OC2020 A-054 - Åpen

Rapport

Smartere transport Møre og Romsdal
L1.3 – Kvantitativ miljøbeskrivelse

Forfatter(e)
Armin Pobitzer
Henning Borgen og Even Ambros Holte

SINTEF Ocean AS

2020-06-05

SINTEF Ocean AS
Postadresse:
Postboks 4762 Torgarden
7465 Trondheim
Sentralbord: 46415000

Foretaksregister:
NO 937 357 370 MVA

Rapport

Smartere transport Møre og Romsdal
L1.3 – Kvantitativ miljøbeskrivelse

RAPPORTNR	PROSJEKTNR	VERSJON	DATO
OC2020 A-054	302004527-7	1.0	2020-06-05

EMNEORD:
Bølger, vind, overflatestrøm, Ålesund, Kristiansund

FORFATTER(E)
Armin Pobitzer
Henning Borgen og Even Ambros Holte

OPPDRAGSGIVER(E)
Møre og Romsdal fylkeskommune

OPPDRAGSGIVERS REF.
Marte Berild Hjelle

ANTALL SIDER OG VEDLEGG:
30

GRADERING	GRADERING DENNE SIDE	ISBN
Åpen	Åpen	978-82-7174-386-4

SAMMENDRAG
Denne rapporten er utarbeidet på oppdrag for Møre og Romsdal fylkeskommune som del av prosjektet Smartere Transport – Møre og Romsdal.

Rapporten beskriver en kvantitativ miljøbeskrivelse for de geografisk avgrensede områdene hvor seilingsrutene til prosjektets brukercase er definert:
1. Sørlig del av havn i Ålesund (trekant Slinningsodden – Skarbøvika – Storneskaia), og strekningen som frekventeres av Langevågsbåten (Ålesund sentrum – Langevåg), samt
2. Området som dagens Sundbåt-rute dekker i Kristiansund inkludert en mulig ruteutvidelse mot Vestbase og Skorpa.

De ulike brukercasene er nærmere beskrevet i separat rapport utarbeidet av NTNU Ålesund (A1.2 Beskrivelse av brukercase).

Miljøbeskrivelsen er etablert gjennom innsamling og analyse av data knyttet til sentrale værparameter som vind, bølger og strømforhold i områdene.

Hovedfunn er oppsummert i kap 5.

MANAGEMENT SYSTEM CERTIFICATION
DNV·GL
ISO 9001 = ISO 14001
OHSAS 18001

UTARBEIDET AV	KONTROLLERT AV	GODKJENT AV
Armin Pobitzer	Jon Schonhovd Dæhlen	Trond Johnsen

Dokumentet har gjennomgått SINTEFs godkjenningsprosedyre og er sikret digitalt

Historikk

VERSJON	DATO	VERSJONSBESKRIVELSE
1.0	2020-06-05	Endelig versjon oversendt oppdragsgiver

Innholdsfortegnelse

1 Bakgrunn 4

2 Datagrunnlag 4

2.1 Måledata 4

2.2 Modelldata 5

2.3 Andre datakilder 6

2.4 Datagrunnlag oppsummert 7

3 Metode 8

3.1 Deskriptiv statistikk 8

3.2 Strøklengdeanalyse 9

4 Brukercase – Ålesund og Kristiansund 10

4.1 Ålesund 10

4.1.1 Vind 10

4.1.2 Overflatestrømninger 14

4.1.3 Bølger 14

4.2 Kristiansund 19

4.2.1 Vind 19

4.2.2 Overflatestrømninger 23

4.2.3 Bølger 25

5 Oppsummering 28

5.1 Ålesund 28

5.2 Kristiansund 29

6 Referanser 30

BILAG/VEDLEGG

[Skriv inn ønsket bilag/vedlegg]

1 Bakgrunn

Rapporten beskriver datagrunnlag, metodikk og presenterer en kvantitativ miljøbeskrivelse for de geografisk avgrensede områdene hvor seilingsrutene til prosjektets brukercase er definert:

1) Sørlig del av havn i Ålesund (trekant Slinningsodden-Skarbøvika-Storneskaia), og strekningen som frekventeres av Langevågsbåten, samt
2) Området som dagens Sundbåt-rute dekker i Kristiansund inkludert en mulig ruteutvidelse mot Vestbase og Skorpa.

De ulike brukercasene er nærmere beskrevet i separat rapport utarbeidet av NTNU Ålesund (A1.2 Beskrivelse av brukercase).

Miljøbeskrivelsen (dvs. beskrivelse av operasjonelle værforhold), er etablert gjennom innsamling og analyse av data knyttet til sentrale værparameter som vind, bølger og strømforhold i områdene.

2 Datagrunnlag

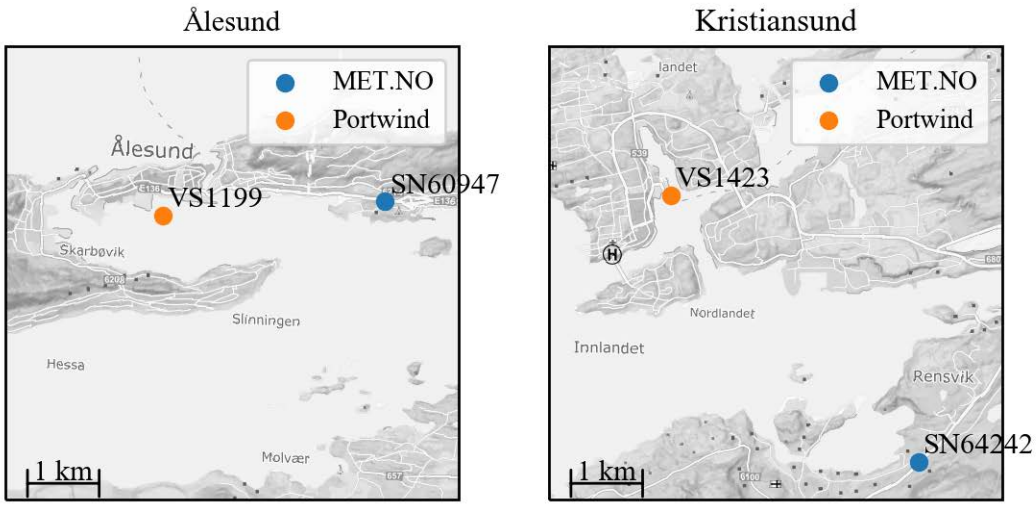
Miljøbeskrivelsen er basert på både in-situ punktmålinger og simuleringer som dekker et større område ettersom:

1) både vind, bølger og strømninger er multiskala fenomener i den forstand at kjennskap til dem på et overordnet nivå ikke gir nok informasjon for å bestemme dem lokalt og omvendt.
2) Målinger og simuleringer dekker delvis komplementære områder.

2.1 Måledata

Kvalitetssikrede in-situ måledata av vind fra målestasjonene som Meteorologisk institutt (MET) drifter er tilgjengelige gjennom nettstedet frost.met.no. De nærmeste målestasjonene for både Ålesund og Kristiansund er valgt for gjennomføring av analysen. I tillegg er måledata tilgjengelig via nettstedet portwind.no hentet for målestasjoner på Storneskaia[1] i Ålesund og Holmakaia (Kirkelandet) i Kristiansund. Det er ukjent hvem som drifter Portwind-stasjonene.

Posisjon av brukte vindmålinger



Figur 1: Vindmålestasjoner fra områdene relevante for brukscasene i Ålesund og Kristiansund. Blå sikler indiker målestasjoner driftet at Meteorologisk institutt (MET), oransje målestasjoner tilgjengelige gjennom Portwind.no

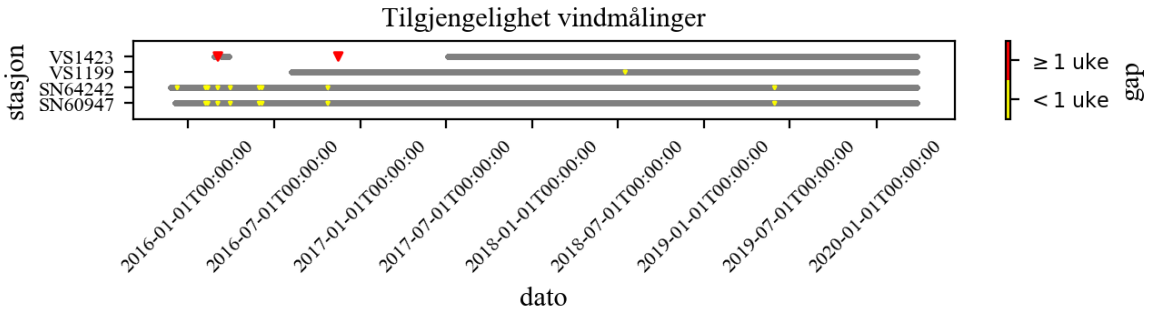
[1] Koordinatene fra metadatene tilhører ikke Storneskaia men Skutikpiren. Ifølge havnevesenet i Ålesund ligger måleren på Storneskaia.

Målestasjonene til MET måler vinden 10 m over bakken, men det er ikke kjent hvilken høyde Portwind foretar målingene sine i. Relevansen av MET-stasjonen i Kristiansund er også relativt usikker ettersom den er lokalisert flere kilometer fra det tiltenkte operasjonsområdet og plassert i en vik.

Følgende målinger er tilgjengelig:

- Instantan vindstyrke (m/s).
- Instantan vindretning (grader[2]).

Tidsoppløsningen av historiske data varierer fra 10 minutter (MET) til 1 time (Portwind).

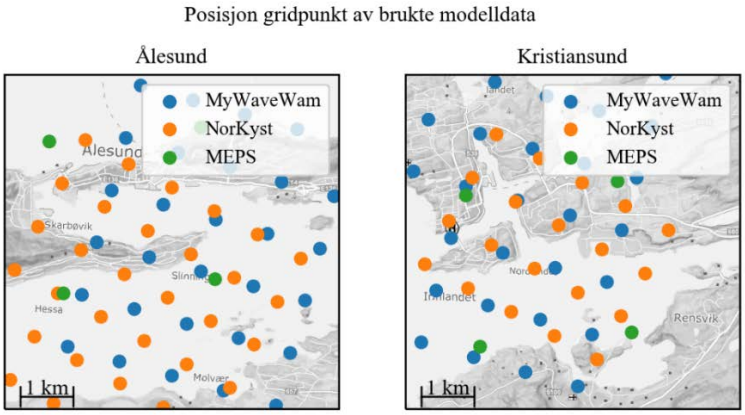


Figur 2: Oversikt over tilgjengelig vindmålinger fra stasjonene i Ålesund (VS1199 og SN60947) og Kristiansund (VS1423 og SN64242). Gule trekanter markerer gap i måledataene opptil en uke, røde trekanter gap på over en uke.

2.2 Modelldata

MET publiserer data fra sine modellkjøringer som foretas i forbindelse med den generelle værvarslingen. De modellene som har relevans for brukercasene er strømningsmodellen (NorKyst), bølgemodellen (MyWaveWAM), og den meteorologiske modellen (MEPS). NorKyst og MyWaveWAM har et beregningsdomene som dekker hele nordlige deler av Nordsjøen, Norskehavet og Barentshavet. Domenet er diskretisert i et kartesisk nett, med oppløsning på 800 m. Alle tre nevnte modeller oppdateres en gang i døgnet. Beregningsdomenet til MEPS dekker hele Skandinavia, inkludert omliggende havområder (Nordsjøen, Norskehavet, Østersjøen, Barentshavet). Diskretiseringen her er også kartesisk, men har en oppløsning på 2,5 km. MEPS oppdateres fire ganger i døgnet.

Samtlige modeller har en tidsoppløsning på 1 time, og for en nærmere beskrivelse av modellene se tilgjengelig dokumentasjon på thredds.met.no.



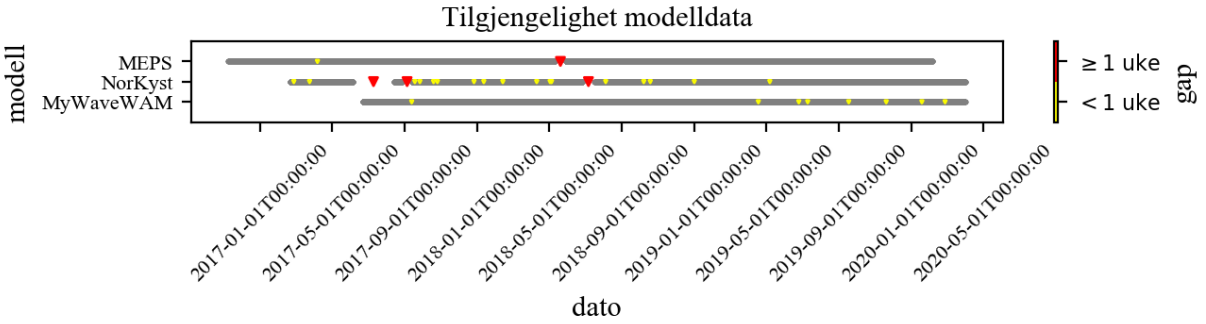
Figur 3: Gridpunktene i beregningsdomenene til de ulike modellene. Blå sirkler indikerer bølgemodellen (MyWaveWAM), oransje sirkler strømmodellen (NorKyst) og grønne sirkler den meteorologiske modellen (MEPS).

