

---

RAPPORT

# Bølgetilstandsanalyse Skarberget ferjeleie

---

OPPDRAUGSGIVER

Statens vegvesen

EMNE

Bølgetilstand Skarberget ferjeleie

DATO / REVISJON: 28. april 2020 / 00

DOKUMENTKODE: 10218233-RIMT-RAP-001

---



Multiconsult

Denne rapporten er utarbeidet av Multiconsult i egen regi eller på oppdrag fra kunde. Kundens rettigheter til rapporten er regulert i oppdragsavtalen. Hvis kunden i samsvar med oppdragsavtalen gir tredjepart tilgang til rapporten, har ikke tredjepart andre eller større rettigheter enn det han kan utlede fra kunden. Multiconsult har intet ansvar dersom rapporten eller deler av denne brukes til andre formål, på annen måte eller av andre enn det Multiconsult skriftlig har avtalt eller samtykket til. Deler av rapportens innhold er i tillegg beskyttet av opphavsrett. Kopiering, distribusjon, endring, bearbeidelse eller annen bruk av rapporten kan ikke skje uten avtale med Multiconsult eller eventuell annen opphavsrettshaver.

## RAPPORT

|                |                                                   |                 |                       |
|----------------|---------------------------------------------------|-----------------|-----------------------|
| OPPDRAAG       | <b>Bølgetilstandsanalyse Skarberget ferjeleie</b> | DOKUMENTKODE    | 10218233-RIMT-RAP-001 |
| EMNE           | Bølgetilstand Skarberget ferjeleie                | TILGJENGELIGHET | Åpen                  |
| OPPDRAAGSGIVER | <b>Statens vegvesen</b>                           | OPPDRAAGSLEDER  | Juni Vaardal-Lunde    |
| KONTAKTPERSON  | Espen Dobakk                                      | UTARBEIDET AV   | Juni Vaardal-Lunde    |
|                |                                                   | ANSVARLIG ENHET | Multiconsult Norge AS |

## SAMMENDRAG

Statens vegvesen planlegger to tiltak for å tilrettelegge for en forlengelse av ferjekaien ved Skarberget (Narvik kommune), samt for å trygge seilassen og forkorte seilingsleden. De to tiltakene består av følgende:

Tiltak 1: Utdyping og fjerning av ytre del av bergnabb på innsiden av ferjekaien for å gi nødvendig rom for at ferjen kan legge seg til på østsiden av tilleggskaiaen

Tiltak 2: Fjerning av to grunner ved innseilingen utenfor ferjekaien for å bedre sikkerheten i seilingsleden, samt gi en bedre og kortere seilingsled

Rapporten tar for seg hvordan bølgeforholdene ved innseilingen, ferjeleiet, samt ved småbåthavnen endres grunnet tiltakene.

Det er vurdert forskjellige utforminger av Tiltak 1 med forskjellig vinkling og helning. For å minske påvirkningen på bølgeforholdene ved kaia og ved småbåthavnen anbefales det å utforme Tiltak 1:

- Med størst mulig vinkel i retning nordøst-sørvest
- Med en slak helning med høy ruhet.

Videre vurderinger er gjort med tiltak 1 i henhold til disse anbefalingene. Det er undersøkt hvordan bølgetilstanden med 50 års returperiode og operasjonelle bølgetilstander (basert på gjennomsnitt og 90 prosentil av vindhastighet fra Skrova fyr) endrer seg som følge av tiltakene. Følgende endringer er funnet:

- Signifikante bølgehøyder i småbåthavn, ved kaiaen og i innseilingen endres lite (mindre enn 0.1 m).
- Ytterste delen av kaianlegget og innseilingen vil kunne oppleve en liten andel reflekterte bølger, noe som kan oppleves som en mer kaotisk bølgesituasjon.
- Større bølger kan endre retning etter utført Tiltak 2. Bølgene vil ikke bli avbøyd mot sør på samme måte som ved dagens situasjon. Dette kan føre til noe lavere bølger ved ferjekaien.

Det er ikke tatt i betraktning at båter som ligger til opplagskaiaen kan ha en dempende effekt på bølgene og det er ikke vurdert hvorvidt en ferge har tilstrekkelig plass å manøvrere i forhold til modellert Tiltak 1.

|      |            |                                     |               |                |             |
|------|------------|-------------------------------------|---------------|----------------|-------------|
|      |            |                                     |               |                |             |
|      |            |                                     |               |                |             |
|      |            |                                     |               |                |             |
|      |            |                                     |               |                |             |
| 0    | 28.04.2020 | Bølgetilstand Skarberget ferjeleiet | JVL           | JB             | JVL         |
| REV. | DATO       | BESKRIVELSE                         | UTARBEIDET AV | KONTROLLERT AV | GODKJENT AV |

**INNHOLDSFORTEGNELSE**

|          |                                                                     |           |
|----------|---------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>Begreper og definisjoner.....</b>                                | <b>5</b>  |
| <b>2</b> | <b>Bakgrunn .....</b>                                               | <b>6</b>  |
| 2.1      | Enheter og retninger.....                                           | 7         |
| <b>3</b> | <b>Grunnlagsdata .....</b>                                          | <b>8</b>  |
| 3.1      | Batymetri .....                                                     | 8         |
| 3.2      | Kaianlegg.....                                                      | 9         |
| <b>4</b> | <b>Metode.....</b>                                                  | <b>10</b> |
| 4.1      | Numerisk modell av bølgegenerering og bølgeforplantning .....       | 10        |
| 4.2      | Modellinput .....                                                   | 11        |
| 4.3      | Bølgerrefleksjon, bølgedemping og utforming av tiltakene .....      | 12        |
| 4.3.1    | Bølgerrefleksjon fra bergnabb.....                                  | 12        |
| 4.3.2    | Bølgedempende effekt fra ferjekaien .....                           | 12        |
| 4.3.3    | Utforming av Tiltak 1 .....                                         | 12        |
| 4.3.4    | Utforming av Tiltak 2 .....                                         | 12        |
| <b>5</b> | <b>Resultater .....</b>                                             | <b>14</b> |
| 5.1      | Valg av mest optimal utforming av Tiltak 1 .....                    | 14        |
| 5.2      | Bølgetilstand med 50 års returperiode .....                         | 16        |
| 5.3      | Operasjonelle bølgeforhold .....                                    | 20        |
| <b>6</b> | <b>Referanser .....</b>                                             | <b>23</b> |
|          | <b>APPENDIKS A Bakgrunnsinformasjon om SWAN modellen.....</b>       | <b>24</b> |
|          | <b>APPENDIKS B Ekstremver dianalyse av offshore bølgeinput.....</b> | <b>24</b> |
|          | <b>APPENDIKS C Vinddata .....</b>                                   | <b>25</b> |

## 1 Begreper og definisjoner

|                                    |                                                                                                                                                                                                                      |
|------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>NN2000</b>                      | Normalnull 2000. Norges høydesystem som ble innført gradvis i perioden 2011-2018.                                                                                                                                    |
| <b>Returperiode</b>                | Statistisk begrep som beskriver hyppigheten til en hendelse. 20 års returperiode vil f.eks. opptre i gjennomsnitt hvert 20 år, og ha en 5 % sannsynlighet for å opptre i løpet av et år. Også kalt gjentakintervall. |
| <b>Signifikant bølgehøyde, Hs</b>  | Gjennomsnittlig bølgehøyde for den høyeste tredjedelen av bølgene i en registrering.                                                                                                                                 |
| <b>Sjøkartnull</b>                 | Nullnivå for dybder i sjøkart og høyder i tidevannstabeller. Sjøkartnull er fra 1. januar 2000 lagt til laveste astronomiske tidevann (LAT).                                                                         |
| <b>Topperiode, Tp</b>              | Bølgeperiode der energien i bølgespekteret er størst.                                                                                                                                                                |
| <b>Vannstand/stille vann (SWL)</b> | Høyden av vannflaten på et bestemt sted på et gitt tidspunkt. For havet påvirkes vannstanden av tidevann og værrets virkning (vind, lufttrykk, mm).                                                                  |
| <b>WAM10</b>                       | Bølgemodell med 10 km oppløsning fra Meteorologisk Institutt                                                                                                                                                         |

## 2 Bakgrunn

Statens vegvesen skal gjøre to tiltak for å tilrettelegge for en forlengelse av ferjekaien, samt for å trygge seilasen og forkorte seilingsleden ved Skarberget, Narvik kommune, Nordland. De to tiltakene består av følgende:

- Tiltak 1: Utdyping og fjerning av ytre del av bergnabb på innsiden av ferjekaien for å gi nødvendig rom for at ferjen kan legge seg til på østsiden av tilleggskaien
- Tiltak 2: Fjerning av grunnet ved innseilingen utenfor ferjekaien for å bedre sikkerheten i seilingsleden, samt gi en bedre og kortere seilingsled

Utdypning og fjerning av grunner skal skje ned til minimum kote -7.7 rel. NN2000 (kote -5.8 rel. sjøkartnull), da dette er nødvendig dybde i basseng og ved kai grunnet ferjenes dypgang (ref. Statens Vegvesen).

Se oversiktskart i Figur 1 og mer detaljert kart i Figur 2 hvor tiltakene er markert.

Begge tiltakene kan medføre konsekvenser for bølgeforholdene ved innseilingen, ferjeleiet, samt ved småbåthavnen. Endringer i bølgeforholdene i innseilingen, ved ferjeleiet og roligheten i småbåthavnen grunnet tiltakene skal undersøkes.

Det skal også vurderes hvordan utformingen på Tiltak 1 kan utføres på en slik måte at bølgeforholdene endres minimalt.



