



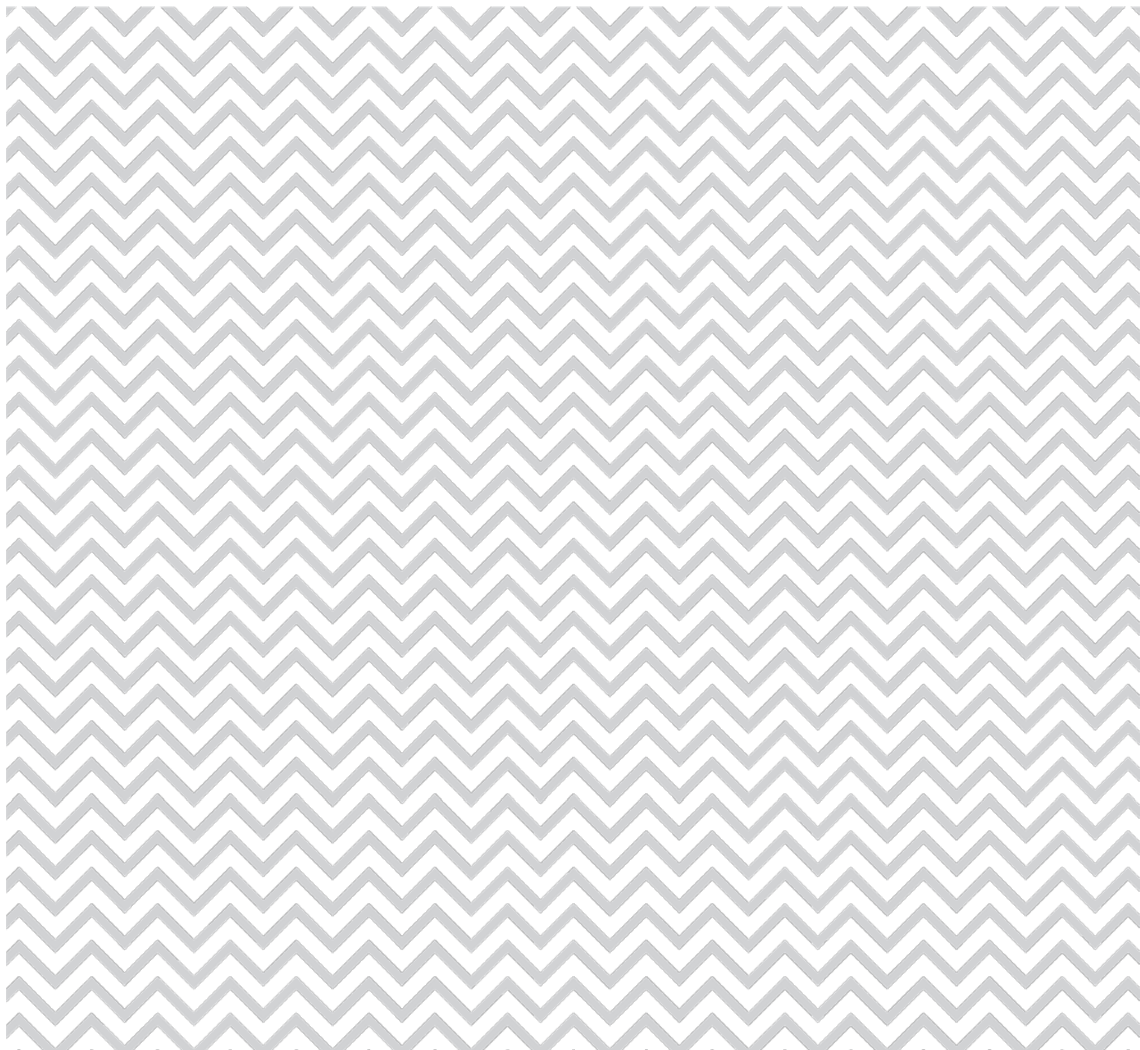
Norwegian
Meteorological
Institute

MET report

no. 6/2014
Climate

Klimalaster for 420 kV Lyse-Stølaheia

Helga Therese Tilley Tajet
Karianne Ødemark
Bjørn Egil K. Nygaard (Kjeller Vindteknikk AS)