[2] I meteorologisk konvensjon, dvs. 0 grader tilsvarer vind fra retning nord, 90 grader vind fra retning øst osv.

De eksisterende modellene for bølger og strømninger er mest pålitelig på åpent hav, og områdene for brukercasene er dermed helt i utkanten av deres gyldighetsområde. For en nærmere diskusjon av lokal gyldighet se avsnittene som omhandler de enkelte brukercasene i kapittel 4.

Følgende utvalgte variabler fra de enkelte modellene er anvendt i denne rapporten:

Kilde	Variabel	Beskrivelse
MyWaveWam	**hs**	Signifikant bølgehøyde
	dd[3]	Retning vinden blåser mot (0 tilsvarer mot nord, 90 mot øst osv.)
	ff[3]	Vindstyrke i meter per sekund (m/s)
	ds	Spredning av retninger i bølgespekteret
	Pdir	Retning av frekvensen i bølgespekteret med mest energi
	Tp	Bølgeperioden med høyest energi i bølgespekteret
NorKyst	**u_eastward**	Strømhastighet mot øst
	v_northward	Strømhastighet mot nord
MEPS	**x_wind_10m**	Vindhastighet i x-retning (projiserte koordinater, Lambert conformal conic med referansebreddegrad=63 og referanselengdegrad=15)
	y_wind_10m	Vindhastighet i y-retning (projiserte koordinater, Lambert conformal conic med referansebreddegrad=63 og referanselengdegrad=15)



Figur 4: Oversikt over tilgjengelig modelldata. Gule trekanter markerer gap i måledataene opptil en uke, røde trekanter gap på over en uke.

2.3 Andre datakilder

Så vidt prosjektet bekjent, finnes det ingen kvantitative data på vind, strøm og bølger i havnebassengene utover dataene beskrevet i avsnittene 2.1 og 2.2. Da spesifikt tilgjengelig data med større oppløsning for mer lokal analyse og beskrivelse av operasjonelle miljøforhold. Av mer empiriske verdier omkring samme tema oppgir Ålesund (ved Havnekapteinen[4]) og Kristiansund (ved Havnevakta[4]) følgende:

- Ålesund: sørvest er dominerende vindretning, ikke kjent med at det finnes nevneverdige effekter av topografien (f.eks. bakevjer pga. Sukkertoppen). Bølgehøyden i den sørlige delen av havna (av særlig relevans for mulig trekant-samband Slinningsodden-Skarbøvika-Storneskaia) overstiger unntaksvis 0,5 m.
- Kristiansund: sørvest er dominant vindretning og foreligger ca. 90% av tiden. Bølgehøyden i havnebassenget overskrider bare unntaksvis 0,5 m og 1,0 m ansees å være maksimal bølgehøyde.

Begge områdene er skjermet for dønninger og det antas at eventuelle bølger er vindsjø.

[3] Vinddata fra ECMWF- og AROME-modellen
[4] Telefonsamtale 22. April 2020

2.4 Datagrunnlag oppsummert

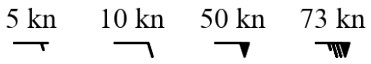
- For begge brukercasene finnes det vindmålere som er plassert i umiddelbar nærhet (Portvind-måler), men det er usikkert hvorvidt disse målingene følger den meteorologiske standarden på 10 meter over overflaten. I tillegg finnes det to værstasjoner fra Meteorologisk institutt i området. Stasjonen i Kristiansund har forholdsvis stor avstand til området som er aktuelt for brukercaset.
- Modelldata på bølge, vind og strøm er tilgjengelig fra Meteorologisk institutt. Modellene har en oppløsning på 800 x 800 m og det ligger dermed forholdsvis få datapunkt i områdene av interesse. Datapunktene er dessuten i randsonen av beregningsdomene, dvs. i nærheten av datapunkt som anses som land, og nøyaktigheten er dermed redusert.
- Havnene i Ålesund og Kristiansund samler ikke kvantitative miljødata data.

3 Metode

Rapporten skal beskrive typiske forhold, dvs. en beskrivelse av fordelingen av forskjellige parametere framfor en karatering av dynamikken (tidsserier). Derfor benyttes metoder fra deskriptiv statistikk på tilgjengelige data. Siden det ikke finnes direkte målinger av bølger og de tilgjengelige modelldataene har begrenset nøyaktighet i områdene som skal analyseres, er det i tillegg gjennomført en strøklengdeanalyse. Dette basert på tilgjengelig vinddata. Både statistisk analyse og strøklengeanalyse er utført separat for begge områdene. De benyttede metodene beskrives i avsnittene nedenfor (3.1. og 3.2).

Det benyttes følgende måleenheter:

- Retninger: grader (i WGS84-system). Nord er nullpunktet og positiv retning er med klokke. Det som oppgis er retningen som vinden/strømningen/bølgen kommer fra.
- Hastigheter: meter per sekund (m/s), med unntak av havstrømning som er oppgitt i knop (kn). Dessuten brukes det knop for vindstyrke i figurer med vindpiler for å følge konvensjonen for værkart publisert av Meteorologisk institutt (se Figur 5 for eksempler).
- Avstander: meter
- Bølgeperiode: sekund.



Figur 5: Vindpiler for forskjellige vindstyrker

3.1 Deskriptiv statistikk

De undersøkte variablene er alle numeriske og kontinuerlige, men det må skilles mellom variabler som har et skalanivå[5], dvs. en skala med et naturlig nullpunkt (f.eks. vindstyrke og bølgehøyde), og sykliske variabler (f.eks. retning for vind-, bølge- og strøm). I den grad datasettene inneholder vektorstørrelser (NorKyst og MEPS) konverteres slike to-dimensjonale vektorer til polarkoordinater. MEPS-modellen oppgir vektorene i koordinater i Lamberts konisk konforme projeksjon, og disse er konvertert til standard koordinater i lengde- og breddegrad (WGS84)[6]. For variabler på skalanivå er alle vanlige statistiske beskrivelser for lokasjon (aritmetisk gjennomsnitt, median, etc.) og spredning (standardavvik, interkvartilavstand, etc.) tilgjengelige [1], mens de ikke kan anvendes direkte på sykliske variabler[7] [2]. Derfor anvendes det to sett av statistiske metoder, avhengig av hvilken klasse variabelen faller under:

- Skalanivå: Som lokasjonsbeskrivelse brukes aritmetisk gjennomsnitt og median. Medianen gir verdien som deler datasett i to, dvs. 50% av datasettet har verdier lavere enn medianen. De to beskrivelsene er identiske for symmetriske fordelinger. For å beskrive spredningen i variabelen brukes kvaltiler (nedre kvartil er verdien slik at 25% av datasettet har lavere verdier enn den nedre kvartil, og den øvre kvartil er definert tilsvarende for 75%). Ekstremverdier karakteriseres gjennom 95. persentil (eller 5. om variabelen gir mer ekstreme utslag for lave verdier). For n-te persentil er verdien slik at n prosent av datasettet har lavere verdi enn persentilen. Kvartiler og persentiler er valgt fremfor varians/standardavvik siden disse er mer robuste mot ekstremverdier og interpretasjonen er ikke avhengig av den underliggende fordelingen[8][1]. Histogrammer er benyttet for å illustrere fordelingene.
- Sykliske variabler: de sykliske variablene i datasettene er retninger hvor gjennomsnittsretning benyttes som lokasjonsbeskrivelse. Gitt vinkler $\phi_1, \dots, \phi_n$, beregnes gjennomsnittsretningen på følgende måte

[5] *Ratio scale* på engelsk

[6] Hastighetsvektorer transformeres mellom koordinatsystem ved hjelp av multiplikasjon med Jacobimatrisen av koordinattransformasjonen som en direkte følge av differensialregningens kjerneregel. Jacobimatrisen er beregnet numerisk ved hjelp av Pyhon-biblioteket pyproj (http://pyproj4.github.io/pyproj/stable/).

[7] Det aritmetiske gjennomsnittet av vindretninger på 5 og 355 grader er f.eks. 180 grader, mens det forventede svaret er 0(360) grader.

[8] Mange av variablene i datasettet er vektorlengder, f.eks. vind- og strømningsstyrke, og typisk ikke normalfordelt.

$$\bar{\phi} = \arctan2\left(\frac{1}{n}\sum_i sin(\phi_i),\ \frac{1}{n}\sum_i cos(\phi_i)\right)$$

Legg merke til at argumentene av arctan2 er byttet sammenlignet med formelen gitt i [2, s. 15] for å følge den meteorologiske konvensjoner med 0 grader for retning nord og økning med klokken, i motsetning til den vanlige matematiske konvensjonen med 0 grader i retning av x-aksen og økning mot klokken. I tillegg til det vanlige aritmetiske gjennomsnittet brukes også et vektet middel med styrke/hastighet som vekt. Det finnes også spredningsindikatorer for sykliske variabler (jf. [2, s. 17ff]), men tolkning av disse er vanskelig og informasjonen er lettere tilgjengelig gjennom grafiske fremstillinger. I denne rapporten brukes det rosediagrammer, der lengde av sektorene fremstiller størrelsen[9]

3.2 Strøklengdeanalyse

Strøklengdeanalyse er en metode for å estimere signifikant bølgehøyde og bølgeperiode (peak wave period) basert på vindstyrke, lengde av strekningen med vann vinden virker på og vanndybde. Disse formlene er empiriske, og det finnes forskjellige varianter av dem. For dette arbeidet er anbefalingene i [3] benyttet og formlene i 1977-ugaven til *Shore Protection Manual* [4] er utgangspunktet for selve beregningen av bølgehøyde og -periode. For beregning av effektiv strøklengde er det tatt utgangspunkt i 1984-utgaven av samme manual [5]. For en gitt vindhastighet u, effektiv strøklengde f og gjennomsnittsdybde d beregnes bølgehøyde h_s og bølgeperioden t_p på følgende måte:

$$h_s = \frac{0{,}283 \cdot \alpha \cdot u^2}{g} \cdot tanh\left(\frac{0{,}0125\left(\frac{g \cdot f}{u^2}\right)^{0{,}42}}{\alpha}\right),$$

med

$$\alpha = tanh\left(0{,}53\left(\frac{g \cdot d}{u^2}\right)^{0.75}\right)$$

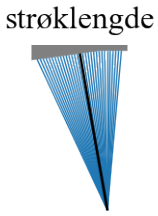
og

$$t_p = 2\pi\frac{1{,}2 \cdot \beta \cdot u}{g} \cdot tanh\left(\frac{0{,}733\left(\frac{g \cdot f}{u^2}\right)^{0{,}25}}{\beta}\right),$$

med

$$\beta = tanh\left(0{,}833\left(\frac{g \cdot f}{u^2}\right)^{0.375}\right).$$

Den effektive strøklengden f beregnes som den gjennomsnittlige avstanden fra punktet analysen utføres for, og til nærmeste land som den retningen vinden kommer fra ($\pm$ 15 grader). Figur 6 illustrer uttegningen. For denne analysen brukes det en oppløsning av 1 grad (i WGS84 koordinater). Alle avstander er målt i UTM koordinater (sone 32N).



Figur 6: Illustrasjon av beregning av effektiv strøklengde. Den svarte linjen gir avstanden til land i vindretningen, de blå linjene i bakgrunnen avstanden i retning vindretning $\pm$ 15 grader med 1 grads oppløsning.

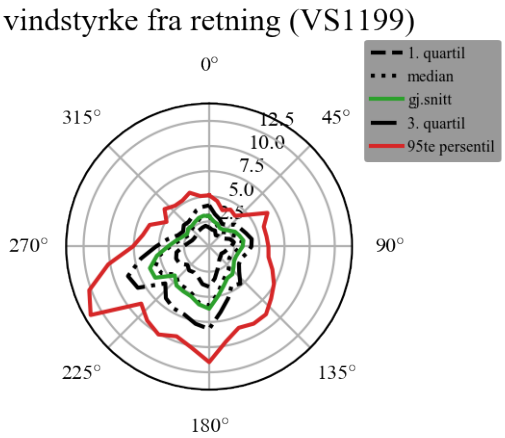
[9] Siden arealet av stolpene vokser kvadratisk med lengden argumenteres det ofte for å bruke kvadratroten av variabelen som lengde [2, s. 4]. Vi velger å ikke følge denne anbefalingen slik at verdien på variabelen kan leses av direkte på den radiale aksen.

