

# **Bølgerapport**

etter NS 9415:2009

**Lokalitet:** Raudbergvika

**Lokalitet nr.:** -

**Oppdragsgiver:** Artec Aqua AS

| <b>Rapport</b>                                       |  |                              |                      |
|--|--|------------------------------|----------------------|
| <b>Rapportnavn</b>                                   | Bølgerapport for Raudbergvika  |                              |                      |
| <b>Rapportnummer</b>                                 | BR-01021-Raudbergvika0821-ver01.pdf  |                              |                      |
| <b>Rapportversjon</b>                                | Dato   | Beskrivelse                  |                      |
| <b>01</b>  | 31.08.2021   | Første utgivelse             |                      |
| <b>Rapportdistribusjon</b>                           | Denne rapporten kan kun gjengis i sin helhet. Gjengivelse av deler av rapporten kan kun skje etter skriftlig tillatelse fra Åkerblå AS. I slike tilfeller skal kilde oppgis. |                              |                      |
| <b>Lokalitet</b>                                     |  |                              |                      |
| <b>Lokalitetsnavn</b>                                | Raudbergvika   | <b>Lokalitetsnummer</b>      | -                    |
| <b>Kommune</b>                                       | Fjord  | <b>Fylke</b>                 | Møre og Romsdal      |
| <b>GPS-koordinater for bølgeomodelleringspunktet</b> | 62°15.572' N; 007°01.865' Ø  |                              |                      |
| <b>Bølgeparameter 50-år</b>                          | <b>Hs (m)</b>  | <b>Tp (s)</b>                | <b>Retning (fra)</b> |
|  | 1.6  | 4.5                          | 194° (S)             |
| <b>Oppdragsgiver</b>                                 |  |                              |                      |
| <b>Selskap</b>                                       | Artec Aqua AS, Postvegen 13, 6018 ÅLESUND  |                              |                      |
| <b>Kontakt person</b>                                | Andres Thyri   | ath@artec-aqua.com           |                      |
| <b>Oppdragsansvarlig</b>                             |  |                              |                      |
| <b>Selskap</b>                                       | Åkerblå AS; Nordfrøyveien 413; 7260 SISTRANDA<br>Organization no. 963 554 052  |                              |                      |
| <b>Rapportansvarlig</b>                              | Aleksander Libæk   | aleksander.libaek@akerbla.no |                      |
| <b>Kontrollert av</b>                                | Jenny-Lisa Reed  | jenny.lisa@akerbla.no        |                      |

## Måleenheter og Forkortelser

Alle måleenheter brukt i rapporten er beskrevet i Tabell 1.

Tabell 1. Måleenheter og forkortelser brukt i rapporten.

| Symbol           | Beskrivelse  | Måleenhet  |
|------------------|--|--|
| -                | Høyde / Dybde  | Meter (m)  |
| -                | Avstand  | Kilometer (km)<br>Meter (m)                                    |
| -                | Posisjon / Koordinater   | GGG.GGG (°) Kompassretning<br>GGG (°) MM.MM (') Kompassretning |
| -                | Datum  | WGS84  |
| Hs               | Signifikant Bølgehøyde. Gjennomsnitt av høyeste tredjedel av bølgene i en tidsserie. | Meter (m)  |
| Tp               | Topperiode for bølger. Bølgeperioden med høyeste energi.                             | Sekund (s)   |
| -                | Bølgeretning (fra)   | Grader (°)   |
| -                | Vindhastighet  | Meter per sekund (m/s)   |
| -                | Vindretning (fra)  | Grader (°)   |
| V <sub>ref</sub> | Referansevindhastighet (fra)   | Meter per sekund (m/s)   |
| V <sub>s</sub>   | Stedsvindhastighet (fra)   | Meter per sekund (m/s)   |
| V <sub>st</sub>  | Strøkvindhastighet (fra)   | Meter per sekund (m/s)   |

## Sammendrag

---

Åkerblå AS har på oppdrag fra Artec Aqua AS utført en bølgerapport ved Raudbergvika.

### Denne rapporten omfatter:

---

- Vind
  - Vindhastighet med 10-års og 50-års returperiode for åtte retninger
- Bølger
  - Maksimal opptredende signifikant bølgehøyde med tilhørende topperiode samt 10-års og 50-års returperiode i åtte retninger
  - Vindgenererte bølger, havbølger / dønninger og kombinertbølger

### Hovedresultater er:

---

- Bølger
    - Høyeste 50-års Hs er på 1.6m fra S.
    - Laveste 50-års Hs er på 0.4m fra NØ og Ø.
    - Bølgehøyden er vurdert å bli påvirket av skipsgenererte bølger og bølgerrefleksjon.
    - Bølgehøyden er vurdert å ikke bli påvirket av havbølger eller bølgetog.
-

## Innholdsfortegnelse

---

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Måleenheter og Forkortelser</b> .....                   | <b>3</b>  |
| <b>Sammendrag</b> .....                                    | <b>4</b>  |
| <b>Innholdsfortegnelse</b> .....                           | <b>5</b>  |
| <b>1. Områdebeskrivelse</b> .....                          | <b>6</b>  |
| 1.1 Kart over området.....                                 | 6         |
| <b>2. Modelleringspunkt og bunntopografi</b> .....         | <b>7</b>  |
| <b>3. Vind</b> .....                                       | <b>9</b>  |
| <b>4. Bølger</b> .....                                     | <b>11</b> |
| 4.1 Vindbølger .....                                       | 14        |
| 4.2 Havbølger.....   | 16        |
| 4.3 Høyeste bølge og bølgespekter .....                    | 17        |
| 4.4 Bølgekomponenter .....                                 | 19        |
| 4.5 Bekreftelse av bølgeberegninger .....                  | 20        |
| 4.6 Diskusjon.....   | 21        |
| 4.7 Konklusjon.....  | 21        |
| <b>5. Konklusjonstabell for vind og bølger</b> .....       | <b>22</b> |
| <b>6. Vannstand</b> .....                                  | <b>23</b> |
| Vannstand ved stormflo (DNV-RP-C205).....                  | 23        |
| <b>7. Referanser</b> .....                                 | <b>24</b> |
| <b>8. Vedlegg</b> .....                                    | <b>26</b> |
| 8.1 Bølger .....   | 26        |
| 8.1.1 Vinndata.....  | 26        |
| 8.1.2 Bølgemodellering.....                                | 27        |
| 8.1.3 Verifisering.....                                    | 28        |
| 8.2 Dataredigering, datakvalitet og kvalitetskontroll..... | 28        |

## 1. Områdebeskrivelse

Raudbergvika befinner seg på østsiden av Sunnylvsfjorden i Fjord kommune, Møre og Romsdal. Sunnylvsfjorden grenser mot Storfjorden i NV og Norddalsfjorden i Ø.

I Sunnylvsfjorden utenfor Raudbergvika skråner bunntopografien nedover mot V til midt i fjorden på ca. 450m dyp. Sunnylvsfjorden er orientert i retning N – S utenfor Raudbergvika. Raudbergvika ligger skjermet fra åpent hav.

Høyeste vindhastighet i området har retning fra S og SV. Raudbergvika er ikke beskyttet mot vind fra disse retningene. I tillegg er Raudbergvika eksponert mot vind fra N og NV. Raudbergvika er skjermet mot vind fra V og østlige retninger.

### 1.1 Kart over området

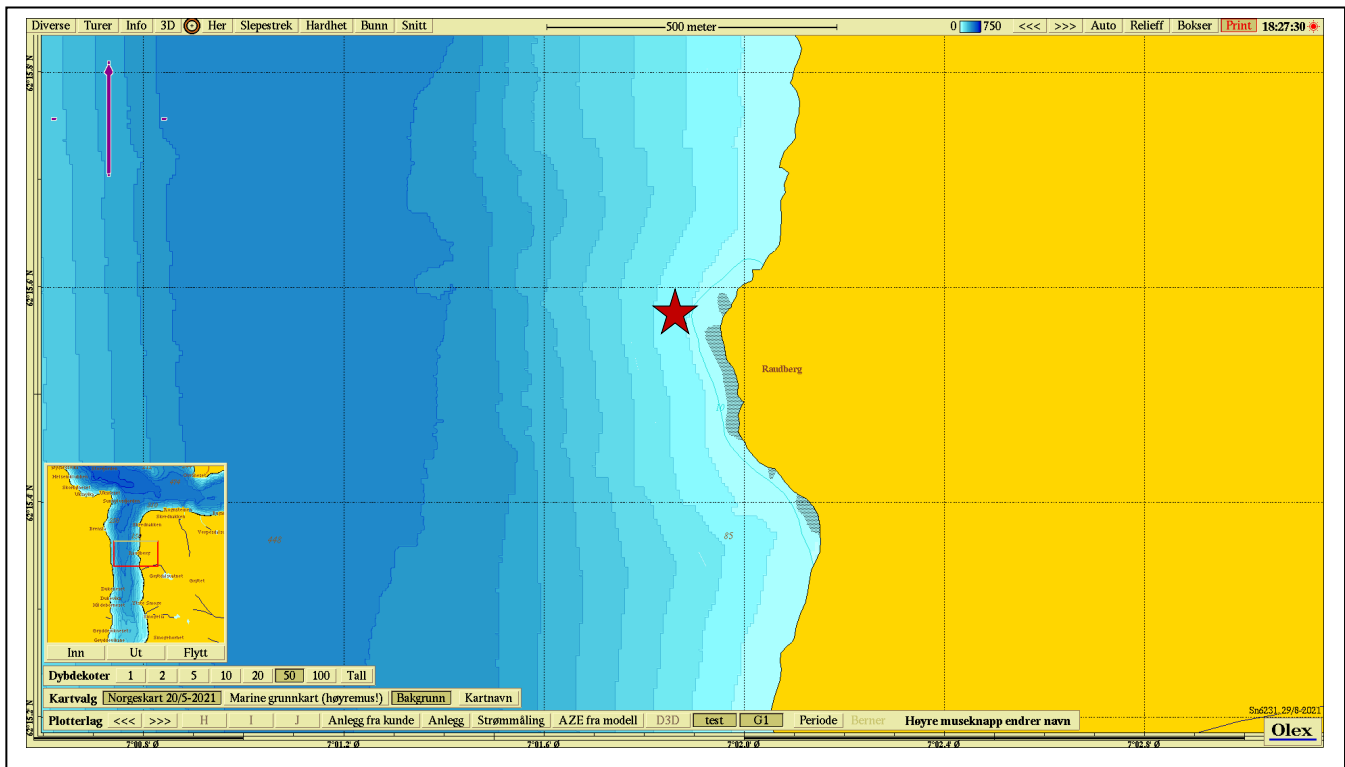
Kart over området hentet fra Fiskeridirektoratets kartverktøy.