Norwegian
Meteorological
Institute

MET report

Title: Klimalaster for 420 kV Lyse-Stølaheia	Date 2014-03-14
Section: Klimatjenesteavdelingen	Report no. no. 6/2014
Author(s): Helga Therese Tilley Tajet Karianne Ødemark Bjørn Egil K. Nygaard (Kjeller Vindteknikk AS)	Classification <input checked="" type="radio"/> Free <input type="radio"/> Restricted
Client(s): Statnett	Client's reference 26183
Abstract <p>Denne rapporten omfatter en analyse av isings- og vindforhold i området hvor traseen 420 kV Lyse-Stølaheia ligger. Kjeller Vindteknikk (KVT) har utarbeidet modellanalyser for området, gitt i vedlegg 1. Første del av rapporten tar for seg værstatistikk i området, samt gir en sammenligning av observasjoner og modelldata. Det er angitt klimalaster for traseen hvor lastene er gitt i tabell med 150-års og 50-års returperiode for hhv is- og vindlastene.</p>	
Keywords Klimalast, vindlast, islast, våtsnø, kraftledning, WRF	

Disciplinary signature

Responsible signature

Meteorologisk institutt
Meteorological Institute
Org.no 971274042
post@met.no

Oslo
P.O. Box 43 Blindern
0313 Oslo, Norway
T. +47 22 96 30 00

Bergen
Allégaten 70
5007 Bergen, Norway
T. +47 55 23 66 00

Tromsø
P.O. Box 6314
9293 Tromsø, Norway
T. +47 77 62 13 00

www.met.no

Innhold

Innhold	7
1 Innledning	8
2 Vind- og islaster	10
2.1 Værstatistikk	10
2.2 Klimalaster	11
3 Verifisering/sammenstilling av modelldata	13
3.1 Temperatur	13
3.1.1 Lysebotn	13
3.1.2 Blåsjø	15
3.1.3 Sola	17
3.2 Vind	20
3.2.1 Blåsjø	20
3.2.2 Sola	21
3.3 Sluttkommentar til verifiseringen	23
Vedlegg 1: Kjeller Vindteknikk (KVT) Rapport: «420 kV Lyse – Stølaheia Estimering av klimalaster» (KVT/BEN/2014/R024)	24

1 Innledning

Denne rapporten gir en analyse av isings- og vindforhold i området hvor traseen 420 kV Lyse-Stølaheia ligger. Oppdraget er gitt av Statnett etter innkjøpsordre 26183 datert den 14. februar 2014. Trase og mastepunkter er tatt utgangspunkt i de mottatt som shape-filer 28. februar 2014. Traseen starter i Lysebotn i Forsand kommune, går videre gjennom Sandnes kommune og endepunkt er i Stavanger kommune, se Figur 1.

Rapporten inneholder:

- 1) Analyse av værdata fra relevante værstasjoner, og en sammenstilling av resultatene med informasjon som modellanalysene gir for å validere modellresultatene.
- 2) Sammenstilling av KVTs rapport med modellresultatene, gitt som vedlegg 1.

Da usikkerheten i klimalaster kan være stor, særlig for områder med store terrengvariasjoner og hvor det er få observasjoner tilgjengelig, eller observasjonene ikke har lange nok tidsserier, er det svært verdifullt å støtte seg til analyser gjort med værvarslingsmodeller. Vedlegg 1 av denne rapporten tar for seg analyser gjort for området med værvarslingsmodellen WRF, utarbeidet av Kjeller Vindteknikk (KVT). Vedlegg 1 beskriver modellert is- og vindforhold i området rundt 420 kV ledningen fra Lysebotn til Stølaheia. Vedlegget tar både for seg klimastatistikk for området, gitt fra et 6 km WFR-arkiv, samt mer detaljerte studier med finskala modellering av 5 utvalgte ekstremhendelser for skyising.