4 Brukercase – Ålesund og Kristiansund

For hver av regionene utføres det en analyse av all tilgjengelig data på vind, strømminger, og bølger.

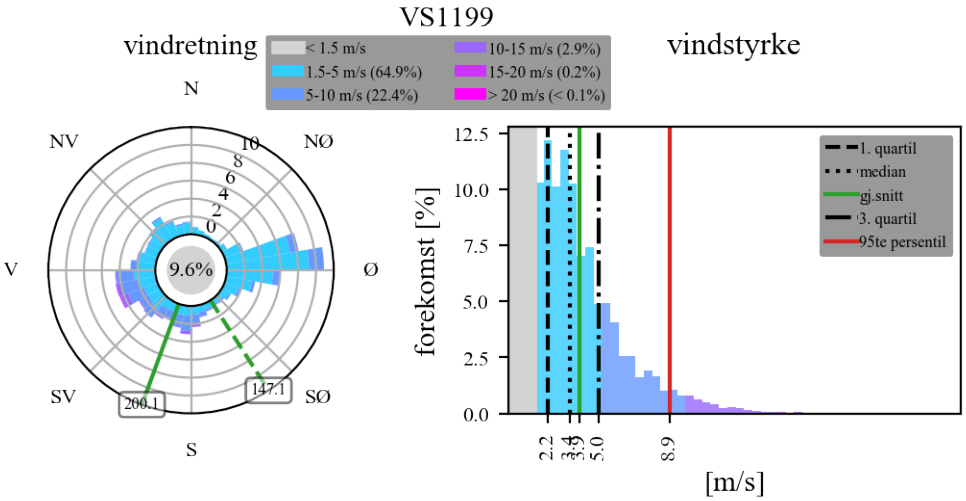
4.1 Ålesund

4.1.1 Vind



Figur 7: Fordelingen av vindstyrke for gitt retning for stasjon VS1199 (Portwind).

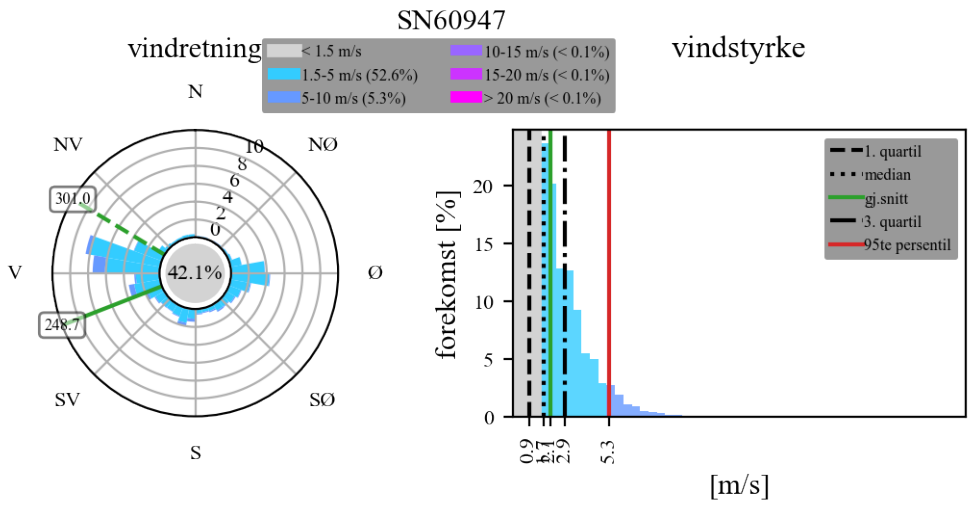
Målingene fra målestasjonen på Storneskaia (VS1199) viser at den hyppigste vindretningen er fra øst med ca. 15% av målingene. Vinden fra denne retningen er derimot ofte forholdsvis svak, og overskrider sjeldent 2,5 m/s (2 på Beaufort-skalaen tilsvarer svak vind). Vindstyrker over 10 m/s er som oftest forbundet med retningen vest-sørvest. Den gjennomsnittlige retningen er sørøst, en vindretning som forekommer ca. 1% av tiden, og skyldes at de to hyppigste retningsfordelingene er totoppet, og toppene er diametralt motsatte retninger. Gjennomsnittet vektet med vindstyrke er sør-sørvest. Retningene som utviser et genomsnitt på 2,5 m/s eller høyere kommer fra retning sør til vest. Se rosediagrammet i Figur 8 for flere detaljer. Gjennomsnittet over alle terninger er 3,9 m/s (3 på Beaufort-skalaen tilsvarer lett bris), 95% av observasjonene utviser en vindstyrke under 8,9 m/s (5 på Beaufort-skalaen tilsvarer frisk bris), men for retningen vest-sørvest ligger denne grensen på ca. 13 m/s (6 på Beaufort-skalaen tilsvarer liten kuling). Se Figur 7 og histogram over vindstyrke i Figur 8 for flere detaljer.



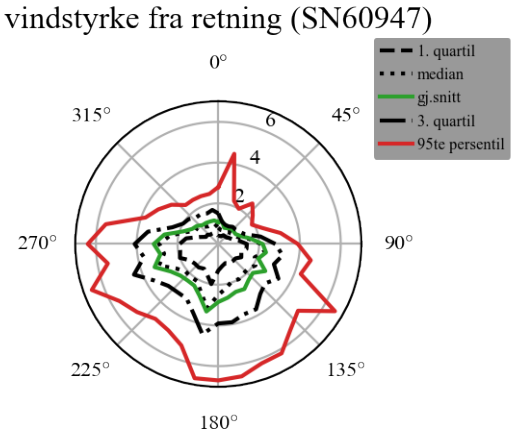
Figur 8: Rosediagram over vindretning og histogram over vindstyrke, fargelagt etter vindstyrke for stasjon VS1199 (Portwind). De grønne linjene i rosediagrammet indikerer gjennomsnittsretningen (stiplet) og det vektede (med vindstyrke) gjennomsnittet (heltrukket). Hver stolpe representerer en retningssektor på 10 grader.

Målingene fra den meteorologiske stasjonen øst for sentrum viser ca. halverte vindstyrker (SN60947). Den mest vanlige vindretningen er vest, mens øst fortsatt er forholdsvis vanlig for svak vind. Den (vektede)

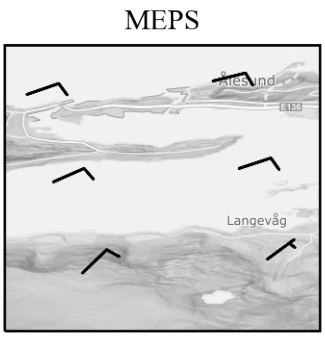
gjennomsnittsretningen er vest-sørvest. Se Figur 9 for flere detaljer. Retningen som utviser høyest gjennomsnitt konserterer seg fortsatt mellom retning vest og sør. Se Figur 9og Figur 10 for flere detaljer.



Figur 9: Rosediagram over vindretning og histogram over vindstyrke, fargelagt etter vindstyrke for stasjon SN60947 (MET). De grønne linjene i rosediagrammet indikerer gjennomsnittsretningen (stiplet) og det vektede (med vindstyrke) gjennomsnittet (heltrukket). Hver stolpe representerer en retningssektor på 10 grader.

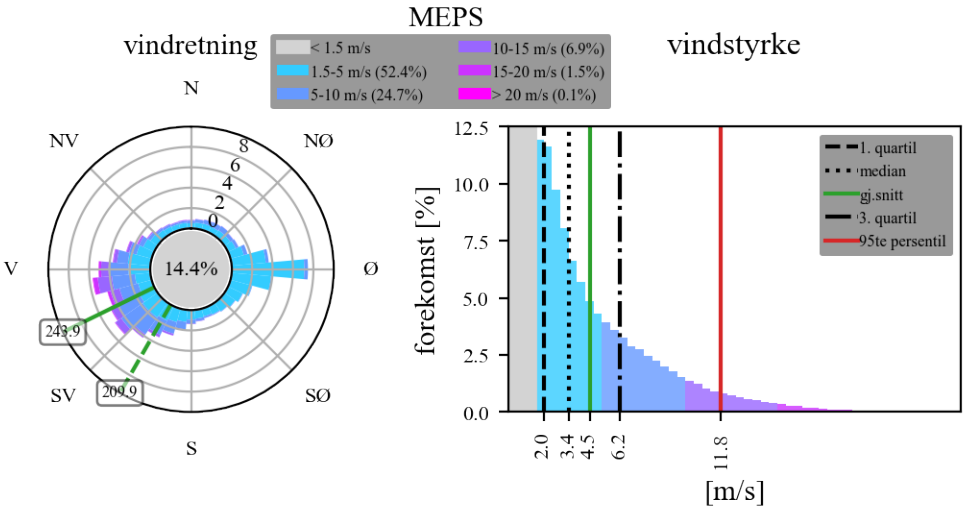


Figur 10: Fordelingen av vindstyrke for gitt retning for stasjon SN60947 (MET).

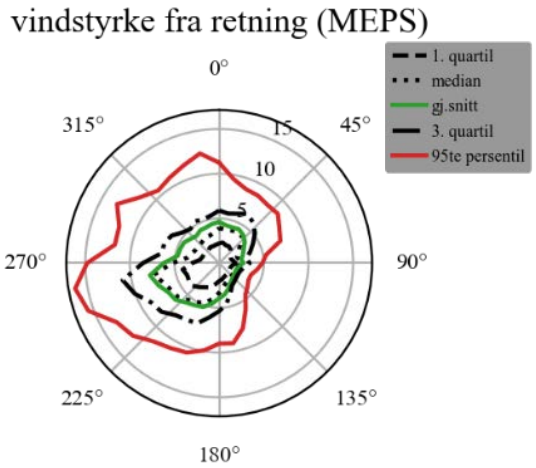


Figur 11: Gjennomsnittlig (vektet) vindfelt. Vindpilene følger vanlig konvensjon.

MEPS modellen viser et gjennomsnittlig vindfelt fra retning vest-sørvest med gjennomsnittshastigheter rundt 10 knop (ca 5 m/s), og ligger dermed noe over gjennomsnittene fra Portwind-stasjonen. På grunn av oppløsningen i modellen må dette vindfeltet forstås som et slags "bakgrunnsfelt". Lokale variasjoner på grunn av topologien vil ikke bli fanget opp. Fordelingen av vindretninger stemmer likevel nokså godt overens med målingene fra Portwind-stasjonen (Figur 12). Den mest hyppige vind-retning og styrke er østlig svak vind. Retningene med størst andel vindstyrker over 10 m/s ligger mellom vest og vest-sørvest. Den mest påfallende forskjellen mellom måledataene og modelldata er at MEPS-modellen også inneholder forholdsvis sjeldne, men betydelige vindstyrker fra retning nordvest (Figur 13, 95% persentil over 10 m/s). Forskjellen kan skyldes at begge målerne er skjermet fra denne retningen med gjennomgående bebyggelse og fjell.

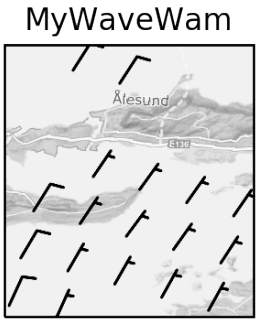


Figur 12: Rosediagram over vindretning og histogram over vindstyrke, fargelagt etter vindstyrke for MEPS-modelldata. De grønne linjene i rosediagrammet indikerer gjennomsnittsretningen (stiplet) og det vektede (med vindstyrke) gjennomsnittet (heltrukket). Hver stolpe representerer en retningssektor på 10 grader.

