



Meteorologisk
institutt

METreport

Tittel Finskala modellering av vind i fjorder. Julsundet 2018.	Dato 08.03.2021
Avdeling 1) SUV 2) Avdeling for oseanografi og maritim meteorologi	Rapport nr. 01/2021
Forfattere Lene Østvand ¹⁾ , Knut Helge Midtbø ¹⁾ og Birgitte Rugaard Furevik ²⁾	Klassifisering <input checked="" type="radio"/> Åpen <input type="radio"/> Begrenset
Oppdragsgiver Statens vegvesen	Oppdragsgivers referanse
Sammendrag Denne rapporten dokumenterer vindmodelleringen med CFD-modellen SIMRA for Julsundet for 2018. Hindcastdatasettet og inngangsdata fra den operasjonelle værvarslingsmodellen ved MET, AROME-MEPS, er sammenlignet med vindmålinger fra 3 master.	
Nøkkelord vind, turbulens, finskala, julsundet, simra, arome, CFD	

Faglig ansvarlig

Administrativt ansvarlig

Sammendrag

Denne rapporten dokumenterer vindmodelleringen med CFD-modellen SIMRA for Julsundet for 2018. Hindcastdatasettet og inngangsdata fra den operasjonelle værvarslingsmodellen ved MET, AROME-MEPS, er sammenlignet med vindmålinger fra 3 master.

Verifikasjonen viser at SIMRA i liten grad forbedrer vinden modellert på mastene i forhold til AROME-MEPS, og det er ikke entydig at høyere romlig oppløsning gir bedre resultat for vindretningsfordelingen heller. Når vi ser på det romlige bildet SIMRA gir på tvers av sundet, finner vi forholdsvis små gradienter. Dette til forskjell fra tilsvarende resultater fra Sulafjorden, der midlere vind varierte langt mer langs brospennene.

Fem tilfeller med storm i løpet av 2018 er analysert for å belyse gevinsten med CFD-modellering med høy oppløsning for noen typiske vindfenomen i sundet. Det er et tilfelle med særlig sterk vind omkring sør der SIMRA er klart nærmere det observerte enn AROME-MEPS. Samtidig ser vi for de andre tilfellene at det er forskjeller mellom modellene, uten at det er entydig bedre resultater med SIMRA. Studiet av caser bør følges opp med modellering med enda bedre oppløsning av topografien og dette er planlagt. Vi har som hypotese at det fortsatt er for dårlig oppløsning i modellene til å løse opp alle de viktige detaljene i den lokale topografiene. Vi tror det da skal være mulig å forbedre samsvaret med målingene på denne måten.

Innhold

1	Introduksjon	1
2	Målinger	3
3	Modeller	4
3.1	AROME-MEPS 2.5	4
3.2	SIMRA	4
4	Verifikasjon	7
4.1	Verifikasjon mot masteobservasjoner	7
5	Generelle vindforhold	14
6	Ekstremvind	18
7	Stormer	23
7.1	6.-9. januar	23
7.2	14.-17. januar	28
7.3	14.-17. februar	30
7.4	18.-21. juni	32
7.5	19.-22. september	34
8	Oppsummering	36
	Referanser	37
A	Verifikasjonsmål	38

1 Introduksjon

Det er et langsiktig mål for Stortinget å bygge en bilvei mellom Kristiansand og Trondheim uten ferjeforbindelser. Statens Vegvesen (SVV) har ansvar for utbyggingen gjennom prosjektet Ferjefri E39. Prosjektet innebærer å krysse flere fjorder med faste forbindelser, som vi her vil referere til som broer. Julsundet ligger vest for Molde, og er et av stedene der det måles og utredes for utbygging som en del av Ferjefri E39-prosjektet. Vi har tidligere publisert rapporter tilsvarende denne for Sulafjorden og Vartdalsfjorden (*Midtbø et al.*, 2020a), og Halsafjorden (*Midtbø et al.*, 2020b).

Figur 2.1 viser kart over Julsundet med markeringer for målepunktene. Julsundet går mellom fastlandet i øst og Otrøya på vestsiden. På østsiden går fjellene opp i ca 550 m høyde, mens de høyeste fjellene på Otrøya er over 700 m. I dag er det en ferjestrekning Solholmen-Mordalsvågen på ca. 1500 m som krysser sundet. For design av bro er det nødvendig med godt datagrunnlag. Kjeller Vindteknikk (KVT) (nå Norconsult) satte i 2014 og 2016 i oppdrag fra SVV opp de tre 50 m høye meteorologiske mastene vist i kartet til å måle vind. På vestsida av sundet ble det satt opp mast på Midsund, som i 2016 ble supplert med en mast ganske nært på Nautneset, og en på vest på Julbø. Sundet er ca 1500 m bred mellom mastepunktene Nautneset og Julbø, som er antakelig er nær en aktuell trase for bygging av bro.

I et statlig samarbeid (etter reglene for samarbeid mellom statlige etater) med SVV har Meteorologisk Institutt (MET) simulert vindforholdene i Julsundet. Det er brukt en Computational Fluid Dynamics (CFD) model, SIMRA. Modellen er detaljert med en gitteravstand på 100 m og 51 vertikale lag opp til ca 3500 m høyde. Den er kjørt for et år (2018) med inngangsdata fra den operasjonelle værvarslingsmodellen på MET, AROME-MEPS med 2,5 km oppløsning. SIMRA henter bakketrykk sammen med vind og temperaturfordeling fra bakken opp til øverste SIMRA-nivå fra AROME-MEPS og beregner vind- og turbulensforhold med 100 m oppløsning.

SIMRA er utviklet ved SINTEF Digital som har rettighetene og setter opp modellen for nye områder med gitter, topografi og tidssteg. MET har så satt opp modellen slik at den kan kjøres med inngangsdata fra AROME-MEPS. Gjennom dette samarbeidet mellom SINTEF Digital og MET har SIMRA vært i bruk i nesten 20 år til operasjonell turbulensvarsling for rundt 20 norske flyplasser. Samarbeidet ble fra 2016 videreført i prosjekter for lokalisering av ny Hammerfest flyplass, ny storflyplass i Lofoten og fra 2017 også for Ferjefri E39.

Modelloppsettet for disse utredningene er i prinsippet det samme som vi bruker i operasjonell daglig turbulensvarsling, men i disse prosjektene brukes modellen til å generere hindcast-datasett. I prosjektet Ferjefri E39 er det modellert slike datasett for alle de fire områdene Sulafjorden/Vartdalsfjorden, Julsundet, Gjemnessundet og Halsafjorden.

Denne rapporten bygger på datasettet for Julsundet. Vi sammenligner målingene fra mastene i sundet med vind og turbulens fra modellen. Vi beskriver også nærmere observasjoner og modell for noen tilfeller med sterk vind i 2018.

I kapittel 2 beskrives målingene i Julsundet, i kapittel 3 beskrives modelloppsettet. Verifikasjon av AROME-MEPS og SIMRA mot observasjonene er gitt i kapittel 4, de midlere

og de ekstreme vindforholdene er presentert i henholdsvis kapittel 5 og 6. Fem stormer er presentert i kapittel 7. Kapittel 8 gir en oppsummering.

2 Målinger

Atmosfæredelen av måleprogrammet består av de tre master som er markert med de røde punktene i kartet i figur 2.1. Det måles vind og turbulens i 3 høyder for hver mast. Kjeller Vindteknikk (KVT) (nå Norconsult) satte i 2014 og 2015 i oppdrag fra SVV opp de tre mastene vist i kartet til å måle vind. På vestsida av sundet ble det satt opp mast på Mid-sund, som så ble supplert med en ny mast ganske nært på Nautneset, og en vest på Julbø. Målingene og oppsettet er beskrevet av *Furevik et al.* (2020). Data fra måleprogrammet er tilgjengelig via <https://thredds.met.no/thredds/obs.html> og *Furevik et al.* (2019).



Figur 2.1: Kart med navn og posisjoner på meteorologiske master (røde punkt) hvor data er tatt ut fra SIMRA.

3 Modeller

3.1 AROME-MEPS 2.5

Versjonen av AROME-MEPS som er brukt er et ensembleoppsett med 10 medlemmer basert på atmosfæremodellen HARMONIE cycle 40h1.1 med AROME's fysikk og ikke-hydrostatisk dynamikk (Müller *et al.*, 2017). Den horisontale oppløsningen er på et $2,5 \text{ km} \times 2,5 \text{ km}$ gitter. Dataene og mer informasjon er tilgjengelig på thredds.met.no. Kontrollkjøringen, medlem 0, er brukt som inngangsdata til SIMRA og i verifikasjonen.

3.2 SIMRA

SIMRA er satt opp med 100 m gitter i et modellområde på 261×261 punkter i horisontalen med 51 vertikallag. SIMRA-modellen mottar vind, temperatur og trykk fra bakken og opp til ca 3500 m fra arkiverte prognoser fra AROME-MEPS (kontrollkjøring, ensemblemedlem 0). For nærmere beskrivelse av modelloppsettet, se Midtbø *et al.* (2020a).

Figur 3.1 viser et kart med AROME-MEPS-modellens topografi (gitteravstand på 2,5 km). Modelloppsettet for Julsundet er kjørt for hver time hele året 2018, med unntak av noen få brudd som skyldes manglende inngangsdata fra AROME-MEPS (figur 3.3). Vi har brukt SIMRA-modellens resultater av vind og turbulent kinetisk energi, TKE, i denne rapporten og beregnet turbulensintensitet, TI, for tilfeller med vind over 5 m/s som beskrevet i Midtbø *et al.* (2020a). Resultatene av vind og TI sammenlignes mot målinger fra mastene og med resultatene av vind fra AROME-MEPS.

Modellen skriver til et fil-format som konverteres til netCDF ved hjelp av rutiner på MET. Fra netCDF-filene har vi brukt parametrene horisontal vind (`x_wind_ml` og `y_wind_ml` [m/s]), vertikalvind (`upward_air_velocity_ml` [m/s]) og `turbulence_index_ml` [m/s] i rapporten. `Long_name` for `turbulence_index_ml` er `Sqrt(Turbulent_Kinetic_Energy)`. Hvis

$$TKE = 1/2(u'^2 + v'^2 + w'^2),$$

og vi antar isotrop turbulens, dvs tilnærmet like store fluktuasjoner i alle tre retninger ($u' = v' = w'$), får vi

$$TKE = 3/2(u'^2),$$

slik at variabelen fra SIMRA, `rTKE`, er

$$\sqrt{TKE} = u' \sqrt{3/2} \tag{1}$$

u' kan oppfattes som standardavvik av vindhastighet. Turbulensintensiteten TI er definert som

$$TI = \frac{u'}{\bar{u}}, \tag{2}$$

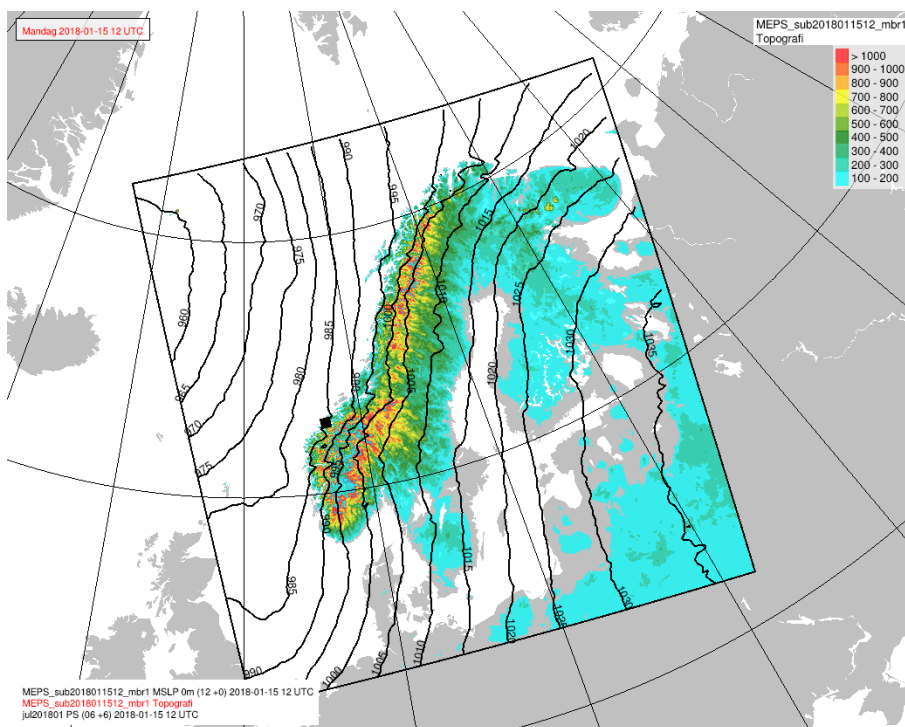
hvor \bar{u} er middelverdien av vindhastigheten. For en målt tidsserie vil u' og \bar{u} beregnes over en periode på for eksempel 10 minutter og det er den parameter som den horisontale vinden i modellen skal representere. Derfor bruker vi horisontal vindhastighet for hver time til å beregne TI og vi har satt en nedre grense for vindhastigheten på 5 m/s for ikke

å komme til å fokusere på høye turbulensverdier ved svak vind.

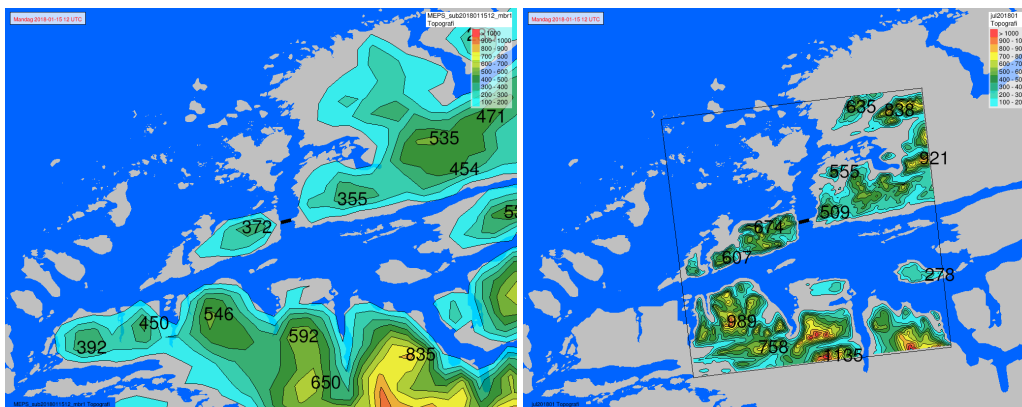
Figur 3.2 viser over Julsundet med topografien fra AROME-MEPS (til venstre) og SIMRA (til høyre) og de største høyder (i meter) angitt i sort. Fargepaletten som vist i øverste høyre hjørne er brukt sammen med isolinjer for hver 100 m for begge figurene. Linjen angir et snitt gjennom posisjonene for mastene på Nautneset og Julbø.

Figur 3.3 viser en oversikt over manglende data fra SIMRA og fra øverste sensor på mastene Julbø, Midsund og Nautneset. For en full tidsserie fra 2018 mangler det i alt 216 timer fra SIMRA (ca 2,5 %), 29 timer (ca. 0,33 %) observerte data fra Julbø, og 5 timer observerte data fra både Midsund og Nautneset (ca. 0,06 %).

