

Agder Energi Nett AS

► **Leire - Kvinesdal**

Agder

Vurdering av klimalaster for 132 kV kraftledning

Oppdragsnr.: **5203419** Dokumentnr.: **KVT/2022/R041/JMG** Versjon: **J02** Dato: **2022-03-31**



Oppdragsgiver: Agder Energi Nett AS
Oppdragsgivers kontaktperson: Kai Nybakk v/ Norconsult
Rådgiver: Norconsult AS, Tærudgata 16, NO-2004 Lillestrøm
Oppdragsleder: Kai Nybakk
Fagansvarlig: Bjørn Egil Nygaard

J02	2022-04-08	Klimalastrappport.	John Magne Gitmark	Bjørn Egil Nygaard	Øyvind Byrkjedal
B01	2022-03-31	Klimalastrappport.	John Magne Gitmark	Bjørn Egil Nygaard	John Magne Gitmark
Versjon	Dato	Beskrivelse	Utarbeidet	Fagkontrollert	Godkjent

Dette dokumentet er utarbeidet av Norconsult AS som del av det oppdraget som dokumentet omhandler. Norconsult har ikke noe ansvar overfor tredjepart som eventuelt måtte benytte dette dokumentet.

► Sammendrag

I forbindelse med planlegging av ny 132 kV kraftledning fra Leire til Kvinesdal vurderes ulike traséalternativer. Denne rapporten gir en vurdering av ekstremværhendelser basert på historisk og fremtidig klima, med fokus på ekstremvind og islaster. Det er definert ulike punkter som representerer ulike klimatiske soner langs traséalternativene. For hvert punkt er områdespesifikke klimalaster analysert. Klimalastene er beregnet med utgangspunkt i modellerte værdata for representative punkter. Analysen omfatter ising som følge av snøakkumulasjon på liner samt beregning av ekstremvind.

Resultatene indikerer at klimalastene generelt er lave eller moderate for alle delområder, og ingen av de foreslåtte traséalternativene ser ut til å være særskilt utsatt for høye klimalaster. Resultatene kan oppsummeres som følger:

- Beregnede 50-års islaster som følge av våtsnø varierer fra 2 til 5 kg/m for de ulike delområdene.
- Maksimale vindkast med 50-års returperiode er beregnet å variere mellom ca. 35 og 45 m/s for de ulike delområdene.

En vurdering av klimaendringenes påvirkning på klimalastene viser følgende:

- For det aktuelle området drøftet i denne rapporten er endringene relativt små sammenliknet med den naturlige variasjonen i den historiske tidsperioden, og sammenliknet med usikkerheten i beregningene.
- Basert på informasjonen som er tilgjengelig i dag vil det ikke være grunnlag for å endre dimensjoneringsgrunnlaget for nye ledninger i dette området.

Klimalastene beregnet i denne rapporten er utført med hensyn på en tidligfase vurdering av ulike traséalternativer. Klimalastene bør gjennomgås og revideres før evt. bruk til dimensjonering av kraftledningene.

► Innhold

1	Datagrunnlag og metodikk	4
1.1	Ledningstrasé	4
1.2	Data	6
1.3	Isberegning	6
1.3.1	Våtsnø og tørrsnø	6
1.4	Vindberegninger	7
1.5	Ekstremverdiberegninger	7
1.5.1	Ising	7
1.5.2	Vind	7
2	Beregning av klimalaster	8
2.1	Middelvind	8
2.2	Ekstremvind	9
2.3	Islaster (våt- og tørrsnø)	12
2.4	Laster i fremtidsklima	15
	Vedlegg A: Beskrivelse av WRF-modellen	i

1 Datagrunnlag og metodikk

1.1 Ledningstrasé

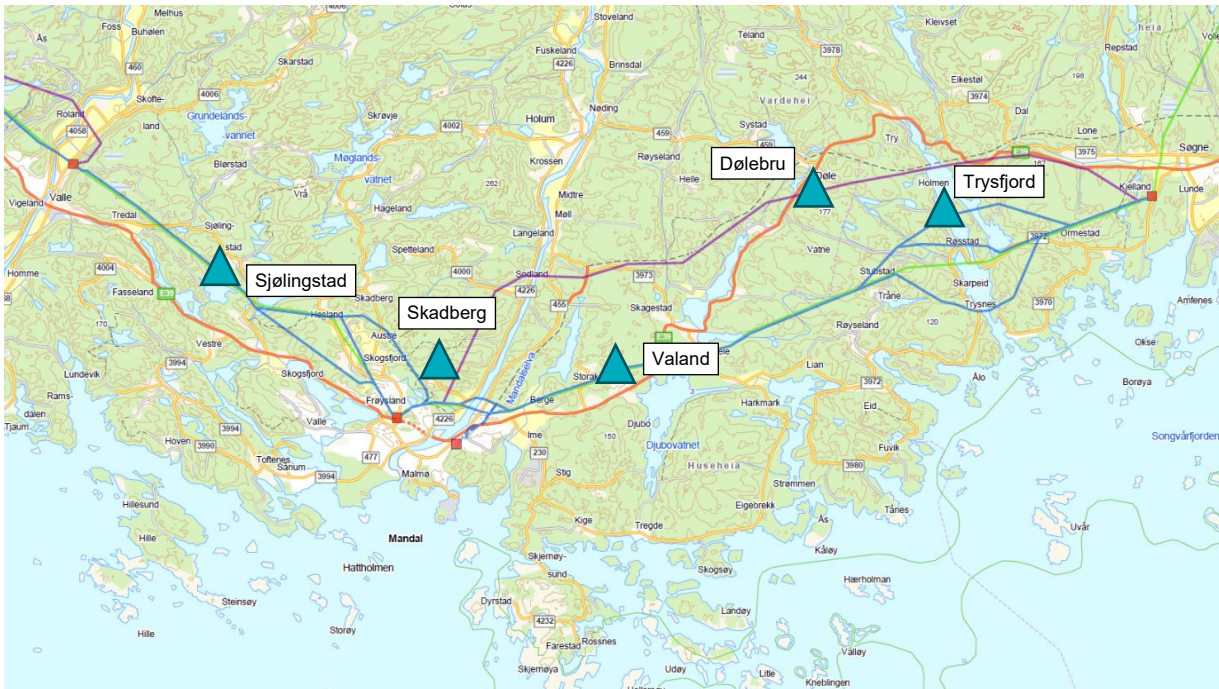
I forbindelse med planlegging av ny 132 kV kraftledning fra Leire til Kvinesdal transformatorstasjoner vurderes ulike traséalternativer som vist i Figur 1-1 (Leire – Vallemoen) og Figur 1-2 (Vallemoen – Kvinesdal). Fra Leire i øst til Kvinesdal i vest er det ca. 60 km i luftlinje. I øst omfatter traséalternativene hovedsakelig områder med skogsterreng, mens det i vest også oppstår mer åpent terreng. I tillegg er det to fjordkrysninger langs traséene, Trysfjorden og Fedafjorden. I denne rapporten er det definert ulike punkter som representerer ulike klimatiske soner langs traséalternativene. For hvert punkt analyseres de områdespesifikke klimastasjonene. Navn og geografiske særtrekk for hvert av områdene er definert i listen nedenfor, og modellerte værdata beskrevet i kapittel 1.2 er hentet ut for lokasjonene markert med stjerner i Figur 1-1 og Figur 1-2.