Figur 1 Oversiktskart, Tysfjorden og Skrovkjosen. Skarberget ferjeleie er markert med rød rute. Kart: kystinfo.no





Figur 2 Oversiktskart over Skarberget ferjeleie, samt beskrivelse av forlengelse av kaianlegg, tiltak 1 og tiltak 2 (Statens vegvesen)

## 2.1 Enheter og retninger

Alle parametere er gitt i SI-enheter (International System of Units). Standard praksis for å presentere retninger er som følgende: Retningen til vind og bølger refererer til retningen de kommer fra, dvs. nordlig vind kommer fra nord. Strømretning er definert som retningen som strømmen strømmer imot, dvs. nordlig strøm strømmer mot nord.

Rapporterte bølgeretninger er retningen av høyeste topp i bølgespekteret (Peak direction). Det kan være bølgeenergi i flere sektorer.

### 3 Grunnlagsdata

#### 3.1 Batymetri

Bunndata fra Kartverket (2019) er benyttet for å lage bunnmodell til bruk i bølgesimuleringene. Mer høyoppløste bunndata er mottatt fra Statens Vegvesen og dekker området utenfor kaianlegget, samt inne i havnebassenget, se Figur 3. Bunndata er konvertert til sjøkartnull. Det eksisterer lite bunndata langs kysten i områdene rundt Skarberget, Tysfjorden og Skrovkjosen. Deler av modellbatymetrien er derfor lagt inn manuelt basert på batymetrien i området rundt.

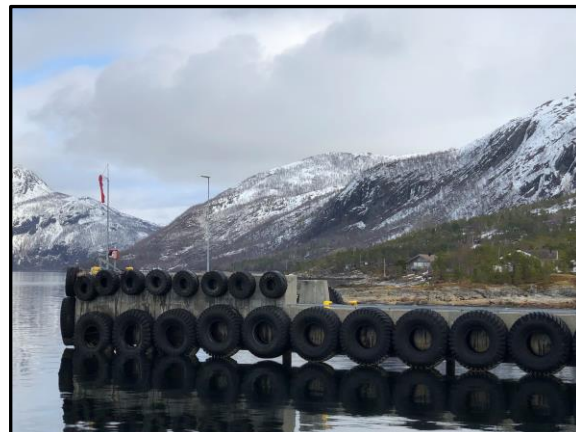


Figur 3 Høyoppløst dybde data mottatt fra Statens Vegvesen. Kart: kystinfo.no

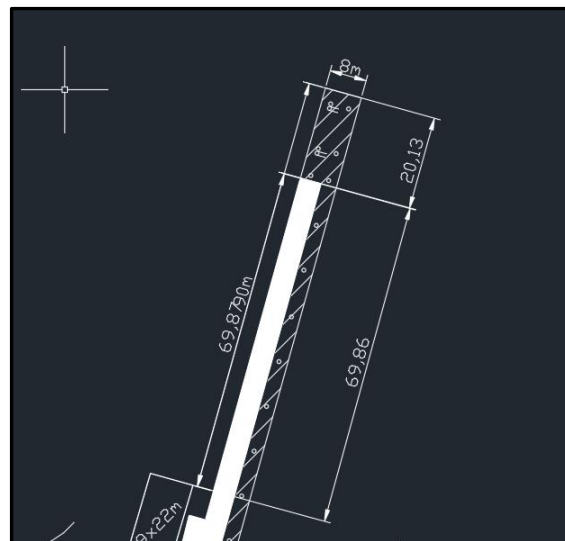


### 3.2 Kaianlegg

Informasjon om dagens kaianlegg og planlagt utvidelse er mottatt av Statens Vegvesen, se bilde og tegning i Figur 4 og Figur 5. Dagens ferjekai består av peler (med antatt diameter på 711 mm) og et skjørt med nedre kant på ca. 2.5 m rel. sjøkartnull. Planlagt utvidelse av kaien består av kai på peler med en diameter på 813 mm, uten skjørt. Kaien skal utvides både i lengde og bredde.



Figur 4 Bilde fra kaiområdet (dagens kai) (foto: Statens vegvesen og Tommy Pedersen)



Figur 5 Dagens kaianlegg og tegning av dagens kaianlegg med planlagt utvidelse og forlengelse på 20 m (foto: Tommy Pedersen, tegning: Statens vegvesen)

## 4 Metode

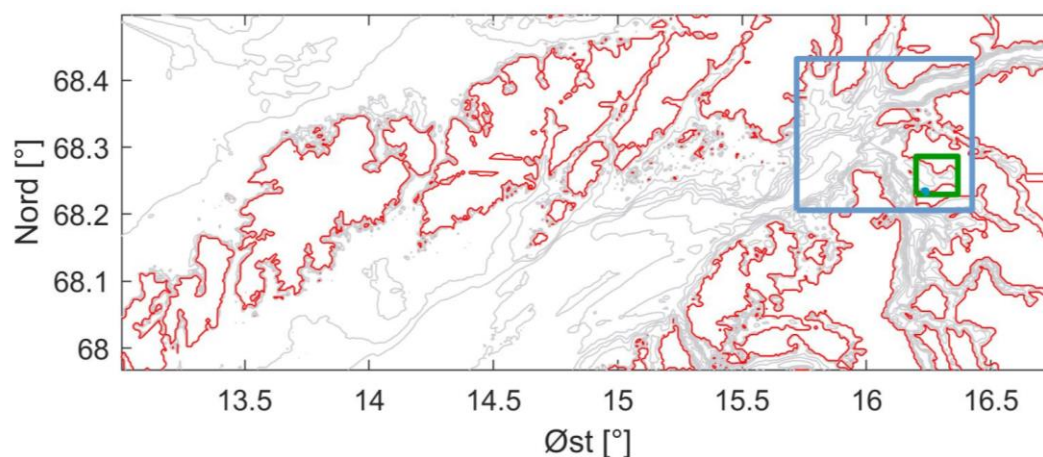
### 4.1 Numerisk modell av bølgegenerering og bølgeforplantning

Modellen SWAN (SWAN, 2016) er benyttet for å beregne bølgeforholdene ved Skarberget ferjekai. Modellen er utviklet av Delft Technical University for å beregne utvikling og forplantning av bølger i kystområder. For mer detaljert modellinformasjon se Appendiks A.

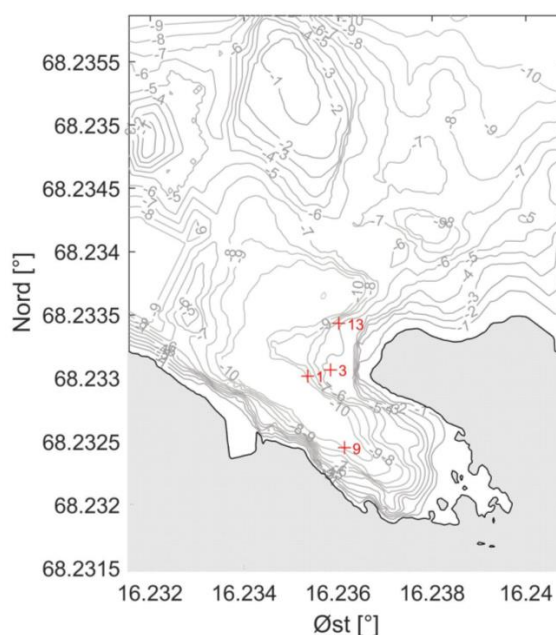
Det er beregnet bølger i fire steg, der resultatene fra et steg er brukt som input til neste (se Figur 6). Oppløsningen øker fra steg til steg fra 58 m for vindbølger (393 m for dønninger) til 14 m og til slutt 2 m for både vindbølger og dønninger.

Modellinput av vannstand for 50 års returperiode og middel høyvann ved Skarberget er gitt i Tabell 1.

Resultatene er beregnet for totalt 4 punkter vist i Figur 7. Koordinatene og beskrivelse av beregningspunktene er gitt i Figur 7.



Figur 6 Modellområdene for beregninger. Steg 1: Dønninger er satt på ytterste rute som dekker Vestfjorden. Steg 2: Vindbølger er satt på fra lyseblå ramme som dekker Ofoten og nordlig del av Tysfjorden. Steg 3: Grønn ramme dekker nærområdet rundt Skarberget. Steg 4: Området rundt kaianlegget er markert med en liten blå rute sørvest i den grønne rammen



Figur 7 Dagens batymetri kart, med markerte modellpunkt for bølgeberegningene

Tabell 1 Vannstand brukt i bølgemodelleringen for Skarberget, Tysfjord kommune, Nordland (sehavniva.no). Beregnet basert på tidevann fra Narvik med tidsforskjell på 0 min og høydekorreksjonsfaktor på 0.97

|                    | Vannstand rel. sjøkartnull [m] |
|--------------------|--------------------------------|
| Middel høyvann     | 2.76                           |
| 50 år returperiode | 4.44                           |

Tabell 2 Beregningspunktene for bølgemodellen

|          | Breddegrad    | Lengdegrad    | Beskrivelse      |
|----------|---------------|---------------|------------------|
| Punkt 1  | 68° 13.981' N | 16° 14.121' Ø | Vestsiden av kai |
| Punkt 3  | 68° 13.984' N | 16° 14.150' Ø | Østsiden av kai  |
| Punkt 9  | 68° 13.947' N | 16° 14.168' Ø | Småbåthavn       |
| Punkt 13 | 68° 14.006' N | 16° 14.161' Ø | Innseilingen     |

## 4.2 Modellinput

Det er estimert ekstreme og operasjonelle bølgeforhold ved Skarberget ferjekai for forskjellige vind- og dønningsretninger.