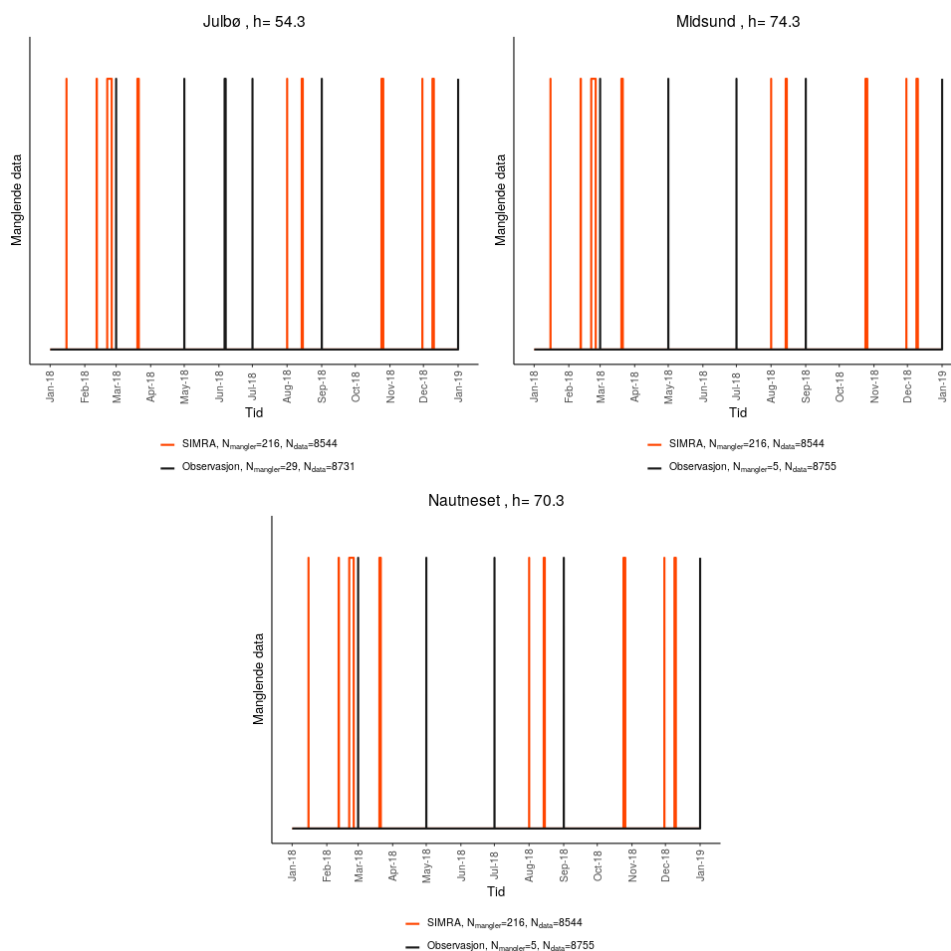
Det er viktig å understreke at SIMRA gir det som svarer til 10 minutters middelvind sammen med TKE. TKE representerer den kinetiske energien i fluktuationene i vinden slik som modellen beregner den. For å bruke det vi har diskutert ovenfor til dimensjonering er det viktig å huske på at data fra modellen supplerer data fra målingene og at data fra modellene har feil som ofte er ganske store. SIMRA-modellen vil ikke ha alle fenomener med og det er særlig fenomener på svært liten skala den ikke modellerer. Modellen gir likevel et nyttig bidrag som supplement til data fra mastene og Lidar når estimering av dimensjonerende verdier skal gjøres. Modellen gir et romlig bilde utover målingenes område og utover måleperioden som er nyttig for forståelse av vindforholdene, og som kan være til støtte for ekstrapolering av målingene i tid og rom. Dette er modellenes store styrke.



Figur 3.1: AROME-MEPS dekningsområde og topografi (gitteravstand på 2,5 km) der en fargekode angir høyden over havet. Fylt sort boks markerer SIMRA-området (gitteravstand på 100 m) for Julsundet. På kartet vises også bakketrykket (MSLP) under stormen 15. januar 2018 12 UTC fra AROME-MEPS.



Figur 3.2: Kart over Julsundet med topografien fra AROME-MEPS (til venstre) og SIMRA (til høyre) og de største høyder (i meter) angitt i sort. Fargepaletten som vist i øverste høyre hjørne er brukt sammen med isolinjer for hver 100 m for begge figurene. Den sorte linjen angir et snitt gjennom posisjonene for mastene på Nautneset og Julbø.



Figur 3.3: Manglende data fra toppsensorene på Julbø, Midsund og Nautneset (svart) i 2018 og manglende data fra SIMRA (rød) i samme tidsrom.

4 Verifikasjon

4.1 Verifikasjon mot masteobservasjoner

Vindstyrke og vindretning modellert for 2018 er validert mot målingene fra de tre mastene i Julsundet. I SIMRA har vi interpolert modelldata fra de nærmeste gitterpunktene til hvert mastpunkt. For AROME-MEPS har vi valgt data fra det hav- eller kystpunktet i modellen som er nærmest observasjonenene i masten, illustrert i figur 4.1. Dette er valgt siden gitteroppløsningen på 2,5 km ikke representerer topografien godt nok på denne skalaen.

Tabell 1 viser 98-prosentdeler for vindstyrke fra observasjoner og modellene, og stan-



Figur 4.1: I kartet til venstre er mastlokasjoner vist som blå markører og gitterpunkter fra AROME-MEPS vist som svarte prikker. De røde prikkene er det gitterpunktet som er valgt for verifikasjon for den aktuelle stasjonen forbundet med svart linje. I kartet til høyre vises plassering av mastene på Midsund og Nautneset på nærmere hold.

dardavvik for observert vindstyrke, mens tabell 2 viser ulike verifikasjonsscore for de to modellene AROME-MEPS og SIMRA. Figur 4.2 viser forholdet mellom standardavvik for modellene og øverste sensor på hver mast for hver måned. Dette verifikasjonsmålet kan tolkes som modellens aktivitet. Verifikasjonsscorene er nærmere beskrevet i appendix A.

AROME-MEPS viser noe høyere 98% vindstyrke enn det som er observert. Forskjellen er størst for de høyeste mastsensorene, og særlig tydelig på Nautneset. SIMRA ligger litt under det som er observert for 98% vindstyrke, men nærmere observasjonen enn det AROME-MEPS gjør. Standardavviket i vindstyrken er stort sett nærmere det som er observert for SIMRA enn AROME-MEPS. Merk at det for Julbø mangler data fra AROME-MEPS i juni, og i sammenligningen i figur 4.2 brukes bare tidspunktene der både observasjon og begge modellene er tilgjengelig. Resultatet for Julbø i juni er derfor ikke med.

Tabell 2 viser ulike feil og korrelasjon mellom modell og observasjon. Gjennomsnittsfeilen (ME) viser at SIMRA stort sett underestimerer vindstyrke, mens AROME-MEPS overestimerer, med ME nærmere 0 enn SIMRA. Ser vi derimot på RMSE har SIMRA og MEPS feil i samme størrelsesorden, og det varierer om det er SIMRA eller AROME-

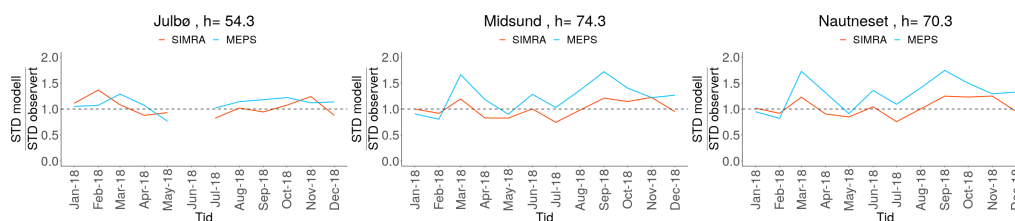
Mast	Sensorhøyde [m]	98% OBS [m/s]	98% SIMRA [m/s]	98% MEPS [m/s]	STD OBS [m/s]	N
Julbø	54,3	12,2	11,9	12,9	2,7	7771
Julbø	35,9	11,9	11,2	12,2	2,6	7771
Julbø	16,7	10,3	9,9	11,0	2,5	7770
Midsund	74,3	10,5	10,0	12,6	2,4	8491
Midsund	55,9	10,3	9,5	11,7	2,4	8491
Midsund	36,7	9,0	8,7	10,6	2,2	8491
Nautneset	70,3	10,8	10,5	13,2	2,4	8491
Nautneset	54,3	10,4	10,0	12,7	2,4	8491
Nautneset	34,7	10,4	9,4	11,8	2,4	8491

Tabell 1: 98-prosentdelen (98%) og standardavvik (STD) for vindstyrke fra master og modeller i Julsundet. MEPS er AROME-MEPS.

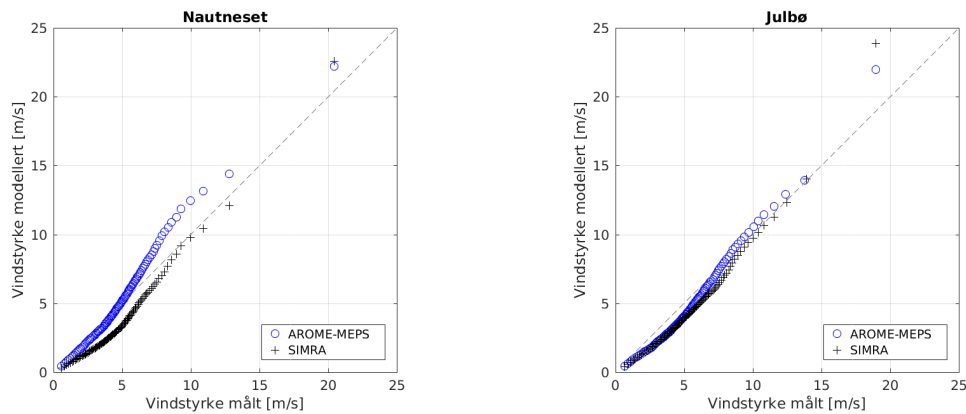
Mast	Sensorhøyde [m]	ME SIMRA [m/s]	ME MEPS [m/s]	RMSE SIMRA [m/s]	RMSE MEPS [m/s]	SDE SIMRA [m/s]	SDE MEPS [m/s]	Kor. SIMRA	Kor. MEPS
Julbø	54,3	-1,1	-0,5	2,7	2,4	2,5	2,4	0,6	0,7
Julbø	35,9	-1,2	-0,7	2,7	2,4	2,4	2,3	0,6	0,7
Julbø	16,7	-0,4	0,1	2,6	2,3	2,6	2,3	0,4	0,6
Midsund	74,3	-1,4	0,2	2,6	2,9	2,3	2,9	0,6	0,5
Midsund	55,9	-1,5	-0,1	2,7	2,7	2,2	2,7	0,6	0,4
Midsund	36,7	-1,1	0,4	2,4	2,6	2,1	2,6	0,5	0,4
Nautneset	70,3	-1,2	0,3	2,6	2,9	2,3	2,9	0,6	0,5
Nautneset	54,3	-1,3	0,3	2,6	2,8	2,2	2,7	0,6	0,5
Nautneset	34,7	-1,5	0,0	2,6	2,6	2,2	2,6	0,6	0,5

Tabell 2: Verifikasjonsscore root-mean-square-error (RMSE), standard deviation av feilen (SDE), mean error (ME) og korrelasjon (Kor.) for modellert vindstyrke i Halsaffjorden. MEPS er AROME-MEPS. Mean error er basert på modell-mast, dvs at negative verdier betyr at modellen underestimerer.

MEPS som har størst feil. Dette kan tyde på at MEPS og SIMRA varsler vindstyrke omtrent like godt, men at der SIMRA mer konsekvent underestimerer, vil AROME-MEPS både overestimere og underestimere nesten like mye slik at feilene opphever hverandre. Standardavviket i feilen (SDE) viser ingen store forskjeller mellom modellene, men er noe større for SIMRA enn AROME-MEPS på Julbø, mens AROME-MEPS har størst SDE på Midsund og Nautneset. Korrelasjonen ligger i sjiktet 0,4-0,7, og viser tilsvarende noe bedre resultat for AROME-MEPS på Julbø, og for SIMRA på Midsund og Nautneset.

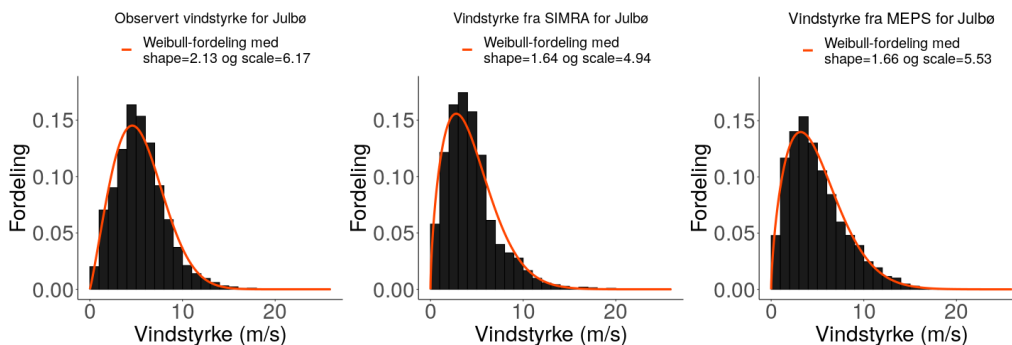


Figur 4.2: Månedlig forhold mellom standardavvik for modell og øverste sensor på hver mast, for SIMRA (rød) og AROME-MEPS (blå).



Figur 4.3: Kvantil-kvantil-plott av vindstyrke for SIMRA (svarte pluss) og AROME-MEPS (blå sirkler) for mastene. Hvert punkt representerer 1 % av dataene. Stiplet linje er 1:1-linjen.

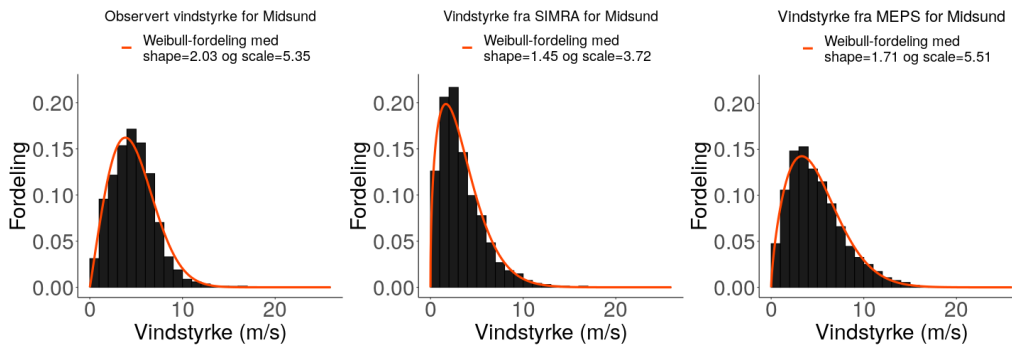
Figur 4.3 sammenligner frekvensfordelingene av vindstyrke fra AROME-MEPS og SIMRA mot observasjoner i et kvantil-kvantilplot for Nautneset og Julbø. På Nautneset er AROME-MEPS klart bedre enn SIMRA for vindstyrke opp til 5-6 m/s. For høyere verdier avviker AROME-MEPS vesentlig fra 1:1-linjen, mens SIMRA stort sett ligger ganske nært, som kan forklare at AROME-MEPS får RMSE større enn SIMRA totalt sett for Nautneset. På Julbø viser de to modellene ganske likt resultat med underestimering for lave verdier av vindstyrke, mens AROME-MEPS overestimerer noe med verdier nærmer 1:1-linjen for målt vindstyrke over 7 m/s. SIMRA fortsetter stort sett å underestimere, men ligger også nærmere 1:1-linjen for høyere verdier.



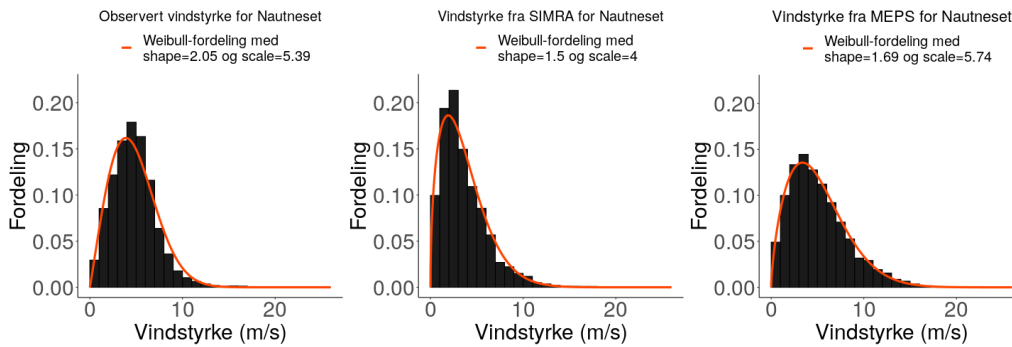
Figur 4.4: Histogram og tilpasset Weibull-fordeling for vindstyrke av samtidige data fra øverste sensorhøyde på Julbø med observasjon til venstre, SIMRA i midten og AROME-MEPS til høyre.