Lokasjoner langs traséen Leire – Vallemoen:

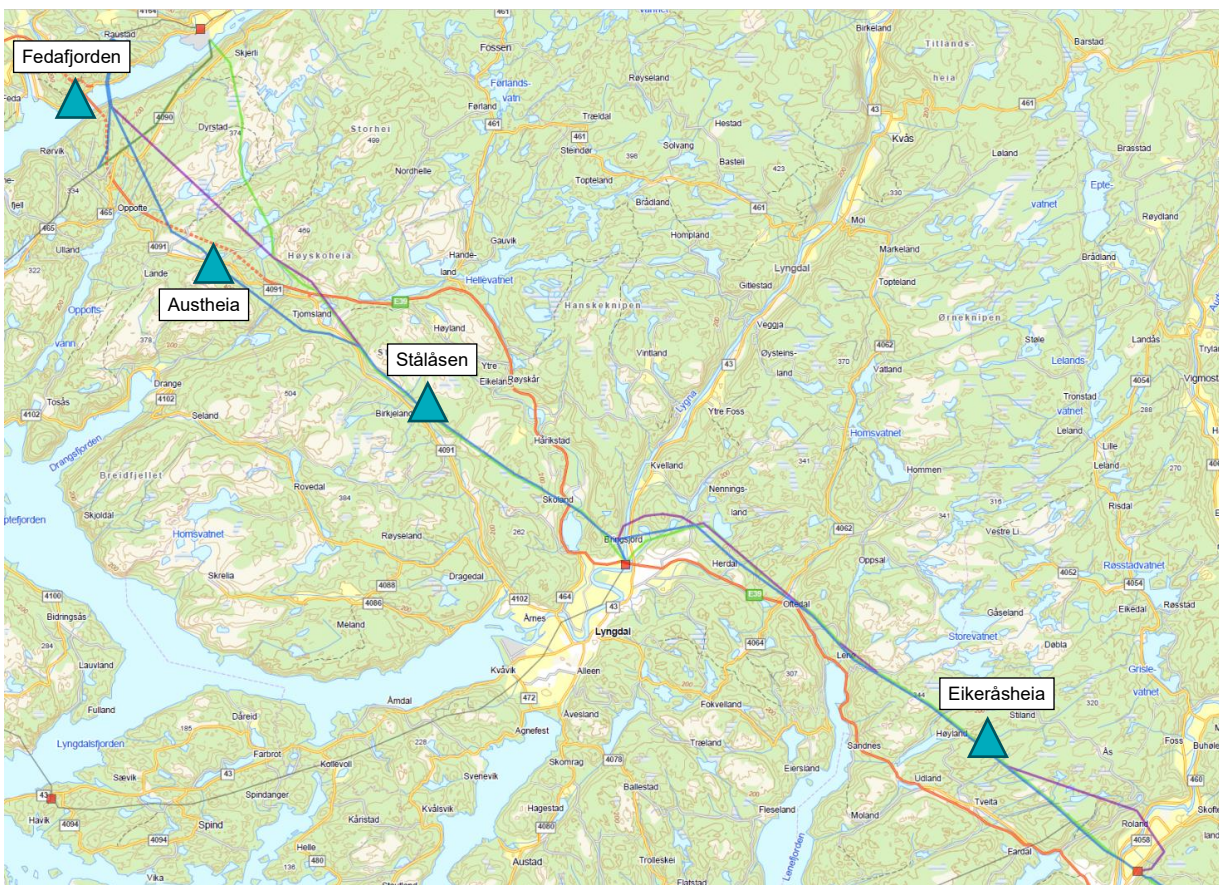
- **Trysfjorden:** representerer forhold i forbindelse med fjordkrysning.
- **Dølebu:** representerer høytliggende deler av nordlig traséalternativ (ca. 100 – 150 moh.) fra Leire til Mandal.
- **Valand:** representerer sørlig traséalternativ fra Leire til Mandal. Traséalternativet ligger i et lavere område, opp mot ca. 100 moh.
- **Skadberg:** representerer områdene for traséalternativer inn mot Mandal i høyde opp mot 150 moh.
- **Sjølingstad:** representerer området mellom Mandal og Vallemoen med terrenghøyde på ca. 150 moh. For deler av traséen som går opp mot 200 moh kan lastene være noe høyere enn presentert i denne rapporten.

Lokasjoner langs traséen Vallemoen – Kvinesdal:

- **Eikeråsheia:** representerer forhold for utsatte deler av traséen over Eikeråsheia. Terrenghøyden her er ca. 320 moh.
- **Stålåsen:** representerer høytliggende deler av området omkring Stålåsen med terrenghøyde på ca. 300 – 360 moh.
- **Austheia:** representerer høytliggende deler av området mellom Stålåsen og Feda med terrenghøyde på ca. 300 – 360 moh., noe mer eksponert enn ved Stålåsen. Det forventes at punktet potensielt kan representere både sørlig traséalternativ rett nord for Austheia og nordlig traséalternativ over Ålgersberga. For Ålgersberga kan lastene derimot avvike noe, spesielt med vind fra vest, og en områdespesifikk undersøkelse bør utføres dersom det nordlige alternativet vurderes.
- **Fedafjorden:** representerer området for fjordspennet over Fedafjorden.



Figur 1-1: Oversiktskart over traséalternativer for 132 kV kraftledning fra Leire til Vallemoen. Trekantene markerer modellpunkt benyttet i beregningene av klimalaster for de ulike områdene. Fra øst til vest: Trysfjorden, Dølebru, Valand, Skadberg og Sjølingstad.



Figur 1-2: Oversiktskart over traséalternativer for 132 kV kraftledning fra Vallemoen til Kvinesdal. Trekantene markerer modellpunkt benyttet i beregningene av klimalaster for de ulike områdene. Fra øst til vest: Eikeråsheia, Stålåsen, Austheia og Fedafjorden.

1.2 Data

Beregningene av is- og vindlaster er basert på meteorologiske data generert med en numerisk værmodell. Modellen som er benyttet er WRF (Weather Research and Forecasting model) og er beskrevet i Vedlegg A. Modelldataene er fordelt i et horisontalt gitter med oppløsning på 3 km x 3 km og tidsoppløsning på én time for perioden 1991 – 2021. Denne simuleringen benevnes WRF3km. Modelldata er hentet ut for representative punkter i områdene nær traseen. Dette datasettet er under utarbeidelse (i FoU-prosjektet Icebox¹) og per nå er 30 år tilgjengelig.

Data fra en WRF simulering med en høyere horisontal oppløsning (1 km x 1 km, heretter WRF1km) er tilgjengelig kun for 1 år (2005). Disse dataene er benyttet til å korrigere de lengre tidsseriene med 3 km oppløsning for å få vindhastighet og retning til å bli mer realistisk i forhold til terrenget i området. Modelldata er hentet ut for representative punkter langs traseen. Metodikken som benyttes for å korrigere vinddata mot WRF1km er beskrevet i Liléo et al. (2013).

1.3 Isberegning

1.3.1 Våtsnø og tørrsnø

Våtsnø forekommer ved snøfall ved temperaturer like over frysepunktet. I slike tilfeller vil snøflakene inneholde en viss mengde flytende vann, noe som gjør dem klebrige (kram snø) og får dem lett til å feste seg på et objekt. Isingsraten øker med økt vindhastighet, og for en kraftledning er det vinden på tvers av lineretningen som er avgjørende.

Akkumulasjon av våtsnø på en horisontal ledning kan modelleres basert på informasjon om nedbør, vind, temperatur og luftfuktighet. Akkumulasjonsmodellen benyttet her er beskrevet i detalj i Nygaard et al. (2013) og er kalibrert mot et stort antall målinger på Island. De nødvendige variablene er hentet ut som tidsserier fra WRF, og isingsraten i hvert tidspunkt bestemmes basert på de meteorologiske dataene.

Modellen inkluderer også følgende prosesser der våtsnø fjernes fra ledningen: Smelting, sublimasjon og «isfelling» - dvs. at snøen kan falle av ledningen dersom snøens tetthet er tilstrekkelig lav og vindhastigheten er tilstrekkelig høy.

Siden våtsnø kun forekommer under helt spesielle værforhold vil det til tross for en lengre tidsserie (30 år) være relativt få episoder å basere ekstremverdiregningen på. For å øke det statistiske grunnlaget er det utført beregninger med en ensemblemetodikk som består av en rekke modellkjøringer for samme modellpunkt der temperaturen blir endret med verdier varierende mellom -2 og 2 °C. For hver modellberegning for kortspenn endres temperaturen med 0.1°C, noe som resulterer i 40 modellkjøringer for hvert modellpunkt. Videre estimeres en 50-års våtsnølast for hver av de 40 modellkjøringene. Dimensjonerende våtsnølast for kortspenn baseres på medianen i denne fordelingen. Spredningen i fordelingen gir et bilde av usikkerheten, samt variasjonen med terreng høyden i området.