Ekstreme vindbølger med 50 års returperiode er basert på vind fra NS-EN 1991-1-4:2005/NA:2009. NS-EN 1991-1-4:2005/NA:2009 oppgir ekstremverdier for 8 sektorer, hvorav de mest utsatt vindretningene for Skarberget ferjekai er modellert. Ekstreme offshore dønninger er utledet fra statistisk analyse av hindcastdata fra modellen WAM10, se Appendiks B. Modellresultatene viser at de største havdønnningene som når frem til Skarberget kommer inn Vestfjorden fra sørvestlig retning, runder Tysnes og treffer Skarberget fra nordvest. Ekstrem kombinert sjøtilstand er basert på å kombinere den største ekstreme vindbølgen og den største ekstreme dønningen.

For en operasjonell sjøtilstand er dønninger ikke tatt med i modellberegningen da den signifikante bølgehøyden under operasjonelle forhold er neglisjerbar (<0.1 m). Operasjonell vind er basert på vindmålinger fra Skrova fyr, se Appendiks C.

Tabell 3 Inputvind (stedvind  $V_m$ ) brukt for bølgeberegningene. Introdusert i modellsteg 2

|             |                             | Vindretning |      |     |      |
|-------------|-----------------------------|-------------|------|-----|------|
|             |                             | 270         | 315  | 0   | 45   |
| $V_m$ [m/s] | 50 års returperiode         | 35          | 32   | 25  | 25   |
|             | Gjennomsnitt fra Skrova fyr | 6.6         | 6.6  | 5.1 | 6.4  |
|             | 90 prosentil fra Skrova fyr | 12.3        | 12.3 | 8.7 | 10.7 |

Tabell 4 Offshore bølgetilstand med 50 års returperiode ved bølgemodellens ytre grense (modellsteg 1)

|                                    | Bølgeretning (fra) |
|------------------------------------|--------------------|
|                                    | 220/240/250°       |
| Signifikant bølgehøyde - $H_s$ [m] | 12.4               |
| Topperiode - $T_p$ [s]             | 16.8               |

## 4.3 Bølgerefleksjon, bølgedemping og utforming av tiltakene

### 4.3.1 Bølgerefleksjon fra bergnabb

Reflekterte bølger oppstår i hovedsak der batymetrien er bratt. Ved fjerning av bergnabben ved Skarberget kan den nye batymetrien påvirke bølgeforholdene pga. reflekterte bølger. Jo brattere og glattere flaten bølgene treffer er, jo sterkere bølgerrefleksjon kan oppstå. Modellberegningene tar hensyn til refleksjon ved forskjellige utforminger av Tiltak 1, se Kapittel 4.3.3. Refleksjonskoeffisienten, som sier noe om hvor mye bølgeenergi som blir reflektert, estimeres basert på helning, ruhet, signifikant bølgehøyde og topperiode (Zanuttigh and Van der Meer, 2006).

Bølgerrefleksjon øker ikke nødvendigvis den signifikante bølgehøyden mye, men kan føre til en mer kaotisk bølgetilstand når innkommende og reflekterte bølger møtes.

### 4.3.2 Bølgedempende effekt fra ferjekaien

Eksisterende kaistruktur ved Skarberget består av en pelekai med skjørt. Skjørtet kan ha en stor dempende effekt dersom vannstanden er så høy at bølgen treffer skjørtet. Skjørtets effekt på bølgetilstanden er estimert basert på vanddyb, skjørtdyb og bølgeperiode (Kriebel og Bollmann, 1996). Går bølgene under skjørtet antas pelene til kaien å ha veldig liten dempende effekt, grunnet diameter og avstand mellom pelene (Truitt and Herbich, 1986). Utvidelsen av kaien er ikke tiltenkt skjørt og vil derfor ha minimal dempende effekt på bølgene og er derfor ikke inkludert i modelleringen.

### 4.3.3 Utforming av Tiltak 1

Bølgeforhold er undersøkt for to forskjellige utforminger av Tiltak 1, samt for tre forskjellige vinkler på utformingen (se Figur 8). I modellen er det utdypet ned til kote -6 relativ sjøkartnull, se Figur 9 for batymetri før og etter tiltakene.

Følgende utforminger av Tiltak 1 er undersøkt:

- Fjerning av bergnabb ved sprengning av loddrett kant (10:1) med lav ruhet. Dette gir en refleksjonskoeffisient på 100 % for de undersøkte bølgetilstandene.
- Fjerning av bergnabb ved sprengning av kant med helning (1:1.5) med steinblokker. Dette gir en refleksjonskoeffisient på ca. 40-50 % for de undersøkte bølgetilstandene.

Følgende vinkel på Tiltak 1 er undersøkt:

- Fjerning av bergnabb parallelt med kaien (ca. 10°)
- Fjerning av bergnabb rettet nord-sør (ca. 0°)
- Fjerning av bergnabb rettet nordøst-sørvest (ca. 30°)

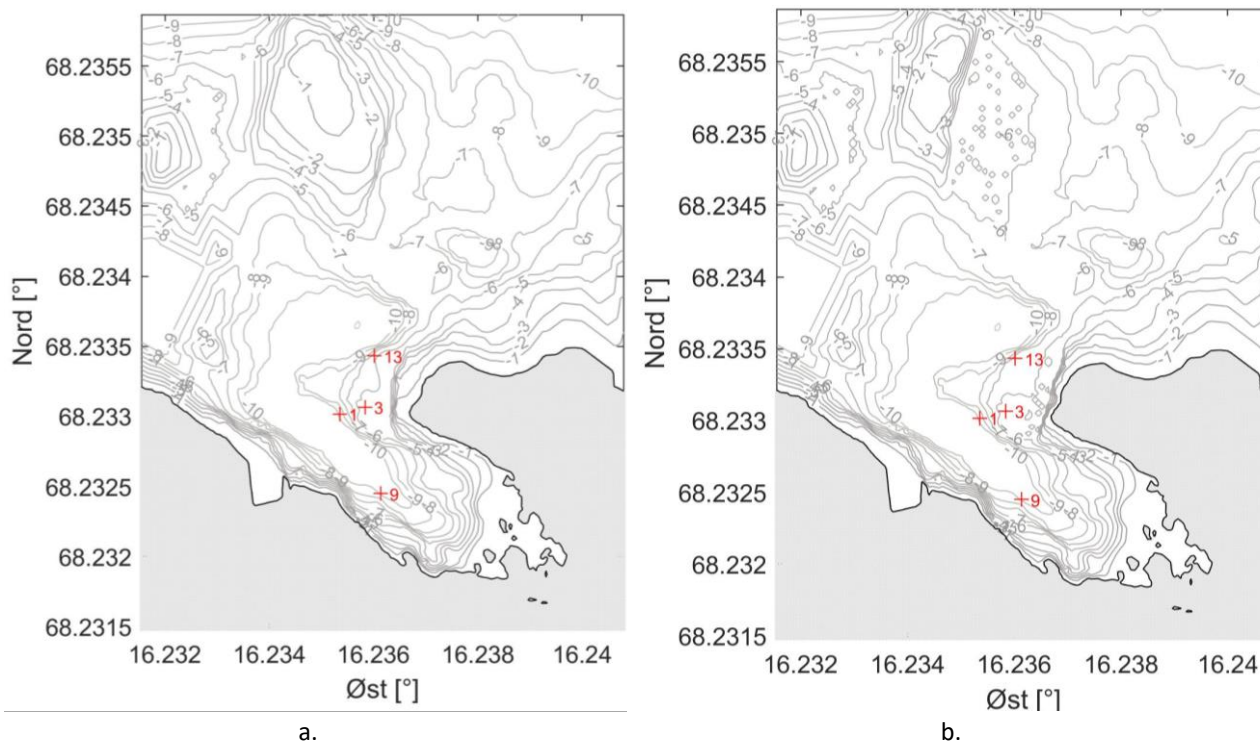
### 4.3.4 Utforming av Tiltak 2

Der er planlagt å fjerne to grunner i seilingsleden, se Figur 2. I modellen er det utdypet ned til kote -6 relativ sjøkartnull i områdene gitt i Figur 2. Se Figur 9 for batymetri før og etter tiltakene.





Figur 8 Oversiktskart over kaianlegg og bergnabb. Modell punkt er merket. De tre strekene representerer hvordan vinkelen til bergnabben er testet i bølgemodellen. Lilla: Rettet parallell med kaien, oransje: Rettet nord-sør, rød: rettet nordøst-sørvest. Kart: kystinfo.no



Figur 9 Batymetri ved a. dagens situasjon, b. etter Tiltak 1 og Tiltak 2. Kartet inkluderer ikke fjerning av ytterste grunne ved Tiltak 2

## 5 Resultater

### 5.1 Valg av mest optimal utforming av Tiltak 1

Det er modellert og testet 3 forskjellige vinkler av Tiltak 1, som beskrevet i kapittel 4.3.3. Det er tatt utgangspunkt i at en kombinertbølge fra nordvest med 50 års returperiode treffer en vertikal vegg (10:1). Den vertikale veggen strekker seg fra sjøbunnen og opp til havoverflaten. Med disse antakelsene er refleksjonskoeffisienten tilnærmet 1, som betyr at all bølgeenergi reflekteres. I realiteten vil ikke veggen strekke seg helt opp til overflaten, slik at refleksjonen blir noe svakere. Batymetrien i front av den reflekterende flaten er mudret til kote -6 relativ sjøkartnull.