Figurene 4.4-4.6 viser histogram og tilpasset Weibull-fordeling for vindstyrke fra øverste sensorhøyde for observasjon og modelldata fra de tre mastene. For Julbø er det ikke entydig fra Weibull shape og scale om SIMRA eller AROME-MEPS har en fordeling som ligner mest på den for observasjonen. For Midsund og Nautneset ligner fordelingen fra AROME-MEPS mest på det som er observert.

Figurene 4.7-4.9 viser vindroser for alle høyder fra observasjon og modeller. For Julbø viser vindrosene for både SIMRA og AROME-MEPS at vinden i større grad dreier østover

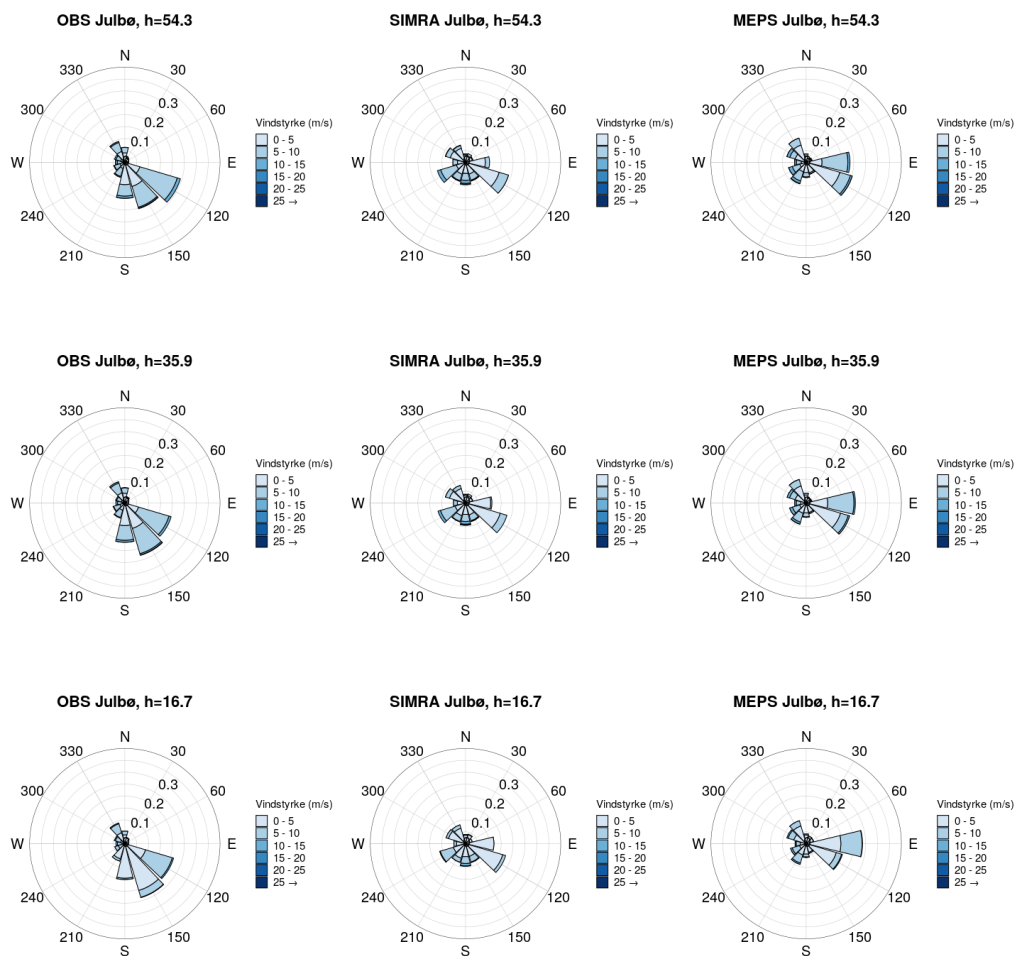


Figur 4.5: Histogram og tilpasset Weibull-fordeling for vindstyrke av samtidige data fra øverste sensorhøyde på Midsund med observasjon til venstre, SIMRA i midten og AROME-MEPS til høyre.

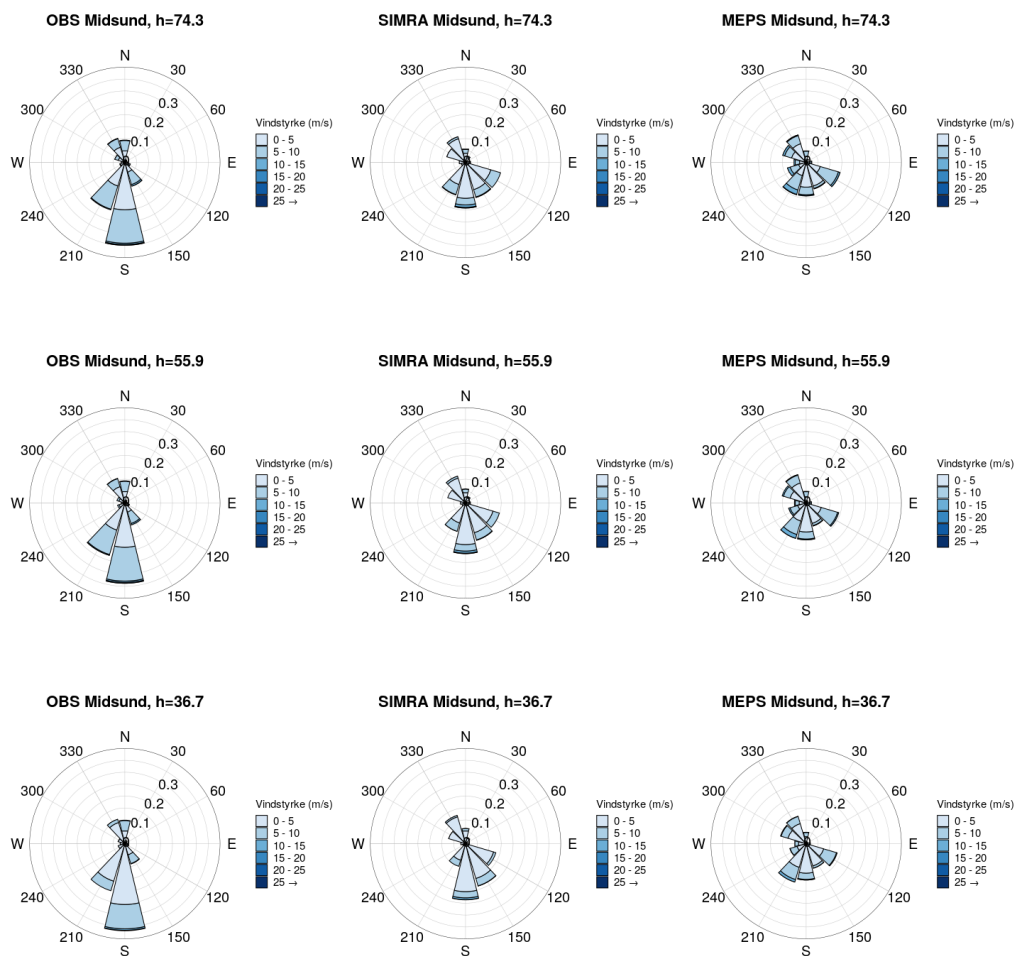


Figur 4.6: Histogram og tilpasset Weibull-fordeling for vindstyrke av samtidige data fra øverste sensorhøyde på Nautneset med observasjon til venstre, SIMRA i midten og AROME-MEPS til høyre.

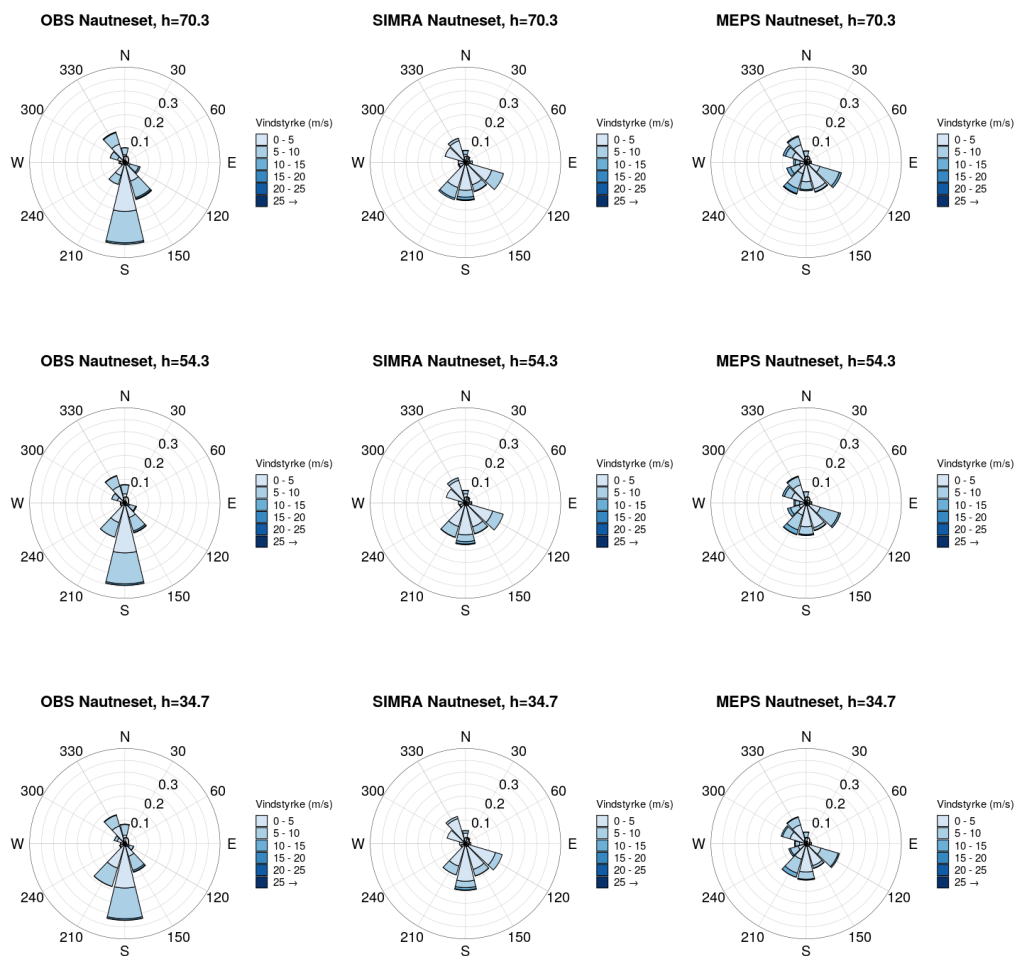
enn det observasjonen viser. Dette er mest tydelig for AROME-MEPS. For Midsund og Nautneset er det observert en tydelig vind fra sør. Midsund har også en del vind fra sørvest, mens for Nautneset er den sørvestlige vinden tydeligst for den laveste sensoren, og det er også noe vind sørøst. SIMRA har mer av den observerte sørlige vinden enn AROME-MEPS, og det er tydeligst for Midsund. Begge modeller har mer spredning rundt sør og mer dreining østover enn det som er observert.



Figur 4.7: Vindroser for alle høyder på Julbø, med observasjon til venstre, SIMRA i midten og AROME-MEPS til høyre.

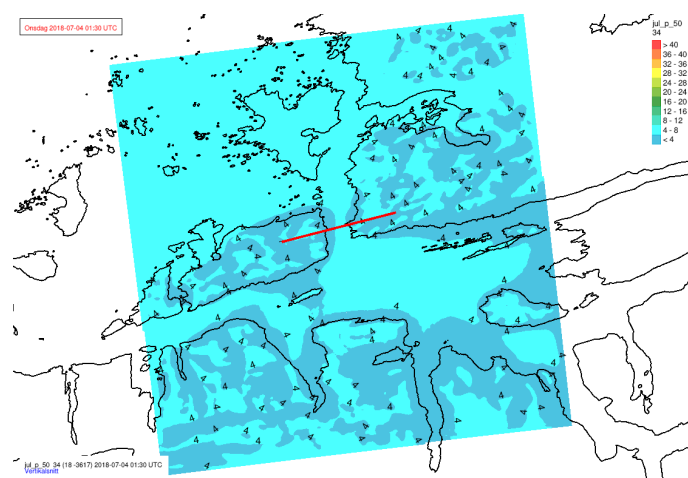


Figur 4.8: Vindroser for alle høyder på Midsund, med observasjon til venstre, SIMRA i midten og AROME-MEPS til høyre.

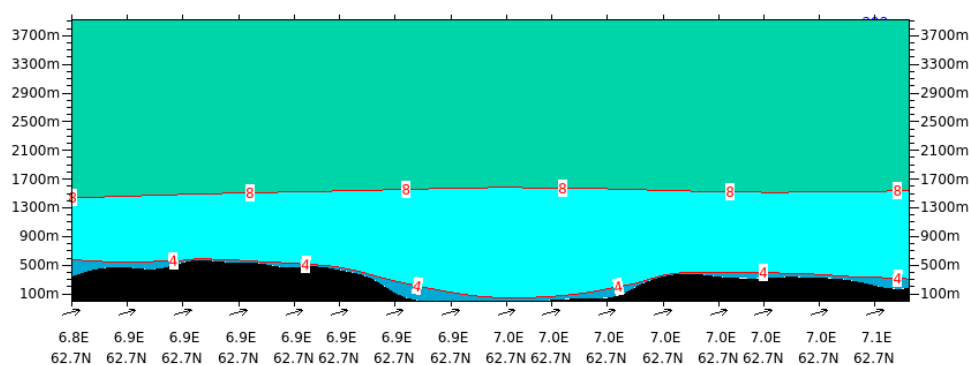


Figur 4.9: Vindroser for alle høyder på Nautneset, med observasjon til venstre, SIMRA i midten og AROME-MEPS til høyre.

5 Generelle vindforhold



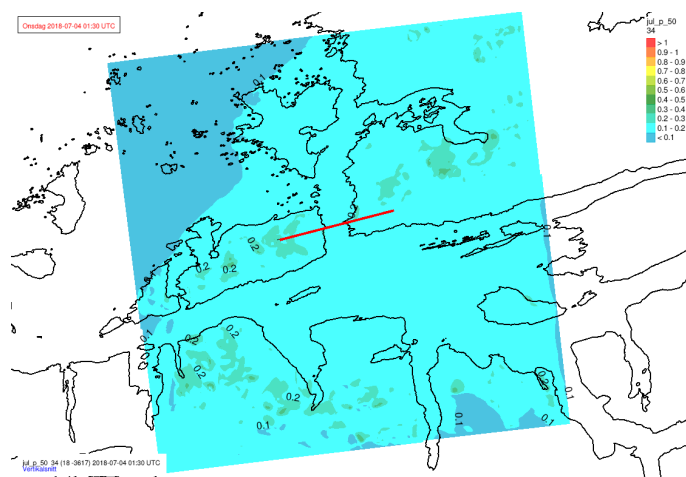
Figur 5.1: Kart for Julsundet fra SIMRA-modellen med isolinjer for 50-prosentdelen av vindstyrke i 70 m over modelltopografien.



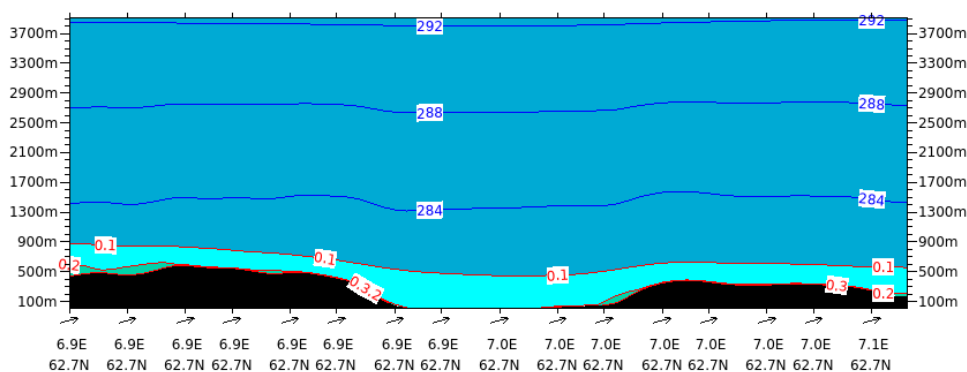
Figur 5.2: Vertikalt tverrsnitt for Julsundet med isolinjer for 50-prosentdelen av vindstyrke. Posisjonen av snittet er vist med en rød linje på kartet i figur 5.1 sammen med fargepaletten. Linjen går gjennom masteposisjonen for Nautneset til venstre og Julbø til høyre.