I noen tilfeller kan tørr snø dannes på kraftledningen dersom kraftledningen allerede er dekket av et lag med is (våtsnø). Slike tilfeller er typisk koblet til perioder med synkende temperaturer og lave vindhastigheter (<~5 m/s) etter perioder med våtsnø ising. Dette fenomenet er derfor mest fremtredende i områder med skog og områder med generelt lave vindhastigheter nærme bakken. Beregningene av tørr snø er basert på de følgende antagelsene:

- Kraftledningen er allerede dekket av et lag med våtsnø.
- Den generelle vindhastigheten er lavere enn 5 m/s.

Tørr snø faller enklere av kraftledningen enn våtsnø.

¹ <https://www.statnett.no/en/about-statnett/research-and-development/our-prioritised-projects/icebox/>

1.4 Vindberegninger

Ekstremvind fra WRF modellen blir beregnet med utgangspunkt i modellerte middelvindserier og formelverket gitt i vindstandarden for beregning av vindkast.

I vindberegningene er det ikke foretatt noen reduksjon av verken maksimalvind eller normalkomponent som følge av spennlengden. For normale spenn (med tilnærmet konstant høyde over bakken) må vindanalysen tolkes som en punktanalyse som er representativ for hele spennet.

1.5 Ekstremverdberegninger

1.5.1 Ising

Det benyttes en statistisk analyse for å bestemme ekstremverdiene i seriene av modellerte våtsnølaster fra WRF. Ekstremver dianalysen heter Peaks-Over-Threshold (POT) og går ut på å tilpasse hendelsene som overstiger en høy grense med en teoretisk sannsynlighetsfordeling. I POT analysen tilpasses overskridelsene en generalisert Pareto-fordeling. Straks fordelingen er tilpasset dataene på beste måte kan returperioder bestemmes, med tilhørende returverdier. Koden som er brukt for ekstremverdberegningen er dokumentert i Coles (2001).

Siden våtsnø opptrer svært sjeldent er det knyttet relativt stor usikkerhet til beregning av 50-års returverdier, selv med en 25 års dataserie. Å gjøre 40 uavhengige våtsnøberegninger for et modellpunkt ved å justere temperaturen innenfor små intervaller, slik beskrevet under kapittel 2.4.1, bidrar til å redusere usikkerheten i ekstremverdiestimaten.

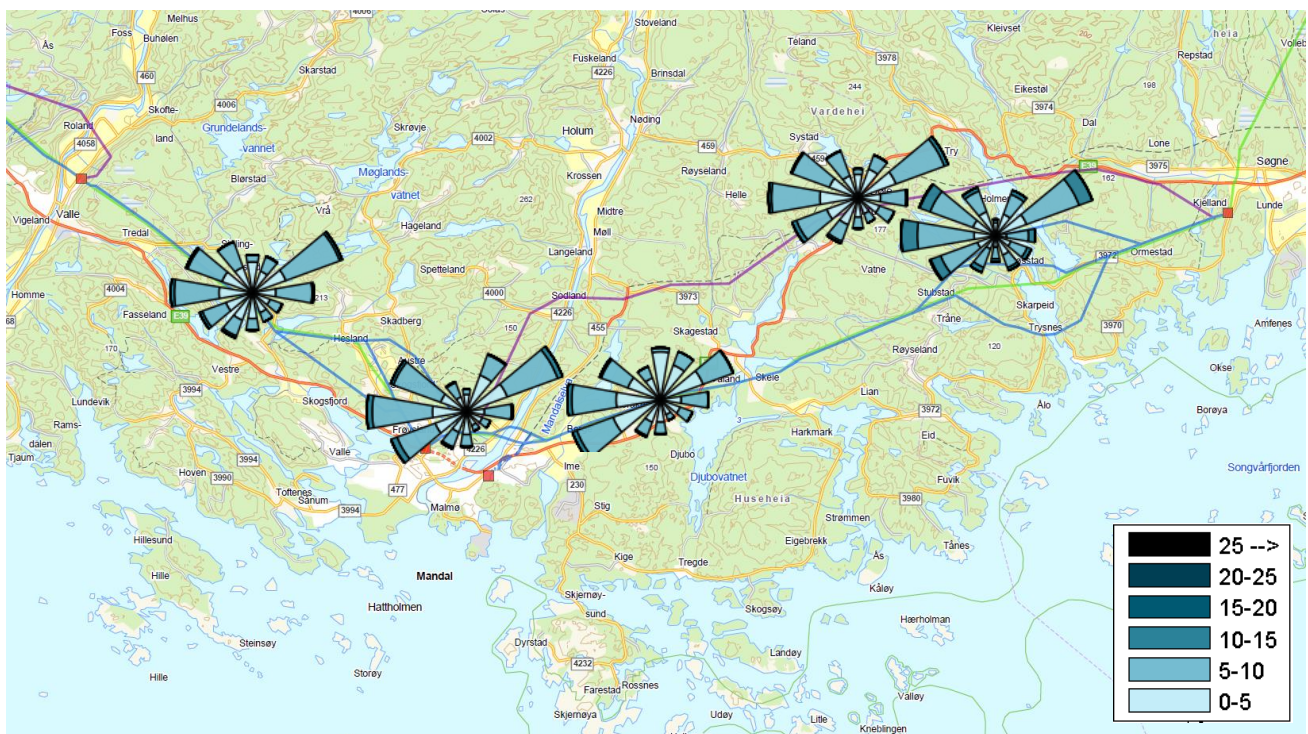
1.5.2 Vind

De korrigerte dataseriene er framkommet gjennom en kvantilregresjon mellom vinden i WRF 1km og WRF 3km, og en ekstremvindanalyse gjennomføres på disse dataene. Det er benyttet Gumbel–Liebleins metodikk (Gumbel 1958) (Lieblein 1976) (Harris 1996), som er en anerkjent metode for beregning av ekstremvind. Metodikken benytter årsmaksima av vindhastighet og forutsetter dataserier på minst 20 år. Dataserien benyttet her har lengde på 30 år.