Figur 1.1. Oversiktskart over området rundt Raudbergvika. Raudbergvika er anvist med blå stjerne. Kartdatum: WGS84.

## 2. Modelleringspunkt og bunntopografi

Raudbergvika og bunntopografi er vist i Figur 2.1. Modelleringsposisjonen er oppgitt i Tabell 2.1.

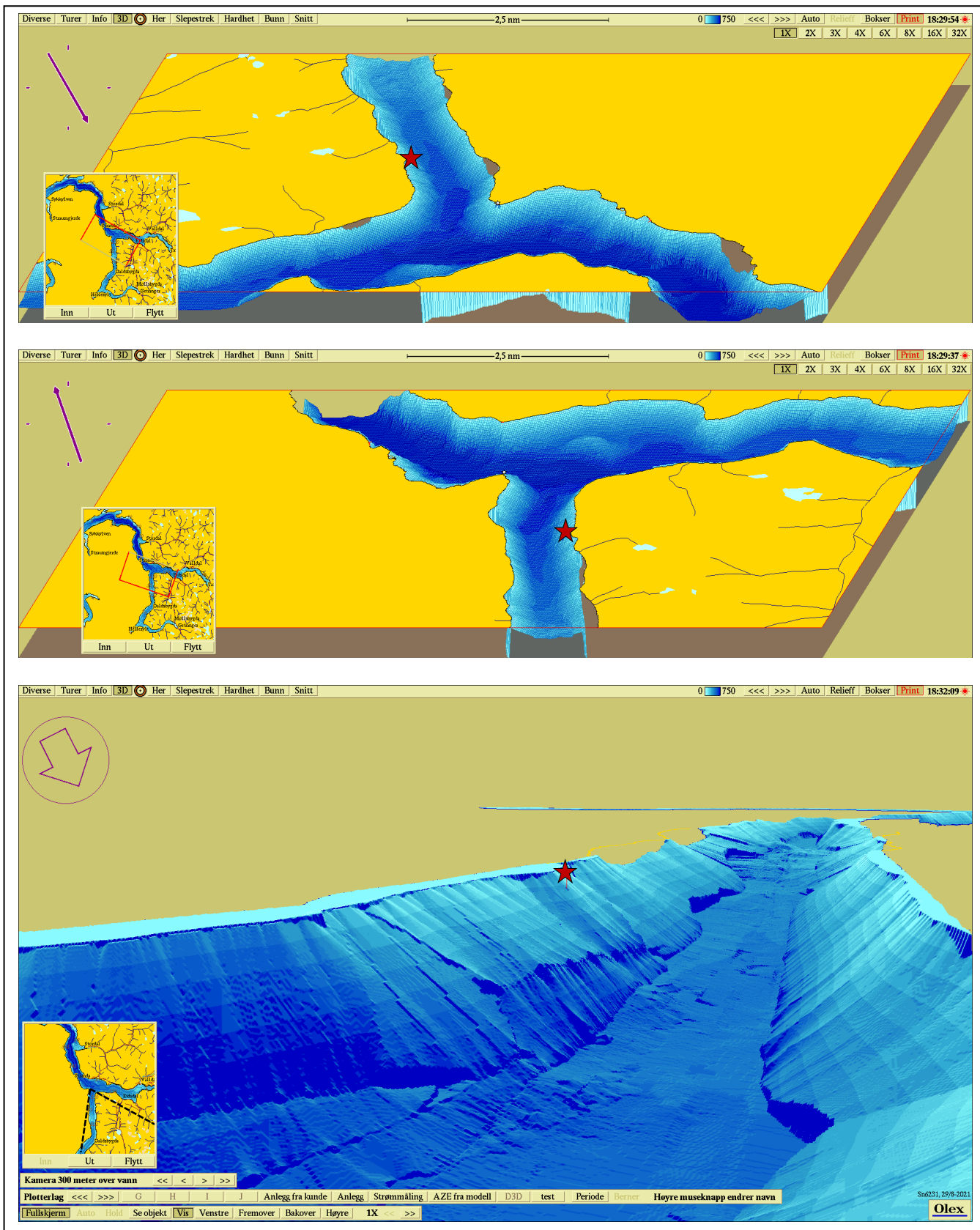


Figur 2.2. Raudbergvika og bunntopografi. Målestokken er vist på kartet. Kartet er hentet fra Olex. Kartdatum: WGS84.

Punkt for bølgeberegningen er anvist med rød stjerne.

Tabell 2.1. Modelleringsposisjon.

| Posisjon (N) | Posisjon (Ø)  |
|--------------|---------------|
| 62°15.572' N | 007°01.865' Ø |



Figur 2.2. 3D-kart/bilde av bunntopografien. Kartene er tatt fra Olex. Den tynne kompasspila (venstre hjørne for øverste og midterste bilde) indikerer kartenes orientering. Den tykke kompasspila (venstre hjørne for øverste bilde) indikerer kameraets orientering. Det lille kartet viser kameraets utsiktspunkt for den tilhørende bunntopografien. Kartdatum: WGS84.



### 3. Vind

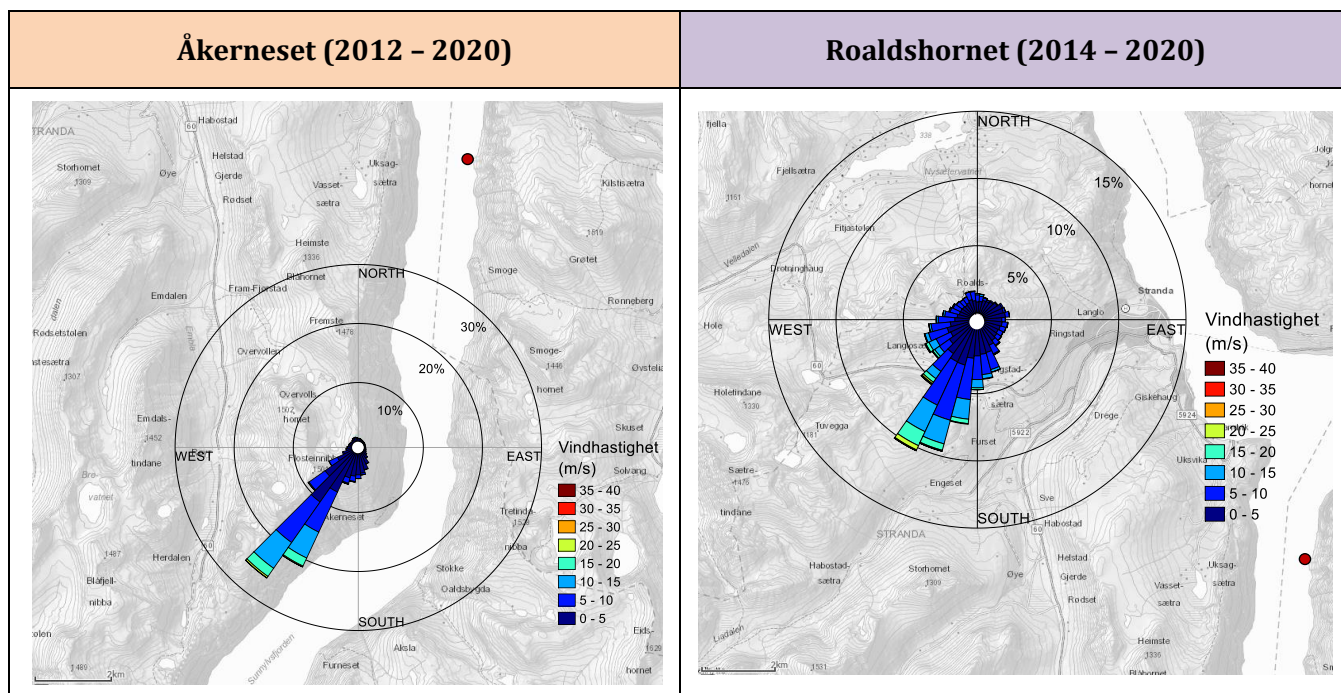
For å beskrive vindforholdene ved Raudbergvika tas det utgangspunkt i de 2 nærmeste vindmålerstasjonene som er Åkerneset og Roaldshornet. Figur 3.1 viser beliggenheten til værstasjonene i forhold til Raudbergvika. I avstand fra Raudbergvika ligger Åkerneset 10.8km mot NV med høyde 900moh og Roaldshornet ligger 7.9km mot S/SV med høyde 1050moh. Værstasjonene vil ikke kunne beskrive lokal vind ved Raudbergvika men gi et inntrykk til den regionale vinden. Åkerneset er i større grad mer representativt da den ligger i samme fjordsystem som Raudbergvika, men det vil kunne forventes noen andre vindretninger på Raudbergvika enn på Åkerneset på grunn av topografisk styring av vind. Dataene fra disse værstasjonene er vurdert som hensiktsmessige i denne sammenheng.



Figur 3.1. Beliggenheten til værstasjonene Åkerneset (oransje kors) og Roaldshornet (lilla kors) i forhold til Raudbergvika (rødt kors) og Ålesund vannstands måler (blått kors). Kartet er hentet fra Fiskeridirektoratets kartverktøy. Kartdatum: WGS84.

I Figur 3.2 er vindrosene for de to værstasjonene illustrert sammen med området rundt Raubergvika for å gi et bilde av vindforholdene lagt til grunn for denne rapporten. Tabell 3.1 og Tabell 3.2 viser maksimal, gjennomsnittlig og prosentandel vind per retningssektor fra henholdsvis værstasjonene Åkerneset og Roaldshornet.