Innledningsvis i rapporten er observerte værdata fra området nærmest traseen beskrevet. Observasjonene er også brukt til å sammenligne verdier fra værmodellen for de forskjellige hendelsene (der observasjoner var tilgjengelig), som en validering av modellen.



Figur 1: Oversiktsbilde av traseen med mastepunkter fra Lysebotn (t.h.) til Stølaheia (endepunkt t.v.).

2 Vind- og islaster

Klimalaster for ny 420 kV ledning fra Lysebotn til Stølaheia er utarbeidet av KVT i samarbeid med MET. Lastene er i stor grad basert på modellanalysen beskrevet i vedlegg 1, samt etter valideringen av modellen beskrevet i kapittel 3 i denne delen. Klimalastene er gitt i tabell 8 og 9 i vedlegg 1, i tillegg er de gjengitt her, i tabell 3 og 4.

2.1 Værstatistikk

Mengden ising på grunn av våtsnø kan til en viss grad relateres til maksimal døggnedbør, i form av sludd eller snø, målt ved nærmeste værstasjoner vinterstid. Tabell 1 angir returperioder for døggnedbør ved de fem nærmeste nedbørstasjonene for traseen mellom Lysebotn og Stølaheia.

Tabell 1: Maksimal døggnedbør vinterstid. Returverdier angitt med to ulike metoder for ekstremverdberegning (Gumbel og NERC, hvor NERC er angitt i parentes).

Stasjon	Hoh	Periode	10-års returperiode	50-års returperiode
Lysefjorden	4 m	1926-1999	106 (100) mm	142 (127) mm
Lysebotn	5 m	1895-2013	121 (112) mm	165 (141) mm
Ims	2 m	1980-2013	68 (67) mm	86 (89) mm
Stavanger-Våland	72 m	1938-2013	47 (44) mm	64 (60) mm
Sola	7 m	1953-2013	45 (43) mm	61 (59) mm

For å se nærmere på våtsnø og våtsnørretning har temperatur, nedbør og vind fra værstasjonen Stavanger-Våland blitt analysert. Denne stasjonen har observert disse tre elementene over en lang periode. Stasjonen ligger i Stavanger kommune og er representativ for siste del av traseen. Hendelser med kriteriene at døggnedbøren er over 20 mm, minimumstemperaturen for døgnet (TAN) er over -2 °C og maksimumstemperaturen for døgnet (TAX) er under 4 °C for Stavanger-Våland i perioden 1943-1987 er vist i tabell 2. Tabellen viser også dato for hendelsen, middeltemperatur for dagen (TAM) og vindretning (DD) på tre tidspunkt; kl. 06, 12 og 18. Det er 6 hendelser med disse kriteriene oppfylt, hvorav kun en hendelse har registrert nedbør over 25 mm. Ved denne høyeste nedbørshendelsen 22. november 1977 kom vinden fra sørøst (150°), og det ble observert nedbør på 39,2 mm. Alle hendelsene kan ha vært våtsnø for området. Vindretning for alle disse tilfellene ligger i sektorene sørøst til nord i løpet av dagen. Nedbøren kan ha falt som regn siden maksimumstemperaturen er satt til å være under 4 °C. Ser vi for eksempel på tilfeller med maksimumstemperatur under 3 °C blir også det høyeste tilfellet for døggnedbør borte, og det er bare tre hendelser i løpet av perioden 1943-1987 med nedbør over 20 mm innenfor samme temperaturkriterier. Returperiodene fra tabell 1 viser at Stavanger-Våland har maksimal døggnedbør med 50-års returperiode på ca. 60 mm. Antakeligvis er mange av disse nedbørhendelsene nedbør som regn selv på vintertid.