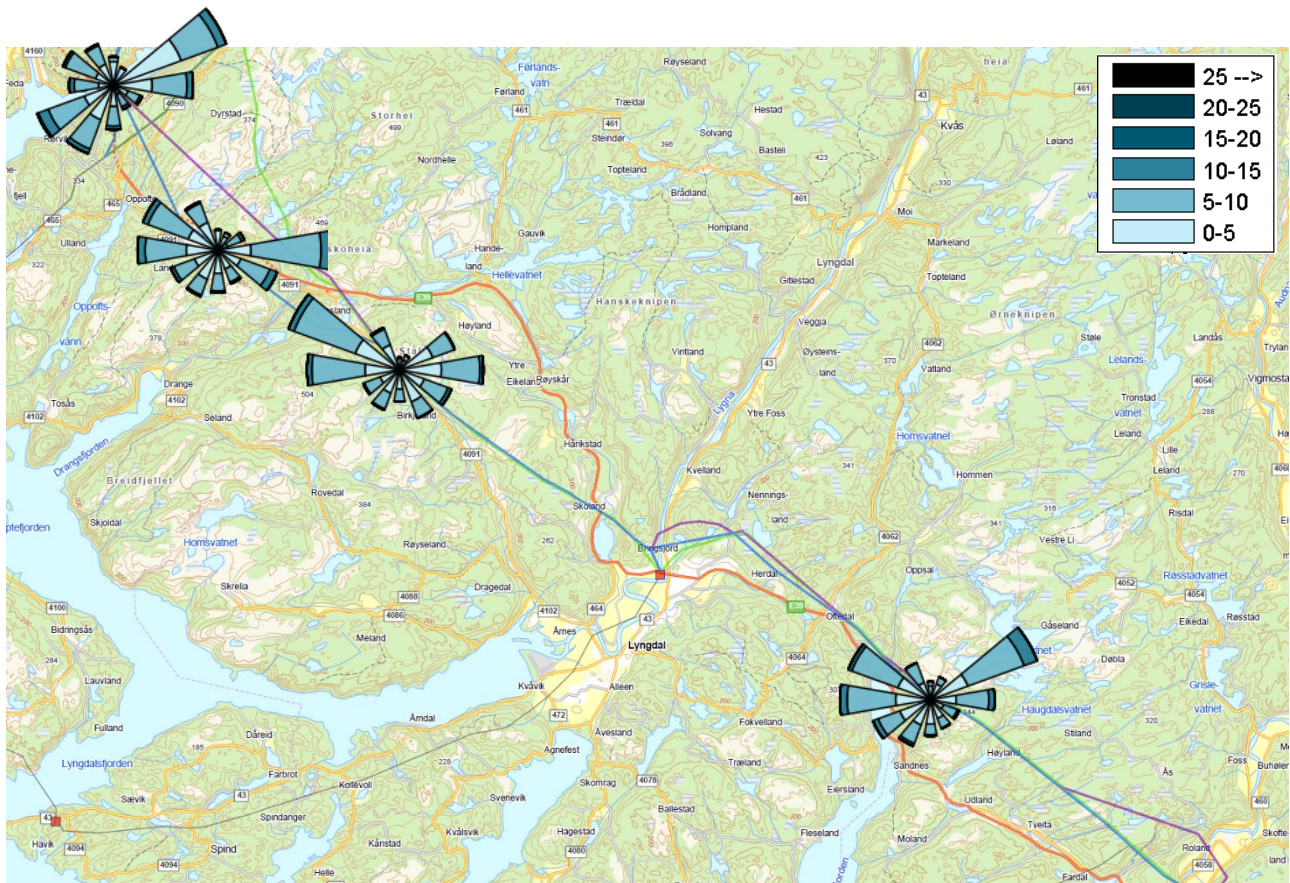
2 Beregning av klimalaster

2.1 Middelvind

Figur 2-1 viser beregnede vindroser i 10 m over bakken for områdene. Vindrosene er basert på WRF3km (vindkorrigert mot WRF1km) og gjelder for perioden 1991 – 2021. Det er relativt liten variasjon i fordelingen av vindretninger og vindhastigheter mellom de ulike områdene. Det er generelt lite vind fra nordlige og sørlige retninger. Dominerende vindretninger følger i stor grad kystlinjen, som stort sett gir vestlig og nordøstlig vindretninger for områdene øst for Vallemoen, og vest for Vallemoen er dominerende vindretninger stort sett nordvest og øst. Fedafjorden er et unntak, hvor vinden stort sett følger fjordens retning, altså nordøst og sørvest.



Figur 2-1: Beregnede vindroser i 10 m høyde over bakken fra Leire til Vallemoen for perioden 1991 – 2021, basert på WRF3km data vindkorrigert mot WRF1km. Fargekoden på vindrosene viser vindhastighet som 10 min middelvind (m/s). Lengden på hver sektorstolpe indikerer andelen av tiden med vind fra gitt retning. Fra øst til vest: Trysfjorden, Dølebru, Valand, Skadberg og Sjølingstad. For Trysfjorden er vindrosen for 50 m høyde.



Figur 2-2: Beregnede vindroser i 10 m høyde over bakken fra Vallemoen til Kvinesdal for perioden 1991 – 2021, basert på WRF3km data vindkorrigert mot WRF1km. Fargekoden på vindrosene viser vindhastighet som 10 min middelvind (m/s). Lengden på hver sektorstolpe indikerer andelen av tiden med vind fra gitt retning. Fra øst til vest: Eikeråsheia, Stålsåsen, Austheia og Fedafjorden. For Fedafjorden er vindrosen for 50 m høyde.

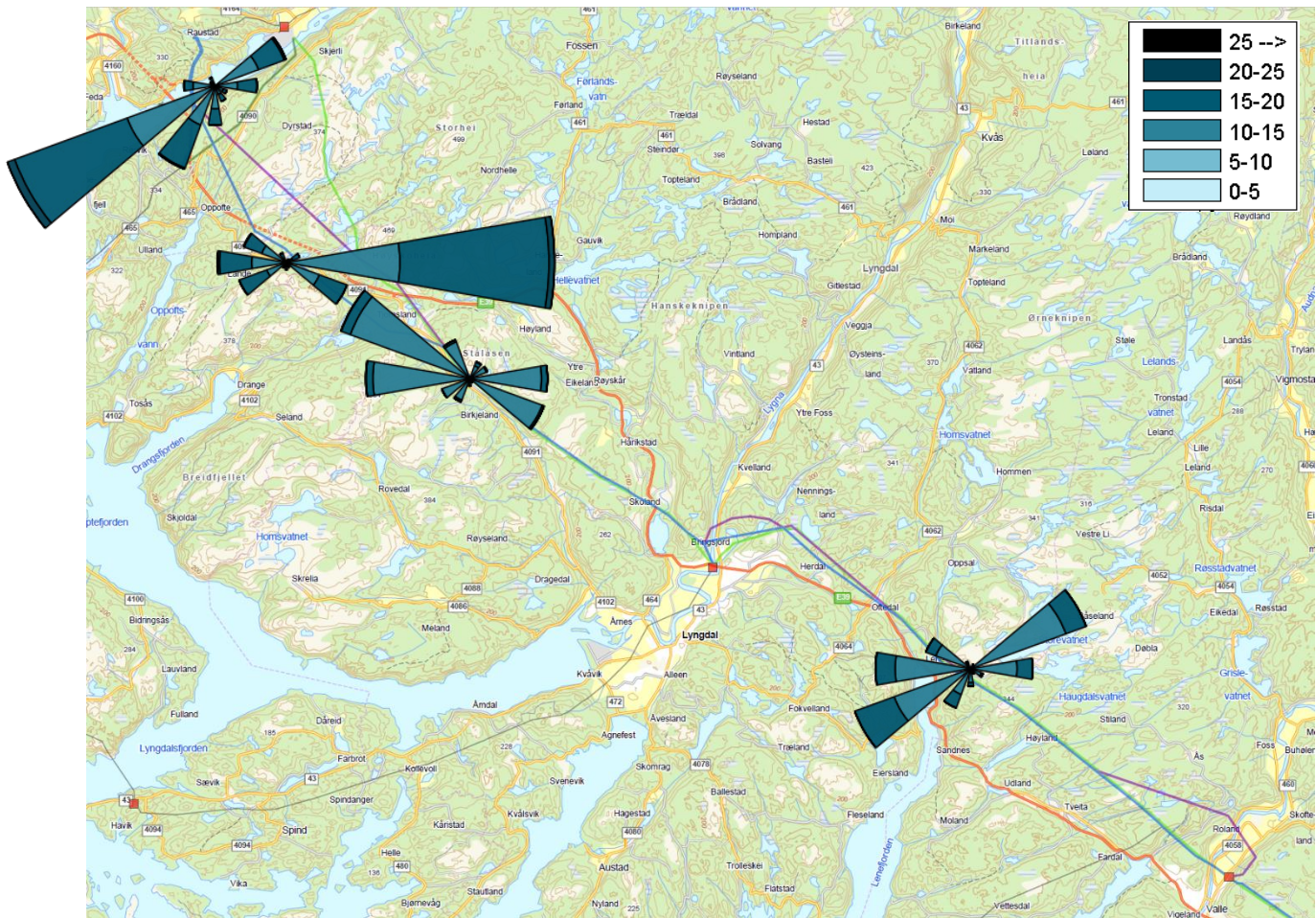
2.2 Ekstremvind

For å beskrive fordelingen av de sterkeste vindene for hvert område er det gjort en analyse av vindhastighetene for 10-min middelvind som overstiger 99-persentilen i vindhastighetsfordelingen. 99-persentil vindhastighet er den vindhastigheten som overskrides i 1 % av tiden i modelldataserien. Figur 2-3 viser at de sterkeste vindene fordeles i flere sektorer, og varierer betydelig mellom de ulike modellpunktene. Det er få tilfeller av høy vindhastighet fra nord og rett fra sør, mens både vestlige og østlige sektorer er hyppigere representert. Lokalt varierer vindretningen som følge av terrengeffekter, noe som forklarer forskjellen mellom de ulike punktene.