Vindforholdene på kysten av Midt-Norge er preget av lavtrykksaktivitet med stor variabilitet i vinden, som videre er lokalt styrt av topografien i lavere nivå. Dette gjelder for Sulafjorden og i Halsafjorden, og også for Julsundet som vi studerer nærmere her. Sørlig vind (vind ut sundet) er mest vanlig. Det er også ved sørlig vind at det oftest er sterk vind, men NW vind inn sundet kan også bli kraftig. Vindforholdene er beskrevet med vindroser og histogram for vindstyrke med tilpasset Weibullfordeling i kapittel 4 for målepunktene.

I figurene 5.1 og 5.2 viser vi kart (i 70 m nivå over modellterrenget) og tverrsnitt av 50-prosentdelen (medianen) av vindstyrke. Posisjonen av tverrsnittet er vist med en rød linje i kartet. Vi ser at det i middel er mest vind midt i sundet og inne over terrenget. Det er også i middel sterkere vind høyere opp. Vi har også med tilsvarende kart og tverrsnitt til figurene 5.1 og 5.2 i figurene 5.3 og 5.4, men nå for 50-prosentdelen av turbulensintensitet. Vi ser at denne størrelsen er høyest i noen hundre meter over bakken og høyere nær



Figur 5.3: 50-prosentdelen av turbulensintensitet fra SIMRA i 70 m høyde over modelltopografien. Kun tidspunkter der vindstyrken er over 5 m/s er inkludert i beregningene.

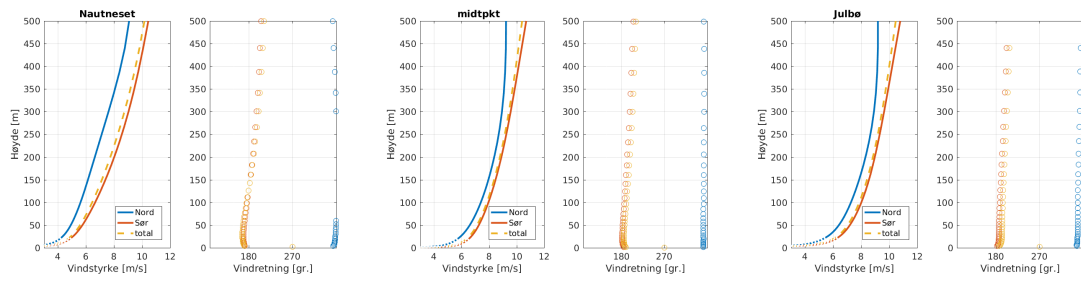


Figur 5.4: Vertikalt tverrsnitt med isolinjer for 50-prosentdelen av turbulensintensitet. Posisjonen av snittet er vist med en rød linje på kartet i figur 5.3 sammen med fargepaletten. Linjen går gjennom masteposisjonen for Nautneset til venstre og Julbø til høyre.

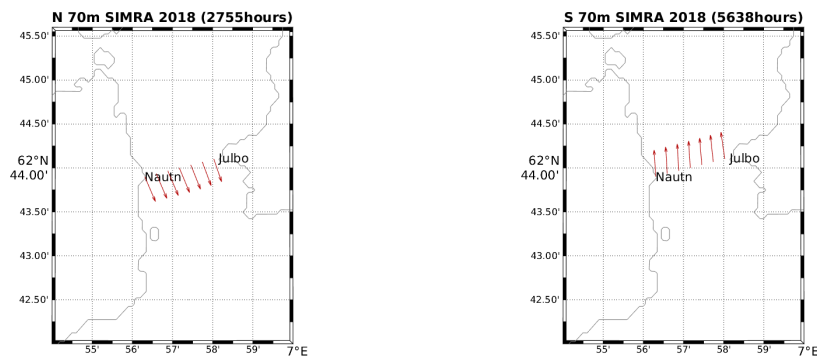
terrenget enn midt ute i sundet og at den i middel avtar med høyden.

Vindhastighet og retning fra SIMRA i punktene i kartet (figur 2.1) er hentet ut opp til 500 m høyde for å lage vertikale profiler av vindhastighet og vindretning. Profilene er midlet over sørlig ($90 - 270^\circ$) og nordlig ($270 - 90^\circ$) vind basert på vindretning fra modellen i midten av sundet mellom Nautneset og Julbø i ca. 70 m høyde. Vindprofilene er vist i figur 5.5. Gul linje er resultatet av å midle over alle situasjoner gjennom hele året, blå er sørlig vind og rød er nordlig vind. Det er svakere vind i lavere nivå på Nautneset og en jevn økning i vinden med høyden, mens vindprofilen i midten og på østsiden av sundet ved Julbø minner mer om et logaritmisk vindprofil.

Horisontalt vindprofil i 70 m høyde mellom Nautneset og Julbø i Julsundet er vist med piler i figur 5.6. Vindprofilen er beregnet som middel av hver av vindkomponentene for seg for å kunne vise gjennomsnittlig vindretning. Det betyr at lengden på pilene er et mål for vindstyrke kombinert med stasjonaritet i vindretningen. Vi ser at vindretningen over sundet er ganske homogen. Det er en liten antydning variasjon for sørlige situasjoner. Sørlig vind forekommer ca en tredjedel av tiden. Turbulensintensiteten langs brobanen er bereg-

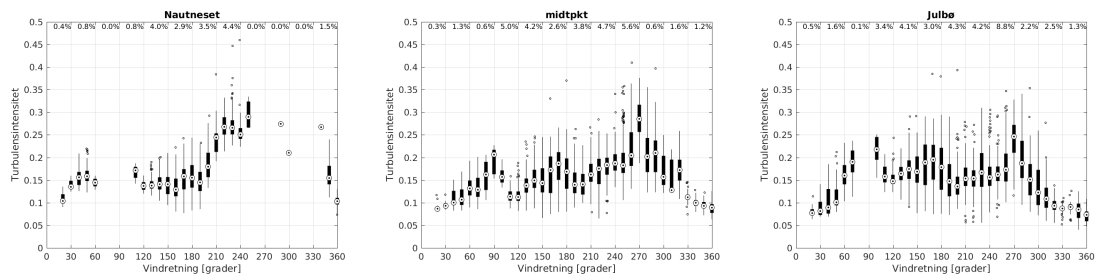


Figur 5.5: Vertikalt vindprofil av vindstyrke og retning fra SIMRA på Nautneset, midt i sundet og på Julbø, oppdelt i nordlig vind (blå) og sørlig vind (rød). Det totale vindprofillet er vist i stiplet gult. Oppdeling i retninger er etter midtpunktet i 70 m høyde.



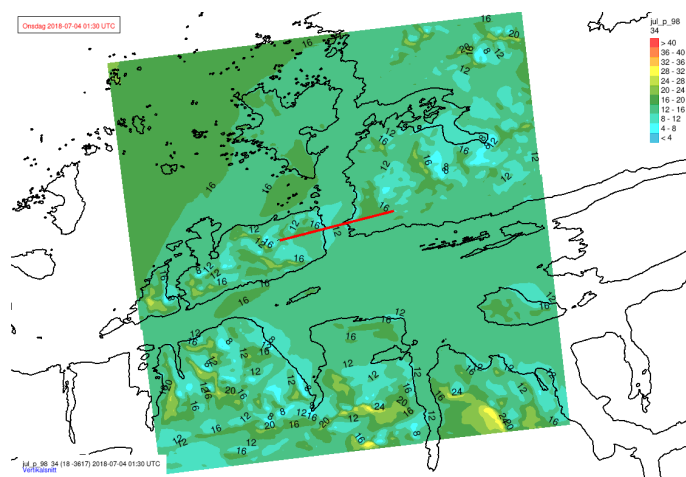
Figur 5.6: Kart over Julsundet som viser vindvektorer i 70 m høyde på tvers av sundet to ulike vindretninger basert på midtpunkt i sundet mellom Nautneset og Julbø. (Nordlig vind ($270^\circ - 90^\circ$) og sørlig vind ($90 - 270^\circ$)). Hyppigheten til retningene er gitt ved antall timer i tittel til hver figur.

net over 30 graders sektorer og vist i figur 5.7. Vind langs sundet gir verdier på 0,15-0,2, mens østlig (sjelden) og vestlig vind naturlig nok er forbundet med økt turbulens. Vestlig vind i midten av sundet har en turbulensintensitet på 0,3 modellert med SIMRA. Vi har sett tidligere at turbulens i SIMRA stemmer godt overens med målinger av turbulensintensitet fra Lidar, men ligger kanskje litt høyt for de høyeste verdiene. Det er hittil ikke gjort Lidar-målinger Julsundet.

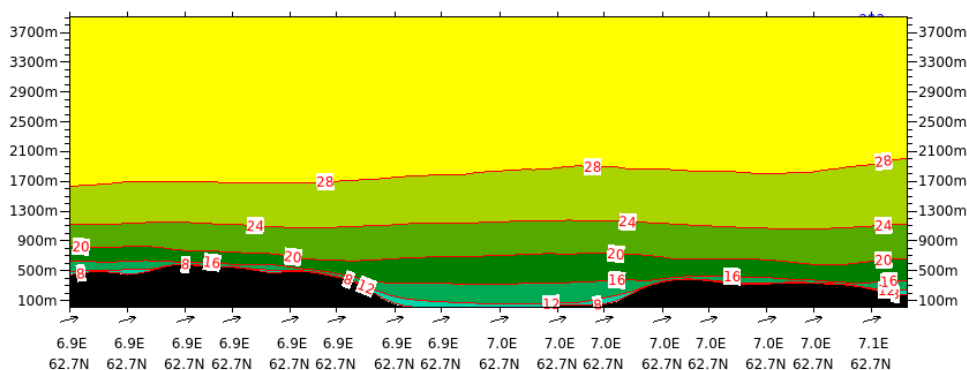


Figur 5.7: Turbulensintensitet i 100 m høyde fra SIMRA for nærmeste punkt til mastene og for midtpunktet i sundet med medianen og standardavvik for hver 10 graders retningsinterval og tynne linjer som angir 25 og 75-prosentdelene. Kun situasjoner med vindhastighet over 5 m/s er tatt med. Datadekningen over 30 graders intervaller er vist i prosent øverst i hver figur.

6 Ekstremvind



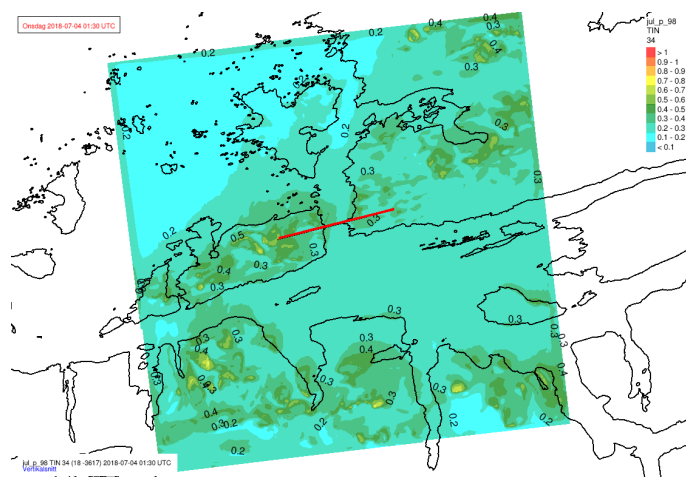
Figur 6.1: Kart for Julsundet fra SIMRA-modellen med isolinjer for 98-prosentdelen av vindstyrke i 70 m over modelltopografien.



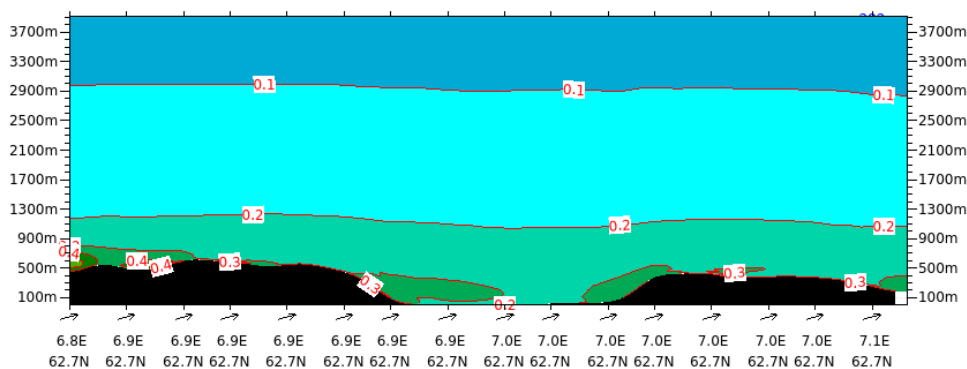
Figur 6.2: Vertikalt tverrsnitt for Julsundet med isolinjer for 98-prosentdelen av vindstyrke. Posisjonen av snittet er vist med en rød linje på kartet i figur 6.1 sammen med fargepaletten. Linjen går gjennom masteposisjonen for Nautneset til venstre og Julbø til høyre.

Vi ser først på 98-prosentdelen av vindstyrke og turbulens, dvs turbulensintensitet, fra SIMRA-modellen på to kart (figur 6.1 og 6.3) for hele SIMRA-området og to tverrsnitt (figur 6.2 og 6.4). Posisjonen for tverrsnittene er markert med rød linje på kartene.

Det er interessant å se på tilsvarende kart og tverrsnitt for vindstyrke. I kartet med 98-prosentdelen av vindstyrken er verdien i 70 m mellom 8 og 12 m/s over sundet, og litt over 16 m/s på det meste innover terrenget. Tverrsnittet viser at det er litt lavere verdier inn mot terrenget og hvordan vinden øker med høyden. Isolinen for 16 m/s ligger rundt 400 meters høyde. Figurene viser at turbulensintensiteten 70 m over modelltopografien ligger på mellom 0,2 og 0,3 over sundet. Ser vi også på tverrsnittet ser vi at det er høyest verdier inn mot terrenget både på øst- og vestsiden av sundet og at verdiene avtar med høyden over noen få hundre meter.



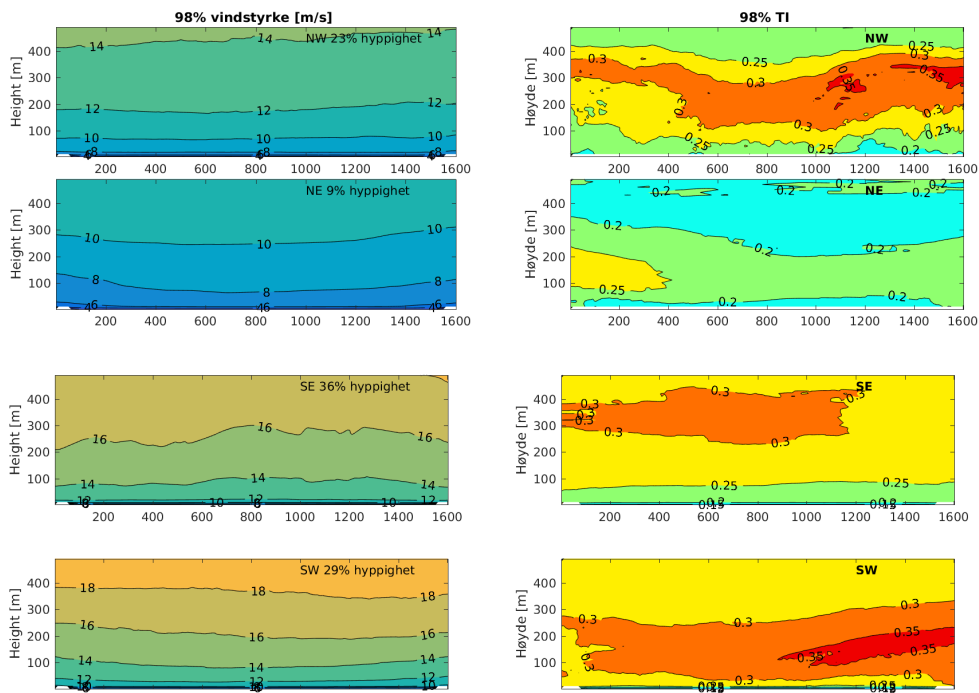
Figur 6.3: Kart for Julsundet fra SIMRA-modellen med isolinjer for 98-prosentdelen av turbulensintensitet i 70 m over modelltopografien. Bare tidspunkt der vindstyrken er over 5 m/s er inkludert i beregningene.