Høyeste vindhastighet på Åkerneset og Roaldshornet er henholdsvis 29.0m/s og 39.3m/s med retning fra SV. Dominerende vindretning på begge værstasjonene er fra SV og deretter S. Fjorden er orientert i retning S - N i området for Raudbergvika (Åkerblå, 2021a og Åkerblå 2021b).



Figur 3.2. Vindrose fra værstasjonene Åkerneset (2012 - 2020) og Roaldshornet (2014 - 2020). Modelleringsposisjonen er anvist med rød sirkel. Kartene er hentet fra Fiskeridirektoratets kartverktøy. Kartdatum: WGS84.

Tabell 3.1. Maks vindhastighet per retningssektor for værstasjonen Åkerneset (2012 - 2020).

| Åkerneset (2012 - 2020) |         |     |     |     |      |      |     |     |
|-------------------------|---------|-----|-----|-----|------|------|-----|-----|
| Vindhastighet (m/s)     | Retning |     |     |     |      |      |     |     |
|                         | N       | NØ  | Ø   | SØ  | S    | SV   | V   | NV  |
| <b>Maksimal</b>         | 10.3    | 6.8 | 4.8 | 7.8 | 26.7 | 29.0 | 8.8 | 9.5 |
| <b>Gjennomsnitt</b>     | 2.3     | 1.7 | 1.5 | 1.6 | 2.9  | 6.7  | 1.7 | 1.4 |
| <b>%</b>                | 2.7     | 1.3 | 1.2 | 5.2 | 18.9 | 63.4 | 4.5 | 2.7 |

Tabell 3.2. Maks vindhastighet per retningssektor for værstasjonen Roaldshornet (2014 - 2020).

| Roaldshornet (2014 - 2020) |         |      |      |      |      |      |      |      |
|----------------------------|---------|------|------|------|------|------|------|------|
| Vindhastighet (m/s)        | Retning |      |      |      |      |      |      |      |
|                            | N       | NØ   | Ø    | SØ   | S    | SV   | V    | NV   |
| <b>Maksimal</b>            | 19.0    | 10.5 | 15.6 | 15.7 | 28.4 | 39.3 | 21.0 | 16.0 |
| <b>Gjennomsnitt</b>        | 4.6     | 2.7  | 3.3  | 3.9  | 6.5  | 7.6  | 5.3  | 4.7  |
| <b>%</b>                   | 6.7     | 6.1  | 7.8  | 8.7  | 25.4 | 26.9 | 11.9 | 6.5  |

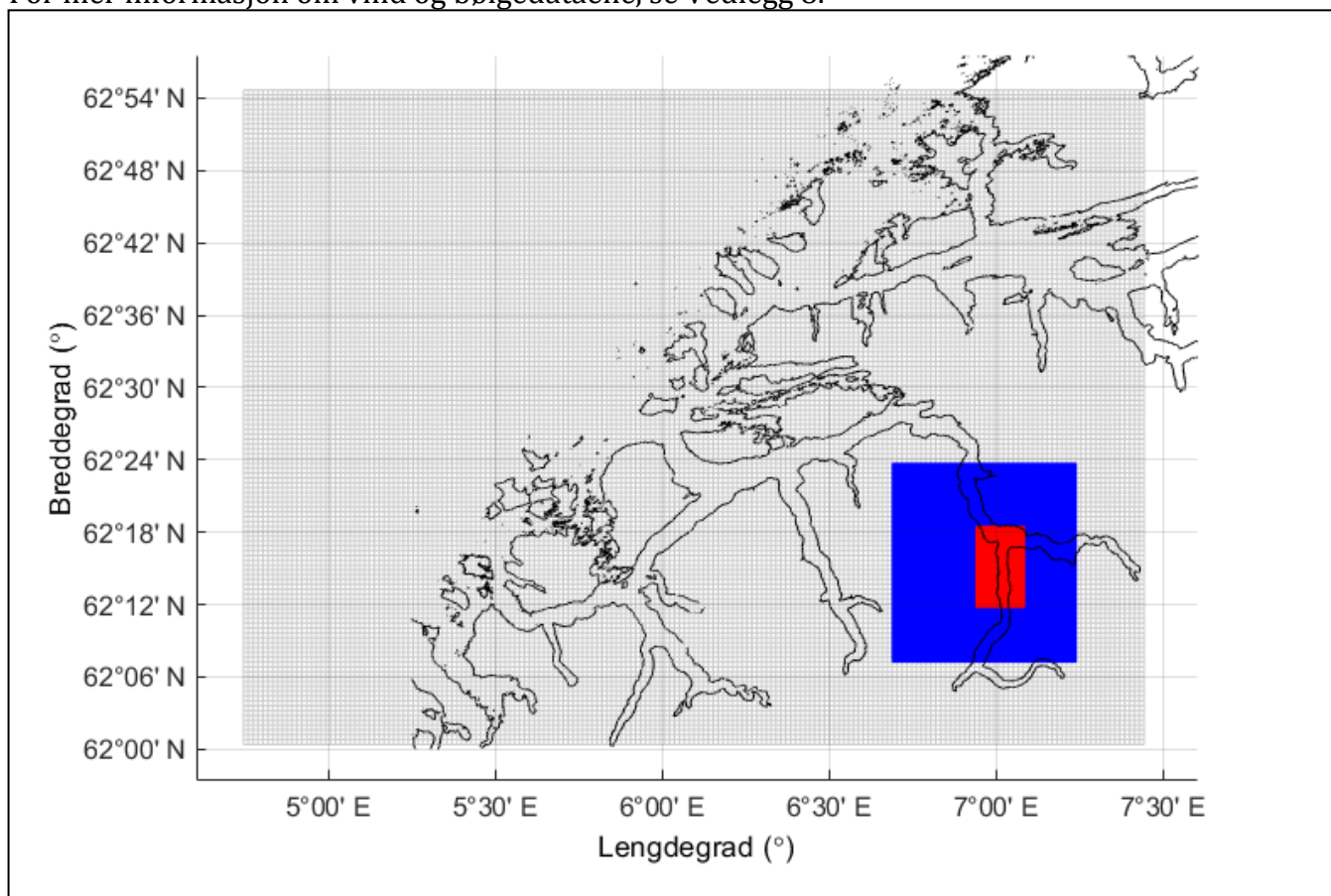
## 4. Bølger

Maksimal opptredende signifikant bølgehøyde er beregnet med returperiode på 10 og 50 år for 8 himmelretninger.

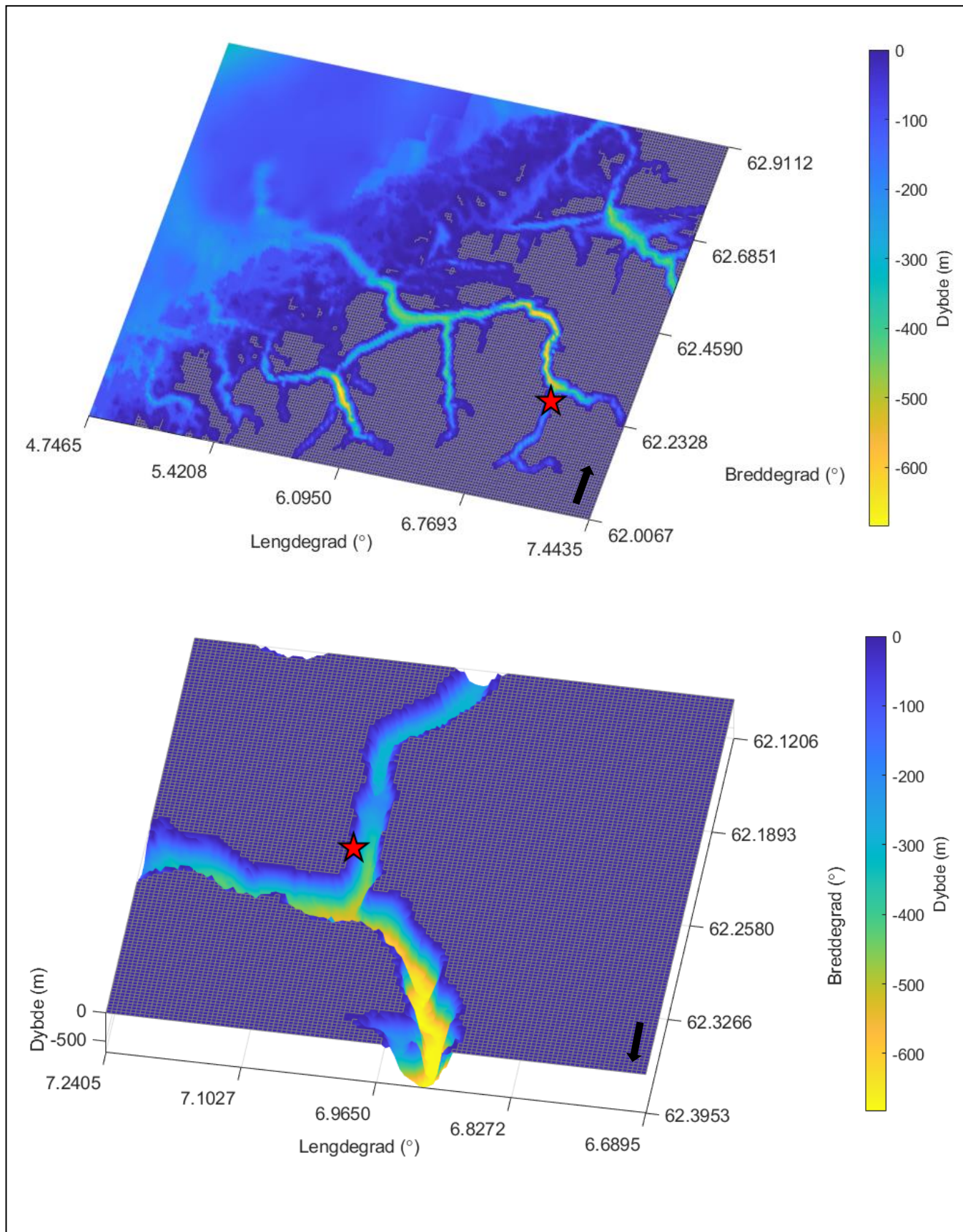
Programmet SWAN (Booij et al., 1999) er benyttet for å beregne vindbølger på Raudbergvika med dybdedata fra Statens kartverk Sjø (Kystkartverket, 2006) samt oppmålte data fra multistråle ekkolodd tilkoblet Olex.