Tabell 2-1 (Leire til Vallemoen) og Tabell 2-2 (Vallemoen til Kvinesdal) angir 99-persentil vindhastighet samt 50-års ekstremverdi av 10 min middelvind og vindkast. for de ulike modellpunktene. 50-års verdi for 10-min middelvind varierer mellom 22 og 27 m/s, noe som tilsvarer liten storm til full storm på Beauforts vindskala. Tilhørende beregninger for vindkast varierer mellom 38 og 43 m/s. Som følge av lokale variasjoner langs traseene forventes det at vindkastene varierer mellom ca. 35 og 45 m/s. Tabell 2-3 (Leire til Vallemoen) og Tabell 2-4 (Vallemoen til Kvinesdal) viser beregnet ekstremverdi for vindkast som retningsuavhengig verdi samt dekomponert som normalkomponent på ledninger i ulike retninger.



Figur 2-3: Beregnede 99-persentil-vindroser i 10 m høyde over bakken fra Leire til Vallemoen for perioden 1991 – 2021 basert på WRF3km data vindkorrigert mot WRF1km. Fargekoden på vindrosene viser vindhastighet som 10 min middelvind (m/s) større enn 99-persentil vindhastighet for punktet. Lengden på hver sektorstolpe indikerer andelen av tiden med vind fra gitt retning. Fra øst til vest: Trysfjorden, Dølebru, Valand, Skadberg og Sjølingstad. For Trysfjorden er vindrosen for 50 m høyde.



Figur 2-4: Beregnede 99-persentil-vindroser i 10 m høyde over bakken fra Vallemoen til Kvinesdal for perioden 1991 – 2021 basert på WRF3km data vindkorrigert mot WRF1km. Fargekoden på vindrosene viser vindhastighet som 10 min middelvind (m/s) større enn 99-persentil vindhastighet for punktet. Lengden på hver sektorstolpe indikerer andelen av tiden med vind fra gitt retning. Fra øst til vest: Eikeråsheia, Stålåsen, Austheia og Fedafjorden. For Fedafjorden er vindrosen for 50 m høyde.

Tabell 2-1: Vindhastighet (10-min middelvind) hvor 99 % av tilfellene har lavere hastighet (99-persentil) for hvert av områdene fra Leire til Vallemoen.

Område	Trysfjorden	Dølebru	Valand	Skadberg	Sjølingstad
99-persentil [m/s]	14.5	11.7	11.4	12.2	11.4
50-års verdi for middelvind	27.0	22.3	22.6	24.7	22.4
50-års verdi for vindkast	42.8	38.2	39.1	42.2	38.6

Tabell 2-2: Vindhastighet (10-min middelvind) hvor 99 % av tilfellene har lavere hastighet (99-persentil) for hvert av områdene fra Vallemoen til Kvinesdal.

Område	Eikeråsheia	Stålåsen	Austheia	Fedafjorden
99-persentil [m/s]	13.0	11.9	14.0	13.7
50-års verdi for middelvind	24.3	23.7	26.4	26.8
50-års verdi for vindkast	40.0	41.4	43.1	40.8

Tabell 2-3: Ekstremverdi for vindkast beregnet i 10 m høyde over bakken med 50 års returperiode.

Ledningsretning	Trysfjorden	Dølebru	Valand	Skadberg	Sjølingstad
N-S (0°)	38.7	33.8	34.5	36.0	34.0
NØ-SV (45°)	40.4	34.4	36.1	40.1	35.3
Ø-V (90°)	35.5	32.4	31.1	31.3	32.8
NV-SØ (135°)	38.6	35.3	36.6	37.6	34.7
Retningsuavhengig	42.8	38.2	39.1	42.2	38.6

Tabell 2-4: Ekstremverdi for vindkast beregnet i 10 m høyde over bakken med 50 års returperiode.

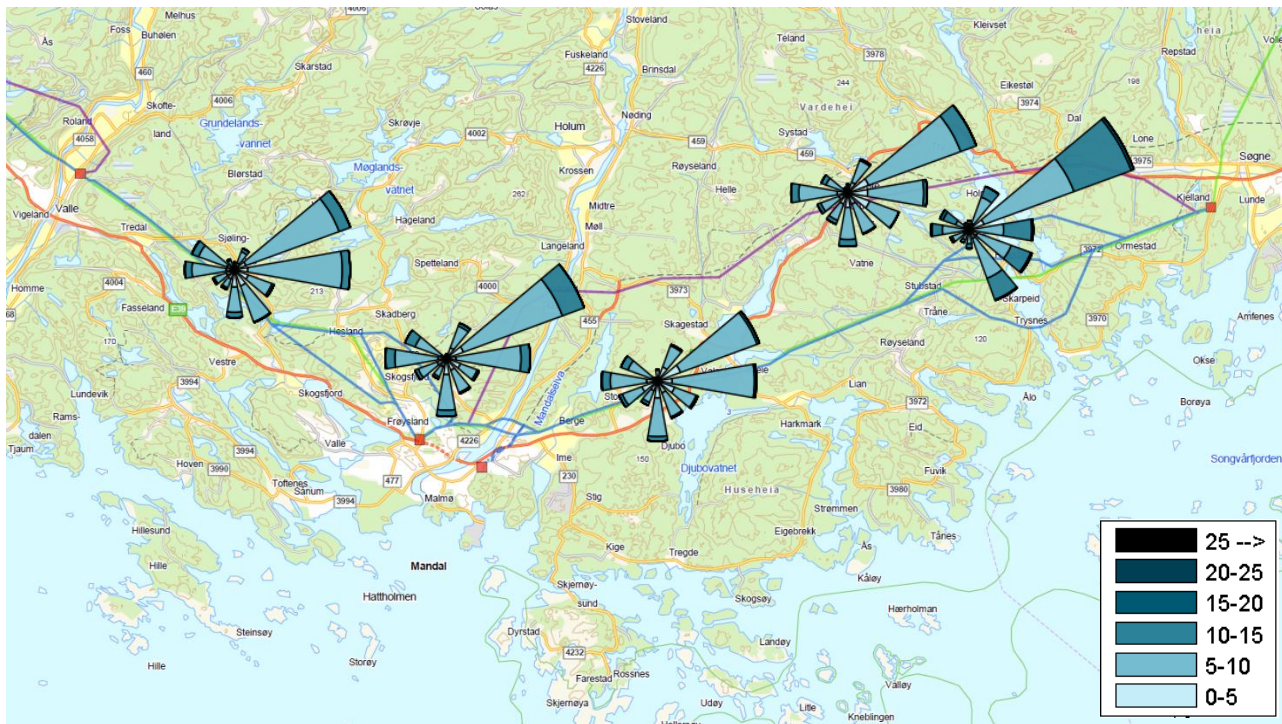
Ledningsretning	Eikeråsheia	Stålåsen	Austheia	Fedafjorden
N-S (0°)	35.5	35.6	40.1	36.9
NØ-SV (45°)	33.2	35.8	36.5	31.8
Ø-V (90°)	32.9	34.7	31.6	32.8
NV-SØ (135°)	37.8	35.7	38.1	40.3
Retningsuavhengig	40.0	41.4	43.1	40.8