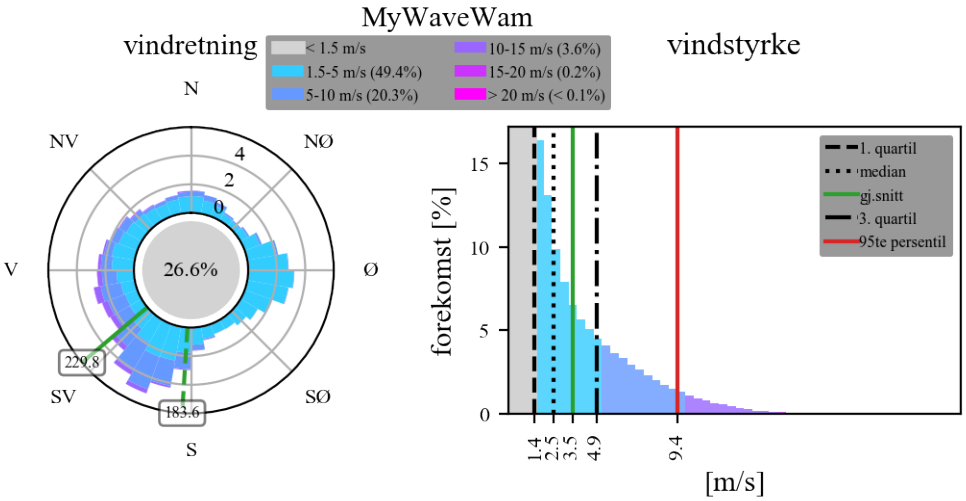


Figur 13: Fordelingen av vindstyrke for gitt retning for MEPS-modelldata.

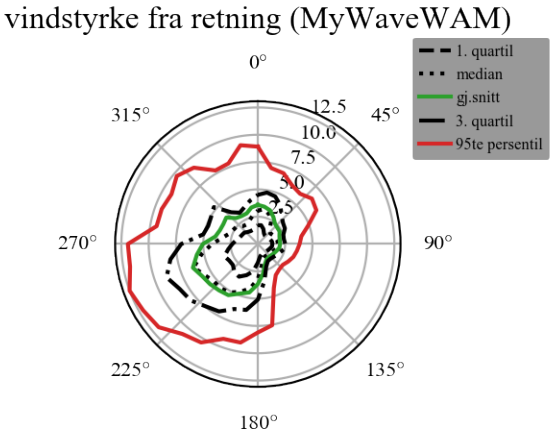
Vinddataene i MyWaveWam-modellen viser et gjennomsnittlig vindfelt med noe mer sørlig retning enn MEPS-modellen. Vindstyrken er 5 knop (ca. 2,5 m/s), bortsett fra de mest vestlige gridpunktene. Dette samsvarer grovt sett med halvering av vindstyrken mellom Portwind- og MET-stasjonen. Fordelingen av vindstyrken stemmer godt overens med fordelingen observert fra Portwind-stasjonen (jf. kvartiler i histogrammene i Figur 8 og Figur 15). Retningsfordelingen er mer jevn, men den mest påfallende forskjellen er et sterkt bidrag fra retningen sør-sørvest, både i form av hyppighet og vindstyrke. Denne vindretningen er nesten fraværende i observasjonene fra målestasjonene i området (VS1199 og SN60947). I denne sammenhengen er det også verdt å merke seg at gridpunktene i MyWaveWam-modellen som ligger på land på østspissen av Hessa (Slinningen) er regnet som hav.



Figur 14: Gjennomsnittlig (vektet) vindfelt. Vindpilene følger vanlig konvensjon.



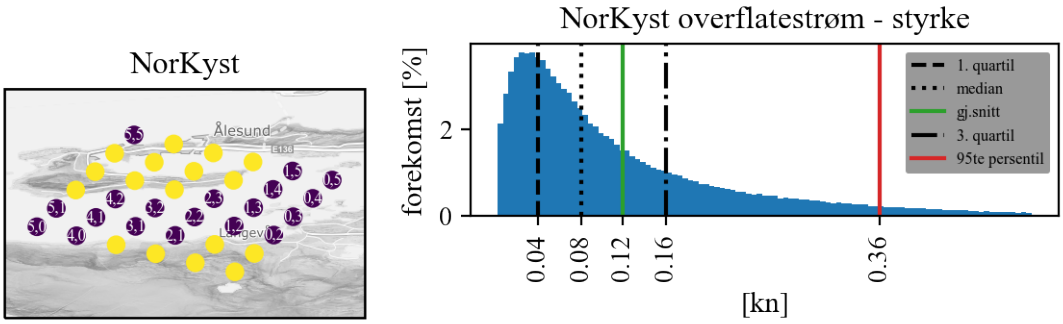
Figur 15: Rosediagram over vindretning og histogram over vindstyrke, fargelagt etter vindstyrke for MyWaveWam-modelldata. De grønne linjene i rosediagrammet indikerer gjennomsnittsretningen (stiplet) og det vektede (med vindstyrke) gjennomsnittet (heltrukket). Hver stolpe representerer en retningssektor på 10 grader.



Figur 16: Fordelingen av vindstyrke for gitt retning for MyWaveWam-modelldata

4.1.2 Overflatestrømninger

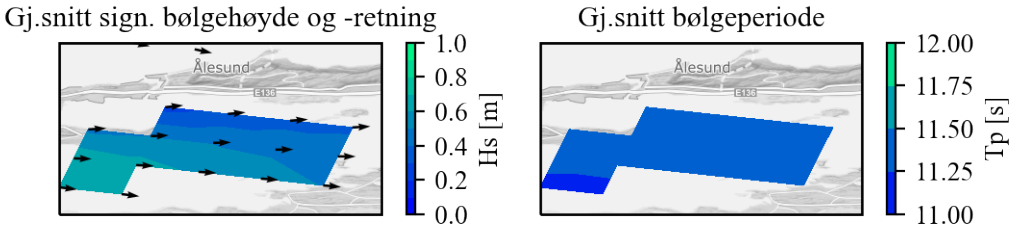
Beregningsgitteret til NorKyst-modellen oppfatter ikke den sørlige delen av havnen i Ålesund som hav og kan derfor bare benyttes som informasjon om strømningsforhold i Hessafjorden. Strømningshastighetene er generelt sett moderate med en median på 0,08 knop, et gjennomsnitt på 0,12 knop og 95% persentil på 0,36 knop. Se Figur 17 for flere detaljer.



Figur 17: Venstre: beregningsgitter for NorKyst-modellen. Gule sirkler indikerer ugyldige gitterpunkt, dvs. land. Punktene er nummerert fra (0,0) i nedre høre hjørne til (5,5) i øvre venstre. Høyre histogram av styrken av overflatestrømmen.

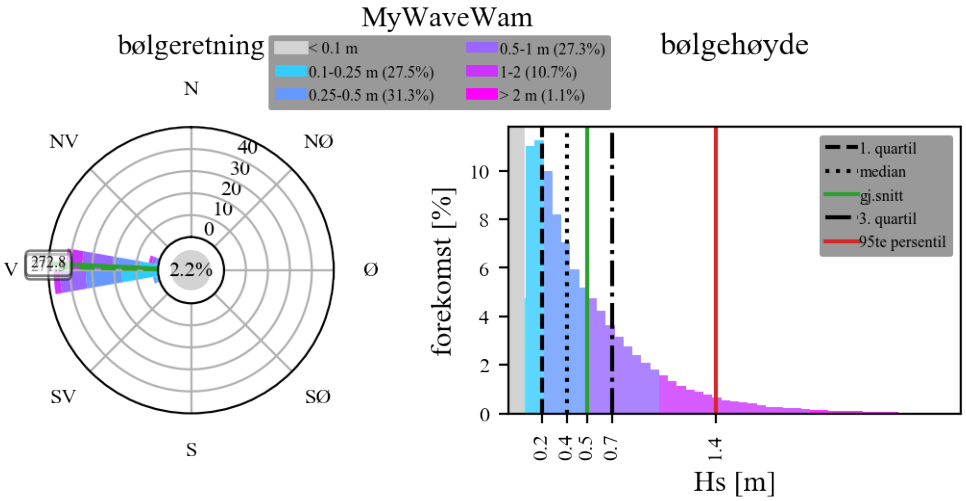
Fordelingen av strømningsretningen i gitterpunktene er stort sett totoppet, og toppene ligger i motsatte retninger. Dette indikerer at det dreier seg om tidevannsstrømmer. Hovedretningen følger fjordens retning oppstrøms. Figur 25 viser detaljene for hvert gitterpunkt som ikke er merket som land. Legg merke til at noen gitterpunkt ser ut til å være ugyldige, selv om de ikke er merket som land.

4.1.3 Bølger



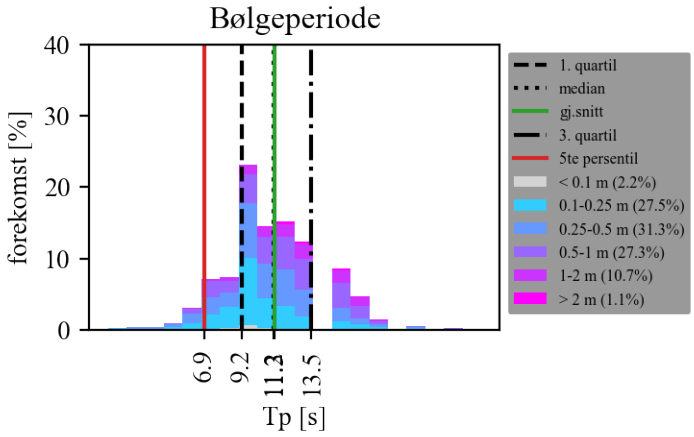
Figur 18: Venstre: gjennomsnittlig (vektet) bølgeretning og signifikant bølgehøyde for MyWaveWam-modllen. Høyre: gjennomsnittlig bølgeperiode (peak wave period).

MyWaveWam-modellen gir et gjennomsnittlig bølgeretningsfelt med nesten konstant retning fra vest til øst. Gjennomsnittlig signifikant bølgehøyden i vest av området ligger på ca. 0.7 m i det sørvestlige hjørnet av domenet og avtar mot nord og øst til ca. 0.3 (Figur 18, venstre). Gjennomsnittlig bølgeperiode varierer lite i området og ligger mellom 11 og 11,5 sekunder (Figur 18, høyre). Bølgeretningen i modellen har lite variasjon. Den gjennomsnittlige signifikante bølgehøyden ligger på 0,5 m, medianen 0,1 m lavere. 95% av alle datapunkt har en bølgehøyde på under 1,5 m. Bølger på over 2 m signifikant bølgehøyde utgjør 1,1% av datapunktene (Figur 19).



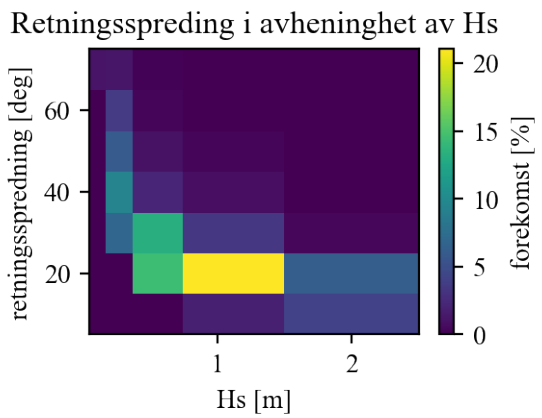
Figur 19: Rosediagram over bølgeretning og histogram over signifikant bølgehøyde, fargelagt etter bølgehøyde for MyWaveWam-modelldata. De grønne linjene i rosediagrammet indikerer gjennomsnittsretningen (stiplet) og det vektede (med bølgehøyde) gjennomsnittet (heltrukket). Hver stolpe representerer en retningssektor på 10 grader.

50% prosent av bølgeperiodene ligger mellom 9.2 og 13,5 sekunder (s). Bølger med signifikant bølgehøyde over 1 m har stort sett en bølgeperiode over 9,2 s. 5% av datapunktene har en bølgeperiode under 6,9 s. Den signifikante bølgehøyden for disse datapunktene kan komme opp i 1 m (Figur 20).



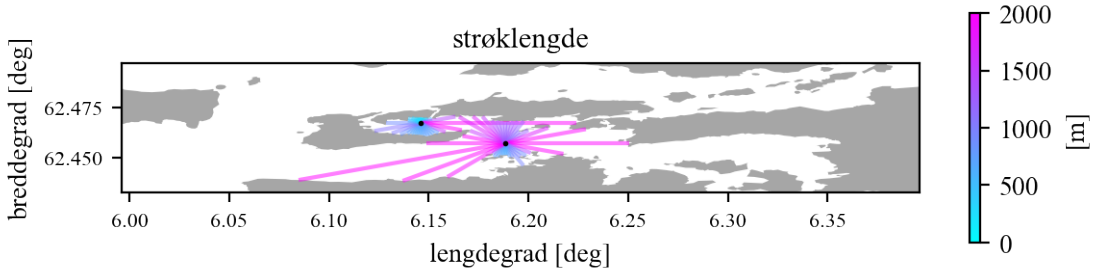
Figur 20: Fordelingen av bølgeperiode i MyWaveWam-modelldata fargelagt etter bølgehøyde.

Retningsspredningen i bølgespektrene minker med bølgehøyde, og ligger under 30 grader for mesteparten av datasettet (jf. Figur 21).