Resultatene gir en indikasjon på hvordan bølgeforholdene endrer seg, samt hvordan bølgeenergien reflekteres, som følge av endret utforming av Tiltak 1. Det er ikke tatt hensyn til bølgedemping fra kaianlegget da denne testen kun er utført for å finne den mest optimale utformingen av Tiltak 1.

Figur 10 viser bølgekart med signifikant bølgehøyde for de tre forskjellige vinklene av Tiltak 1. Bølgespekter og retningsspekter for punkt nummer 3 som representerer fremre østre del av dagens kaianlegg er også gitt. Bølgekart med 50 års returperiode av dagens bølgeforhold med kai, kan ses i Figur 11a.

Modellresultatene viser følgende:

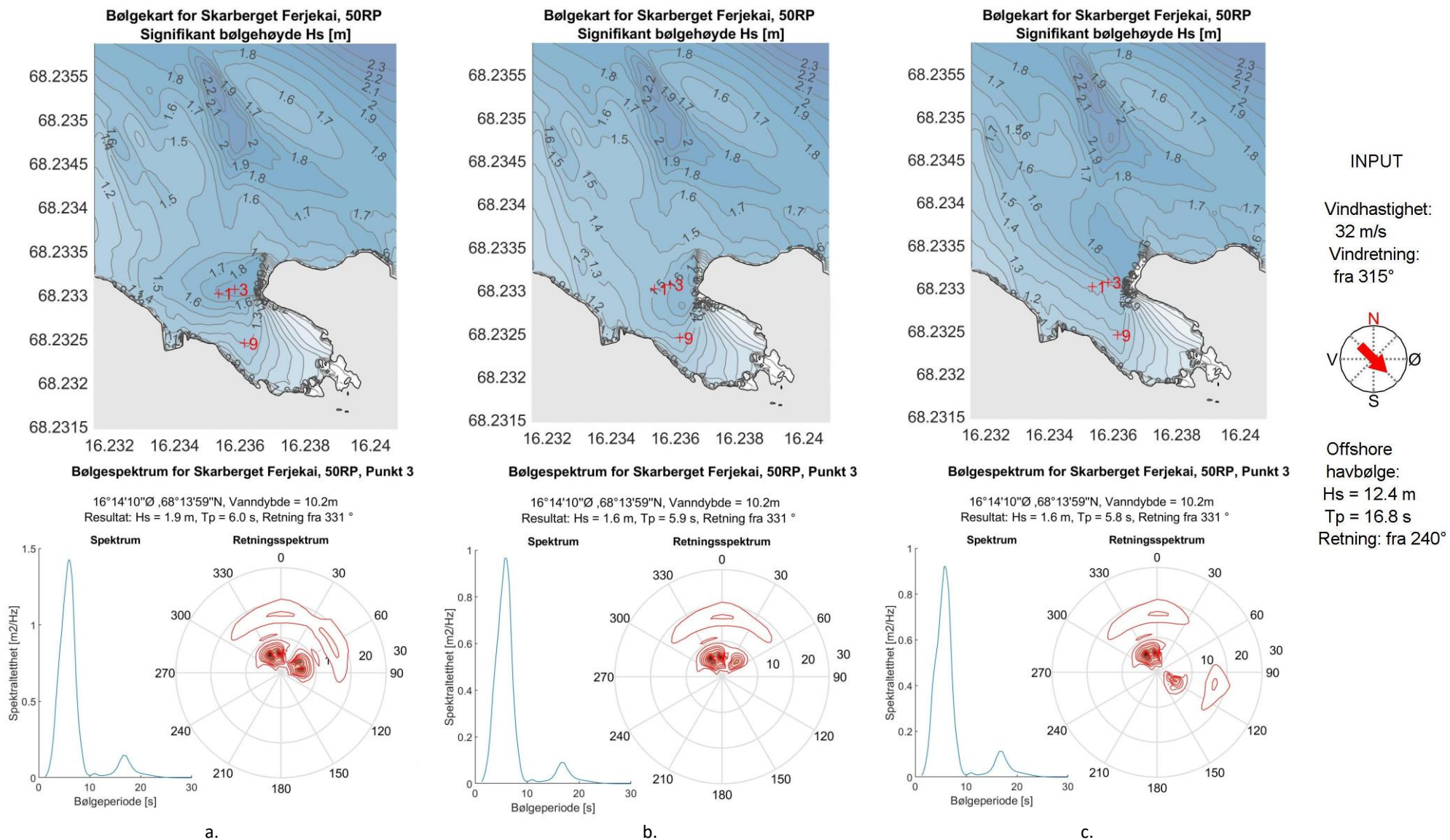
- Fjerning av bergnabb parallelt med kaien (ca. 10°): Innkommende bølger fra nordvest reflekteres og de reflekterte bølgene treffer dagens kaianlegg fra øst-nordøst. Bølgeforholdene i småbåthavnen forventes å være lite endret.
- Fjerning av bergnabb rettet nord-sør (ca. 0°): Innkommende bølger fra nordvest reflekteres og de reflekterte bølgene får en retning fra nordlig sektor. Bølgene blir på denne måten ledet sørover og inn i småbåthavnen. Dagens kaianlegg vil til en viss grad bli påvirket av de reflekterte bølgene. Bølgehøydene i småbåthavnen vil øke noe.
- Fjerning av bergnabb rettet nordøst-sørvest (ca. 30°): Innkommende bølger fra nordvest reflekteres utover og får en retning fra øst-sørøst. Dette medfører at kaianlegget vil være mindre utsatt for de reflekterte bølgene. Noe av den reflekterte bølgeenergien vil kunne treffe dagens og planlagt kaianlegg. Bølgeforholdene i småbåthavnen forventes å være lite endret.
- Innseilingen vil i alle de tre testede tilfellene bli noe påvirket av de reflekterte bølgene.

Det er videre gjort en vurdering av helning og ruhet på Tiltak 1. Det er vurdert en helning på 10:1 som tilsvarer en rett vegg og en helning på 1:1.5 som tilsvarer en fyllingsskråning. Ruheten på helningen, som kan være avgjørende for refleksjonskoeffisienten, er satt til 1.0 som tilsvarer en glatt vegg ved helningen på 10:1 og 0.55 som tilsvarer en steinfylling ved helning på 1:1.5. Betydelig mindre bølger reflekteres som følge av å bruke en helning på 1:1.5 (refleksjonskoeffisient på 44 %) enn en helning på 10:1 (refleksjonskoeffisient på 100 %).

Basert på overstående resultater vurderes det som mest hensiktsmessig å utforme Tiltak 1 med størst mulig vinkel i retning nordøst-sørvest. Bølgeenergien reflekteres på denne måten utover mot fjorden og ikke inn mot ferjeleiet og småbåthavnen. Det anbefales å ha en slak helning på utforming av Tiltak 1 for å minimere den reflekterte bølgeenergien. Ruhet på utformingen er også avgjørende for dempingen av bølgeenergi, og en størst mulig ruhet er anbefalt. En fylling med grove stein som ikke er regulært plassert kan for eksempel dempe bølgerrefleksjonen betydelig.

Når ikke veggen strekker seg helt opp til overflaten, vil refleksjonen være mindre jo lenger ned i vannsøylen veggen slutter.





Figur 10 Bølgekart (signifikant bølgehøyde i meter) og bølgespekter for a. Tiltak 1 rettet parallelt med dagens kai, b. Tiltak 1 rettet nord-sør, c. Tiltak 2 rettet nordøst-sørvest

## 5.2 Bølgetilstand med 50 års returperiode

Bølgetilstand med 50 års returperiode er modellert for følgende bølgeforhold:

- Dagens situasjon
- Etter gjennomføring av Tiltak 1, hvor tiltaket er vinklet nordøst-sørvest med en helning på 1:1.5
- Etter gjennomføring av Tiltak 1 og Tiltak 2

Bølgeforholdene gis utenfor dagens kaianlegg, innenfor dagens kaianlegg, i innseilingen og i småbåthavnen.

Resultatene av signifikant bølgehøyde, topperiode og bølgeretning ved dagens bølgeforhold, bølgeforholdene etter bare Tiltak 1 og bølgeforholdene etter både Tiltak 1 og Tiltak 2 er gitt i Tabell 5. Kun resultatene fra den største kombinertbølgen er vist, generert av dønning fra 240° og vind fra nordvest. Vind fra nord er også undersøkt og resultatene viser at bølgene generert med vind fra nord også har en retning fra nordvest. Kaien har en dempende effekt på bølgen da en vannstand med 50 års returperiode når opp over skjørthøyden.

Dagens bølgetilstand med 50 års returperiode er vist i Figur 11a, mens bølgesituasjonen med Tiltak 1 er vist i Figur 11b. Figurene viser en liten endring i bølgeforholdene, hvor noe av bølgeenergien utenfor Tiltak 1 blir reflektert utover mot nordvest.

Signifikant bølgehøyde og bølgens topperiode endrer seg generelt lite som følge av Tiltak 1. Den største endringen før og etter Tiltak 1 er observert i innseilingen like utenfor tiltaket, ved punkt 13. Selv om bølgehøyden og perioden ikke endrer seg vesentlig, og det antas at den reflekterte bølgeenergien er liten i forhold til innkommende bølge, kan det likevel oppstå en noe mer kaotisk bølgesituasjon grunnet den reflekterte bølgeenergien. Figur 12 viser bølgespektra for de rapporterte modellpunktene etter Tiltak 1. Fra retningsspektrene ser man tydelig innkommende bølge fra nordvest og for punkt 1, 3 og 13 ser man også en liten andel reflektert bølgeenergi fra sørøst. Den reflekterte bølgeenergien er størst for punkt 13.