2.3 Islaster (våt- og tørrsnø)

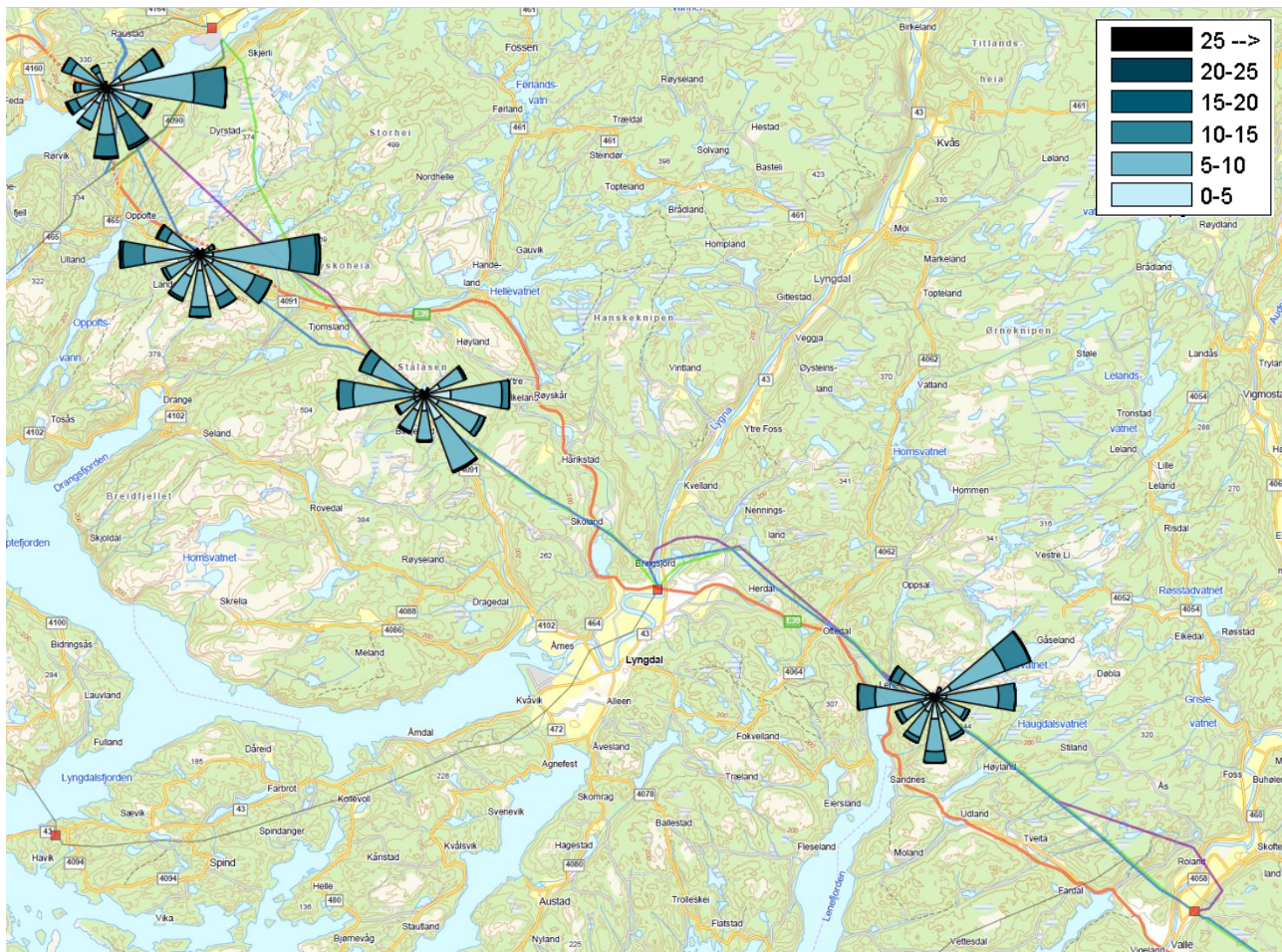
Alle traséalternativene ligger tilstrekkelig lavt terrenget til å unngå skyising (tåkerim) av betydning. Islaster vil hovedsakelig være forårsaket av våt snø som akkumuleres på linene i tilfeller med mye nedbør omkring 0°C. Dersom temperaturen faller i etterkant av en våtsnøepisode kan snøbelegget fryse til og islasten kan øke ytterligere som følge av tørr snø som akkumuleres ved lave vindhastigheter. Dette vil typisk kunne forekomme i skogsterreng der ledningen fremføres i en ryddegate i høy skog.

Figur 2-5 (Leire til Vallemoen) og Figur 2-6 (Vallemoen til Kvinesdal) viser vindroser basert på tidspunkter med isingsintensitet for våtsnø høyere enn 0.01 kg/m pr. time for hvert av punktene. Vindretningen under isingsforhold er en viktig faktor i beregning av dimensjonerende laster, da ising ved vind parallelt med ledningene vil føre til langt lavere islast enn ved vind på tvers. For Leire til Vallemoen viser vindrosene at for det hyppigst forekommer våtsnø ved vind fra nordøst til øst. For Trysfjorden forekommer det også våtsnø ved vind fra sørøst. For Vallemoen til Kvinesdal er det større spredning i vindretningene, og generelt sett forekommer våtsnø sjeldnere fra nord enn fra resterende vindretninger.

Tabell 2-5 (Leire til Vallemoen) og Tabell 2-6 (Vallemoen til Kvinesdal) gir beregnede islaster for ulike ledningsretninger og de ulike modellpunktene. Som følge av lokale variasjoner langs traseene forventes det at islastene varierer noe mer enn verdiene i tabellen. Generelt for traseene forventes det islaster mellom 2 og 5 kg/m som 50-års verdi. Disse verdiene samsvarer med referanseverdiene for vårsnølast i NEK445-NNA hvor det for Telemark og Agder er oppgitt 3.5 kg/m fra 0 til 200 moh. og 5.0 kg/m fra 200 til 400 moh.



Figur 2-5: Beregnede vindroser i 10 m høyde over bakken fra Leire til Vallemoen for tidspunkter med isingsintensitet høyere enn 0.01 kg/m pr. time for våtsnø. Vindrosene er basert på WRF3km-data korrigert mot WRF1km. Fargekoden på vindrosene viser vindhastighet som 10 min middelvind (m/s). Lengden på hver sektorstolpe indikerer andelen av tiden med vind fra gitt retning. Fra øst til vest: Trysfjorden, Dølebru, Valand, Skadberg og Sjølingstad. For Trysfjorden er vindrosen for 50 m høyde.



Figur 2-6: Beregnede vindroser i 10 m høyde over bakken fra Vallemoen til Kvinesdal for tidspunkter med isingsintensitet høyere enn 0.01 kg/m pr. time for våtsnø. Vindrosene er basert på WRF3km-data korrigert mot WRF1km. Fargekoden på vindrosene viser vindhastighet som 10 min middelvind (m/s). Lengden på hver sektorstolpe indikerer andelen av tiden med vind fra gitt retning. Fra øst til vest: Eikeråsheia, Stålåsen, Austheia og Fedafjorden. For Fedafjorden er vindrosen for 50 m høyde.

Tabell 2-5: Snølaster beregnet i 10 m høyde over bakken med 50 års returperiode.

