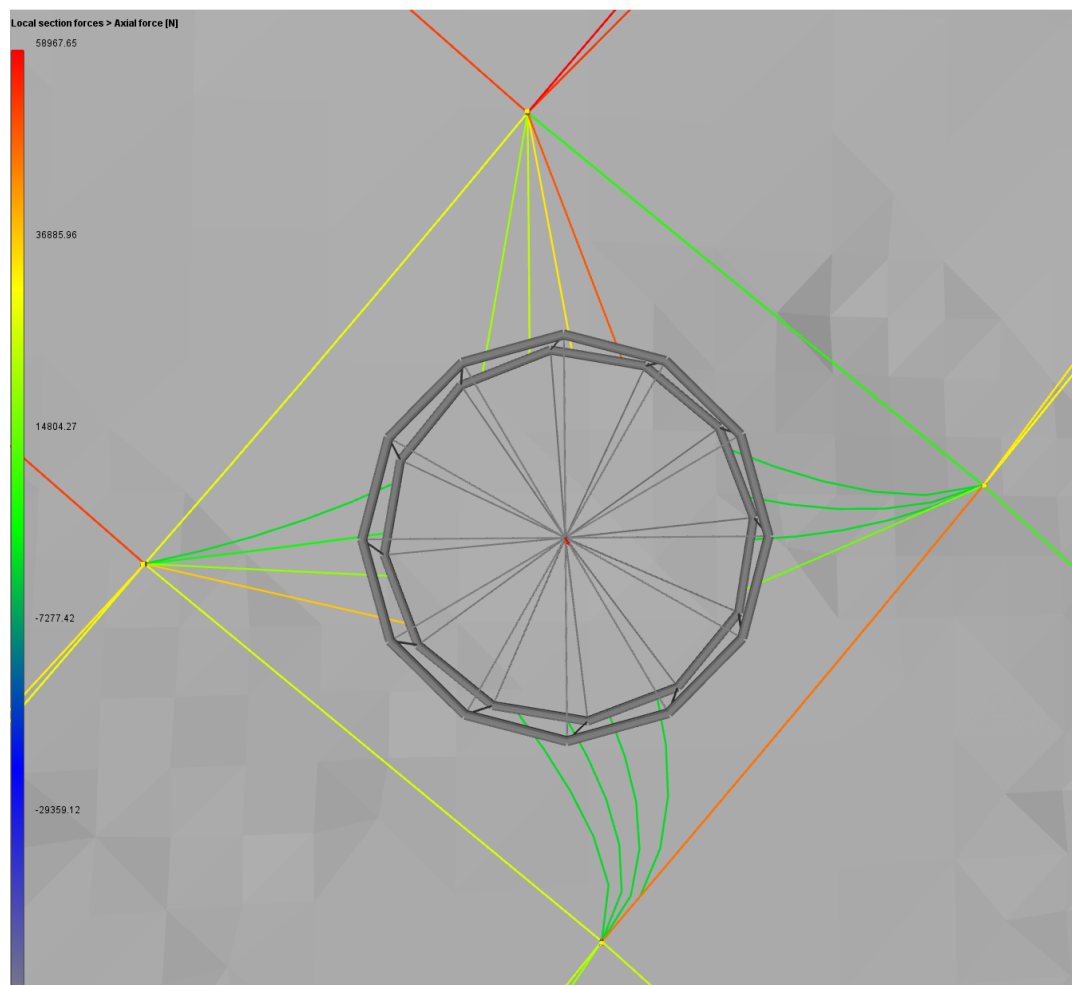
4. BEREGNINGER

Analysemodellen (Ref/G1/) er videre benyttet med strøm og bølgedata og retninger fra målingene.

Da bølgehøyde varierer over perioden er det for periode 1 analysert med både 1.0 og 0.8m.

Resultater tatt ut via plot som viser krefter samt listing av laster i LS4 og total sum i haneføtter som er instrumentert.