Figur 21: Spredningen av retningene i bølge spekteret.

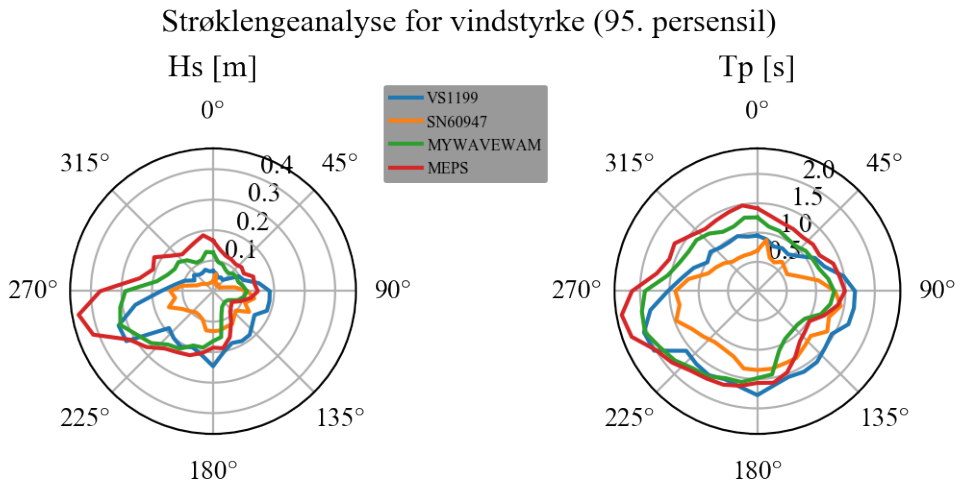
For strøklengdeanalysen har vi valgt to punkt. Et nært Storneskaia siden gyldigheten av MyWaveWam-modellen i dette området er noe usikkert (jf. avsnitt 4.1.1), og et på strekningen som Langevågsbåten frekventerer som kontrollpunkt. Se Figur 22 for posisjon av punktene.



Figur 22: Posisjoner for strøklengdeanalysen. Linjene viser senterlinjen for de analyserte retningene (36 retninger med 10 graders avstand).

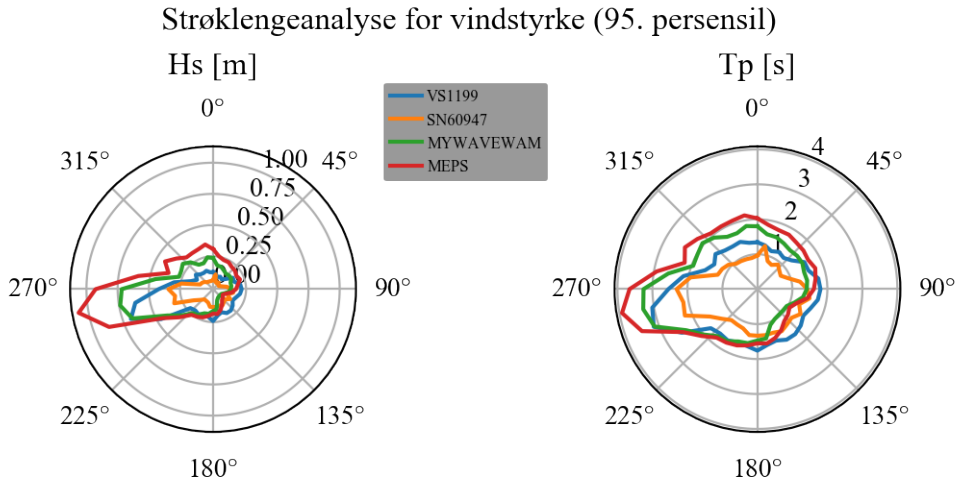
Vi bruker formlene fra avsnitt 3.2 og de 95. persentilene i hver retning fra målestasjonene (VS1199 og SN60947), samt MEPS- og MyWaveWam-modellene. Gjennomsnittsdybde er beregnet basert på datasettet "Dybdedata - terrengmodeller 50 meters grid" fra Kartverket.

For det indre punktet (Figur 23) ser vi at resultatene for det forskjellige datakildene stemmer godt overens for retninger fra 180 grader til ca. 240 grader, med unntak av dataene fra den meteorologiske målestasjonen SN60947. Maksimalverdien til de signifikante bølgehøydene ligger mellom 0,3 og 0,4 m (med unntak av SN60647), tilsvarende bølgeperioden er mellom 2,0 og 2,5 s.

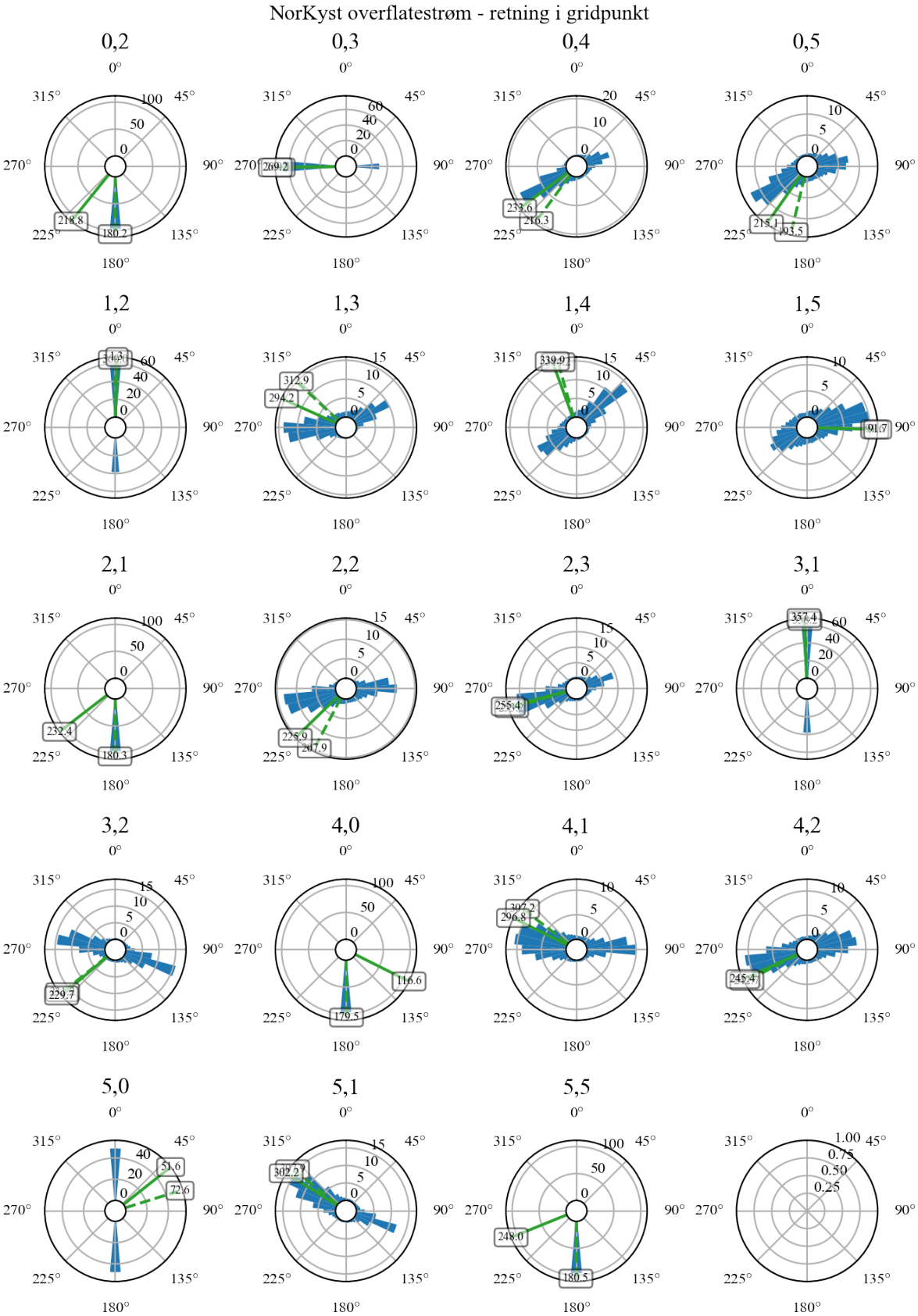


Figur 23: Strøklengdeanalyse for punkt utenfor Storneskaia.

Også for det ytre punktet (Figur 24) stemmer resultatene godt overens for tre av 4 datasett for de samme retningene. Dermed kan vi konkludere med at de underliggende persentilene er nokså like for disse tre datakildene. Maksimalverdien til de signifikante bølgehøydene ligger nå mellom 0,75 og 1 m, med tilsvarende bølgeperioder mellom 3 og 4 s.



Figur 24: Strøklengdeanalyse for punkt på strekningen av Langevågsbåten.

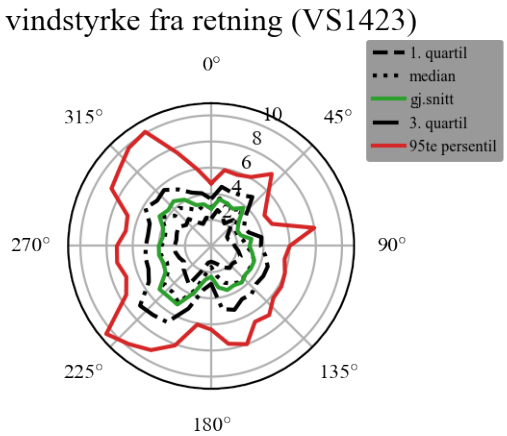


Figur 25: Fordeling av strømningsretninger i forskjellige gitterpunkt av NorKyst-modellen. Nummereringen følger den i Figur 17, venstre. De grønne linjene i rosediagrammet indikerer gjennomsnittsretningen (stiplet) og det vektede (med styrke) gjennomsnittet (heltrukket). Hver stolpe representerer en retningssektor på 10 grader.

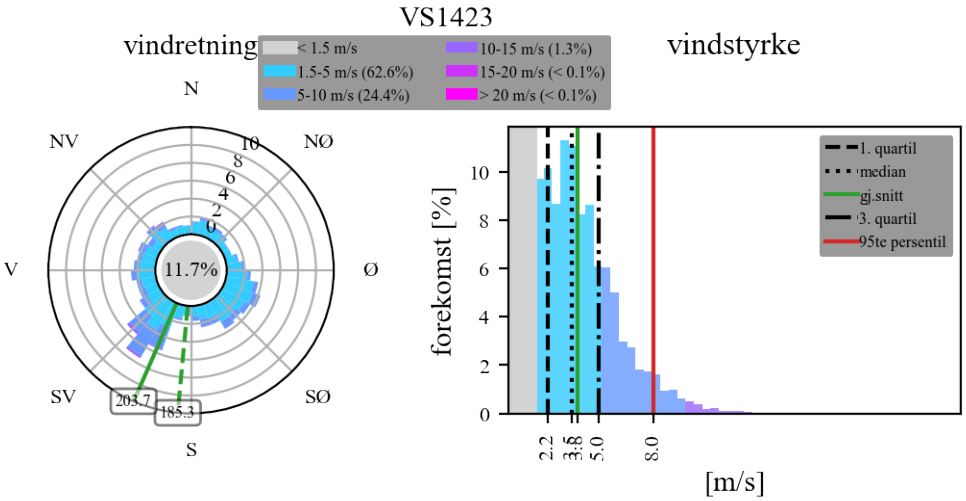
4.2 Kristiansund

4.2.1 Vind

Målingene fra målestasjonen ved Hurtigbåtterminalen (VS1423) viser at den hyppigste vindretningen er tilnærmet fra sørvest med ca. 7% av målingene. Denne retningen står for en betydelig andel av vindstyrker over 5 m/s (4 på Beaufort-skalaen tilsvarer laber bris). Se rosediagrammet i Figur 27 for flere detaljer. Den gjennomsnittlige retningen er sør, og gjennomsnittlig vektet vindstyrke er sør-sørvest. Gjennomsnittet over alle retninger er 3,6 m/s (3 på Beaufort-skalaen tilsvarer lett bris), 95% av observasjonene viser en vindstyrke under 8,0 m/s (5 på Beaufort-skalaen tilsvarer frisk bris), men for retningen sørvest og nordvest ligger denne grensen på ca. 10 m/s (5 på Beaufort-skalaen tilsvarer liten kuling). Nordvest er en noe sjelden vindretning. Gjennomsnittsvindstyrken ligger under 4 m/s for alle retninger, med unntak av retningen sørvest. Se Figur 26 og histogram over vindstyrke i Figur 27 for flere detaljer.