Ledningsretning	Trysfjorden	Dølebru	Valand	Skadberg	Sjølingstad
N-S (0°)	3.5	3.7	3.2	3.4	3.4
NØ-SV (45°)	1.9	2.6	2.7	2.3	2.4
Ø-V (90°)	0.7	2.1	1.5	1.5	1.5
NV-SØ (135°)	2.4	1.9	2.6	3.0	3.0
Retningsuavhengig	3.7	3.9	3.9	4.1	4.0

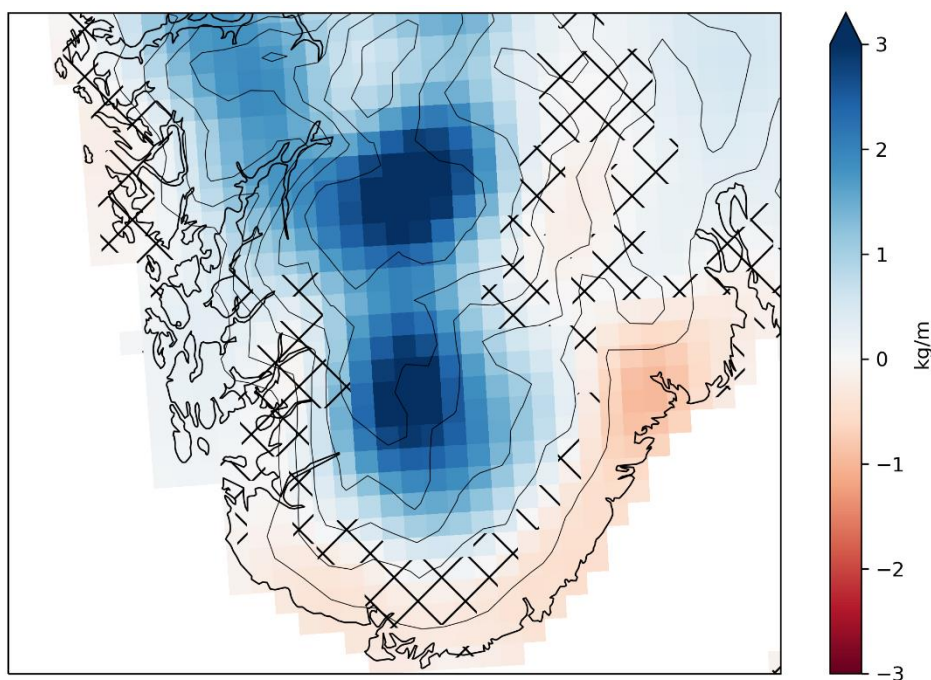
Tabell 2-6: Snølaster beregnet i 10 m høyde over bakken med 50 års returperiode.

Ledningsretning	Eikeråsheia	Stålåsen	Austheia	Fedafjorden
N-S (0°)	2.4	3.3	2.9	3.8
NØ-SV (45°)	2.8	2.6	2.7	3.6
Ø-V (90°)	5.1	1.0	1.4	3.9
NV-SØ (135°)	4.1	1.3	1.6	2.9
Retningsuavhengig	4.0	3.8	3.6	5.1

2.4 Laster i fremtidsklima

Projeksjoner av fremtidsklima for Norge er vurdert fra ulike kilder. Klimaprofil for hvert fylke i Norge er tilgjengelig fra Norsk klimaservicesenter², og beskriver en forventet økning i både nedbør og temperatur i dette område. Islaster som følge av skyising eller våtsnø er ikke omtalt. En kan allikevel gjøre følgende betraktninger. Økt temperatur gir oftere varmegrader vinterstid og en større andel av nedbøren vil falle som regn. Samtidig vil økte nedbørsmengder kunne føre til at enkelte vær-situasjoner med store snøfall kan forsterkes ytterligere. Ekstremverdi for ising fra våt snø er derfor gjenstand for en balanse mellom endring i to drivende variabler, som bidrar med ulikt fortegn. Effekten forsøkes nå å kvantifiseres gjennom et pågående PhD studium ved Universitetet i Oslo, som en del av forskningsprosjektet Icebox³ som ledes av Statnett SF. Figur 2-7 og Figur 2-8 viser foreløpige resultater for periodene 2050-2074 og 2075-2100, og indikerer følgende:

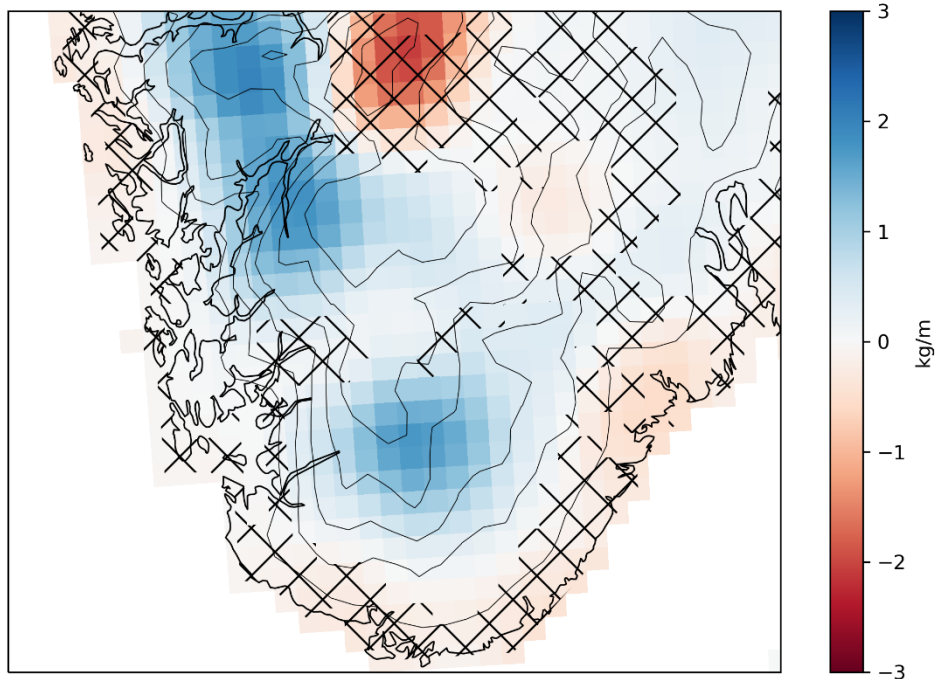
- Islastene kan på kort sikt øke noe enkelte steder som følge av økt nedbør, men at temperatureffekten raskt vil dominere, særlig nær kysten der vinterklimaet allerede er relativt mildt.
- Enkelte steder i innlandet og i fjellet er det indikasjon på en økning i islaster også for de lengste tidshorisontene i klimamodellene (frem mot år 2100).
- For det aktuelle området drøftet i denne rapporten er endringene relativt små sammenliknet med den naturlige variasjonen i den historiske tidsperioden, og sammenliknet med usikkerheten i beregningene. Det er indikert en mulig svak nedgang i våtsnølaster for området.
- Basert på informasjonen som er tilgjengelig i dag vil det ikke være grunnlag for å endre dimensjoneringsgrunnlaget for nye ledninger i dette området.



Figur 2-7: Endring i 10-års verdier for våtsnø basert på perioden 2050 til 2074 sammenliknet med historisk periode fra 1990 til 2014. For områder skravert med sorte streker er endringen for liten til å kunne fastslås (ikke signifikant). Figuren viser at det for denne perioden kan forventes en svak nedgang i våtsnø-laster for det aktuelle området.

² <https://klimaservicesenter.no/kss/klimaprofiler/agder>

³ <https://www.statnett.no/en/about-statnett/innovation-and-technology-development/our-prioritised-projects/icebox/>



Figur 2-8: Endring 10-års verdier for våtsnø basert på perioden 2075 til 2100 sammenlignet med historisk periode fra 1990 til 2014. For områder skravert med sorte streker er endringen for liten til å kunne fastslås (ikke signifikant). Figuren viser at det for denne perioden ikke kan fastslås endring i våtsnø-laster for det aktuelle området.

For ekstremvind er det ingen signifikant trend i klimamodellene for dette området. For enkelte modeller er det en svak negativ trend i middelvind, men for ekstremvind er det sprikende resultater, og ikke noe som gir grunnlag for å endre dimensjonerende vindhastigheter.