Figur 6.4: Vertikalt tverrsnitt med isolinjer for 98-prosentdelen av turbulensintensitet. Posisjonen av snittet er vist med en rød linje på kartet i figur 6.3 sammen med fargepaletten. Linjen går gjennom masteposisjonen for Nautneset til venstre og Julbø til høyre.

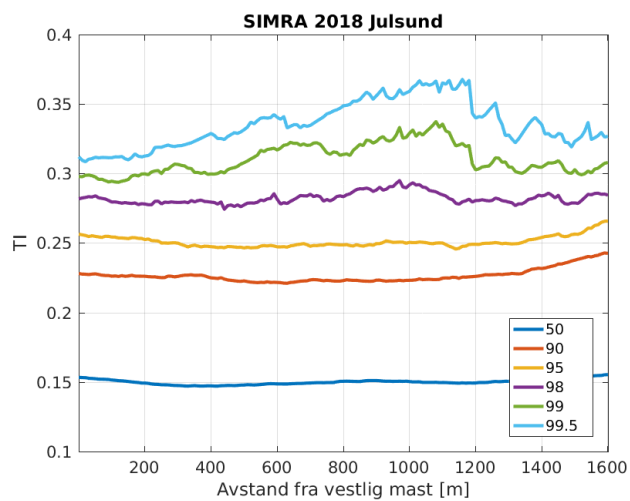
Basert på vindretningen midt i sundet har vi sortert situasjonene gjennom hele året og beregnet 98-prosentdeler av vindstyrke og turbulens for hver retning (figur 6.5). Figurene viser at vinden i gjennomsnitt er rimelig homogent fordelt for alle sektorer. Vind fra sør er mest hyppig og forekommer 65% av tiden. Det er også fra denne retningen, særlig sørvest, at vind og turbulens er kraftigst. I høyden til en eventuell brobane ligger 98-prosentdelen av turbulensintensiteten på ca 0,25 og vindstyrken på 10-12 m/s som nevnt tidligere. Prosentdelene 90-99,5 av TI over sundet viser at det er litt høyere turbulens på østsiden ved Julbø i modellen (figur 6.6).

2- og 98-prosentdelene av den vertikale vindkomponenten (figur 6.7) viser at de ekstreme vertikale bevegelser av vinden ligger på hastigheter av mellom -1.6-0.6 m/s over det meste av snittet. Dette er høye verdier sammenlignet med Halsafjorden og til dels Sulafjorden, men i brohøyden kan de sammenlignes med verdiene for Sulafjorden (ytre krysning). Figur 6.8 viser middelverdien av vindstyrke og TI av de 64 tilfellene i 2018 hvor vindhastigheten i midten av sundet var større enn eller lik 15 m/s. Figuren viser at det bare er mindre variasjoner i vinden på tvers av sundet i SIMRA for disse tilfellene og TI er under 0,2. Vinden i disse situasjonene er i middel litt sterkere enn vestsiden og

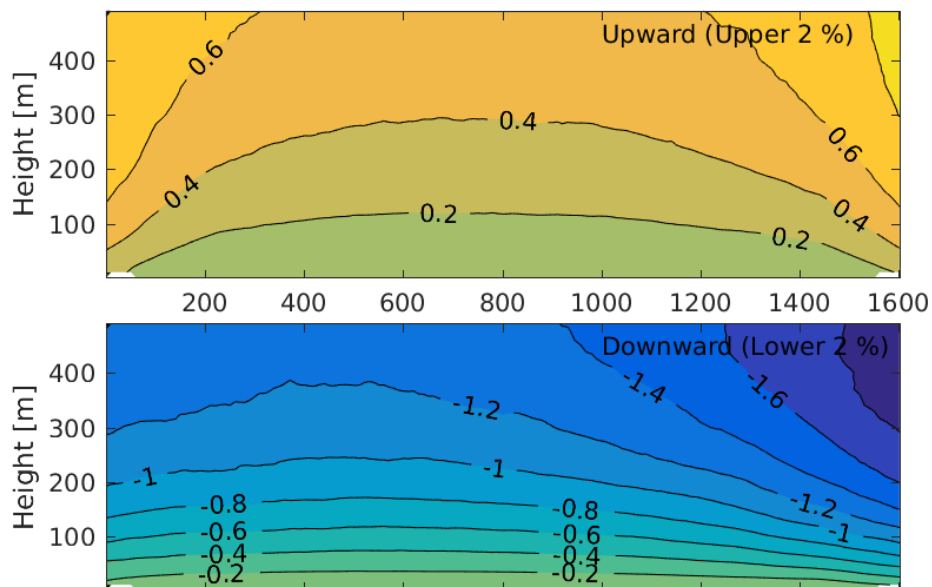


Figur 6.5: Tverrsnitt fra Nautneset til Julbø av 98-prosentdelen av vindstyrke [m/s] (venstre kolonne) og TI (høyre kolonne) for hver av fire vindretninger (øverst til nederst): nordvest ($270 - 0^\circ$), nordøst ($0 - 90^\circ$), sydøst ($90 - 180^\circ$) og sydvest ($180 - 270^\circ$). x-aksen angir avstand i km fra Nautneset.

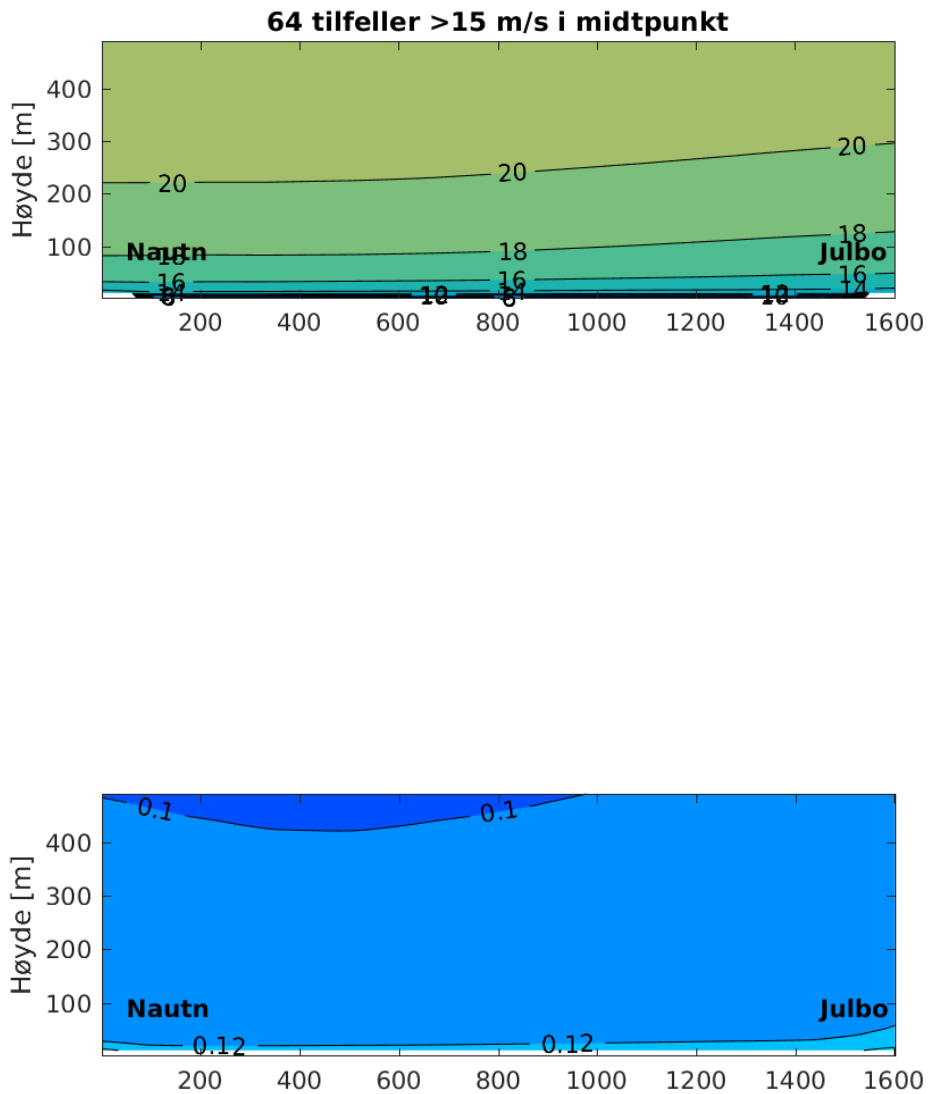
turbulensen er lav (0,1) over hele snittet.



Figur 6.6: Kvantilplott av TI fra SIMRA på tvers av sundet fra Nautneset til Julbø. Linjene viser nivået til prosentdelene 50-99,5 som angitt.



Figur 6.7: Verdien av de laveste og høyeste 2% av den vertikale vindkomponenten [m/s] fra SIMRA langs tverrsnitt Nautneset til Midsund.



Figur 6.8: Middelerdi av vindstyrke [m/s] (øverst) og TI (nederst) mellom Nautneset og Julbø for de 64 situasjonene i 2018 hvor vinden i midten av sundet er større enn eller lik 15 m/s.

7 Stormer

I dette kapitlet har vi sett etter vær-situasjoner i 2018 med målt sterk vind i mastene. I likhet med Sulafjorden og særlig Halsafjorden er tilfellene med målt sterk vind i Julsundet dominert av sørlig vind ut sundet.

Vi har for dette sundet valgt fem tilfeller. Vi viser kart og snitt fra SIMRA, noen kart fra AROME-MEPS, og sammenligner tidsserier fra mastene med tidsserier fra begge modellene. For tidsseriene har vi også tatt ut statistikk for en periode på fire døgn rundt dagen med sterkest vind.

Vi har også supplert visuell inspeksjon av kart og tverrsnitt med SDE og RMSE for periodene. Dette er den samme statistikken som vi brukte for hele 2018 (se kapittel 4). Tolkning av denne type statistikk er vanskelig, særlig for korte perioder.

- 6.-9. januar
- 14.-17. januar
- 14.-17. februar
- 18.-21. juni
- 19.-22. september

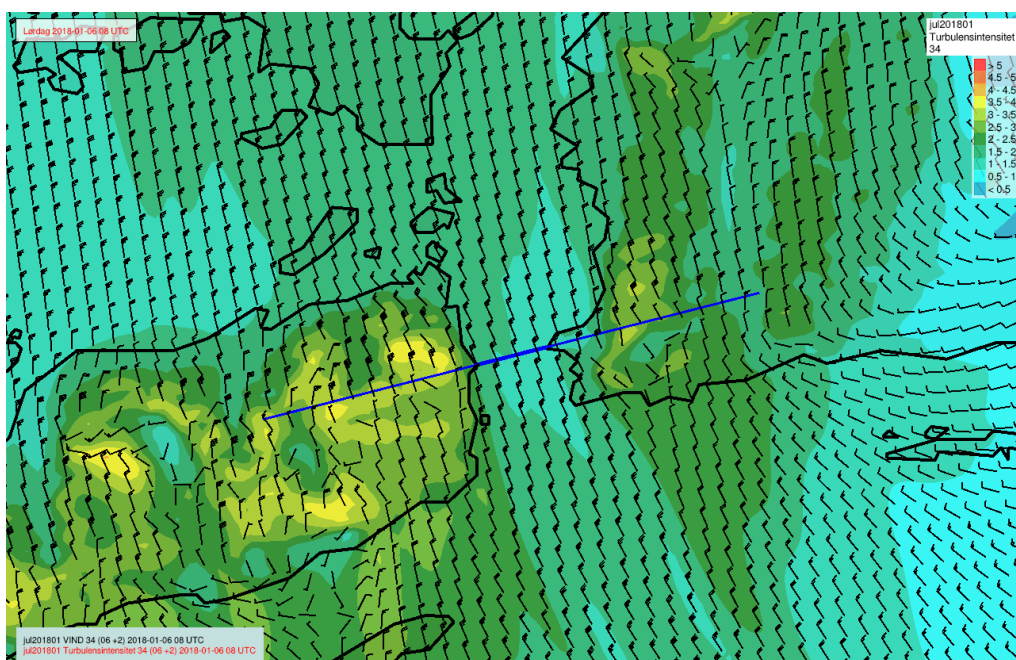
7.1 6.-9. januar

6.-9. januar 2018 gir kraftige lavtrykk med sterk vind i sundet. Tidsseriene viser at vinden 6. januar øker omkring S, og når et maksimum på 15,4 m/s når den slår om til NNW kl. 09:40. Det første lavtrykket ligger da inne i Sverige. Maksimum er det samme på begge mastene.

Situasjonen er vist med kart med vind og roten av turbulent kinetisk energi (rTKE) i figur 7.1, og tverrsnitt markert på kartet som viser vindkomponentene normalt på snitt i figur 7.2, og den tilsvarende roten av turbulent kinetisk energi i figur 7.3. Modelldataene i alle de tre figurene er gyldig 08 UTC 6. januar.

Etter en forbigående minking, øker vinden igjen omkring SSW 7. januar. Maksimum på 16,3 m/s fra denne vindretningen kommer 05:00 UTC på Julbø, og 06:20 UTC på Nautneset, rett før vinden slår om til WNW. Vinden er knyttet til lavtrykk nummer to som da ligger nord for Trøndelag. Maksimum vind er det samme på begge sider av sundet, men minkingen denne dagen er markant raskere på Nautneset enn den er på Julbø.

Når vi sammenligner observasjonene med modellresultater fra SIMRA og AROME-MEPS, ser vi at begge modellene har vindretning og vinddreining som samsvarer bra med det observerte. Vindstyrken for 6. januar er også ganske god i begge modellene. Det er imidlertid større forskjeller den 7. januar, og disse forskjellene er også hovedgrunnen til at denne perioden ble valgt for nærmere inspeksjon og diskusjon. SIMRA har et ganske rett maksimum på denne dagen, og har med den observerte forskjellen i vindstyrke på de to sidene av sundet. AROME-MEPS har her en markant overestimering av vindstyrken og



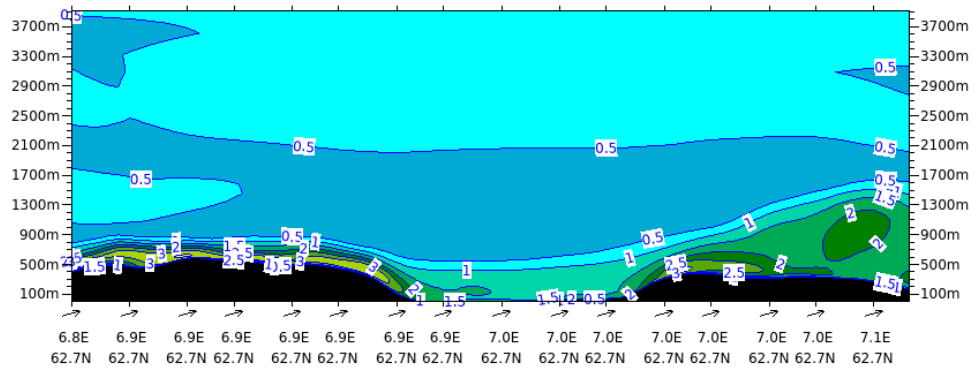
Figur 7.1: Utsnitt av SIMRA-modellen for Julsundet gyldig 6. januar 2018 08 UTC. Kartet viser vind og $rTKE$ i modellflaten 34 som ligger 70 m over SIMRA-modellen sin topografi. Fargepalett for turbulensindikatoren på kartet. Posisjonen for tverrsnittene i de to neste figurene er markert med en rød linje på kartet.

den har nesten lik vindstyrke på begge sider av sundet etterhvert som vinden minker. Vi ser at SIMRA her drar tydelig nytte av bedre oppløsning og at den skiller mellom de to sidene av sundet.