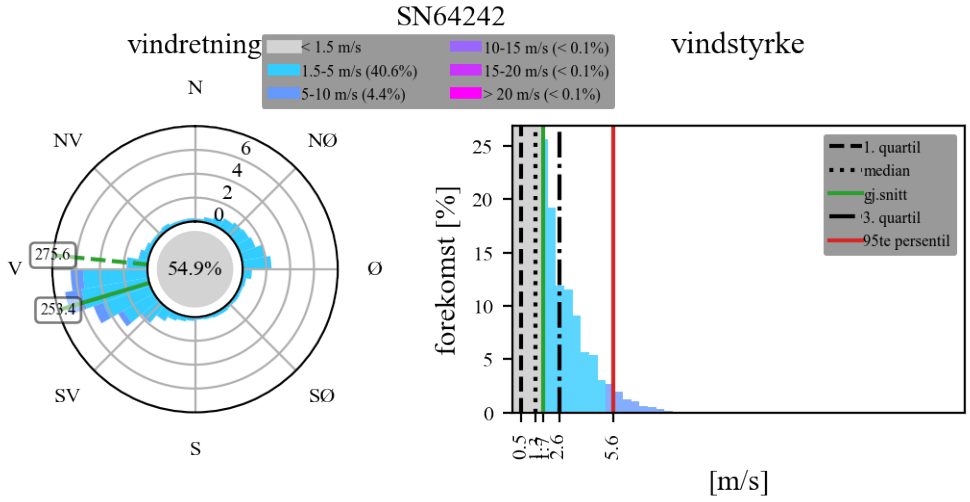
Figur 26: Fordelingen av vindstyrke for gitt retning for stasjon VS1423 (Portwind).



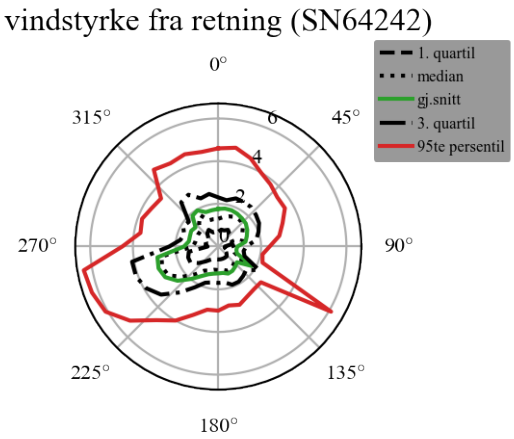
Figur 27: Rosediagram over vindretning og histogram over vindstyrke, fargelagt etter vindstyrke for stasjon VS1423 (Portwind). De grønne linjene i rosediagrammet indikerer gjennomsnittsretningen (stiplet) og det vektede (med vindstyrke) gjennomsnittet (heltrukket). Hver stolpe representerer en retningssektor på 10 grader.

Målingene fra den meteorologiske stasjonen i Rensvik viser betydelig lavere vindstyrker (SN64242). Den mest vanlige vindretningen er vest-sørvest, og vindretningen sørøst forekommer betydelig sjeldnere. Den (vektede) gjennomsnittsretningen er vest-sørvest. Se Figur 9 for flere detaljer. Retningen som utviser høyest

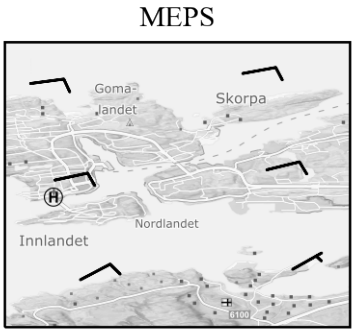
gjennomsnitt tilsvarer også den hyppigste vindretningen. Vindstyrken fra nordvest er noe redusert. Taggene i retning sørøst tyder på problemer med målingene fra denne retnignen. Se Figur 29 for flere detaljer.



Figur 28: Rosediagram over vindretning og histogram over vindstyrke, fargelagt etter vindstyrke for stasjon SN64242 (MET). De grønne linjene i rosediagrammet indikerer gjennomsnittsretningen (stiplet) og det vektede (med vindstyrke) gjennomsnittet (heltrukket). Hver stolpe representerer en retningssektor på 10 grader.



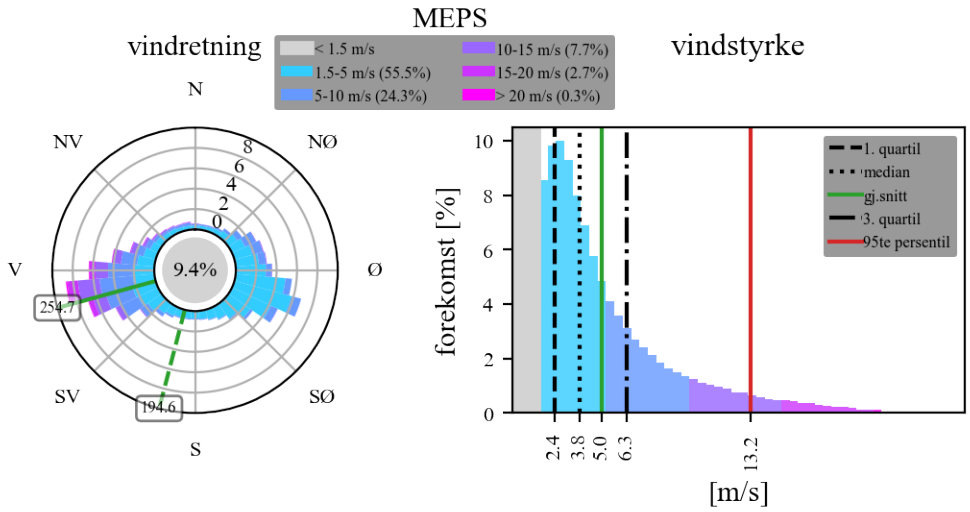
Figur 29: Fordelingen av vindstyrke for gitt retning for stasjon SN64242 (Portwind).



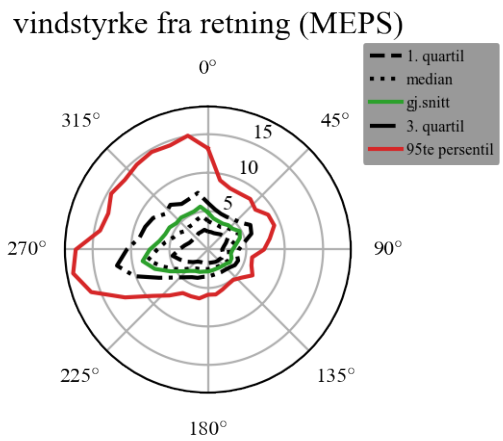
Figur 30: Gjennomsnittlig (vektet) vindfelt. Vindpilene følger vanlig konvensjon.

MEPS modellen viser et gjennomsnittlig vindfelt fra retning vest-sørvest med gjennomsnittshastigheter rundt 10 knop (ca 5 m/s), og ligger dermed igjen noe over gjennomsnittene fra Portwind-stasjonen (jf. Figur 26 og Figur 27). Fordelingen av vindretninger stemmer likevel nokså godt overens med målingene fra MET-stasjonen (Figur 28). Retningene med størst andel vindstyrker over 10 m/s er vest-sørvest. Den mest påfallende forskjellen til måledataene er at MEPS-modellen også inneholder en *betydelig andel vind*

fra øst-sørøstlig retning (jf. Figur 28 og Figur 31). Vind fra denne terningen er derimot typisk nokså svak (Figur 32, 9. persentil under 5 m/s).

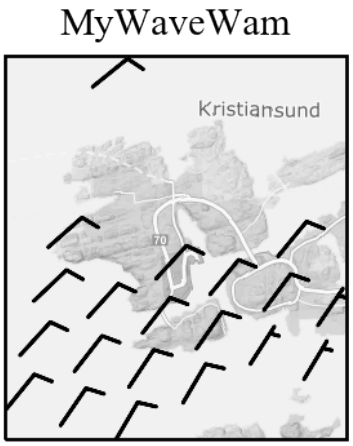


Figur 31: Rosediagram over vindretning og histogram over vindstyrke, fargelagt etter vindstyrke for MEPS-modelldata. De grønne linjene i rosediagrammet indikerer gjennomsnittsretningen (stiplet) og det vektede (med vindstyrke) gjennomsnittet (heltrukket). Hver stolpe representerer en retningssektor på 10 grader.

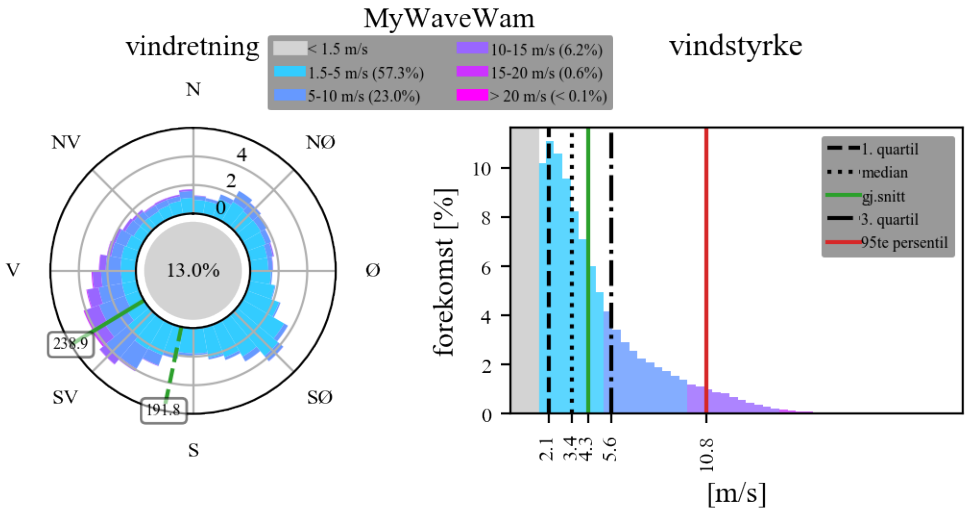


Figur 32: Fordelingen av vindstyrke for gitt retning for MEPS-modelldata.

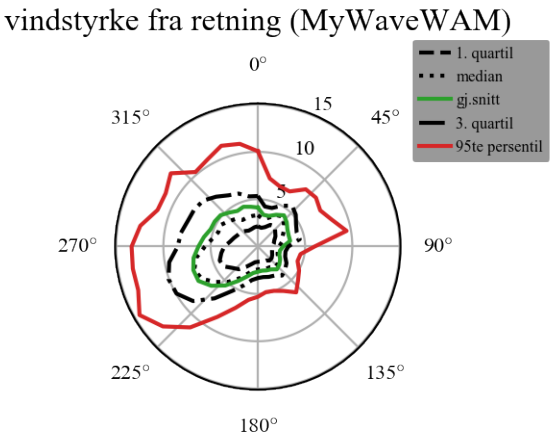
Vinddataene i MyWaveWam-modellen viser et gjennomsnittlig vindfelt med noe mer sørlig retning enn MEPS-modellen (jf. Figur 30). Vindstyrken er 10 knop (ca. 5 m/s), bortsett fra de mest østlige gridpunktene. Retningen samsvarer grovt sett med Portwind-stasjonen, vindstyrken er noe større. Retningsfordelingen er mer jevn, men hovedretningene sørvest og sørøst med svak vind er nokså like (Figur 34). Det også verdt å merke seg at en god del gridpunktene i MyWaveWam-modellen som ligger på land (Nordlandet, Innlandet og deler av Kriklandet) er regnet som hav (Figur 33).



Figur 33: Gjennomsnittlig (vektet) vindfelt. Vindpilene følger vanlig konvensjon.

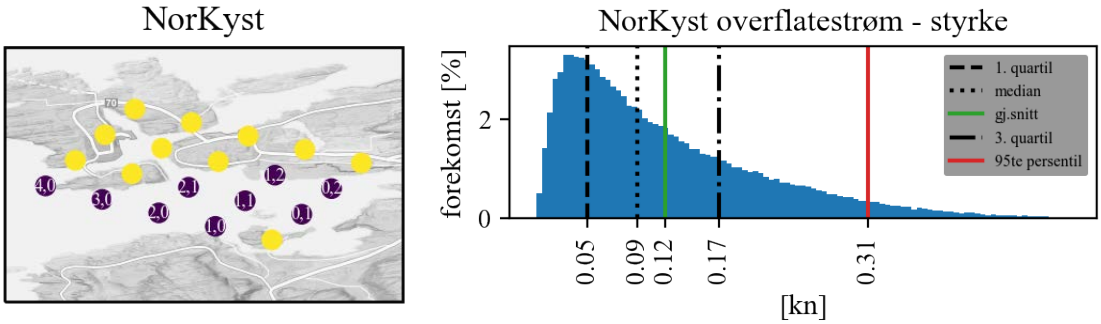


Figur 34: Rosediagram over vindretning og histogram over vindstyrke, fargelagt etter vindstyrke for MyWaveWam-modelldata. De grønne linjene i rosediagrammet indikerer gjennomsnittsretningen (stiplet) og det vektede (med vindstyrke) gjennomsnittet (heltrukket). Hver stolpe representerer en retningssektor på 10 grader.