Vindbølger på Raudbergvika er modellert med 2 grid med en oppløsning på 250 x 250m og 50 x 50m (Figur 4.1, blå og rød). Havbølger på Raudbergvika er modellert med 3 grid (Figur 4.1, grå, blå og rød), hvor offshorebølger er introdusert ved randen på det ytterste gridet.

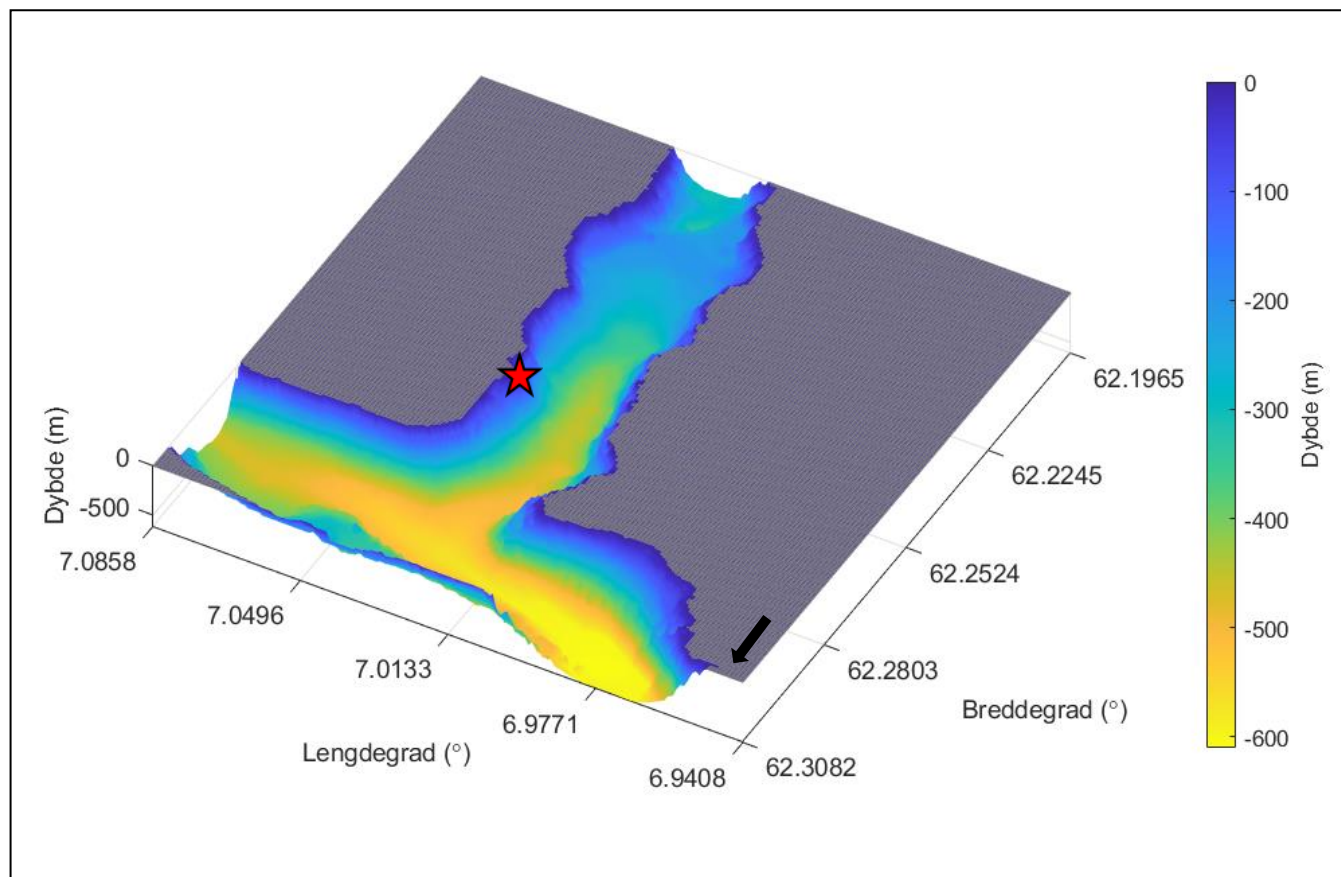
For mer informasjon om vind og bølgedataene, se Vedlegg 8.



Figur 4.1. Inndelinger brukt i bølgeberegningen fra havområdet utenfor til nærområdet rundt Raudbergvika. Gridoppløsning er 750 x 750m offshore (grå); 250 x 250m (blå) og 50 x 50m (rød). Gridpunkt over land er definert som land i modellen og kan ikke generere bølger.



Figur 4.2. Modellert bunntopografi. Øverst: 750 x 750m grid, nederst: 250 x 250m grid. Land er vist med grå farge. Posisjonen for Raudbergvika er vist med rød stjerne. Nord er indikert med sort pil.



Figur 4.3. Modellert bunntopografi. 50 x 50m grid. Land er vist med grå farge. Modelleringsposisjonen er vist med rød stjerne. Nord er indikert med sort pil.

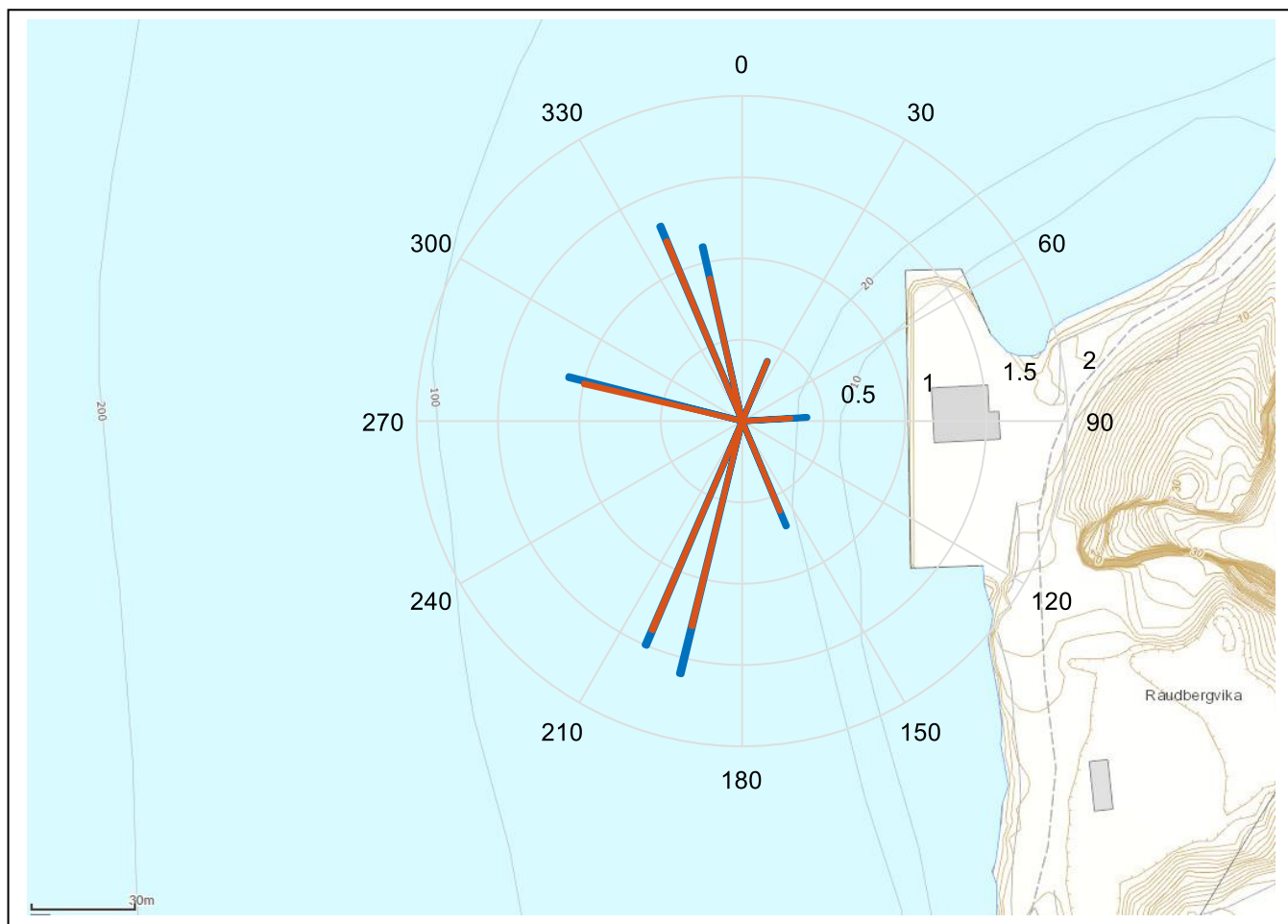
## 4.1 Vindbølger

Vindforholdene på Raudbergvika er bestemt i henhold til NS-EN 1991-1-4 og Vedlegg 8.1. Tabell 4.1.1 viser vindstyrke (m/s), signifikant bølgehøyde (Hs), pikperiode (Tp) og bølgeretning (grader) for 10- og 50-års returperiode.

Høyeste vindbølger på Raudbergvika er 1.6m fra retning 194° (S). De er generert av vind fra S.