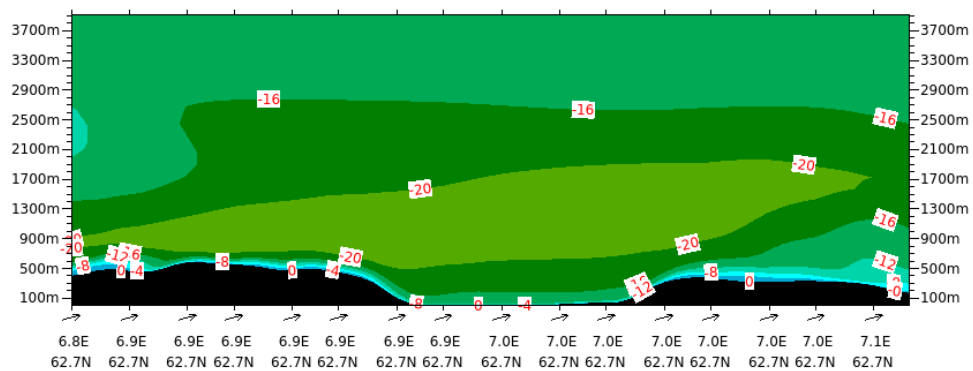
Situasjonen er vist med kart og tverrsnitt markert på kartet, alle gyldig 06 UTC 7. januar (figur 7.4-7.6). Det er de samme størrelser som er med, med unntak av vinden i tverrsnittet. Siden vinden i dette tilfellet er orientert nær snittets retning, er det tangentkomponenten av vinden som er vist.

Mast	SDE	SDE	RMSE	RMSE
	SIMRA	MEPS	SIMRA	MEPS
Julbø	3,3	3,2	3,3	3,6
Nautneset	3,6	3,4	3,6	5,4

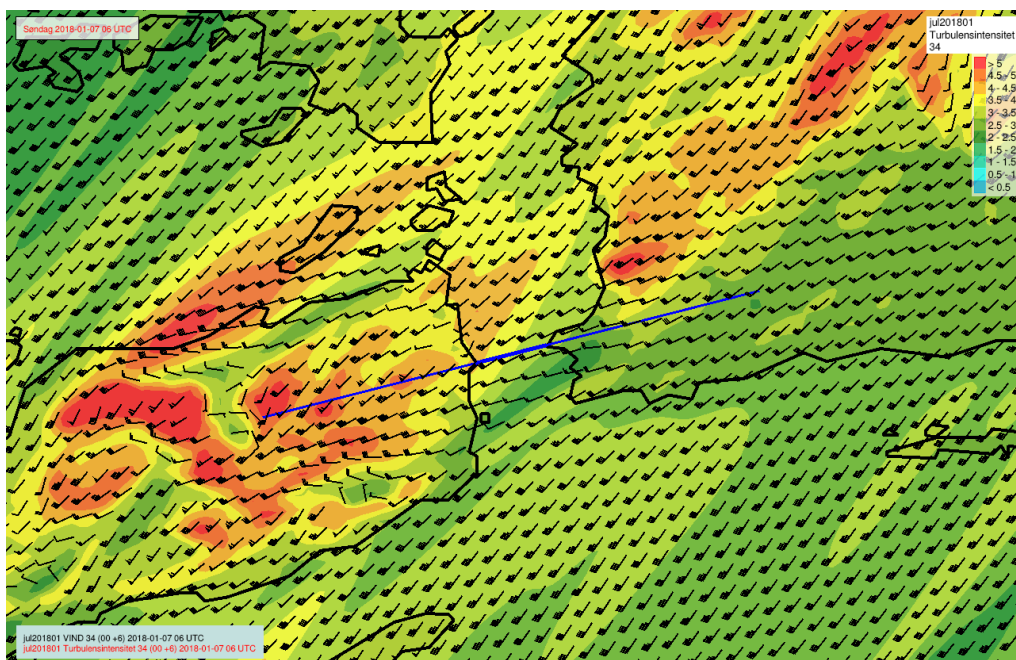
Tabell 3: SDE og RMSE for SIMRA og AROME-MEPS under stormen 6.-9. januar 2018. Max vind i SIMRA i midten av sundet i denne situasjonen: 16,5 m/s.



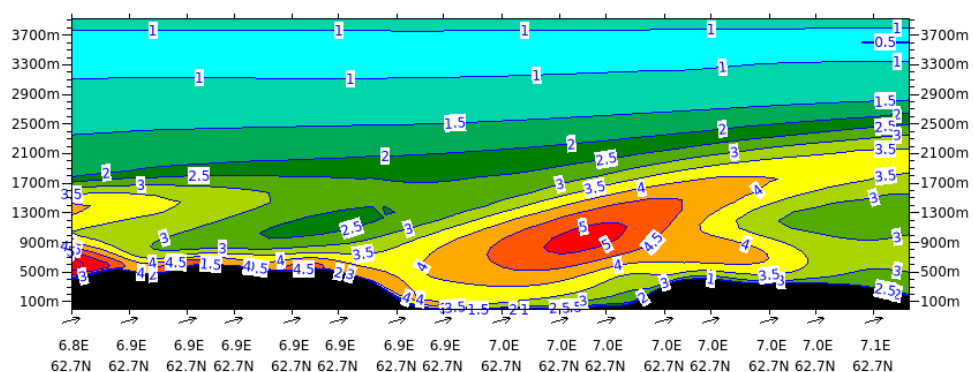
Figur 7.2: Vertikalsnitt av $rTKE$ fra SIMRA-modellen for Julsundet gyldig 6. januar 2018 08 UTC. Fargepalett for turbulensindikatoren på kartet i figur 7.1.



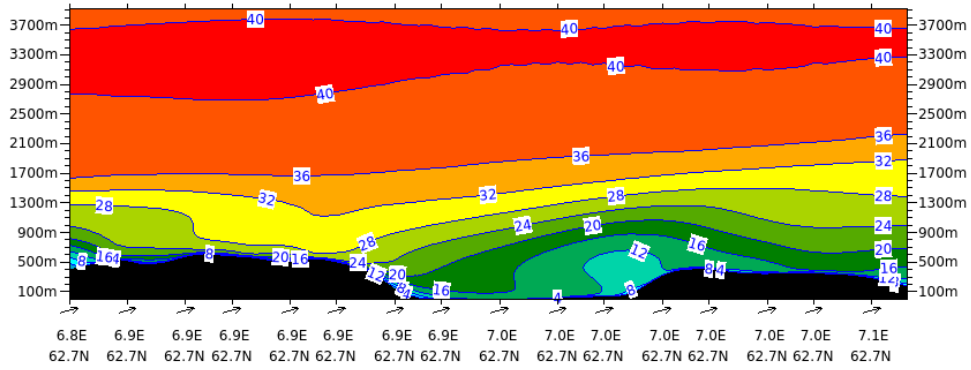
Figur 7.3: Vertikalsnitt fra SIMRA-modellen for Julsundet gyldig 6. januar 2018 08 UTC. Snittet viser normalkomponenten av vinden i snittet med isolinjer for hver 4de m/s.



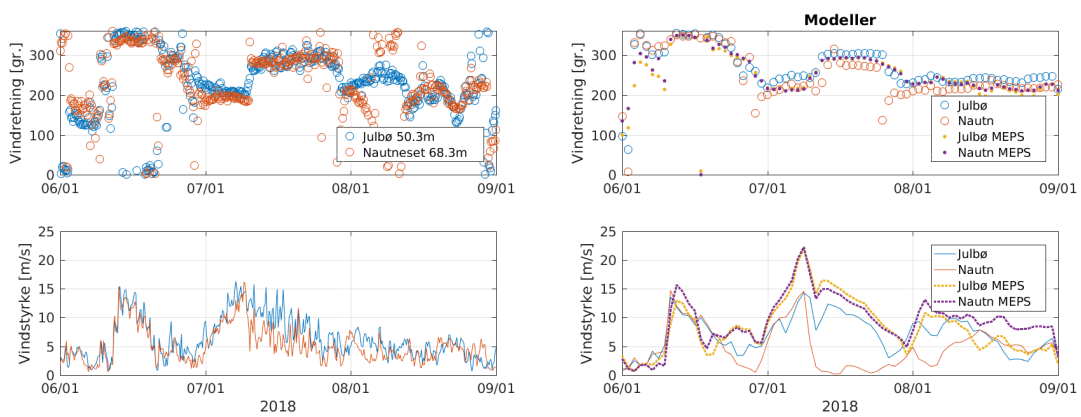
Figur 7.4: Utsnitt av SIMRA-modellen for Julsundet gyldig 7. januar 2018 06 UTC. Kartet viser vind og rTKE i modellflaten 34 som ligger 70 m over SIMRA-modellen sin topografi. Fargepalett for turbulensindikatoren på kartet. Posisjonen for tverrsnittene i de neste figurene er markert med en rød linje på kartet.



Figur 7.5: Vertikalsnitt av rTKE fra SIMRA-modellen for Julsundet gyldig 7. januar 2018 06 UTC. Fargepalett for turbulensindikatoren på kartet i figur 7.4.



Figur 7.6: Vertikalsnitt fra SIMRA-modellen for Julsundet gyldig 7. januar 2018 06 UTC. Snittet viser tangentskomponenten av vinden i snittet med isolinjer for hver 4de m/s.

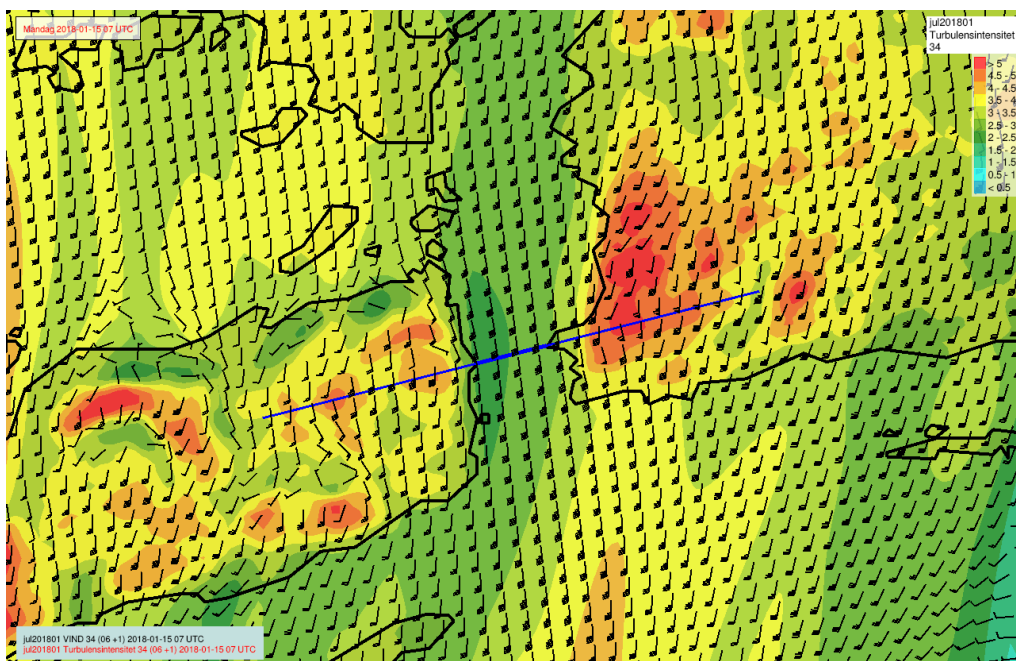


Figur 7.7: Tidsserie 6. januar. Observasjoner fra toppsensoren på Nautneset og Julbø til venstre. AROME-MEPS (stiplet) og SIMRA (heltrukket) til høyre.

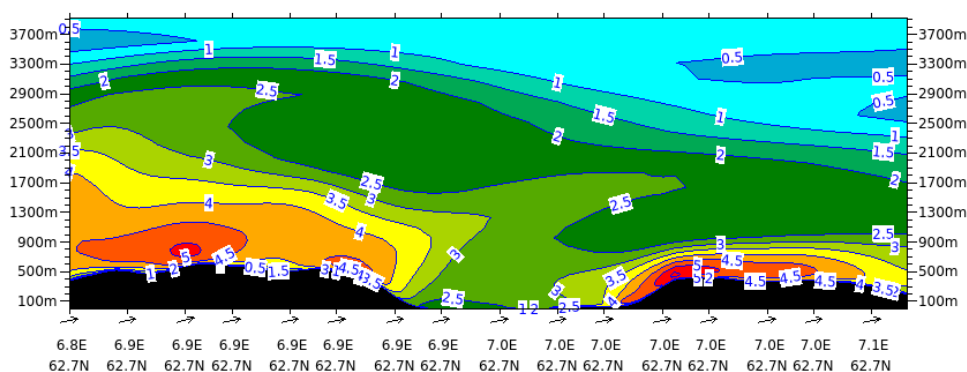
7.2 14.-17. januar

I denne perioden ble det observert sterk SSE med maksimal vind 15. januar 15:40 UTC på 21,3 og 20,41 m/s på henholdsvis Nautneset og Julbø. Dette var knyttet til en kraftig storm nord i Nordsjøen.

Situasjonen er vist med kart og tverrsnitt markert på kartet som viser vindkomponentene normalt på snitt og den tilsvarende rTKE (figur 7.8-7.10). Modelldataene i alle de tre figurene er gyldig 07 UTC 15. januar. Vi ser at SIMRA modellerer maksimal vind langt bedre enn AROME-MEPS i dette tilfellet.

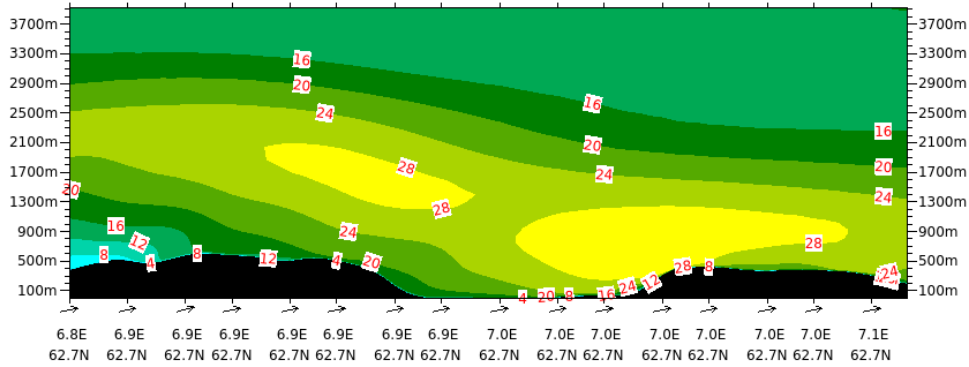


Figur 7.8: Utsnitt av SIMRA-modellen for Julsundet gyldig 15. januar 2018 07 UTC. Kartet viser vind og rTKE i modellflaten 34 som ligger 70 m over SIMRA-modellen sin topografi. Fargepalett for turbulensindikatoren på kartet. Posisjonen for tverrsnittene i de to neste figurene er markert med en rød linje på kartet.



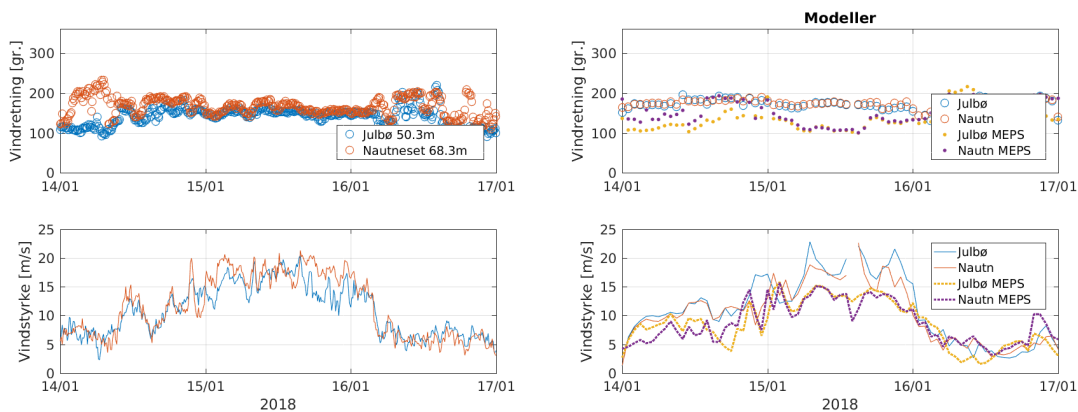
Figur 7.9: Vertikalsnitt av rTKE fra SIMRA-modellen for Julsundet gyldig 15. januar 2018 07 UTC. Fargepalett er gitt i figur 7.8.