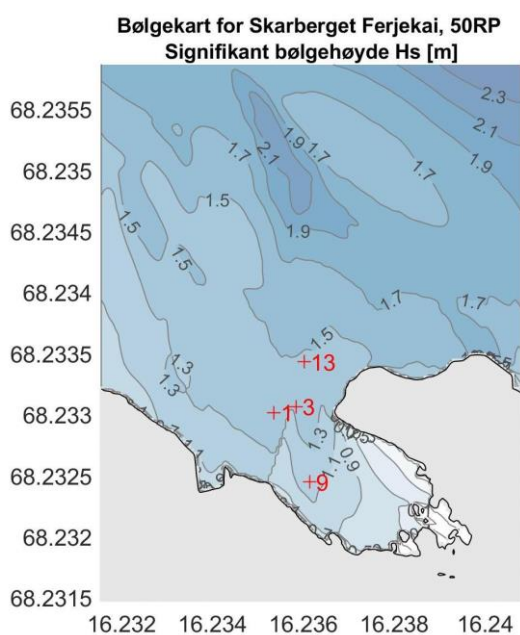
Bølgeforholdene med 50 års returperiode i småbåthavnen, punkt 9, endres minimalt etter Tiltak 1 så lenge vinkelen på tiltaket ligger nordøstlig-sørvestlig rettet.

Det er også undersøkt hvordan Tiltak 1 og Tiltak 2 sammen påvirker bølgesituasjonen. Modellresultatene viser en noe mindre signifikant bølgehøyde ved ferjekaien og småbåthavnen, mens den signifikante bølgehøyden nord og nordøst for innseilingen, punkt 13, kan øke, se Figur 13. Dette er et resultat av hvordan bølgeretningen endrer seg som følge av den nye batymetrien ved Tiltak 2. Figur 14 viser hvordan bølger fra nordvest forplanter seg mot ferjekaien før og etter Tiltak 2. Over grunnen endrer bølger fra nordvestlig retning ved refraksjon og blir dreid sørover mot ferjeleiet og småbåthavnen, se Figur 15. Etter Tiltak 2, der delen av grunnen som styrte bølgene sørover er fjernet, vil bølgene fortsette mot sørøst og ikke bli dreid mot sør.

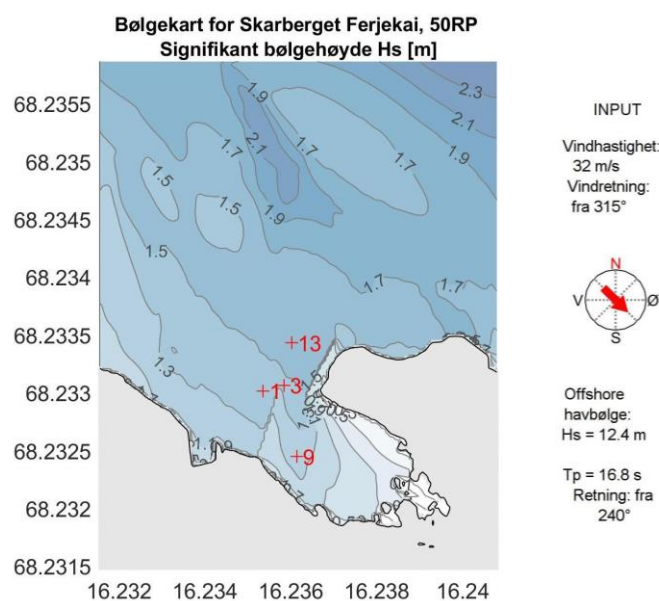
Basert på en bølgetilstand med 50 års returperiode viser modellresultatene at bølgeforholdene ved ferjekaien og småbåthavnen endrer seg minimalt basert på gjennomføring av Tiltak 1 og Tiltak 2. Noe mer urolighet kan oppleves pga. de reflekterte bølgene, da spesielt i innseilingen.

Tabell 5 Modellresultater av kombinertbølge fra nordvest med 50 års returperiode

| Kombinert bølgetilstand  |                        |        | Dagens bølgetilstand | Gjennomført Tiltak 1 | Gjennomført Tiltak 1 og 2 |
|--------------------------|------------------------|--------|----------------------|----------------------|---------------------------|
| Kaianlegg vest (punkt 1) | Signifikant bølgehøyde | Hs [m] | 1.4                  | 1.4                  | 1.3                       |
|                          | Topperiode             | Tp [s] | 5.7                  | 5.7                  | 6.3                       |
|                          | Bølgeretning (fra)     | [°]    | 331                  | 331                  | 331                       |
| Kaianlegg øst (punkt 3)  | Signifikant bølgehøyde | Hs [m] | 1.4                  | 1.5                  | 1.4                       |
|                          | Topperiode             | Tp [s] | 5.8                  | 5.8                  | 6.1                       |
|                          | Bølgeretning (fra)     | [°]    | 331                  | 331                  | 331                       |
| Småbåthavn (punkt 9)     | Signifikant bølgehøyde | Hs [m] | 1.2                  | 1.2                  | 1.1                       |
|                          | Topperiode             | Tp [s] | 5.6                  | 5.6                  | 6.0                       |
|                          | Bølgeretning (fra)     | [°]    | 353                  | 353                  | 331                       |
| Innseiling (punkt 13)    | Signifikant bølgehøyde | Hs [m] | 1.5                  | 1.6                  | 1.5                       |
|                          | Topperiode             | Tp [s] | 5.9                  | 5.9                  | 6.1                       |
|                          | Bølgeretning (fra)     | [°]    | 324                  | 324                  | 324                       |



a.



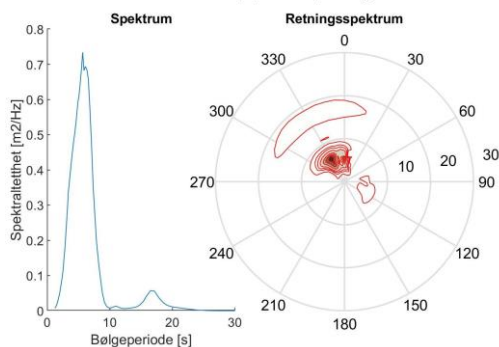
b.

Figur 11 Bølgekart av a. dagens situasjon med kai og b. etter Tiltak 1. Signifikant bølgehøyde med 50 års returperiode gitt i meter

## Kaianlegg - vest

## Bølgespektrum for Skarberget Ferjekai, 50RP, Punkt 1

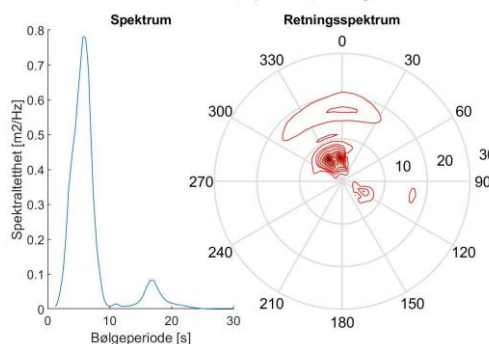
16°14'6"Ø, 68°13'59"N, Vanndybde = 13.5m  
 Resultat: Hs = 1.4 m, Tp = 5.7 s, Retning fra 331 °



## Kaianlegg - øst

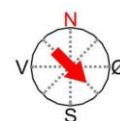
## Bølgespektrum for Skarberget Ferjekai, 50RP, Punkt 3

16°14'10"Ø, 68°13'59"N, Vanndybde = 10.2m  
 Resultat: Hs = 1.5 m, Tp = 5.8 s, Retning fra 331 °



## INPUT

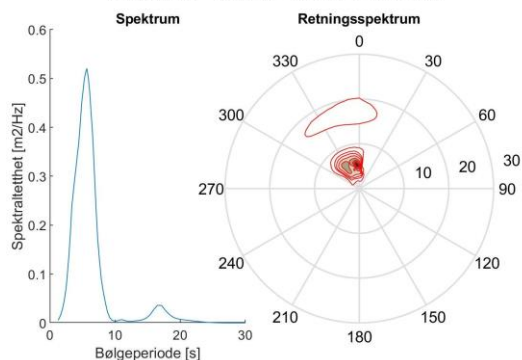
Vindhastighet:  
32 m/s  
 Vindretning:  
fra 315°



## Småbåthavnen

## Bølgespektrum for Skarberget Ferjekai, 50RP, Punkt 9

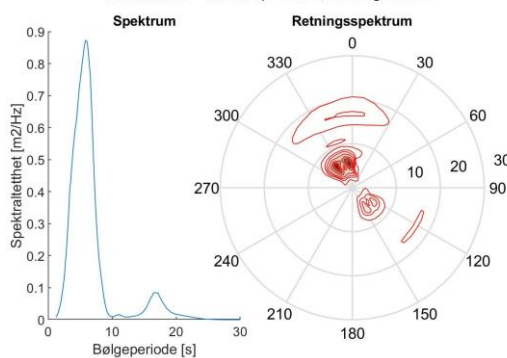
16°14'10"Ø, 68°13'57"N, Vanndybde = 14.9m  
 Resultat: Hs = 1.2 m, Tp = 5.6 s, Retning fra 353 °