Tabell 4.1.1. 10- og 50-års returperiode for vindbølger. Vindverdiene oppgitt i tabellen er strøkvind (V<sub>st</sub>).

|                           | 10 år                 |                                  |        |             | 50 år                 |                                  |        |             |
|---------------------------|-----------------------|----------------------------------|--------|-------------|-----------------------|----------------------------------|--------|-------------|
|                           | Vind                  | Bølger på modelleringsposisjonen |        |             | Vind                  | Bølger på modelleringsposisjonen |        |             |
| Vind retning              | V <sub>st</sub> (m/s) | Hs (m)                           | Tp (s) | Retning (°) | V <sub>st</sub> (m/s) | Hs (m)                           | Tp (s) | Retning (°) |
| Nord (337.5 - 22.5°)      | 17                    | 0.9                              | 3.4    | 347         | 19                    | 1.1                              | 3.7    | 347         |
| Nordøst (22.5 - 67.5°)    | 15                    | 0.4                              | 2.2    | 23          | 16                    | 0.4                              | 2.4    | 23          |
| Øst (67.5 - 112.5°)       | 22                    | 0.3                              | 1.6    | 87          | 25                    | 0.4                              | 1.7    | 87          |
| Sørøst (112.5 - 157.5°)   | 25                    | 0.6                              | 2.0    | 157         | 27                    | 0.7                              | 2.2    | 157         |
| Sør (157.5 - 202.5°)      | 22                    | 1.3                              | 4.2    | 194         | 25                    | 1.6                              | 4.5    | 194         |
| Sørvest (202.5 - 247.5°)  | 25                    | 1.4                              | 3.9    | 203         | 27                    | 1.5                              | 4.2    | 203         |
| Vest (247.5 - 292.5°)     | 25                    | 1.0                              | 2.6    | 283         | 27                    | 1.1                              | 2.8    | 284         |
| Nordvest (292.5 - 337.5°) | 20                    | 1.2                              | 3.9    | 337         | 22                    | 1.3                              | 4.2    | 337         |



Figur 4.1.1. Rosediagrammet viser 10- og 50-års vindgenerert signifikant bølgehøyde i henholdsvis rødt og blått. Kartdatum: WGS84.

## 4.2 Havbølger

Området til Raudbergvika er beskyttet fra havbølger fra åpent hav. Det er ikke forventet at havdønninger forplanter seg inn til Raudbergvika. Offshore bølgetilstand er beregnet ved hjelp av ekstremverdianalyse av NCEP modelldata ved bestemte punkter langs norskekysten.

Tabell 4.2.1 viser 10-års og 50-års returperiode for signifikant bølgehøyde (Hs) og pikperiode (Tp), samt bølgeretning (grader), for havbølger.

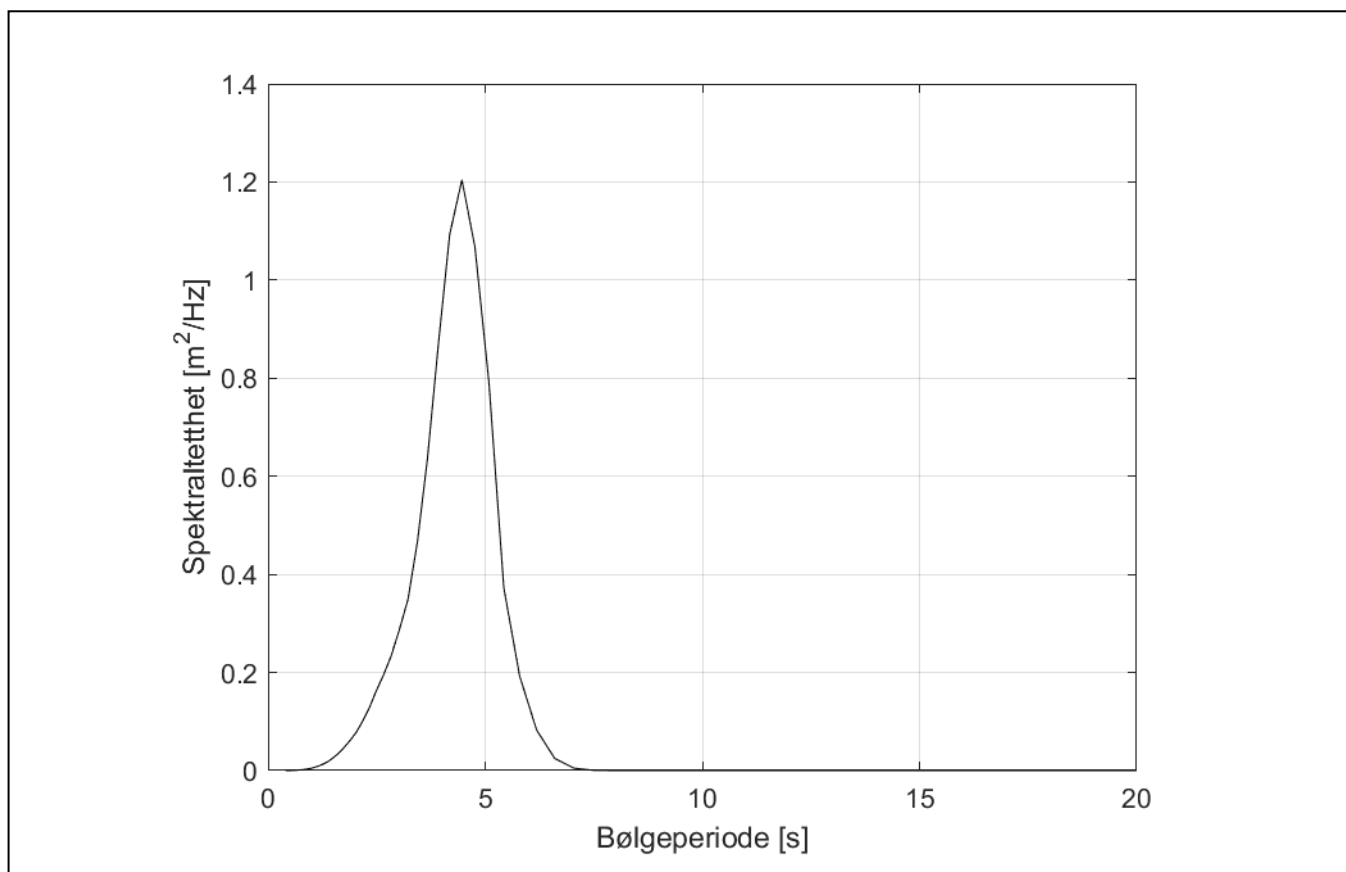
Tabell 4.2.1. 10-års og 50-års returperiode for havbølger.

|          | 10 år    |        |                                  |        |             | 50 år    |        |                                  |        |             |
|----------|----------|--------|----------------------------------|--------|-------------|----------|--------|----------------------------------|--------|-------------|
| Offshore | Offshore |        | Bølger på modelleringsposisjonen |        |             | Offshore |        | Bølger på modelleringsposisjonen |        |             |
| Retning  | Hs (m)   | Tp (s) | Hs (m)                           | Tp (s) | Retning (°) | Hs (m)   | Tp (s) | Hs (m)                           | Tp (s) | Retning (°) |
| Nord     | 11.2     | 14.3   | 0                                | -      | -           | 12.3     | 15.0   | 0                                | -      | -           |
| Sørvest  | 12.4     | 15.1   | 0                                | -      | -           | 13.7     | 15.8   | 0                                | -      | -           |
| Vest     | 13.7     | 15.8   | 0                                | -      | -           | 15.1     | 16.6   | 0                                | -      | -           |
| Nordvest | 14.0     | 16.0   | 0                                | -      | -           | 15.4     | 16.8   | 0                                | -      | -           |

Ingen havbølger forplanter seg inn til Raudbergvika. Derfor var ingen kombinertbølger beregnet for Raudbergvika.