Figur 35: Fordelingen av vindstyrke for gitt retning for MyWaveWam-modelldata

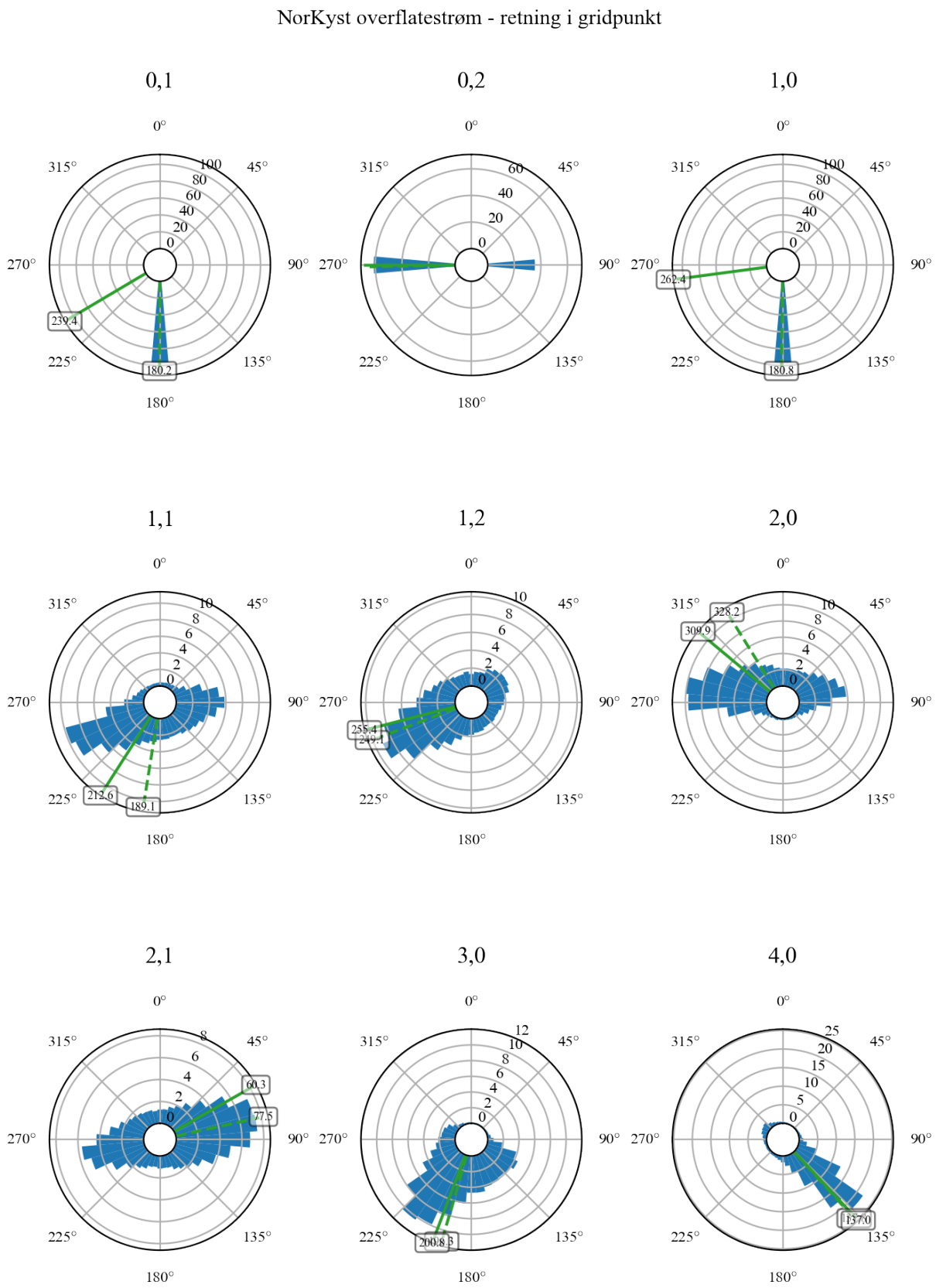
4.2.2 Overflatestrømninger



Figur 36: Venstre: beregningsgitter for NorKyst-modellen. Gule sirkler indikerer ugyldige gitterpunkt, dvs. land. Punktene er nummerert fra (0,0) i nedre høre hjørne til (4,3) i øvre venstre. Høyre histogram av styrken til overflatestrømmen.

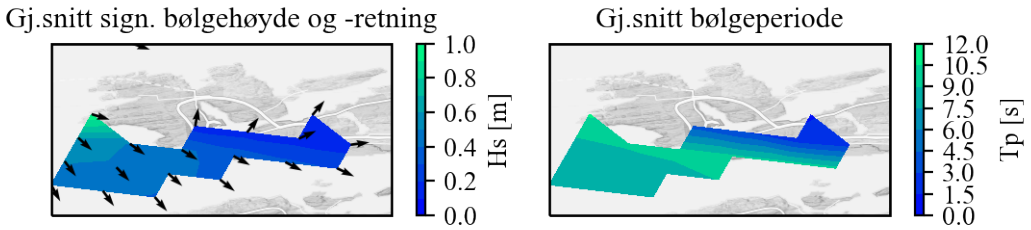
Beregningsgitteret til NorKyst-modellen oppfatter ikke den havnen i Kristiansund som hav og kan derfor bare benyttes som informasjon om strømningsforhold i Bolgsvaet. Strømningshastighetene er generelt sett moderate med en median på 0,09 knop, et gjennomsnitt på 0,12 knop og 95% persentil på 0,31 knop. Se for Figur 36 for flere detaljer.

Fordelingen av strømningsretningen i gitterpunktene er stort sett totoppet, men den vestlige og sørvestlige retningen er dominerende, med unntak av gitterpunktene (2,1) og (4,0). retninger. Hovedretningen følger fjordens retning oppstrøms. Figur 37 viser detaljene for hvert gitterpunkt som ikke er merket som land. Merk at noen gitterpunkt ser ut til å være ugyldige, selv om de ikke er merket som land.



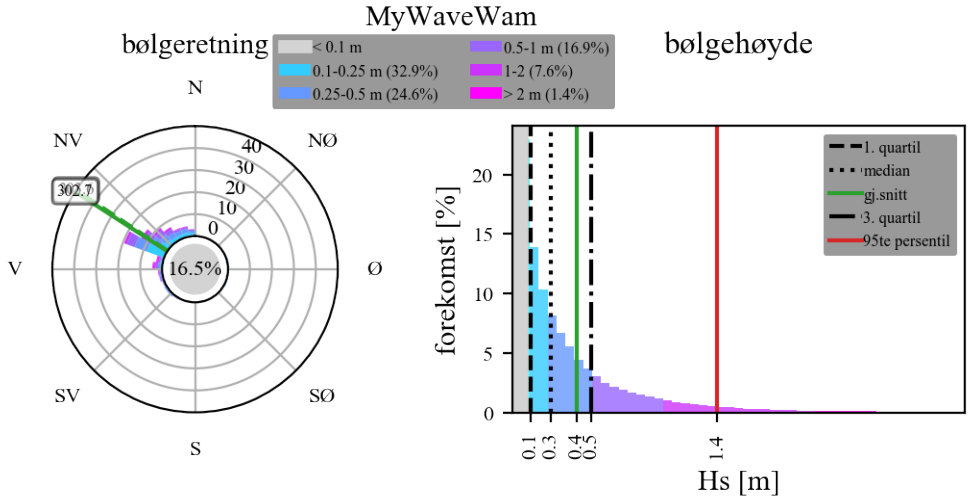
Figur 37: Fordeling av strømningsretninger i forskjellige gitterpunkt av NorKyst-modellen. Nummereringen følger den i Figur 36, venstre. De grønne linjene i rosediagrammet indikerer gjennomsnittsretningen (stiplet) og det vektede (med styrke) gjennomsnittet (heltrukket). Hver stolpe representerer en retningssektor på 10 grader.

4.2.3 Bølger



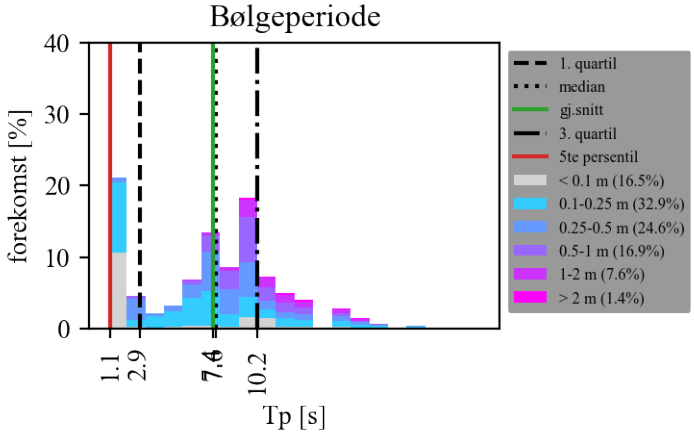
Figur 38: Venstre: gjennomsnittlig (vektet) bølgeretning og signifikant bølgehøyde for MyWaveWam-modllen. Høyre: gjennomsnittlig bølgeperiode (peak wave period).

MyWaveWam-modellen gir et gjennomsnittlig bølgeretningsfelt med nesten konstant retning fra nordvest, med unntak av randpunktene på den mot land i nord. Gjennomsnittlig signifikant bølgehøyde i det nordvestre hjørnet av området ligger på ca. 1 m og avtar rask mot øst. I den østre enden av område ligger den på ca. 0,2 m (Figur 38, venstre). Gjennomsnittlig bølgeperiode varierer fra 1 til 12 s (Figur 38, høyre). Bølgeretningen er i modellen varierer fra vest til nord, men hovedretningen med 20% av datapunktene er vest-nordvest. Den gjennomsnittlige signifikante bølgehøyden ligger på 0,4 m, medianen 0,1 m lavere. 95% av alle datapunkt har en bølgehøyde på under 1,4 m. Bølger på over 2 m signifikant bølgehøyde utgjør 1,4% av datapunktene (Figur 39).



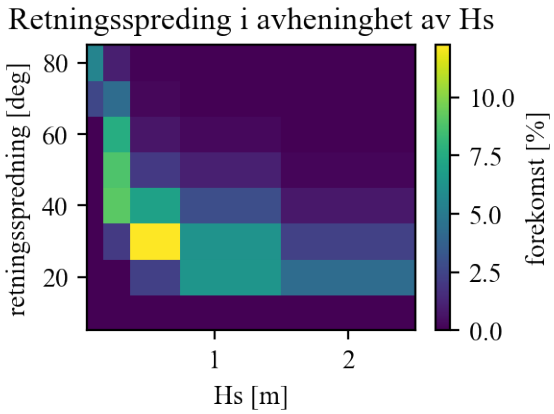
Figur 39: Rosediagram over bølgeretning og histogram over signifikant bølgehøyde, fargelagt etter bølgehøyde for MyWaveWam-modelldata. De grønne linjene i rosediagrammet indikerer gjennomsnittsretningen (stiplet) og det vektede (med bølgehøyde) gjennomsnittet (heltrukket). Hver stolpe representerer en retningssektor på 10 grader.

50% prosent av bølgeperiodene ligger mellom 2.9 og 10,2 s. Gjennomsnittet ligger på 7,4 s. Bølger med signifikant bølgehøyde over 1 m har stort sett en bølgeperiode over 10 s. 5% av datapunktene har en bølgeperiode under 1,1 s. Den signifikante bølgehøyden for disse datapunktene kan komme opp i 0,5 m (Figur 40).



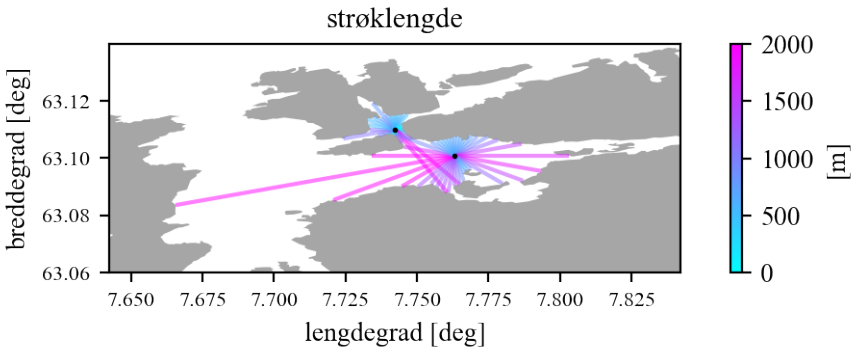
Figur 40: Fordelingen av bølgeperiode i MyWaveWam-modelldata fargelagt etter bølgehøyde.