## Innseilingen

## Bølgespektrum for Skarberget Ferjekai, 50RP, Punkt 13

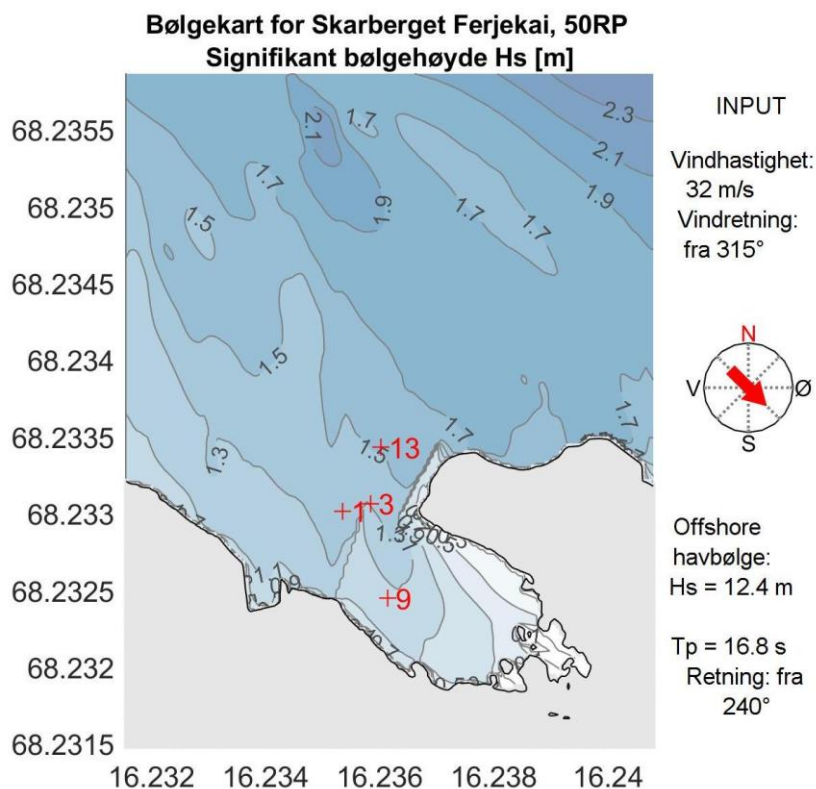
16°14'10"Ø, 68°14'0"N, Vanndybde = 10.5m  
 Resultat: Hs = 1.6 m, Tp = 5.9 s, Retning fra 324 °



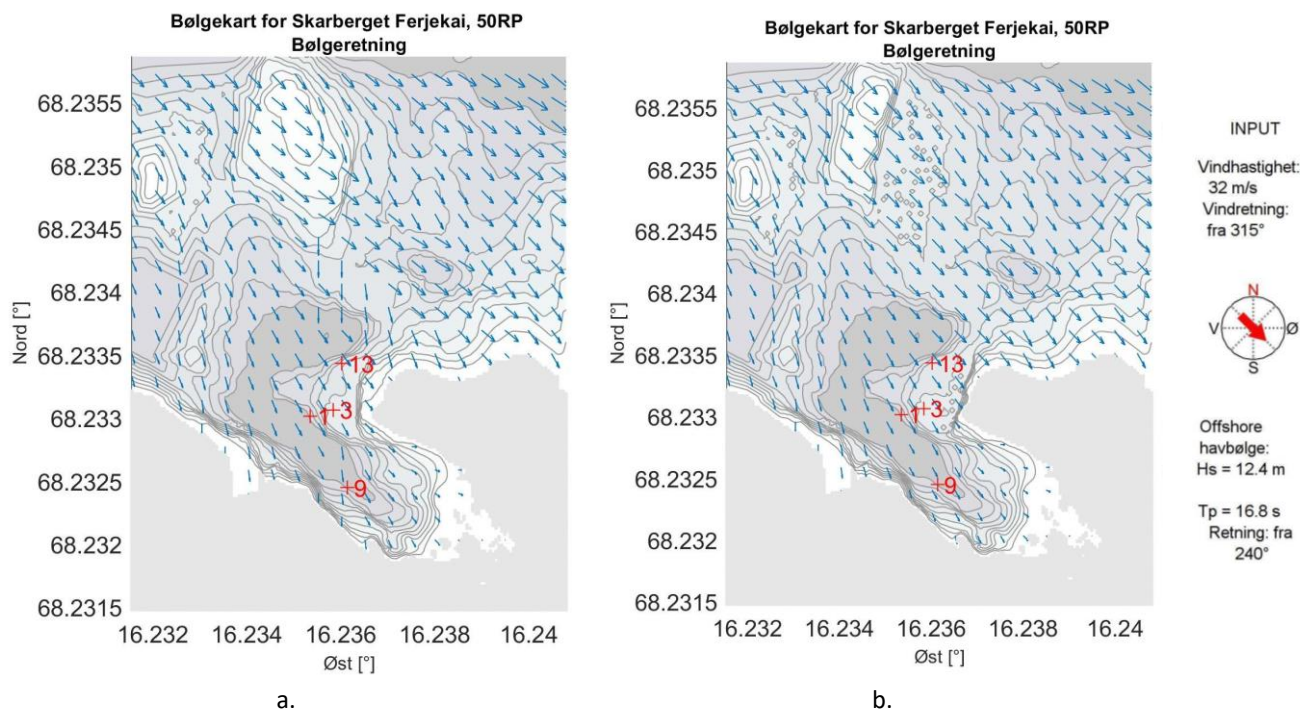
Offshore  
 havbølge:  
 Hs = 12.4 m  
 Tp = 16.8 s  
 Retning: fra 240°

Figur 12 Bølgespekter og retningsspekter for punkt 1, 3, 9 og 13 basert på en signifikant bølgehøyde med 50 års returperiode etter Tiltak 1

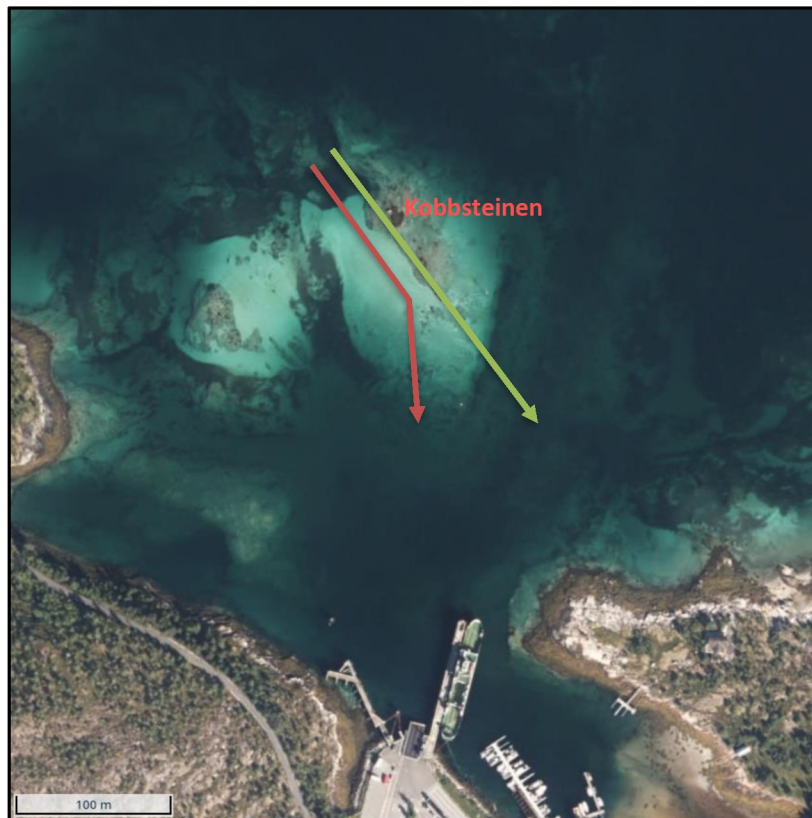




Figur 13 Bølgekart etter Tiltak 1 og Tiltak 2. Signifikant bølgehøyde med 50 års returperiode gitt i meter



Figur 14 Kart med bølgeretningen for a. dagens situasjon og b. etter Tiltak 1 og Tiltak 2. Basert på en bølge med 50 år returperiode. Dybdekoter er i gitt i bakgrunnen



Figur 15 Kart som viser hvordan bølger fra nordvest forplanter seg før Tiltak 2 (rød strek) og etter Tiltak 2 (grønn strek). Kart: kystinfo.no

### 5.3 Operasjonelle bølgeforhold

Operasjonelle bølgeforhold er modellert basert på vinddata fra Skrova fyr og en vannstand lik middel høyvann (2.76 m rel. sjøkartnull). Skjørtet på ferjekaien har en neglisjerbar dempende effekt ved denne vannstanden og er derfor ikke inkludert i modelleringen.

Operasjonelle bølgeforhold er modellert for følgende bølgeforhold:

- Dagens situasjon
- Etter gjennomføring av Tiltak 1, hvor tiltaket er vinklet nordøst-sørvest med en helning på 1:1.5
- Etter gjennomføring av Tiltak 1 og Tiltak 2

Bølgeforholdene gis utenfor dagens kaianlegg, innenfor dagens kaianlegg, i innseilingen og i småbåthavnen.

Resultatene av signifikant bølgehøyde, topperiode og bølgeretning er gitt i Tabell 6 og Tabell 7 for henholdsvis gjennomsnittlig vindhastighet og 90. prosentil av vindhastighet. Det er tatt utgangspunkt i vindbølger fra nordvest. Det er også undersøkt operasjonelle vindbølger generert av nordlig vind. Disse oppfører seg på samme måte som vindbølger generert fra nordvest, da bølger ved nordlig vind også kommer inn fra nordvestlig retning. Resultatene i dette kapitlet er derfor kun gitt for nordvestlig retning.

Bølgetilstanden basert på 90. prosentil av vindhastighet for dagens situasjon og bølgesituasjonen etter Tiltak 1 er vist i Figur 16a og Figur 16b. Bølgetilstanden etter Tiltak 1 og Tiltak 2 er gitt i Figur 17.