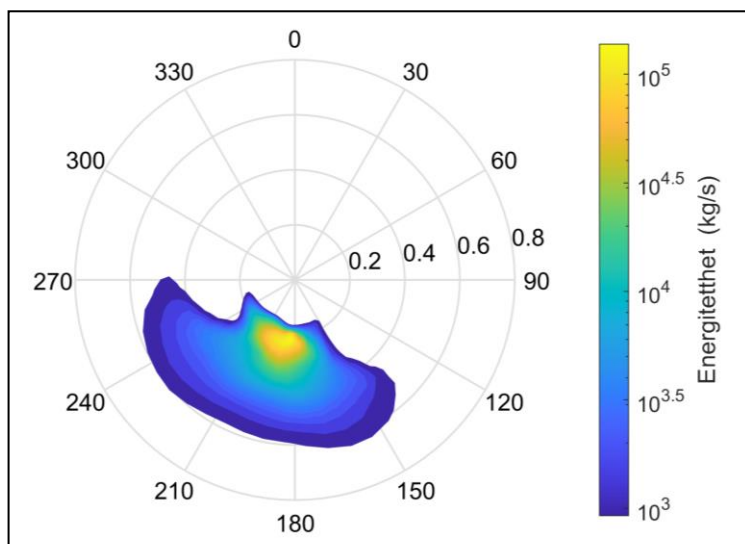


### 4.3 Høyeste bølge og bølgespekter



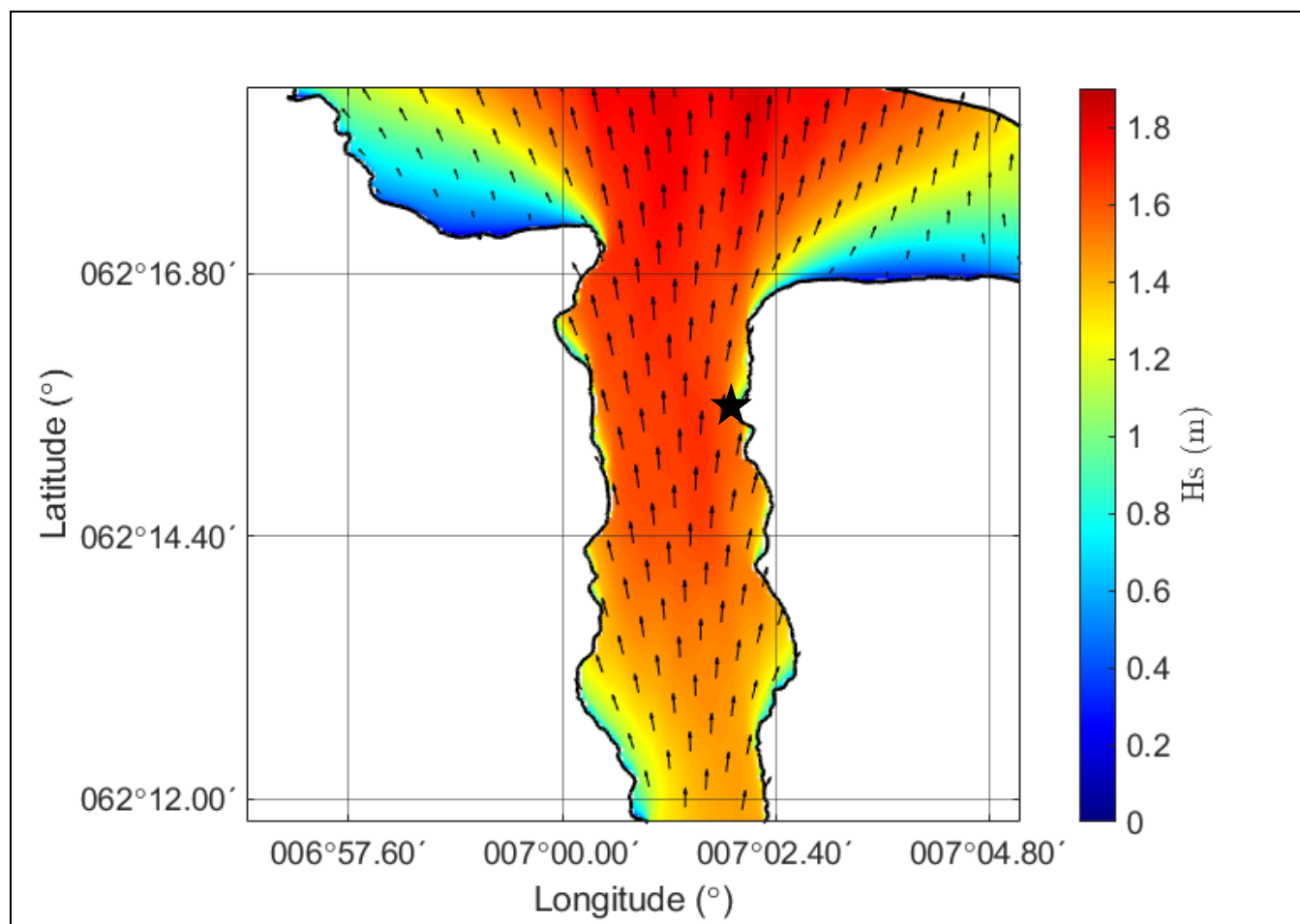
Figur 4.3.1. Spektralitet for den høyeste bølgen .

Figur 4.3.1 viser bølgespekteret for største 50-års vindbølge med vind fra S. Bølgespekteret har én topp på ca. 4 – 5s.



Figur 4.3.2. Bølgeretningspektrum for de største bølgene. De øverste 10% av den totale energitettheten er vist.

Av de øverste 10 % av den totale energitettheten kan bølger, som er generert med vind fra S, komme fra retninger mellom omtrent SØ – V (140° – 270°). De høyeste bølgene med mest energi er markert med gul på Figur 4.3.2.



Figur 4.3.3. Vindbølgespredning mot Raudbergvika (anvist med svart stjerne), 50-års bølger med vind fra S.

## 4.4 Bølgekomponenter

### *Vindbølger*

Vinden overfører energi til vannflaten i den retning den blåser og også over en betydelig vinkelåpning til den vindretningen (Saville Jr., 1945). Bølgers utvikling på grunn av vind er begrenset av lokal topografi, bunntopografi og vindvarighet (Smith, 1991). Modellen SWAN er brukt for å beregne bølgehøyde og -periode.

På Raudbergvika er vindgenererte bølger vurdert som viktigste bølgekomponent. De høyeste bølgene bygger seg opp når vind blåser fra S på grunn av relativt høy vindhastighet og lang strøklengde i samme retninger. De laveste bølgene bygger seg opp når vind blåser fra NØ på grunn av lav vindhastighet og fra Ø på grunn av kort strøklengde.

### *Havbølger*

Havbølger er bølger med lang bølgelengde (ca. 10-20s) som kommer inn til kysten (SINTEF, 2005). Bølgene er utviklet langt fra lokaliteten, og har reist langt på dypt vann fra stedet de ble generert. Forplantingsretningen er derfor ikke nødvendigvis den samme som retningen til lokal vindsjø. Raudbergvika er beskyttet fra åpent hav og havbølger er vurdert å ikke forplante seg inn der. Derfor er ingen kombinertbølger beregnet for Raudbergvika.

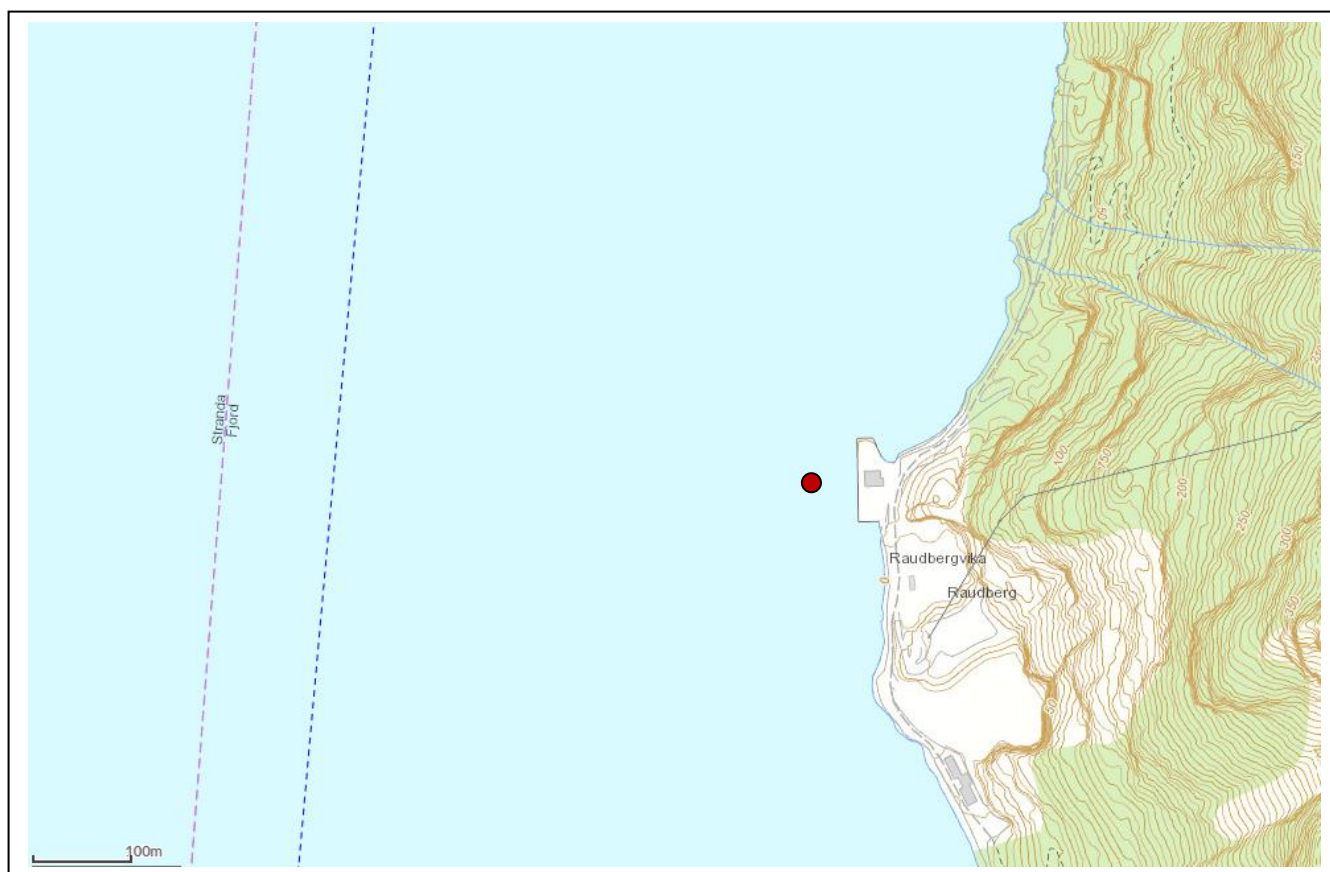
### *Skipsgenererte bølger, bølgetog og bølgerrefleksjon*

Båter kan generere bølger som i noen tilfeller kan overskride vindgenererte bølger, men bølgehøyden avtar eksponentielt med avstand fra seillinje. Skipsgenerert bølgehøyde er også avhengig av type skip og skipets hastighet (Dam et al. 2005, Hoffmann et al., 2008). Hofmann et al. (2008) har oppgitt noen eksempler på skipsgenererte bølger: ferge som skaper bølger med høyde 0.04-0.15m og periode på ca. 3.7sek og passasjerskip som skaper bølger med høyde 0.1-0.5m og periode på ca. 2.9sek. For at skipsgenererte bølger skal kunne påvirke og føre til høyere bølger enn den dimensjonerende vindbølgen, må bølger fra skip skapes samtidig som vindbølger påvirker, og bølgene må ha en retning som fører til at vind- og skipsgenererte bølger bygges opp.

Posisjonen ligger ca. 520m (0.28Nm) fra nærmeste farled. Bølgehøyden på Raudbergvika er derfor vurdert til å bli litt påvirket av skipsgenererte bølger på grunn av plassering relativt nærme trafikkert skipsled. Skipsgenererte bølger er imidlertid vurdert å være mindre enn vindgenererte bølger som oppstår på Raudbergvika.

Posisjonen vurderes ikke som utsatt for bølgetog på grunn av plassering (ikke plassert hvor to forskjellige bølgetog treffes). I tillegg har havbølger har ingen innflytelse på Raudbergvika.

Bølger kan reflekteres tilbake av den bratte bunntopografien eller landtopografien, men dette er mest sannsynlig for bølger fra V.



Figur 4.4.1. Bølgemodelleringsposisjonen (anvist med rød sirkel) i forhold til farled (blå stiplet linje). Kart hentet fra Fiskeridirektoratets kartverktøy. Kartdatum: WGS84.

#### 4.5 Bekreftelse av bølgeberegninger

Vindbølgeresultatene fra SWAN blir kontrollert av bølgehøyden beregnet ut fra ligninger oppgitt i Norsk Standard og fra 'Manual Wave Forecasting Diagram' (Grøen og Dorrestein, 1976) oppgitt i Guide to Wave Analysis and Forecasting (World Meteorological Organization, 1998). Disse beregner bølgehøyde og periode ut fra strøklengde og vindhastighet. Resultatene blir sammenlignet med resultatene fra SWAN-modellen.