4.1. Periode 1

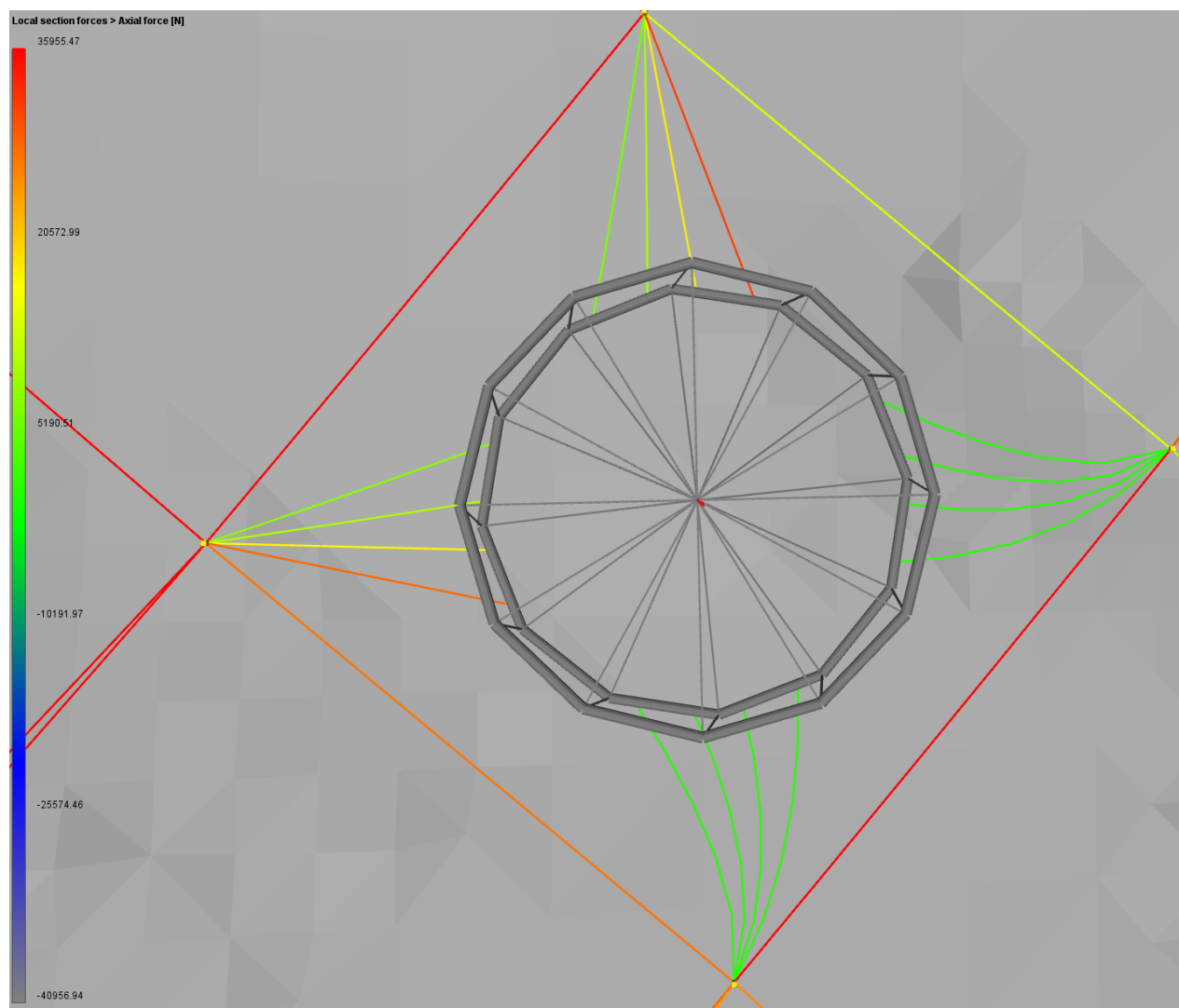


Figur 15 Periode 1, HS=1

Sammenligning målt og beregnet respons i hanefot, periode 1

Parameter	Målt	Periode 1, Hs=1	Periode 1, Hs=0.8
Maks hanefotlast part	3.0	5.3(+75%)	3.7 (+23%)
Maks sum hanefot	5.0	13.4(+168%)	9.1 (+81%)
Maks posisjonsendring	Se figur 6 og 7	x=2.3m y=-3.3m	x=1.6m y=-2.2m

4.2. Periode 2



Figur 16 Periode 2, HS=0.8

Tabell 1: Sammenligning målt og beregnet respons i hanefot, periode 2

Parameter	Målt	Periode 2, Hs=0.8
Maks hanefotlast part	1.5	3.2(+114%)
Maks sum hanefot	2.5	6.7(+167%)
Maks posisjonsendring	Se figur 11-13	x=2.4m y=-1.5m

5. OPPSUMMERING OG KONKLUSJON

Det er utført en sammenligning av målte laster i fullskala og kontrollberegning av metodikk benyttet lastvirkning i forankringsanalyse.