Retningsspredningen i bølgespektrene minker med bølgehøyde, og ligger under 30 grader for mesteparten av datasettet (jf. Figur 41). Det verdt å merke seg at de aller laveste bølgehøydene har en betydelig andel av høy spredning. Den høye andelen av datapunkt med lav bølgeperiode og lav bølgehøyde, og de inkonsistente bølgeretningene i de nordre randpunktene, kan tyde på at noen av datapunktene har lav nøyaktighet.



Figur 41: Spredningen av retningene i bølge spekteret.

For strøklengdeanalysen har vi valgt to punkt. Et i punktet der nordre ende av Markussundet møter østre ende av Sørsundet[10], og et utenfor Vestbasen som kontrollpunkt. Se Figur 42 for posisjon av punktene.

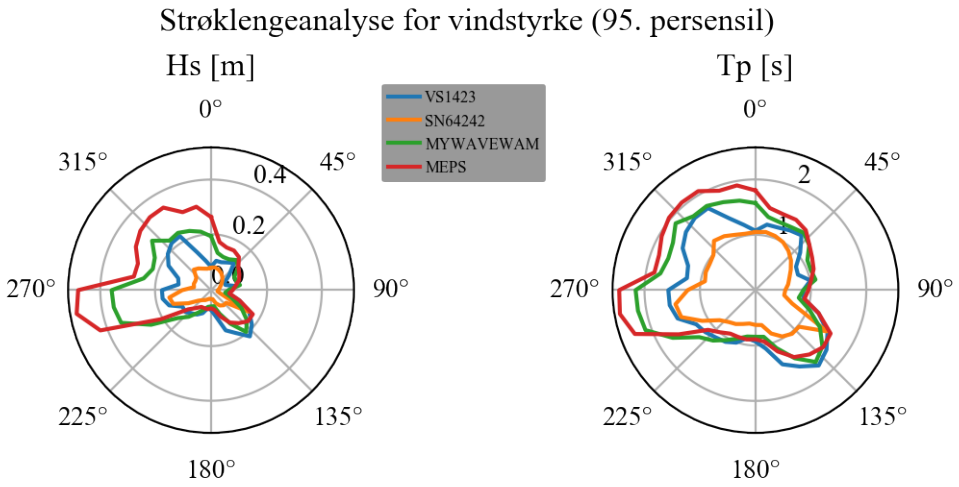


Figur 42: Posisjoner for strøklengdeanalysen. Linjene viser senterlinjen for de analyserte retningene (36 retninger med 10 graders avstand).

[10] Ettersom MyWaveWam-modellen ikke har data i dette område og sundene slipper vinden inn i havneområdet

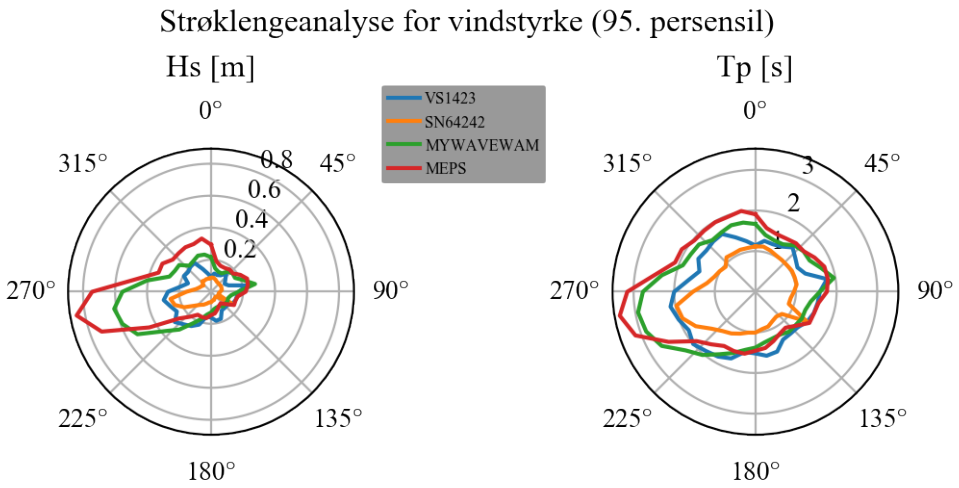
Vi bruker formlene fra avsnitt 3.2 og de 95. persentilene i hver retning fra målestasjonene og MEPS- og MyWaveWam-modellene. Gjennomsnittsdybde er beregnet basert på datasettet "Dybdedata - terrengmodeller 50 meters grid" fra Kartverket.

For det indre punktet (Figur 43) ser vi at resultatene for det forskjellige datakildene stemmer godt overens for retninger fra 45 grader til ca. 240 grader, med unntak av dataene fra den meteorologiske målestasjonen SN64242. I retning 260 grader predikerer modellene betydelig høyere bølger enn målestasjonene. Dette kan skyldes at målestasjonene er skjermet for denne bestemte vindretningen. Maksimalverdien til de signifikante bølgehøydene ligger mellom 0,2 og 0,5 m, med tilsvarende bølgeperiode rundt 2,0 s.



Figur 43: Strøklengdeanalyse for punkt i nordre ende av Markussundet, østre ende av Sørsundet.

Også for det ytre punktet (Figur 44) stemmer resultatene godt overens for tre av 4 datasett for de samme retningene. Dermed kan vi konkludere med at de underliggende persentilene er nokså like for de tre datakildene. Maksimalverdien til de signifikante bølgehøydene ligger nå mellom 0,2 og 0,8 m, tilsvarende bølgeperioder mellom 2 og 3 s.



Figur 44: Strøklengdeanalyse for punkt utenfor Vestbasen.

5 Oppsummering

5.1 Ålesund

Ser man på de større vindstyrkene er Ålesund dominert av vind fra vest-sørvestlig retning. Vinden fra denne retningen overstiger 13-16 m/s (liten til stiv kuling) i omtrent 5% av tilfellene. Overflatestrømninger i Hessafjorden overstiger i ca. 5% av tilfellene 0.4 knop og retningene er vest til øst og motsatt (ref. flo og fjære). Lokalt følger strømningen hovedretningen av fjorden. Strømforholdene i havnebassenget er ukjente.

Det 95. kvartilet for signifikant bølgehøyde i havnebassenget er estimert å være mellom 0,2 og 0,5 m. Estimatet fra bølgemodellen (1,4 m) er påvirket av manglende landmasse i beregningsgitteret og må anses å gjelde for Hessafjorden. Anslagene for bølgeperioden (peak wave period) varierer mellom 1,5 og 2,5 s (om en ser bort fra bølgemodellen som gir 6,9 s). For Hessafjorden rund seilingsruten til Langevågsbåten ligger anslagene for 95. persentil av signifikant bølgehøyde mellom 0,75 og 1,4 meter. Strøklengdeanalysen gir bølgeperioder mellom 2 og 4 sekunder, mens bølgemodellen gir en 5. persentil på 6,9 s. Hessafjorden er åpen mot havet i en retning (vest) og dermed utsatt for dønninger. Anvendbarheten for strøklengdeanalysen for denne vindretningen er noe usikker. Tabellene under oppsummerer analysene fra de respektive kapitlene.

Vind Ålesund	VS1199	SN60947	MEPS	MyWaveWam
Gj.snitt retning	SØ	NV	SV	S
Gj. Retning, vektet	SSV	VSV	VSV	VSV
Hyppigst retning	Ø	VNV	Ø	VSV
Median vindstyrke hyppigst retning [m/s]	2,5	3	2	5
høyest 95. persentil [m/s]	13	6	16	13
Retning høyest 95. persentil	VSV	VSV	VSV	VSV

Bølge Ålesund, indre	MyWaveWam	VS1199	SN60947	MEPS	MyWaveWam (Strøkl.a)
Gj.snitt retning	V	SØ	NV	SV	S
Gj. Retning, vektet	V	SSV	VSV	VSV	VSV
Hyppigst retning	V	Ø	VNV	Ø	VSV
95. persentil sig. bølgehøyde [m]	1,4*	0,2	0,2	0,5	0,4
Bølgeperiode 5. persentil	6,9	1,5	1,5	2,5	2

Bølge Ålesund, ytre	MyWaveWam	VS1199	SN60947	MEPS	MyWaveWam (Strøkl.a)
Gj.snitt retning	V	SØ	NV	SV	S
Gj. Retning, vektet	V	SSV	VSV	VSV	VSV
Hyppigst retning	V	Ø	VNV	Ø	VSV
95. persentil sig. bølgehøyde [m]	1,4	0,25	0,75	0,75	1
Bølgeperiode 5. persentil	6,9	2	3	3	4

5.2 Kristiansund

Vindforholdene i Kristansund er dominert av vind fra vestlig til sør-sørvestlig retning om en fokuserer på større vindstyrker. Vinden fra denne retningen overstiger 10-17 m/s (liten til stiv kuling) i omtrent 5% av tilfellene. Overflatestrømninger i Bolgsvaet overstiger i ca. 5% av tilfellene 0,3 knop og retningene er lokalt bestemt av hovedretningen av fjorden. Det bemerkes at strømforholdene i havnebassenget er ukjent.

Det 95. kvartilet for signifikant bølgehøyde i havnebassenget er estimert å være mellom 0,2 og 0,5 m. Siden havnebassenget ikke er modellert i bølgemodellen må estimatet fra den (1,4 m) anses å bare gjelde for Bolgsvaet. Anslagene for bølgeperioden (peak wave period) varierer mellom 1,5 og 2,5 s. Bølgemodellen gir et anslag på 1,1 s, men der er noe usikkert om modellen er korrekt (jf. diskusjonen i avsnitt 4.2.3). For punktet utenfor Vestbasen ligger anslagene for 95. persentil av signifikant bølgehøyde mellom 0,75 og 1,4 meter. Strøklengdeanalysen gir bølgeperioder mellom 2 og 4 sekunder, mens bølgemodellen gir en 5. persentil på 1,1 sekunder. Tabellene under oppsummerer analysene fra de respektive kapitlene.

Vind Kristiansund	VS1423	SN64242	MEPS	MyWaveWam
Gj.snitt retning	S	V	SSV	SSV
Gj. Retning, vektet	SSV	VSV	VSV	VSV
Hyppigst retning	SV	VSV	VSV	SV
Median vindstyrke hyppigst retning [m/s]	5	3	8	7
høyest 95. persentil [m/s]	10	6	17	15
Retning høyest 95. persentil	SV/NV	SSV	V	SSV

Bølge Kristiansund, indre	MyWaveWam	VS1423	SN64242	MEPS	MyWaveWam (Strøkl.a)
Gj.snitt retning	V	SØ	NV	SV	S
Gj. Retning, vektet	V	SSV	VSV	VSV	VSV
Hyppigst retning	V	Ø	VNV	Ø	VSV
95. persentil sig. bølgehøyde [m]	1,4	0,2	0,2	0,5	0,4
Bølgeperiode 5. persentil	1,1 (?)	1,5	1,5	2,5	2

Bølge Kristiansund, ytre	MyWaveWam	VS1423	SN64242	MEPS	MyWaveWam (Strøkl.a)
Gj.snitt retning	V	SØ	NV	SV	S
Gj. Retning, vektet	V	SSV	VSV	VSV	VSV
Hyppigst retning	V	Ø	VNV	Ø	VSV
95. persentil sig. bølgehøyde [m]	1,4	0,75	0,25	0,75	1
Bølgeperiode 5te persentil	1,1 (?)	3	2	3	4

6 Referanser

[1] G. K. Bhattacharyya and R. A. Johnson, *Statistical Concepts and Methods.*, 1st ed., vol. 141, no. 2. New York: Wiley, 1977.

[2] K. V. Mardia and P. E. Jupp, *Directional statistics*. New York: Wiley, 2000.

[3] C. T. Bishop, M. A. Donelan, and K. K. Kahma, “Shore protection manual’s wave prediction reviewed,” *Coast. Eng.*, vol. 17, no. 1–2, pp. 25–48, 1992, doi: 10.1016/0378-3839(92)90012-J.

[4] US Army Coastal Engineering Research Center, *Shore protection manual*. Department of the US Army Corps of Engineers, 1977.

[5] US Army Coastal Engineering Research Center, *Shore protection manual*. Department of the US Army Corps of Engineers, 1984.