## 4.6 Diskusjon

Den høyeste beregnede 50-års signifikante bølgehøyde er på 1.6m fra S. Denne sjøtilstanden oppstår når vind blåser fra S. Laveste 50-års signifikante bølgehøyde er på 0.4m fra NØ og Ø.

Raudbergvika har lengst strøklengde (sammenhengende sjølengde som vinden har til rådighet) mot N, NV og S. Vinden fra SV er sterkere enn vinden fra S. Derimot er strøket kortere mot SV. En kombinasjon av disse faktorene fører til de høyeste bølgene og som vil bygge seg opp fra S.

Maksimal vindhastighet på Åkerneset fra retningene S og SV mellom 2012 – 2020 var henholdsvis 26.7m/s og 29.0m/s. Tilgjengelig vinddata viser at 99. prosentil for vindhastighet fra S er 10.4m/s og for vindhastighet fra SV er 19.3m/s. Dette indikerer at 1% av vinddata har hastighet høyere enn 10.4m/s (S) og 19.3m/s (SV).

Maksimal vindhastighet på Roaldshorent fra retningene S og SV mellom 2014 – 2020 var 28.4m/s og 39.3m/s. Tilgjengelig vinddata viser at 99. prosentil for vindhastighet fra S er 17.7m/s og for vindhastighet fra SV er 23.5m/s. Dette indikerer at 1% av vinddata har hastighet høyere enn 17.7m/s (S) og 23.5m/s (SV).

Ved bruk av vindhastighet bestemt i henhold til NS-EN 1991-1-4 for de to retningene (50-års vind S: 25m/s og SV: 27m/s), er bølgehøyde for Raudbergvika vurdert konservativt.

Bølgehøyden er vurdert å være påvirket av skipsgenererte bølger og bølgerrefleksjon. Selv om bølgehøyden er vurdert å bli påvirket av noen bølgekomponenter, er 50-års Hs vurdert konservativt nok til å ta hensyn til innflytelse fra bølgekomponentene. Bølgehøyden er vurdert å ikke bli påvirket av havbølger og bølgetog.

Maksimal bølgehøyde (Hmax) er ofte estimert som  $H_{max} = 1.67 * H_s$ . Forholdet mellom Hmax og Hs er steds- og sjøtilstandsspesifikk, dermed kan forholdet mellom de to være fra 1.5 til 1.85. Fordi Hs er et gjennomsnitt av den høyeste tredjedel av bølgene, kan høyere bølger opptre på lokaliteten enn oppgitt 10-år og 50-års Hs.

Bølgebrytingsdyp = ca.  $1.3 * H_s$ . Det vil si at med  $H_s = 1.6m$  kommer bølgen til å bryte når dypet er ca. 2.1m.

Usikkerheten i beregninger er tatt hensyn til i verdier oppgitt i rapporten.

## 4.7 Konklusjon

Beregnet maksimal signifikant bølgehøyde for 10- og 50-års bølger for Raudbergvika er henholdsvis 1.4m fra retning 203° (SV) og 1.6m fra retning 194° (S) som er henholdsvis generert av vind fra SV og S.

## 5. Konklusjonstabell for vind og bølger

Beregnet største 10- og 50-års bølger er vist i Tabell 5.1 og Tabell 5.2.

Tabell 5.1. 10-års vind og bølger.

| Returperiode - 10 år |                |                 |            |     |         |           |    |         |
|----------------------|----------------|-----------------|------------|-----|---------|-----------|----|---------|
|                      | Vind           | Vind            | Vindbølger |     |         | Havbølger |    |         |
|                      | V <sub>s</sub> | V <sub>st</sub> | Hs         | Tp  | Retning | Hs        | Tp | Retning |
|                      | m/s fra        | m/s fra         | m          | s   | ° fra   | m         | s  | ° fra   |
| N                    | 19             | 17              | 0.9        | 3.4 | 347     | 0.0       | -  | -       |
| NØ                   | 16             | 15              | 0.4        | 2.2 | 23      |           |    |         |
| Ø                    | 25             | 22              | 0.3        | 1.6 | 87      |           |    |         |
| SØ                   | 27             | 25              | 0.6        | 2.0 | 157     |           |    |         |
| S                    | 25             | 22              | 1.3        | 4.2 | 194     |           |    |         |
| SV                   | 27             | 25              | 1.4        | 3.9 | 203     | 0.0       | -  | -       |
| V                    | 27             | 25              | 1.0        | 2.6 | 283     | 0.0       | -  | -       |
| NV                   | 22             | 20              | 1.2        | 3.9 | 337     | 0.0       | -  | -       |

Tabell 5.2. 50-års vind og bølger.

| Returperiode - 50 år |                |                 |            |     |         |           |    |         |
|----------------------|----------------|-----------------|------------|-----|---------|-----------|----|---------|
|                      | Vind           | Vind            | Vindbølger |     |         | Havbølger |    |         |
|                      | V <sub>s</sub> | V <sub>st</sub> | Hs         | Tp  | Retning | Hs        | Tp | Retning |
|                      | m/s fra        | m/s fra         | m          | s   | ° fra   | m         | s  | ° fra   |
| N                    | 21             | 19              | 1.1        | 3.7 | 347     | 0.0       | -  | -       |
| NØ                   | 18             | 16              | 0.4        | 2.4 | 23      |           |    |         |
| Ø                    | 27             | 25              | 0.4        | 1.7 | 87      |           |    |         |
| SØ                   | 30             | 27              | 0.7        | 2.2 | 157     |           |    |         |
| S                    | 27             | 25              | 1.6        | 4.5 | 194     |           |    |         |
| SV                   | 30             | 27              | 1.5        | 4.2 | 203     | 0.0       | -  | -       |
| V                    | 30             | 27              | 1.1        | 2.8 | 284     | 0.0       | -  | -       |
| NV                   | 24             | 22              | 1.3        | 4.2 | 337     | 0.0       | -  | -       |

## 6. Vannstand

### Tidevannsnivå (NS-9415:2009)

Havnivåinformasjon for Raudbergvika er hentet fra sehavniva.no (Kartverket, 2021), data er beregnet fra nærmeste målestasjon. Verdier for Raudbergvika og nærmeste målestasjon er presentert i Tabell 6.1.

Tabell 6.1. Beregnet vannstands nivå for Raudbergvika basert på målestasjon Kristiansund vannstandsmål, Kristiansund kommune. Referansenivå er sjøkartnull.

|   | Målestasjon (cm) | Bølgemodelleringsposisjon (cm) |
|---|------------------|--------------------------------|
| Gjentakningsintervall 50 år - høyvann       | 317              | 317                            |
| Gjentakningsintervall 10 år - høyvann       | 304              | 304                            |
| Høyeste astronomiske tidevann               | 265              | 265                            |
| Middel høyvann                              | 198              | 198                            |
| Middelvann                                  | 130              | 130                            |
| Laveste astronomiske tidevann (sjøkartnull) | 0                | 0                              |
| Gjentakingsintervall 5 år - lavvann         | -20              | -20                            |
| Gjentakingsintervall 20 år - lavvann        | -29              | -29                            |

### Vannstand ved stormflo (DNV-RP-C205)

Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB) i Norge har konstruert retningslinjer for hvordan man skal redegjøre for fremtidige havnivåendringer og bruk av returperioder for stormflo (DSB, 2016). Disse beregningene er basert på historiske data og tar ikke hensyn til fremtidige endringer i været på grunn av klimaendringer, gitt usikkerheten ved endringer i storm- og lavtrykksbanene. I forhold til arealplanlegging langs kysten anbefaler DSB (2016) å bruke verdier fra RCP8.5 klimascenarioene fra klimaprojektet CMIP5 for årene 2081 – 2100. DSB (2016) anbefaler også at havnivåendringene produsert ved stormflod og fremtidige havnivåendringer avrundes til nærmeste 10 cm. Verdier gitt i DSB (2016) og Tabell 6.2 er gitt for de 3 sikkerhetsklassene for flom (TEK10 / TEK17).

Tabell 6.2. Returperiode av stormflo for fremtidig havnivå (DSB, 2016) for Raudbergvika basert på data fra Ålesund tidevannsstasjon (Kartverket, 2021). Fremtidige endringer i havnivå og returverdi for stormflohøyder er angitt i cm over NN2000 høydesystemet.

|  | Målestasjon (cm) | Bølgemodelleringsposisjon (cm) |
|--|------------------|--------------------------------|
| NN2000   | 130              | 130                            |
| 1000-års vannstand ved stormflo med framtidig havnivåendring | 400              | 400                            |
| 200-års vannstand ved stormflo med framtidig havnivåendring  | 388              | 389                            |
| 20-års vannstand ved stormflo med framtidig havnivåendring   | 370              | 371                            |

## 7. Referanser

---

1. Butler H.L., Sommerfeld, B. og J. Mason (2006) Coastal Engineering Design and Analysis System, Version 4.0, computer software, Veri-Tech, Inc., Summit, MS.
2. Booij, N., Ris, R.C. og L.H. Holthuijsen (1999). A third-generation wave model for coastal regions, Part I, Model description and validation, J.Geoph.Research, 104, C4, 7649-7666.
3. Dam, K.T., Tanimoto, K., Nguyen, B.T. and Y. Akagawa (2006). Numerical study of propagation of ship waves on a sloping coast. Ocean Engineering, 33, 350-364.
4. Hofmann, H., Lorke, A. and F. Peeters (2008). The relative importance of wind and ship waves in the littoral zone of a large lake. Limnology and Oceanography, 53(1), 368-380.
5. Kystkartverket (2006). Dybdegrunnlag fra Statens kartverk Sjø.
6. NCEP data. NOAA/ National Weather Service. National Centers for Environmental Prediction. <http://mag.ncep.noaa.gov/>
7. NS 9415:2009. Flytende oppdrettsanlegg. Krav til utforming, dimensjonering, utførelse. Installasjon and drift. Norsk Standard 2009: 101s.
8. NS-EN 1991-1-4:2005+NA:2009. Eurokode 1: Laster på konstruksjoner. Del 1-4: Allmenne laster. Windlaster.
9. Olex (2002). Olex, Brukerhåndbok – utgave 4.1, 7/6-2002. [www.olex.no](http://www.olex.no).
10. Saville, T. Jr. (1945). The effect of fetch width on wave generation. Beach Erosion Board. Army Corps of Engineers. Technical Memorandum no. 70.
11. SINTEF (2005). Miljøkriterier på lokalitet.
12. Smith, J.M. (1991). Wind-wave generation on restricted fetches. US Army Corps of Engineers. AD-A237 420.
13. World Meteorological Organisation (1998). Guide to Wave Analysis and Forecasting. Report Number: WMO-No. 702: 152s.