Vinden i denne vær-situasjonen er sjeldent kraftig og vi ser i kartet fra modellen gyldig 15. januar 07 UTC vind over 20 m/s i høyden 70 meter over bakken (antatt brohøyde)



Figur 7.10: Vertikalsnitt fra SIMRA-modellen for Julsundet gyldig 15. januar 2018 07 UTC. Snittet viser normalkomponenten av vinden i snittet med isolinjer for hver 4de m/s.

og maksimal normal vindkomponent på over 28 m/s høyere opp. I denne situasjonen 15. januar underestimerer AROME-MEPS som nevnt overfor vinden, mens SIMRA er mye nærmere observert vind. Dette ser ut til å kunne forklares ved at SIMRA har en vindretning ganske nær S mens AROME-MEPS har ESE. SIMRAS vind fra S ut sundet forsterkes kanaliseres av terrenget og blir også en del sterkere slik obserbasjonene viser.



Figur 7.11: Tidsserie 14. januar. Observasjoner fra toppsensoren på Nautneset og Julbø til venstre. AROME-MEPS (stiplet) og SIMRA (heltrukken) til høyre.

Mast	SDE	SDE	RMSE	RMSE
	SIMRA	MEPS	SIMRA	MEPS
Julbø	3,6	2,8	3,5	3,6
Nautneset	3,0	3,1	3,2	4,0

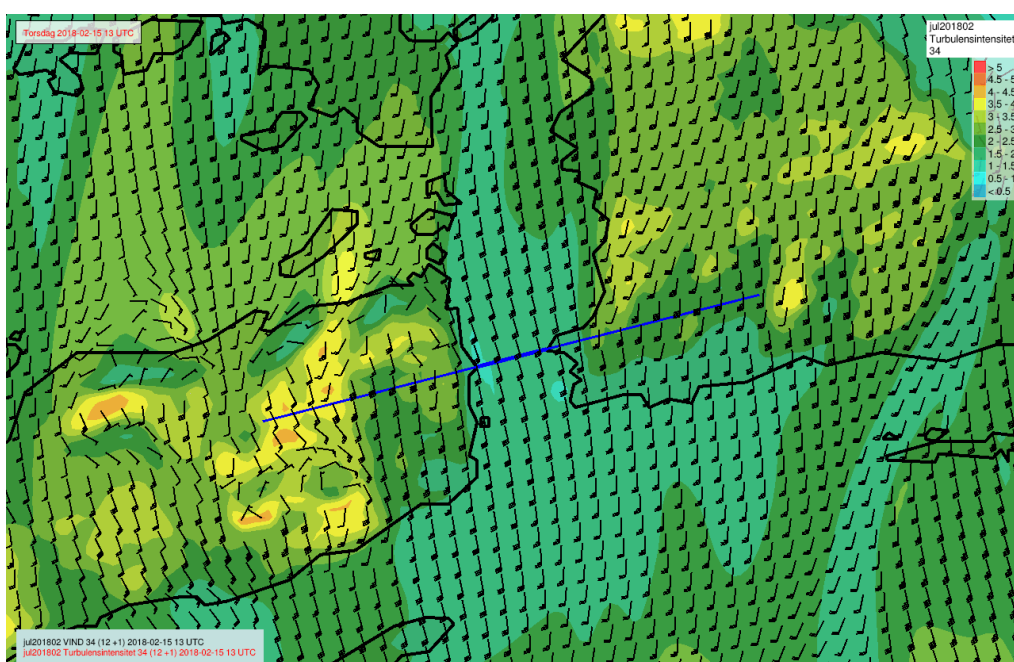
Tabell 4: SDE og RMSE for SIMRA og AROME-MEPS under stormen 14.-17. januar 2018. Max vind i SIMRA i midten av sundet i denne situasjon: 22,7 m/s.

7.3 14.-17. februar

I perioden kommer det en ny storm fra SSE med maksimal vind 15. februar 13:10 med 19,4 m/s på Nautneset og 16,5 m/s på Julbø. Resultatene er ganske blandet.

Den 15. februar har SIMRA på Julbø langt sterkere vind enn det er observert. Når vi sammenligner med tilfellet ovenfor så er det i dette tilfellet ikke bedre vindretning i SIMRA. Det kan se ut til at SIMRA har en retning for langt mot S og at den knyttet til dette modellerer en for sterk vind ved Julbø. Dette tilfellet er tatt med for å illustrere at de sørlige situasjonene ikke alltid modelleres best med SIMRA.

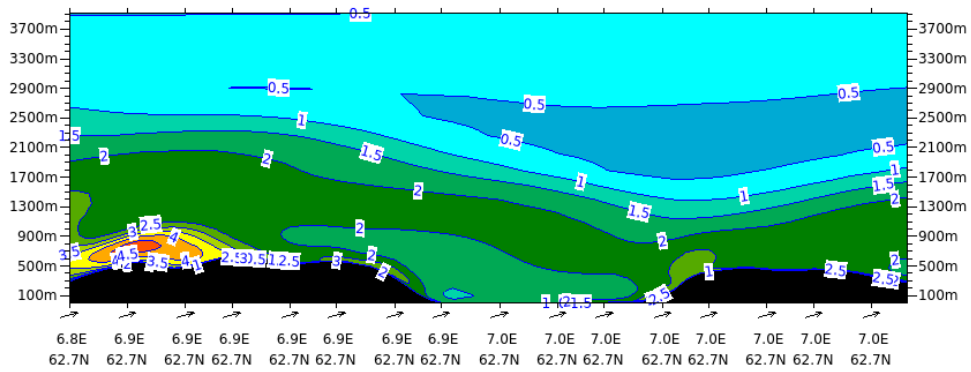
Situasjonen er vist med kart og tverrsnitt markert på kartet som viser vindkomponentene normalt på snitt og den tilsvarende rTKE (figur 7.8-7.10). Modelldataene i alle de tre figurene er gyldig 13 UTC 15. februar.



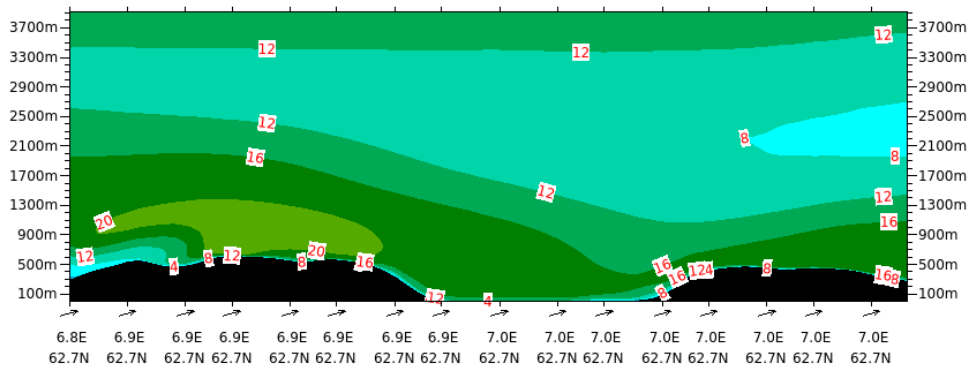
Figur 7.12: Utsnitt av SIMRA-modellen for Julsundet gyldig 15. februar 2018 13 UTC. Kartet viser vind og rTKE i modellflaten 34 som ligger 70 m over SIMRA-modellen sin topografi. Fargepalett for turbulensindikatoren på kartet. Posisjonen for tverrsnittene i de to neste figurene er markert med en rød linje på kartet.

Mast	SDE SIMRA	SDE MEPS	RMSE SIMRA	RMSE MEPS
Julbø	4,7	3,3	5,0	3,3
Nautneset	3,0	3,4	3,1	3,7

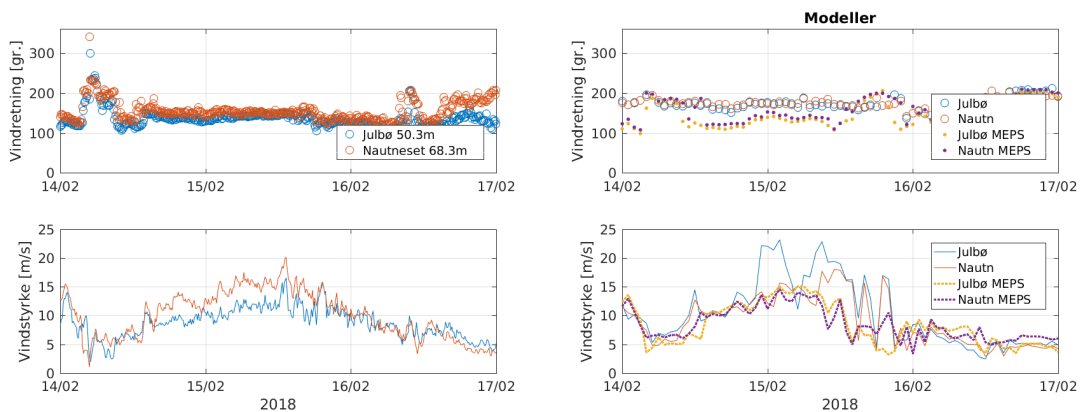
Tabell 5: SDE og RMSE for SIMRA og AROME-MEPS under stormen 14.-17. februar 2018. Max vind i SIMRA i midten av sundet i denne situasjonen: 21,2 m/s.



Figur 7.13: Vertikalsnitt av rTKE fra SIMRA-modellen for Julsundet gyldig 15. februar 2018 13 UTC. Fargepalett for turbulensindikatoren på kartet i figur 7.12.



Figur 7.14: Vertikalsnitt fra SIMRA-modellen for Julsundet gyldig 15. februar 2018 13 UTC. Snittet viser normalkomponenten av vinden i snittet med isolinjer for hver 4de m/s.



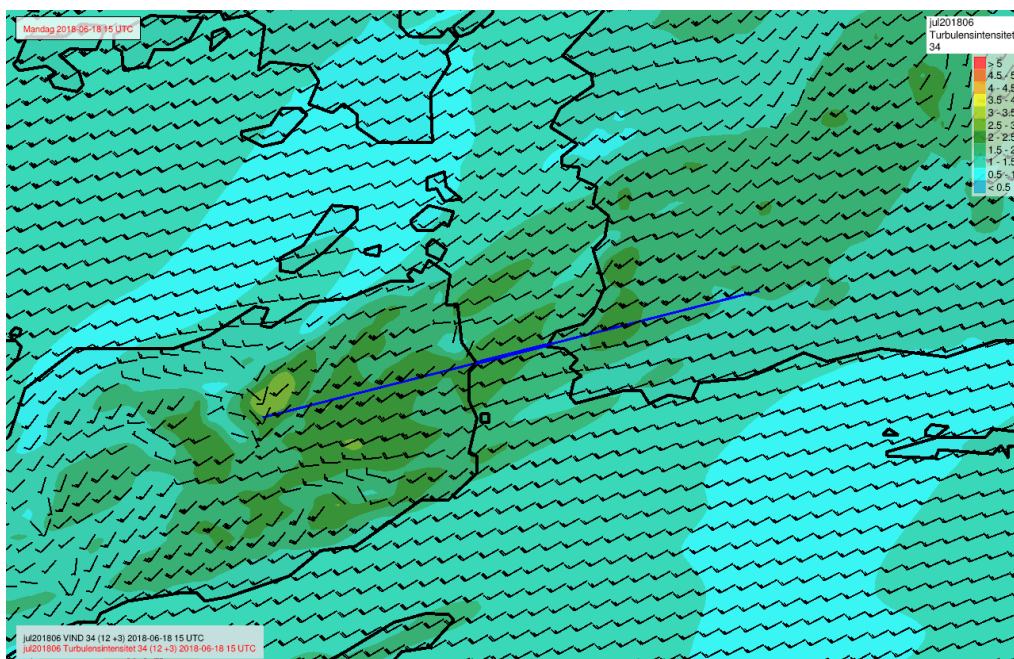
Figur 7.15: Tidsserie 14. februar. Observasjoner fra toppsensoren på Nautneset og Julbø til venstre. AROME-MEPS (stiplet) og SIMRA (heltrukken) til høyre.

7.4 18.-21. juni

Det er en situasjon med et ganske kraftig SW-lig vindfelt til juni å være knyttet til et lavtrykk i Norskehavet.

Det er en periode fra 18. juni ut mye av 19. juni der det er SSW 15 m/s som minker etterhvert på Nautneset, mens det er observert ganske svak vind på Julbø. SIMRA har SSW, men ikke sterk nok vind på Nautneset, og har ikke de endringene i den svakere vinden på Julbø som er observert. Det er allikevel interessant å se at SIMRA skiller i vindretning mellom de to mastene disse to dagene, mens AROME-MEPS ikke gjør det. Selv om det observeres en større retningsforskjell, regner vi dette som en indikasjon på at det er oppløsningen som har gitt bedre modellering i SIMRA for denne dagen. Alt i alt er det en situasjon der vi vurderer at SIMRA har en bedre løsning enn AROME-MEPS.

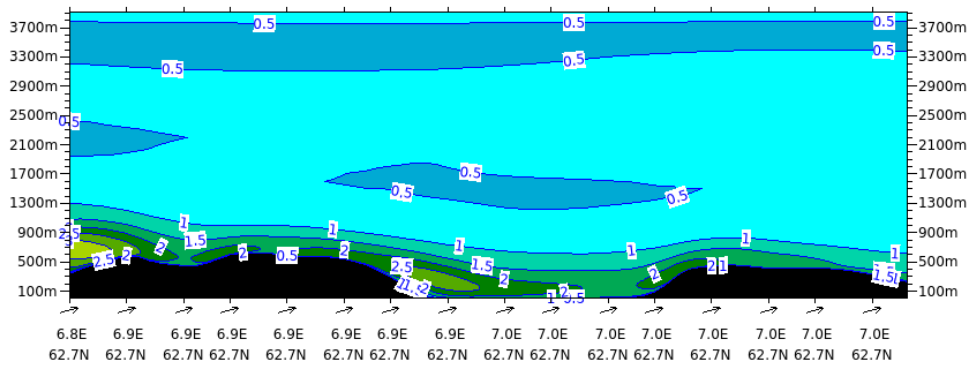
Situasjonen er vist med kart og tverrsnitt markert på kartet som viser vindkomponentene normalt på snitt og den tilsvarende rTKE (figur 7.16-7.18). Modelldataene i alle de tre figurene er gyldig 15 UTC 18. juni. Siden vinden i dette tilfellet er orientert nær snittets retning er det nå tangentkomponenten av vinden som er vist.



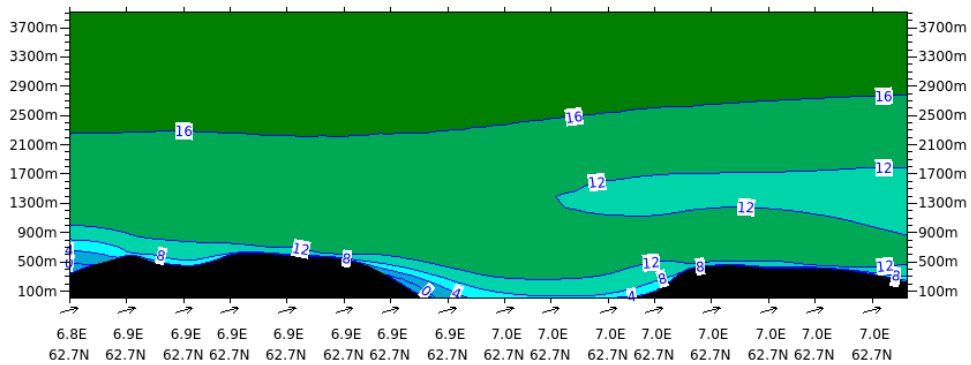
Figur 7.16: Utsnitt av SIMRA-modellen for Julsundet gyldig 18. juni 15 13 UTC. Kartet viser vind og rTKE i modellflaten 34 som ligger 70 m over SIMRA-modellen sin topografi. Fargepalett for turbulensindikatoren på kartet. Posisjonen for tverrsnittene i de to neste figurene er markert med en rød linje på kartet.