Resultatene viser at endringen i signifikant bølgehøyde og bølges topperiode er neglisjerbar når man sammenligner bølgetilstanden før og etter Tiltak 1 og Tiltak 2. Dette gjelder for både gjennomsnittlig vindhastighet og 90. prosentil av vindhastighet. I ytterkant av kaia og i innseilingen er det funnet



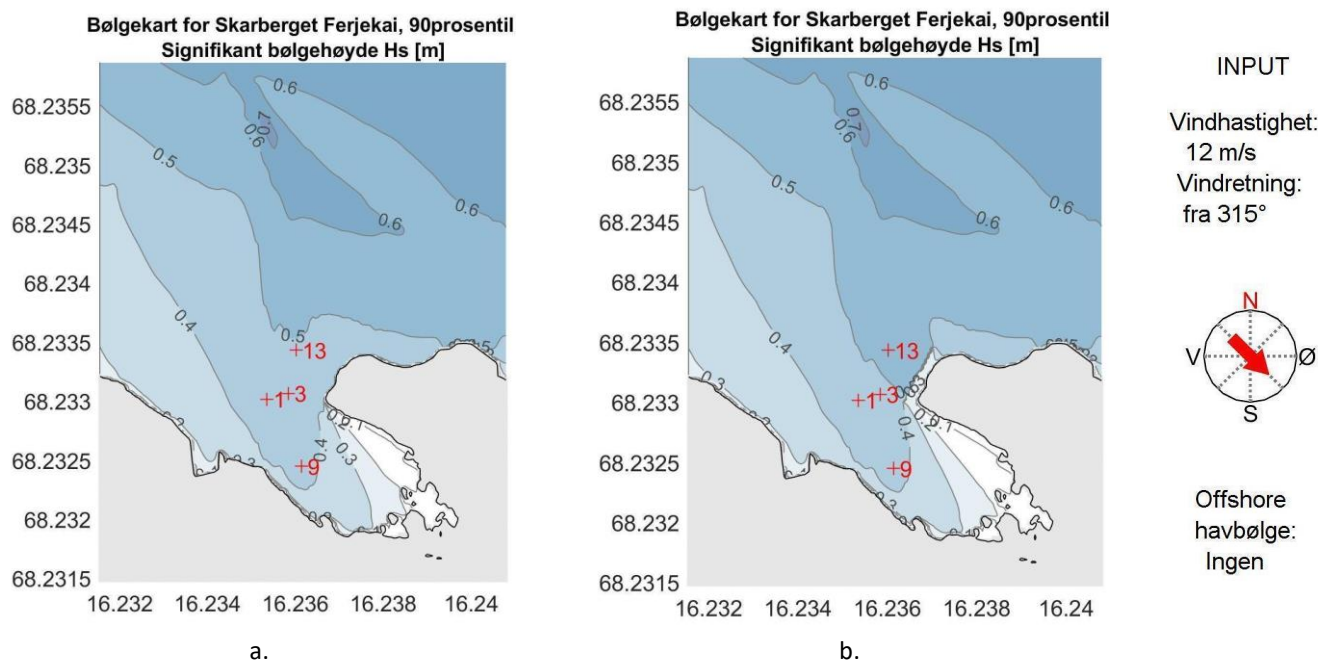
innslag av reflektert bølgeenergi (ikke vist). Selv om bølgehøyden og perioden ikke endrer seg vesentlig, og den reflekterte bølgeenergien er liten i forhold til innkommende bølge, kan det likevel oppstå en noe mer kaotisk bølgesituasjon.

Tabell 6 Modellresultater av operasjonelle bølgeforhold basert på gjennomsnittlig vindhastighet ved Skrova fyr fra 315°

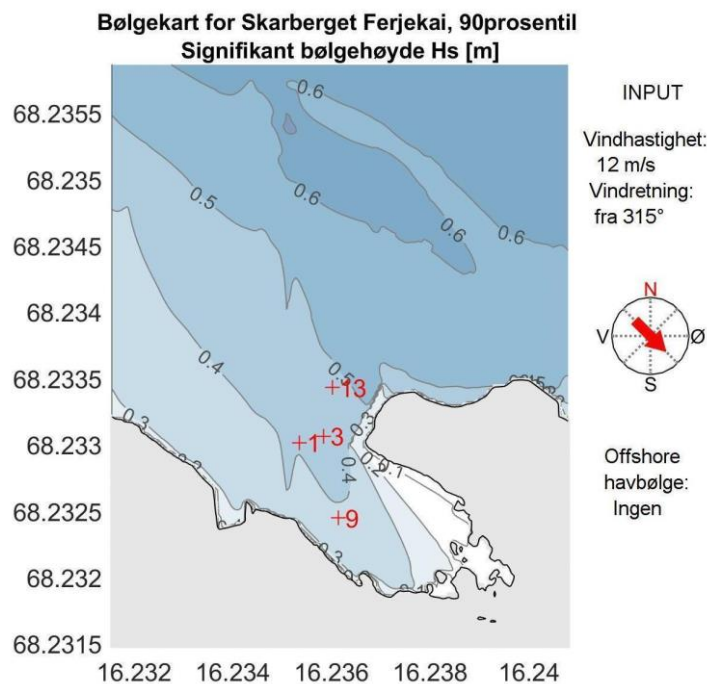
| Kombinert bølgetilstand  |                        |        | Dagens bølgetilstand | Gjennomført Tiltak 1 | Gjennomført Tiltak 1 og 2 |
|--------------------------|------------------------|--------|----------------------|----------------------|---------------------------|
| Kaianlegg vest (punkt 1) | Signifikant bølgehøyde | Hs [m] | 0.2                  | 0.2                  | 0.2                       |
|                          | Topperiode             | Tp [s] | 2.5                  | 2.5                  | 2.5                       |
|                          | Bølgeretning (fra)     | [°]    | 324                  | 324                  | 324                       |
| Kaianlegg øst (punkt 3)  | Signifikant bølgehøyde | Hs [m] | 0.2                  | 0.2                  | 0.2                       |
|                          | Topperiode             | Tp [s] | 2.5                  | 2.5                  | 2.5                       |
|                          | Bølgeretning (fra)     | [°]    | 324                  | 324                  | 324                       |
| Småbåthavn (punkt 9)     | Signifikant bølgehøyde | Hs [m] | 0.2                  | 0.2                  | 0.2                       |
|                          | Topperiode             | Tp [s] | 2.5                  | 2.5                  | 2.5                       |
|                          | Bølgeretning (fra)     | [°]    | 331                  | 331                  | 331                       |
| Innseiling (punkt 13)    | Signifikant bølgehøyde | Hs [m] | 0.2                  | 0.2                  | 0.2                       |
|                          | Topperiode             | Tp [s] | 2.5                  | 2.5                  | 2.5                       |
|                          | Bølgeretning (fra)     | [°]    | 324                  | 324                  | 324                       |

Tabell 7 Modellresultater av operasjonelle bølgeforhold basert på 90. prosentil av vindhastighet ved Skrova fyr fra 315°

| Kombinert bølgetilstand  |                        |        | Dagens bølgetilstand | Gjennomført Tiltak 1 | Gjennomført Tiltak 1 og 2 |
|--------------------------|------------------------|--------|----------------------|----------------------|---------------------------|
| Kaianlegg vest (punkt 1) | Signifikant bølgehøyde | Hs [m] | 0.5                  | 0.5                  | 0.4                       |
|                          | Topperiode             | Tp [s] | 3.9                  | 4.0                  | 3.3                       |
|                          | Bølgeretning (fra)     | [°]    | 331                  | 331                  | 332                       |
| Kaianlegg øst (punkt 3)  | Signifikant bølgehøyde | Hs [m] | 0.5                  | 0.5                  | 0.4                       |
|                          | Topperiode             | Tp [s] | 3.8                  | 3.8                  | 3.3                       |
|                          | Bølgeretning (fra)     | [°]    | 324                  | 324                  | 324                       |
| Småbåthavn (punkt 9)     | Signifikant bølgehøyde | Hs [m] | 0.4                  | 0.4                  | 0.4                       |
|                          | Topperiode             | Tp [s] | 4.1                  | 4.1                  | 3.3                       |
|                          | Bølgeretning (fra)     | [°]    | 331                  | 331                  | 331                       |
| Innseiling (punkt 13)    | Signifikant bølgehøyde | Hs [m] | 0.5                  | 0.5                  | 0.5                       |
|                          | Topperiode             | Tp [s] | 3.8                  | 3.8                  | 3.3                       |
|                          | Bølgeretning (fra)     | [°]    | 324                  | 324                  | 324                       |



Figur 16 Bølgekart av a. dagens situasjon og b. etter Tiltak 1. Signifikant bølgehøyde basert på 90. prosentil av vindhastighet ved Skrova fyr fra 315°. Bølgehøyde gitt i meter



Figur 17 Bølgekart etter Tiltak 1 og Tiltak 2 basert på 90. prosentil av vindhastighet ved Skrova fyr fra 315°. Signifikant bølgehøyde gitt i meter

## 6 Referanser

Clifford L. Truitt, and John B. Herbich (1986): Random waves transmission. Coastal engineering. Chapter 169. Transmission of Random Waves

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

Kartverket (2019): Sjøkart – Dybde data

Kriebel, D.L., and Bollmann, C.A., (1996), "An Assessment of Power Transmission Theory for Vertical Wave Barriers", ICCE96, Orlando, Florida, pp.2470-2483.