14. Åkerblå (2021a). Vind- og temperaturdata for Åkerneset. Åkerblå AS-rapport: VR\_Åkerneset\_60240\_2012\_2020, 26 sider.
15. Åkerblå (2021b). Vind- og temperaturdata for Roaldshornet. Åkerblå AS-rapport: VR\_Roaldshornet\_60190\_2014\_2020, 26 sider.
16. Åkerblå (2017a). Usikkerhetsvurdering. Lokalitetsrapport etter NS9415:2009. Åkerblå AS-rapport: Usikkerhetsvurdering-ver01-Feb2017, 20 sider.
17. Åkerblå (2017b). Evaluering\_WindMetoder. Åkerblå AS-report: Beregning av 10- and 50-year wind verdier etter NS9415:2009, 15 sider.

## 8. Vedlegg

### 8.1 Bølger

#### 8.1.1 Vinndata

Ut fra Norsk Standard 9415 skal det beregnes vindhastighet med returperiode på 10 og 50 år i 8 himmelretninger.

Vinndata er hentet fra Norsk Standard NS-EN 1991-1-4:2005+NA:2009. "Eurokode 1: Laster på konstruksjoner. Del 1-4: Allmenne laster. Vindlaster".

Vindhastighetene som blir benyttet er gjennomsnittlig vindhastighet over 10 minutter, 10 m over havoverflaten med terrengkategori II. For kystnære områder, opprørt hav, åpne vidder og strandsoner uten trær og busker (terrengkategori I) er vinden 17% høyere.

Hastigheten ble justert med oppgitt retningsfaktor fra standarden.

$$V_b = V_{REF} \cdot C_{RET} \cdot C_{\text{ÅRS}} \cdot C_{HOH} \cdot C_{SAN}$$

Der:

|                  |   |   |
|------------------|---|---|
| $V_b$            | = | Basisvindhastighet  |
| $V_{REF}$        | = | Referansevindhastigheten, som angitt i Norsk Standard   |
| $C_{RET}$        | = | Retningsfaktoren som kan velges 1.0 for alle vindretninger.<br>Eventuelle lavere verdier for enkelte sektorer er angitt i Norsk Standard      |
| $C_{\text{ÅRS}}$ | = | Årsfaktoren, som settes lik 1.0   |
| $C_{HOH}$        | = | Nivåfaktoren, som settes lik 1.0  |
| $C_{SAN}$        | = | Årlig sannsynlighetsfaktor for overskridelse.<br>Settes lik 1.0 for en returperiode på 50 år.<br>Settes lik 0.9 for en returperiode på 10 år. |

For bestemmelse av bølgeforhold brukes stedsvindhastigheten,  $V_s$ , dvs. vindhastighet over 10 min ved 10m høyde ved lokaliteten:

$$V_s(z) = C_r(z) \cdot C_t(z) \cdot V_b$$

Der:

|       |   |   |
|-------|---|---|
| $C_r$ | = | Terrengruhetsfaktoren = 1.17 (med $z=10$ m) |
| $C_t$ | = | Topografifaktoren, som settes lik 1.0       |

Referansevindhastighet for Fjord kommune ble benyttet og stedsvindhastighet og strøkvindhastighet beregnet ut fra den.

Stedsvindhastighet ( $V_s$  i m/s) bør brukes for fortøyningsanalyse. Strøkvindhastighet ( $V_{st}$  i m/s) er brukt for bølgeberegning.

Tabell 8.1.1. Referansevindhastighet ( $V_{ref}$  i m/s), 10- og 50-års stedsvindhastighet ( $V_s$  i m/s) og 10- og 50-års strøkvindhastighet ( $V_{st}$  i m/s).

|                          | N            | NØ          | Ø           | SØ         | S           | SV         | V          | NV           |
|--------------------------|--------------|-------------|-------------|------------|-------------|------------|------------|--------------|
| $V_{ref}$                | 26           | 26          | 26          | 26         | 26          | 26         | 26         | 26           |
| $C_{ret}$                | 0.7          | 0.6         | 0.9         | 1          | 0.9         | 1          | 1          | 0.8          |
| $C_{års}$                | 1            | 1           | 1           | 1          | 1           | 1          | 1          | 1            |
| $C_{HOH}$                | 1            | 1           | 1           | 1          | 1           | 1          | 1          | 1            |
| $C_{san, 10\text{-år}}$  | 0.9          | 0.9         | 0.9         | 0.9        | 0.9         | 0.9        | 0.9        | 0.9          |
| $C_{san, 50\text{-år}}$  | 1            | 1           | 1           | 1          | 1           | 1          | 1          | 1            |
| $V_b, 10\text{-år}$      | 16           | 14          | 21          | 23         | 21          | 23         | 23         | 19           |
| $V_b, 50\text{-år}$      | 18           | 16          | 23          | 26         | 23          | 26         | 26         | 21           |
| $C_r$ (kat I)            | 1.17         | 1.17        | 1.17        | 1.17       | 1.17        | 1.17       | 1.17       | 1.17         |
| $C_t$                    | 1            | 1           | 1           | 1          | 1           | 1          | 1          | 1            |
| $V_s, 10\text{-år}$      | 19           | 16          | 25          | 27         | 25          | 27         | 27         | 22           |
| $V_s, 50\text{-år}$      | 21           | 18          | 27          | 30         | 27          | 30         | 30         | 24           |
| $V_{st}^*, 10\text{-år}$ | 17           | 15          | 22          | 25         | 22          | 25         | 25         | 20           |
| <b>Beaufort kategori</b> | Stiv Kuling  | Stiv Kuling | Liten Storm | Full Storm | Liten Storm | Full Storm | Full Storm | Sterk Kuling |
| $V_{st}^*, 50\text{-år}$ | 19           | 16          | 25          | 27         | 25          | 27         | 27         | 22           |
| <b>Beaufort kategori</b> | Sterk Kuling | Stiv Kuling | Full Storm  | Full Storm | Full Storm  | Full Storm | Full Storm | Liten Storm  |

\* Vind redusert med 10% på grunn av kort strøk (Butler et al. 2006).

### 8.1.2 Bølgemodellering

Vindbølger og havbølger på Raudbergvika er beregnet fra vinddata og bølgetilstand offshore ved bruk av modellen SWAN. Kortvarige høye vindhastigheter kan påvirke og derfor er stedsvindhastighet foreslått for fortøyningsanalyse. Siden bølgevekst i modellen kun er begrenset av strøklengde og vindhastighet, er strøkvindhastighet brukt for bølgeberegninger på Raudbergvika.

Programmet SWAN er utviklet av Delft Technical University og er brukt for å beregne utvikling og forplantning av bølger i kystområder.

Ettersom målet er å beregne de høyeste bølger i 10 og 50 år, og det ikke er en tidsbegrensning på bølgevekst, blir det brukt 2 modellgrid for vindbølger og 3 modellgrid for havbølger, som er innkapslet i hverande for å sikre at bølger vokser til en stabil tilstand i modellen og at den kun er begrenset av strøklengde og vindhastighet. Gridoppløsningen øker fra 250 x 250m ytterst til 50 x 50m ved Raudbergvika for vindbølger og fra 750 x 750m offshore til 50 x 50m ved Raudbergvika for havbølger. Bunntopografien er høydekorrigert for å kunne simulere disse bølgene ved høyvann med returperiode opptil 50 år for området.

### 8.1.3 Verifisering

Stedsvindhastighet blir justert til strøkvindhastighet i henhold til lokalitetens strøkgeometri. Strøkvinden er middelvei av vindhastighet ved 10m høyde over en periode tilsvarende strøkvarigheten. Strøkvarigheten er tiden bølger trenger for å bli generert over strøket. For strøklengde < 16km kan stedsvindhastigheten bli justert med 0.9 (Butler et al. 2006). Ligninger for å beregne signifikant bølgehøyde og tilsvarende pikperiode er oppgitt i NS 9415:2009.

## **8.2 Dataredigering, datakvalitet og kvalitetskontroll**

### Bunnkartlegging og modelleringsposisjonstegning

Dataprogrammet 'Olex' brukes for å utføre bunnkartlegging. Modelleringsposisjonen er tegnet inn i Olex.

### Bølger

Modellering er begrenset av inndata som blir brukt. Usikkerhet i bølgeomodellering er vurdert etter inputdata som er brukt i modellen, dvs. bunndata, vindhastighet og selve modellen.

### Vurdering av usikkerhet i bølgeomodellering

Den største kilden til usikkerhet i bølgeberegning er fastsettelsen av vindhastighet som er brukt i SWAN for de 8 himmelretningene. Bølgevekst i modellen er begrenset av strøklengde (bunntopografien) og vindhastighet. Bølger utvikler seg i modellen til modellen oppnår en «stabil tilstand». Bølgevekst i modellen er ikke begrenset av vindvarighet. Topografisk styring av vindhastighet, som kan føre til vesentlig reduksjon i hastighet, er heller ikke tatt hensyn til. Bølgeveksten er derfor vurdert konservativt siden vind over havet varierer i hastighet og ikke blåser med en bestemt hastighet fram til maksimale bølger for den bestemte hastigheten er oppnådd. På grunn av det er resultater fra SWAN ofte høyere enn bølgehøyde beregnet ved bruk av strøklengde metoden. Samlet usikkerhet i vinddata, bunndata og modellering skal ikke ha noe betydning for bruk av resultatene videre (Åkerblå, 2017a).

### Habilitetsvurdering

Jeg har ikke engasjerte meg i utforming, framstilling, levering, installering, kjøp, eierskap, bruk eller vedlikehold av objektene som er innsisert. Jeg har heller ingen andre nære forbindelser til hverken kunde eller deres objekter, og anser meg derfor som habil til å utføre en objektiv vurdering.