Mast	SDE SIMRA	SDE MEPS	RMSE SIMRA	RMSE MEPS
Julbø	2,8	-	2,8	-
Nautneset	3,5	3,8	3,5	5,3

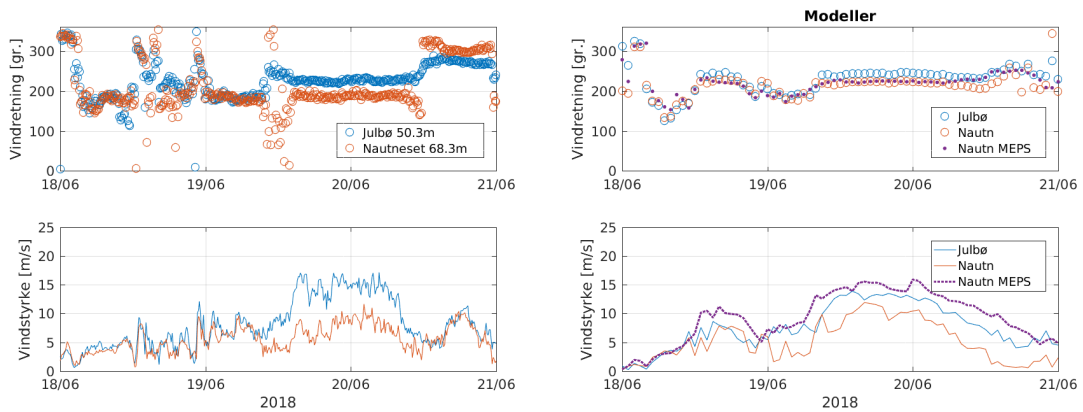
Tabell 6: SDE og RMSE for SIMRA og AROME-MEPS under stormen 18.-21. juni 2018. Max vind i SIMRA i midten av sundet i denne situasjonen: 14,8 m/s.



Figur 7.17: Vertikalsnitt av rTKE fra SIMRA-modellen for Julsundet gyldig 18. juni 2018 18 UTC. Fargepalett for turbulensindikatoren på kartet i figur 7.16.



Figur 7.18: Vertikalsnitt fra SIMRA-modellen for Julsundet gyldig 18. juni 2018 18 UTC. Snittet viser tangentskomponenten av vinden i snittet med isolinjer for hver 4de m/s.



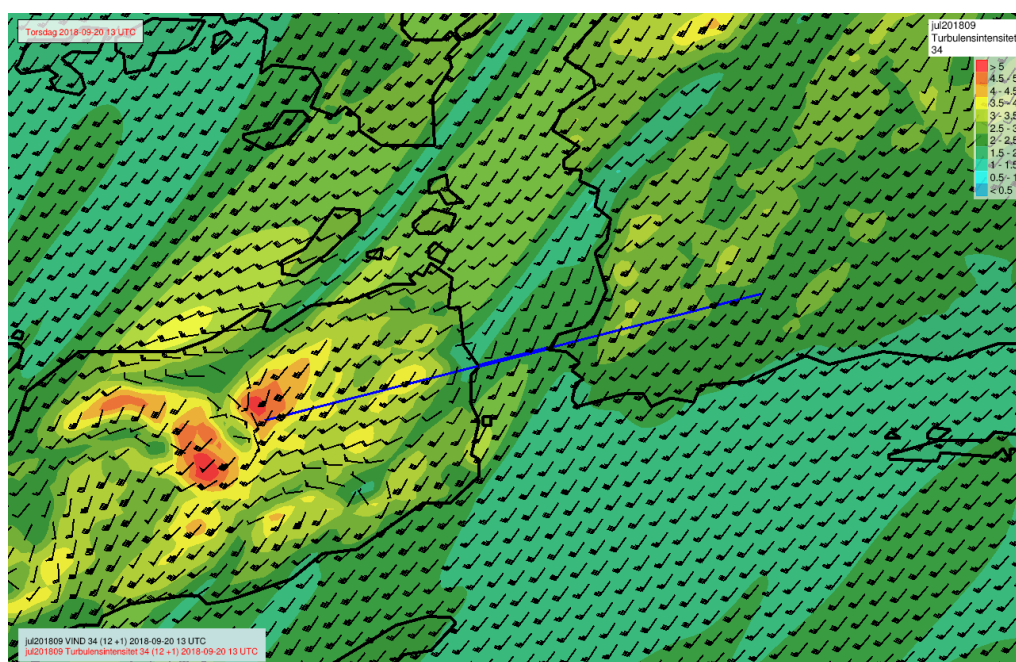
Figur 7.19: Tidsserie 18. juni. Observasjoner fra toppsensoren på Nautneset og Julbø til venstre. AROME-MEPS (stiplet) og SIMRA (heltrukket) til høyre.

7.5 19.-22. september

Dette er en situasjon som minner litt om den foregående. Det er observert ganske svak vind med vekslende vindretninger inne i sundet. Modellen har SSW vind og jevnt over mer vind enn observert. AROME-MEPS og SIMRA ser ikke ut til å klare den stagneringen av strømmen som skjer i sundet i denne situasjonen.

I denne situasjonen er vinden rundt SSW når den er sterkest. Observert vind når ca. 15 m/s på Julbø flere ganger 20. september, mens den er noe svakere på Nautneset. Vi har tatt ut kart og tversnitt 13 UTC. AROME-MEPS har en overestimering av vinden denne dagen. 13 UTC har SIMRA svakere vind på Nautneset enn på Julbø og det stemmer bra med observasjonene. Når vi vurderer tidsutviklingen i SIMRA-modellen rundt dette tidspunktet er det litt varierende resultater, og SIMRA kommer litt dårligere ut noen ganger. Samlet sett vurderer vi likevel SIMRA til å være bedre denne dagen.

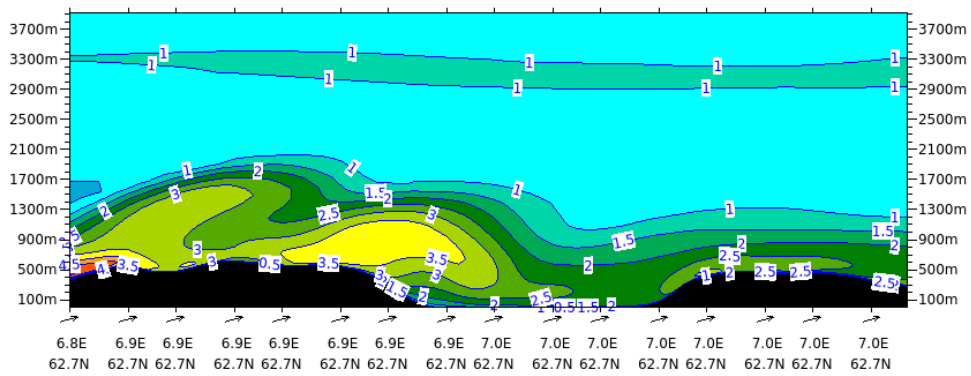
Situasjonen er vist med kart og tversnitt markert på kartet som viser vindkomponentene normalt på snitt og den tilsvarende rTKE (figur 7.20-7.22). Modelldataene i alle de tre figurene er gyldig 13 UTC 20. september.



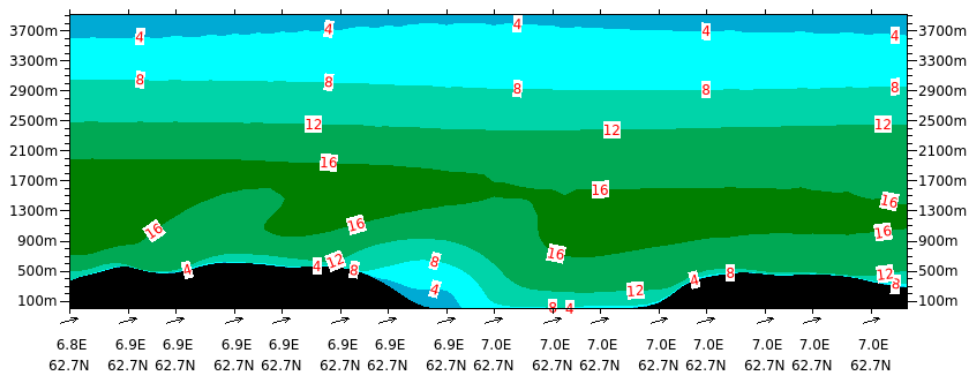
Figur 7.20: Utsnitt av SIMRA-modellen for Julsundet gyldig 20. september 2018 13 UTC. Kartet viser vind og rTKE i modellflaten 34 som ligger 70 m over SIMRA-modellen sin topografi. Fargepalett for turbulensindikatoren på kartet. Posisjonen for tversnittene i de to neste figurene er markert med en rød linje på kartet.

Mast	SDE SIMRA	SDE MEPS	RMSE SIMRA	RMSE MEPS
Julbø	3,6	3,3	3,8	3,7
Nautneset	3,3	3,3	3,4	5,1

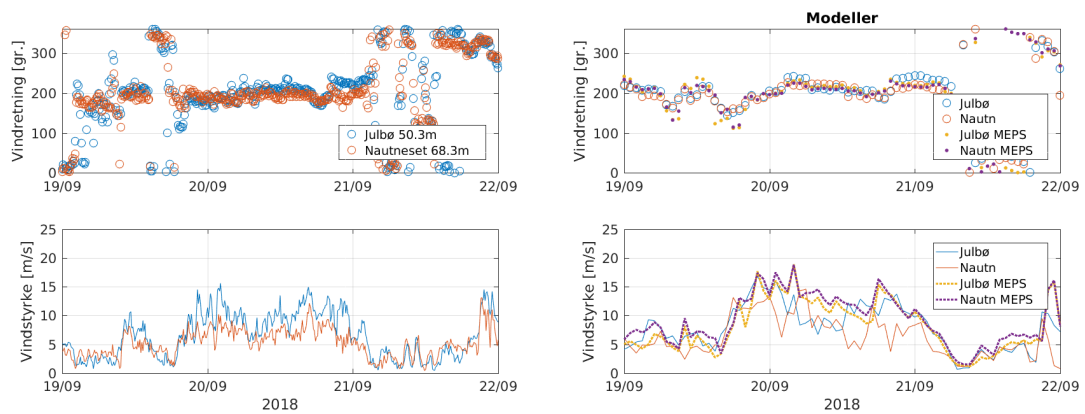
Tabell 7: SDE og RMSE for SIMRA og AROME-MEPS under stormen 19.-22. september 2018. Max vind i SIMRA i midten av sundet i denne situasjonen: 18,0 m/s.



Figur 7.21: Vertikalsnitt av rTKE fra SIMRA-modellen for Julsundet gyldig 20. september 2018 13 UTC. Fargepalett for turbulensindikatoren på kartet i figur 7.20.



Figur 7.22: Vertikalsnitt fra SIMRA-modellen for Julsundet gyldig 20. september 13 UTC. Snittet viser normalkomponenten av vinden i snittet med isolinjer for hver 4de m/s.



Figur 7.23: Tidsserie 19. september. Observasjoner fra toppsensoren på Nautneset og Julbø til venstre. AROME-MEPS (stiplet) og SIMRA (heltrukket) til høyre.

8 Oppsummering

CFD-modellen SIMRA er kjørt for et år (2018) for området rundt Julsundet i Midt-Norge. SIMRA er en nedskalering til 100 m gitteropløsning av den operasjonelle værvarslingsmodellen AROME-MEPS, og derfor er det interessant å se på hvordan og hvor mye SIMRA eventuelt forbedrer modelleringen av vinden i forhold til AROME-MEPS. Denne rapporten beskriver SIMRA-oppsettet, validerer vind fra begge modellene og presenterer resultater av vind og turbulensintensitet.

Basert på verifikasjonen mot målinger i mastene er det ikke entydig at den ene modellen modellerer vindstyrke bedre enn den andre, hverken når vi sammenligner 98-prosentandelen, STD, korrelasjon, RMSE og SDE eller frekvensfordelingen av vindstyrke. SIMRA underestimerer vindstyrken for både Julbø, Midsund og Nautneset, mens AROME-MEPS har tilfeller av både overestimering og underestimering. SIMRA har litt bedre frekvensfordeling i vindstyrke enn AROME-MEPS i sterk vind på Nautneset. På Julbø har AROME-MEPS noe bedre frekvensfordeling enn SIMRA.

Modellene gir ganske like resultater for retningsfordeling for alle masteposisjonene. På Midsund og Nautneset er det tydelig at begge modellene når vinden er S og SW, har hyppigere SE sektor enn S. På Julbø dreier også vinden mer mot E i modellene der SE er observert. Dette er særlig tydelig for AROME-MEPS. Siden AROME-MEPS brukes som inngangsdata i SIMRA, blir feilen i retningsfordeling med når den er såpass stor.

Selve Julsundet ligger i nesten nord-sørlig retning og derfor delvis i le for de dominerende vindretningene. De høyeste verdiene for 98-prosentdelen av vindstyrke i observasjonene (9-12 m/s), er høyest for Julbø. Dette klarer begge modellene å fange opp relativt godt, men SIMRA tenderer å gi noe lavere verdier for 98-prosentdelen enn observert, mens AROME-MEPS gir noe høyere. Vindfeltet er rimelig homogent over sundet med relativt lite turbulens.

Et mål med SIMRA-modelleringen har vært å dekke en såpass lang periode at vi kan si noe om hyppighet av de sjeldne dimensjonerende tilfellene i et større materiale. Et like viktig mål er å bruke modellene i perioder med målt sterk vind for å vurdere dimensjonerende størrelser, også der det ikke er målinger, ved å modellere slike situasjoner nøyere. Studiet av caser kan følges opp med modellering med enda bedre oppløsning av topografien. De statistiske målene er ikke tilfredsstillende med de modellene vi har nå, men vi har god tro på at bedre oppløsning i både SIMRA og AROME-MEPS vil hjelpe.

Vindklimaet i 2018 hadde hyppigere vind fra sør og muligens få situasjoner med kraftig vind fra nordvest. Langtidskorrigerer av datasettet bør derfor gjøres for å oppnå en bedre statistisk representasjon dersom det skal brukes til dimensjonering.

Referanser

- Furevik, B. R., H. Ágústsson, A. Lauen Borg, and F. Nyhammer (2019), The E39 coastal highway observational dataset – atmospheric flow in complex coastal terrain in Mid-Norway [dataset], doi:<https://doi.org/10.21343/z9n1-qw63>.
- Furevik, B. R., H. Ágústsson, A. Lauen Borg, M. Zakari, F. Nyhammer, and M. Gausen (2020), Meteorological observations in tall masts for mapping of atmospheric flow in Norwegian fjords, *Earth System Science Data Discuss*, doi:<https://doi.org/10.5194/essd-2020-32>, in review.
- Midtbø, K. H., B. R. Furevik, and L. Østvand (2020a), *Finskala modellering av vind i fjorder. Sulafjorden og Vartdalsfjorden 2018*, MET report nr. 05/2020, Meteorologisk institutt, <https://www.met.no/publikasjoner/met-report>.
- Midtbø, K. H., B. R. Furevik, and L. Østvand (2020b), *Finskala modellering av vind i fjorder. Halsafjorden 2018*, MET report nr. 10/2020, Meteorologisk institutt, <https://www.met.no/publikasjoner/met-report>.
- Müller, M., M. Homleid, K.-I. Ivarsson, M. A. Ø. Køltzow, M. Lindskog, K. H. Midtbø, U. Andrae, T. Aspeli, L. Berggren, D. Bjørge, P. Dahlgren, J. Kristiansen, R. Randriamampianina, M. Ridal, and O. Vignes (2017), AROME-MetCoOp: A nordic convective-scale operational weather prediction model, *Weather and Forecasting*, 32(2), 609–627, doi:<https://doi.org/10.1175/WAF-D-16-0099.1>.

A Verifikasjonsmål

Statistikk	Akronym	Formel	Spenn	Optimal verdi
Middelfeil/Mean error	ME	$\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (f_i - o_i)$	$-\infty$ til ∞	0
Root Mean Square Error	RMSE	$\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (f_i - o_i)^2}$	0 til ∞	0
Standard Deviation of Error	SDE	$\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (f_i - o_i - ME)^2}$	0 til ∞	0
Korrelasjon	Kor.	$\frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (f_i - \bar{f})(o_i - \bar{o})}{\sigma_f \sigma_o}$	-1 til 1	1

der $\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$ og $\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}$.