Kystinfo.no: karttjeneste fra Kystverket

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

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

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

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

Sehavnivå.no: Vannstandsdata fra Kartverket

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

SWAN (2016): Technical documentation – SWAN Cycle III version 41.01A, Delft University of Technology

Zanuttigh and Van der Meer, 2006: Zanuttigh, Barbara, og Jentsje W. van der Meer. 2006. «Wave reflection from coastal structures. COASTAL ENGINEERING CONFERENCE, 30:4337. ASCE AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS

## APPENDIKS A Bakgrunnsinformasjon om SWAN modellen

Modellen SWAN (SWAN, 2016) er benyttet for å beregne bølgetilstand ved lokaliteten. Modellen tar hensyn til mange bølgeprosesser, så som:

- Avbøyning pga dybdeendringer (refraksjon)
- Avbøyning pga landformasjoner (diffraksjon)
- Grunningseffekter og brytning
- Bølge-bølge-interaksjon

Modellen er en spektralmodell som beregner generering og forplantning av en bølgetilstand som består av flere bølgeperioder.

På grunn av at SWAN kjøres i stasjonær modus modifiseres vindhastigheten til en såkalt "strøkvind", dvs. den midlere vindhastigheten i tidsperioden fram til bølgefeltet blir stasjonært. Denne tidsperioden finnes ved å beregne den korteste tiden det tar for bølgefeltet til å bli strøkbegrenset (Leenknecht et al., 1992). Strøkvinden beregnes som middelvind over denne perioden i henhold til NORSOK N-003. For retninger med korte strøk, vil strøkvinden være midlet over kortere tid (f.eks. 10 minutt) enn for retninger med lange strøk (f.eks. 3 timer).

Strøkvinden er beregnet med utgangspunkt i 10 minutters middelvind i 10 m høyde og strøkgeometrien.

For å ikke overestimere vindbølgene for lange åpne strøk er vind først introdusert i modellsteg 2. Modellgridet i modellsteg 2 er valgt så avstanden på det lengste åpne strøket tilsvarer ca. 30 km. En strøklengde på 30 km tilsvarer en varighet på ca. 3 timer for 30 m/s vind.

Forplantning av dønning er beregnet ved å sette en bølgetilstand beskrevet med JONSWAP spekter på grensen av det største beregningsgridet med spredningsparameter og spissheitsparameter ifølge Smith et al (1999).

## APPENDIKS B Ekstremverdianalyse av offshore bølgeinput

Offshore bølgetilstand med 50 års returperioder er utledet fra statistisk analyse av hindcastdata fra punkt 67.92° N, 14.24° Ø i modellen WAM10. Modellen har en oppløsning på omtrent 10 km og dekker tidsperioden 01.09.1957 - 31.05.2017 med 3 timers oppløsning. Beregnede ekstremverdier av signifikant bølgehøyde  $H_s$  er basert på antakelsen at årlig maksimal bølgehøyde er gumbelfordelt (DNVGL-RP-C205, 2017). For å finne simultanfordelingen av  $H_s$  og topperiode  $T_p$  metoden Conditional Modelling Approach er benyttet. Metoden er beskrevet i DNVGL-RP-C205 (2017) og Mathisen og Bitner-Gregersen (1990).

Ekstremverdier er funnet for 12 sektorer og uavhengig av bølgeretningen. For å fastsette dimensjonerende bølgetilstand i hver sektor er det brukt metoden anbefalt av NORSOK N-003 (2017). NORSOK N-003 (2017) anbefaler å multiplisere den ønskete returperioden med en faktor på halvparten av antall sektorer, dvs. hvis den interessante returperioden er 50 år og man undersøker 12 sektorer, skal man finne 300 års returnivået i sektoren og bruke minimum av 300 års returnivået i sektoren og det retningsuavhengige returnivået som dimensjonerende i sektoren.

## APPENDIKS C Vinndata

Det finnes ingen meteorologisk stasjon i umiddelbar nærhet til Skarberget. Vinndata fra Skrova fyr, Rotvær og Drag er derfor undersøkt for å vurdere hvilken stasjon som er mest representativ for Skarberget ferjeleiet, se Figur 18. Basert på vurderinger av vindretning, beliggenhet og lengde på tidsserien vurderes Skrova fyr (1933-2020) som den mest representative stasjonen.

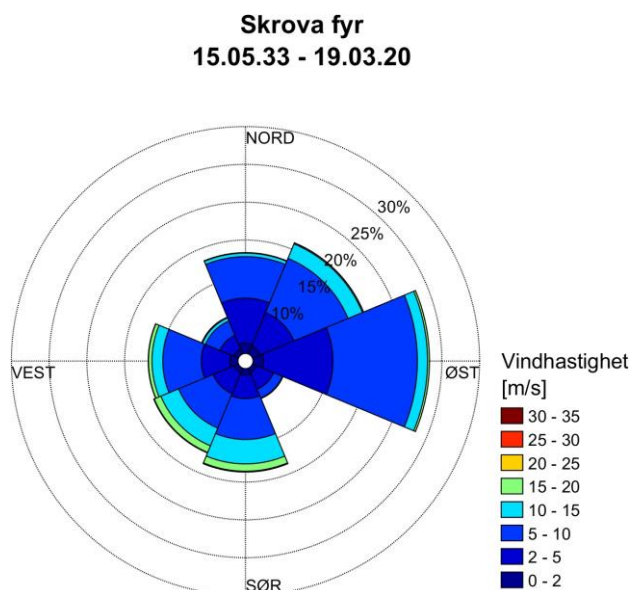
Skrova fyr ligger i Vestfjorden ca. 65 km vest-sørvest for Skarberget. Skarberget har relativt åpne strøk mot vest, nordvest og nord, mens Skrova fyr ligger noe mer eksponert til med åpne strøk i alle retninger bortsett fra mot nordøst hvor 200 m Høgskrova befinner seg. Det er antatt at vind som kommer inn fra vestlig retning ved Skrova vil dreie rundt Tysnes og treffe Skarberget fra en mer nordvestlig retning. Vindrosen for Skrova fyr er vist i Figur 19.

Målingene fra Skrova fyr viser at vindhastigheter over 15 m/s kun er målt 3 % av tiden, mens det er målt over 10 m/s 15 % av tiden, se Tabell 8 og Tabell 9.



Figur 18 Oversiktskart over Vestfjorden og Tysfjorden. Skrova, Rotvær, Drag og Skarberget er merket





Figur 19 Vindrose fra Skrova fyr (1933-2020)

Tabell 8 Retningsbasert fordeling av vindhastighet for 8 retninger ved Skrova fyr – prosentandel av målinger over visse hastigheter

| Vindhastighet [m/s] | Vindretning [°] |       |       |       |      |       |       |       |      |
|---------------------|-----------------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|------|
|                     | Alle retninger  | 0     | 45    | 90    | 135  | 180   | 225   | 270   | 315  |
| >2.0                | 92.18           | 11.97 | 14.81 | 21.96 | 3.75 | 12.83 | 11.47 | 10.81 | 4.59 |
| >5.0                | 58.01           | 6.02  | 9.98  | 12.78 | 1.35 | 9.72  | 8.5   | 7.03  | 2.62 |
| >10.0               | 14.79           | 0.53  | 2.23  | 1.6   | 0.08 | 4.31  | 3.56  | 1.93  | 0.55 |
| >15.0               | 3.21            | 0.06  | 0.16  | 0.26  | 0.01 | 1.08  | 1.03  | 0.5   | 0.11 |
| >20.0               | 0.24            | 0     | 0     | 0     |      | 0.11  | 0.08  | 0.04  | 0.01 |
| >25.0               | 0.03            | 0     |       |       |      | 0.01  | 0.01  | 0     | 0    |
| >30.0               | 0               | 0     |       |       |      | 0     | 0     | 0     |      |
| Sum [%]             | 100             | 13.34 | 15.93 | 23.36 | 4.37 | 13.68 | 12.15 | 11.89 | 5.28 |
| Maksimum [m/s]      | 31.3            | 30.9  | 22    | 22.6  | 19   | 31.3  | 30.9  | 30.9  | 26.8 |

Tabell 9 Statistikk av vindhastighet [m/s] fra Skrova fyr

| Parameter                   | Vindretning [°] |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-----------------------------|-----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                             | Alle retninger  | 0    | 45   | 90   | 135  | 180  | 225  | 270  | 315  |
| Gjennomsnitt                | 6.4             | 5.1  | 6.4  | 5.8  | 4.3  | 8.1  | 8.0  | 6.6  | 5.6  |
| Median                      | 5.8             | 4.6  | 6.1  | 5.4  | 4.1  | 7.6  | 7.3  | 6.1  | 4.9  |
| Maksimum                    | 31.3            | 30.9 | 22.0 | 22.6 | 19   | 31.3 | 30.9 | 30.9 | 26.8 |
| 90- Prosentil               | 11.7            | 8.7  | 10.7 | 9.3  | 7.2  | 14.1 | 14.1 | 12.3 | 10.1 |
| 95- Prosentil               | 13.2            | 9.8  | 12.3 | 11.8 | 9.3  | 15.8 | 15.5 | 14   | 12.3 |
| 99- Prosentil               | 17.3            | 12.3 | 14.9 | 15.4 | 12.3 | 19.5 | 19   | 18.9 | 15.7 |
| Standardavvik               | 3.7             | 2.7  | 3.2  | 2.9  | 2.4  | 4.4  | 4.4  | 3.9  | 3.5  |
| Gj. snitt årlig maksimum    | 24.0            | 16   | 14.8 | 16.5 | 12.3 | 20.6 | 22.5 | 20.7 | 17.2 |
| Gj. snitt månedlig maksimum | 17.2            | 9.9  | 9.8  | 12.1 | 6.8  | 13.3 | 15.0 | 12.6 | 9.5  |