Det er i hovedsak bølger som gir lastbidrag utfra lastbeskrivelsen. Fra fullskalaforsøkene kan det også tolkes som det er tilfelle. Strøm og retninger antas likevel å ha en effekt da det vil «stramme opp» anlegget slik at respons i bølger kan bygge seg opp.

De utvalgte periodene viser i hovedsak lavere målte laster enn det som analysemodellen viser. Økningen spenner fra 23% til 168% høyere last i analysemodellen enn det som er registrert i fullskalamålinger.

Denne økningen er til en viss grad forventet da lastbeskrivelsen baserer seg på maksimalverdier fra modellforsøk, noe som bidrar til konservatisme i lastpredikering. Det er også en usikkerhet knyttet til respons ved lave bølgehøyder da det er utført få modellforsøk med disse bølgetilstandene.

Andre effekter som antas å gi effekt på forskjell mellom modellforsøk og fullskala kan være:

- Modellforsøk fra forspent forankringssystem mens reelt er systemet slakkforankret. Det vil si at ved store responser har systemet ulike resonansperioder når det går i slakk noe som kan ha effekt på evnen til å sette opp store svingninger
- Lange svingeperioder indikerer at sjøtilstanden må være til stede over lengre tid for å bygge opp svingningene. Fra målingene sees det at både strømverdier, retninger, bølgehøyde og retninger varierer underveis noe som kan ha effekt.
- Modellforsøk utført med langkammet sjø. Erfaringsmessig kan kortkammet sjø gi reduksjon.
- Effekt av eventuelt annet utstyr montert i samme rammeforankring kan ha effekt på respons.
- En videre sammenlikning av relasjon mot standardavvik for bølgerespons vil kunne gi god informasjon om respons-spekter.

Det konkluderes i alle tilfeller med at lastmodell som benyttes gir konservativ respons i systemet når det sammenlignes med mottatt fullskalamålinger.

For deformasjoner viser fullskalamålinger et noe annet bilde enn analysene. I analysene er maksimal deformasjon beregnet til mellom 2,5 og 4 meter for de analyserte tilstandene. Fullskalamålingene viser derimot større variasjon, opptil 10 meter i tilstander som gi laster i hanefot.

En sannsynlig årsak er at haneføtter er montert med slakk, slik at strukturen har spillerom før haneføttene tar last. Dette bekreftes av måledata, det registreres ingen laster i hanefot før forskyvning i x-retning når 3–4 meter. Dersom man antar at slakke haneføtter gir et spillerom på ± 3 meter, stemmer analysemodell og målinger godt når man ser direkte på lastretningen.

Variasjonen i y-retning er stor i begge måleperioder. Det er kun målt krefter i én kvadrant av haneføtter. Responsen viser en saktevarierende oppførsel, og de store endringene kan skyldes at strukturen skifter «tyngdepunkt» mellom hanefotsett, eller at den henger i ett sett og pendler mellom to sidehaneføtter, noe som gir varierende lastgang. Forskyvning i frihetsgraden «gir» kan også bidra til krefter i haneføtter som ikke bare skyldes translasjon.

Det er ikke logget krefter i andre hanefotpar eller tilhørende kompassretning med posisjoner, noe som kunne gitt mer informasjon om dette. Dette er derfor ikke videre undersøkt.

6. REFERANSER

6.1. Generelle referanser

- /G1/ 6196 - Fortøyningsanalyse Salmar Farming AS – Seterneset – 5x1 75m+75m Ver 4.0, Scale Aquaculture
- /G2/ Lastbeskrivelse - Salmar Farming - Seterneset - Fortøyning Marine Dounut_rev2, Scale Aquaculture
- /G3/ 302008368 Rapport Feltnålinger Marine Donut (Utdrag oppsett og utvalg presentasjon av data), Sintef
- /G4/ Mottatt datafiler for fullskalamålinger