Referanser

- Bjørn Egil Kringlebotn Nygaard, Hálfðán Ágústsson, Katalin Somfalvi-Tóth. 2013. *Modeling Wet Snow Accretion on Power Lines: Improvement to Previous Methods Using 50 Years of Observations*. Journal of Applied Meteorology and Climatology.
- Bredesen, R. E., and H. Refsum. 2015. "Methods for evaluating risk caused by ice throw and ice fall from wind turbines and other tall structures." *In IWAIS conference*.
- Coles, Stuart. 2001. *An introduction to statistical modeling for extreme values*. Springer.
- EN 1991-1:2005+NA. 2009. *Eurocode 1: Lastert på konstruksjoner*. Standard Norge.
- Gumbel, E. 1958. *Statistics of extremes*. Columbia University Press.
- Harris, R. I. 1996. "Gumbel re-visited-a new look at extreme value statistics applied to wind speeds." *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 59(1), 1-22.
- ISO 12494/TC98/SC3/WG6. 2000. *Atmospheric icing of structures*. International Standard.
- Lieblein, J. 1976. *Efficient methods of extreme-value methodology*. National Bureau of Standards, NEA-CSNI-R.
- Liléo, S., Eirik Berge, Ove Undheim, Richard Klinkert, and Rolv E. Bredesen. 2013. *Long-term correction of wind measurements. State-of-the-art, guidelines and future work*. Elforsk 13:18.
- Nygaard, Bjørn Egil Kringlebotn, Hálfðán Ágústsson, and Katalin Somfalvi-Tóth. 2013. *Modeling wet snow accretion on power lines: Improvements to previous methods using 50 years of observations*. Journal of Applied Meteorology and Climatology.

Vedlegg A: Beskrivelse av WRF-modellen

Meso-Scale Model WRF

The Weather Research and Forecast (WRF) model is a state-of-the-art meso-scale numerical weather prediction system, aiming at both operational forecasting and atmospheric research needs. A description of the modelling system can be found at the home page <http://www.wrfmodel.org/>. The model version used in this work is v4.1.2 described in Skamarock et al. (2008)⁴. Details about the modelling structure, numerical routines and physical packages available can be found in for example Klemp et al. (2000)⁵ and Michalakes et al. (2001)⁶. The development of the WRF-model is supported by a strong scientific and administrative community in U.S.A. The number of users is large, and it is growing rapidly at an international level. In addition, the code is freely accessible for the public.

The meso-scale model WRF solves coupled equations for all important physical processes (such as winds, temperatures, stability, clouds, radiation etc.) in the atmosphere based on the initial fields and the lateral boundary values derived from the global data.

Input Data

The most important input data are geographical- and meteorological data. The geographical data is from the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). The data includes topography, surface data, albedo and vegetation. These parameters have high influence for the wind speed in the layers close to the ground. For the entire domain except for Sweden and Norway, the model uses land use data input from NOAA. The land use data for Sweden is retrieved from the Geografiska Sverigedata (GSD)-Land Cover which is classified in accordance with the European Union's CORINE Land Cover mapping project⁷. For Norway, the model input uses the N50 land use data provided by the Norwegian Mapping Authority⁸.

For the solving of the model equations, boundary conditions of the area are required. Such lateral boundary data is available from the National Center for Environmental Protection (NCEP). The data originates from the Final Global Data Assimilation System (FNL)⁹ and is available as global data with 1 degree resolution every 6 hours. FNL is an operational assimilation model that incorporates all available observation data globally, and uses this data to create a global analysis dataset, or a snapshot of the atmosphere, four times every day. The assimilation model incorporates data from several thousand ground based observation stations, vertical profiles from radiosondes, aircrafts, and satellites.

Similar lateral boundary data is also available from the European Centre for Medium range Weather Forecasting (ECMWF). The reanalysis data ERA Interim^{10,11} is available with a spatial resolution of approximately 0.7 degrees globally. Data is available every 6 hours. The ERA interim dataset does also assimilate observational data. For weather forecasting the datasets from ECMWF is usually accepted to have higher quality compared to NCEP datasets, in particular for the European region. Furthermore, the

⁴ Skamarock WC, Klemp JB, Dudhia J, Gill DO, Barker DM, Duda MG, Huang X-Y, Wang W. and Powers JG, 2008: A Description of the Advanced Research WRF Version 3, NCAR Technical Note NCAR/TN-475+STR, Boulder, June 2008

⁵ Klemp JB., Skamarock WC. and Dudhia J., 2000: Conservative split-explicit time integration methods for the compressible non-hydrostatic equations (<http://www.wrf-model.org/>)

⁶ Michalakes J., Chen S., Dudhia J., Hart L., Klemp J., Middlecoff J., and Skamarock W., 2001: Development of a Next Generation Regional Weather Research and Forecast Model. Developments in Teracomputing: Proceedings of the Ninth ECMWF Workshop on the Use of High Performance Computing in Meteorology. Eds. Walter Zwiefelhofer and Norbert Kreitz. World Scientific, Singapore.

⁷ <http://www.eea.europa.eu/publications/COR0-landcover>

⁸ http://www.kartverket.no/eng/Norwegian_Mapping_Authority/

⁹ <http://www.emc.ncep.noaa.gov/gmb/para/parabout.html>

¹⁰ Dee, D. P., et al. (2011), The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. Q.J.R. Meteorol. Soc., 137: 553–597. doi: 10.1002/qj.828

¹¹ <http://www.ecmwf.int/research/era/do/get/era-interim>

ECMWF have also released a new global reanalysis dataset (ERA5¹²) with higher spatial and temporal resolution compared to the ERA-Interim dataset (30 km and 3 hours. respectively).

Model Setup

The course model setup used in this analysis is shown in Figure B-1. left. The dataset is currently covering the period between September 1995 and September 2020. The model has been set up with 2 nested domains. The horizontal resolution of the inner domain is 3 km x 3 km.

The ECMWF–ERA5 dataset is used as input for the 3 km simulations. The simulation has 32 layers in the vertical with four layers in the lower 200 m. We have used the Thompson microphysics scheme (aerosol-aware) and the MYNN scheme for boundary layer mixing.

With the current setup. the WRF-model calculates the change in the meteorological fields for each grid-cell for a time steps of 90 seconds (outer domain) and 18 seconds (innermost domain). In this way a realistic temporal development of the meteorological variables is achieved. Data is stored to disk every 1 hours of simulation.

The fine model setup used in this analysis is shown in Figure A-1, right. The model has been set up with 3-step nesting down to 1 km for the finest scale domains. The ECMWF–ERA Interim dataset is used as input, and the MYJ scheme is used for boundary layer mixing.

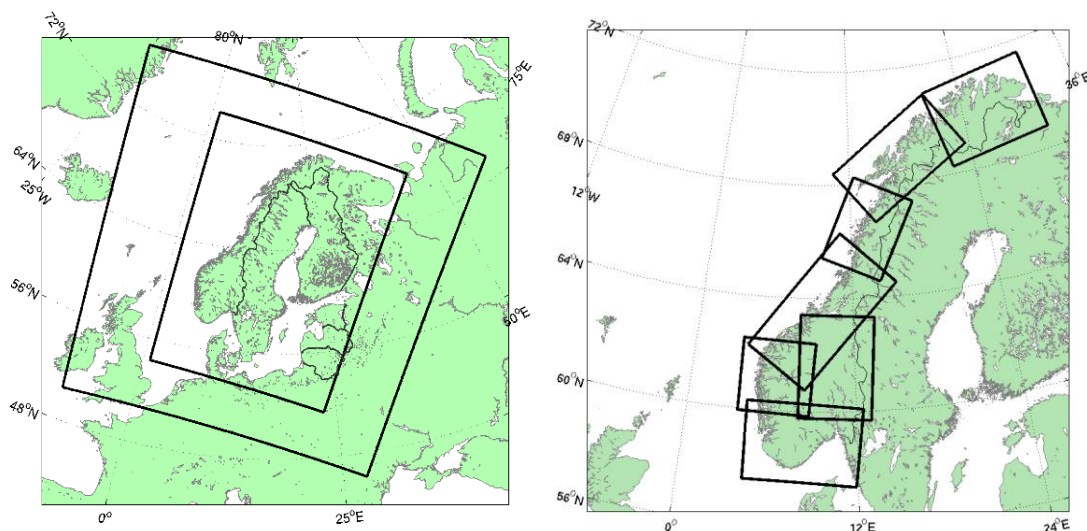


Figure A-1: Model domain set up for: Left: WRF3km. Right: Available WRF1km domains.

¹² <https://www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets/reanalysis-datasets/era5>