Nedbørverdiene i Tabell 2 viser at det sjeldent forekommer store nedbørsmengder ved temperaturer rundt 0 °C i denne regionen. For de mest kystnære og lavtliggende delene av traseen forventes derfor relativt beskjedne islaster.

Tabell 2: Stavanger-Våland med hendelser for døgnnedbør i mm (RR) over 20 mm, minimumstemperatur for døgn (TAN) over - 2 °C og maksimumstemperatur for døgn (TAX) under 4 °C, samt vindretning (DD) for tidspunktene 06, 12 og 18 i grader, middeltemperatur før døgn (TAM) er også tatt med i tabellen.

Stnr	Dato	RR	TAM	TAN	TAX	DD06	DD12	DD18
44640	20.11.1977	39,2	1,0	0,0	3,2	150	150	150
44640	29.12.1961	23,7	-1,0	-1,5	0,3	160	0	0
44640	10.01.1955	22,3	1,7	0,1	2,7	160	240	240
44640	15.11.1962	21,8	1,6	0,4	3,2	340	340	340
44640	09.12.1966	21,7	1,3	0,7	3,1	150	120	150
44640	15.02.1960	20,5	-0,1	-1,1	2,0	0	0	100

2.2 Klimalaster

Klimalastene i tabellen nedenfor er angitt med returtid på 150 år for islaster og 50 år for vindlaster.

Tabell 3: Is- og vindlaster for 420 kV traseen Lysebotn- Stølaheia. Lastene er gitt seksjonsvis for hovedalternativ (nordlig alternativ ved Storavatnet).

Mastnummer	Islast (kg/m)	Maks vind (m/s)	Normalkomponent (m/s)
1 – 5	6	42	35
5 – 6	10	45	42
6 – 14	12	48	42
14 – 17	10	45	42
17 – 26	8	45	40
26 – 28	8	45	42
28 - 43	8	45	40
43 – 48	8	45	42
48 – 55	8	45	40
55 – 59	12	50	45
59 - 61	8	45	42
61 – 62	4	45	35
62 – 67	8	45	42
67 – 70	10	45	45
70 – 73	12	45	45
73 – 80	15	48	45
80 - 86	12	45	42
86 – 101	9	45	42
101 – 107	9	50	48
107 – 108	4	45	42
108 – 118	9	45	45
118 – 131	6	45	42
131 – 138	8	45	45
138 – 142	6	45	42
142 - 145	5	44	40
145 - 158	6	48	45

Tabell 4: Klimalaster seksjonsvis for sørlig alternativ ved Storavatnet

Mastnummer	Islast (kg/m)	Maksimalt vindkast (m/s)	Normalkomponent (m/s)
118 – 134	9	45	45
134 – 145	6	45	45

3 Verifisering/sammenstilling av modelldata

I dette kapitlet er modelldata fra KVT (vedlegg 1) verifisert mot observasjoner fra METs værstasjoner. Fra KVTs WFR-arkiv (35 år med modellkjøring med 6km oppløsning) er det blitt plukket ut fem hendelser (episode #1 til #5 i vedlegg 1) i området til traseen ved Lysefjorden. Fire av hendelsene er valgt pga. mye skyising i modellen, i tillegg er én hendelse i 2013 valgt pga. havariet på strekningen Sima-Samnanger. Disse hendelsene er blitt modellert med finere oppløsning (500 m oppløsning). Se vedlegg 1 for mer detasjert beskrivelse. Fra modellsimuleringene er det hentet ut data for nærmeste gridpunkt til værstasjonene Lysebotn, Sola og Blåsjø, slik at modellerte verdier er sammenliknet med observasjonene. Dette er gjort for de hendelsene hvor det finnes observerte data. For Lysebotn og Blåsjø er situasjonen i desember (episode #1) blitt sammenliknet og verifisert. Fra Sola er det i tillegg til episode #1 med en hendelse med mye ising fra januar - februar 2011 (episode #2). Det har blitt sett på temperatur på alle tre stasjonene, og vind på Blåsjø og Sola.

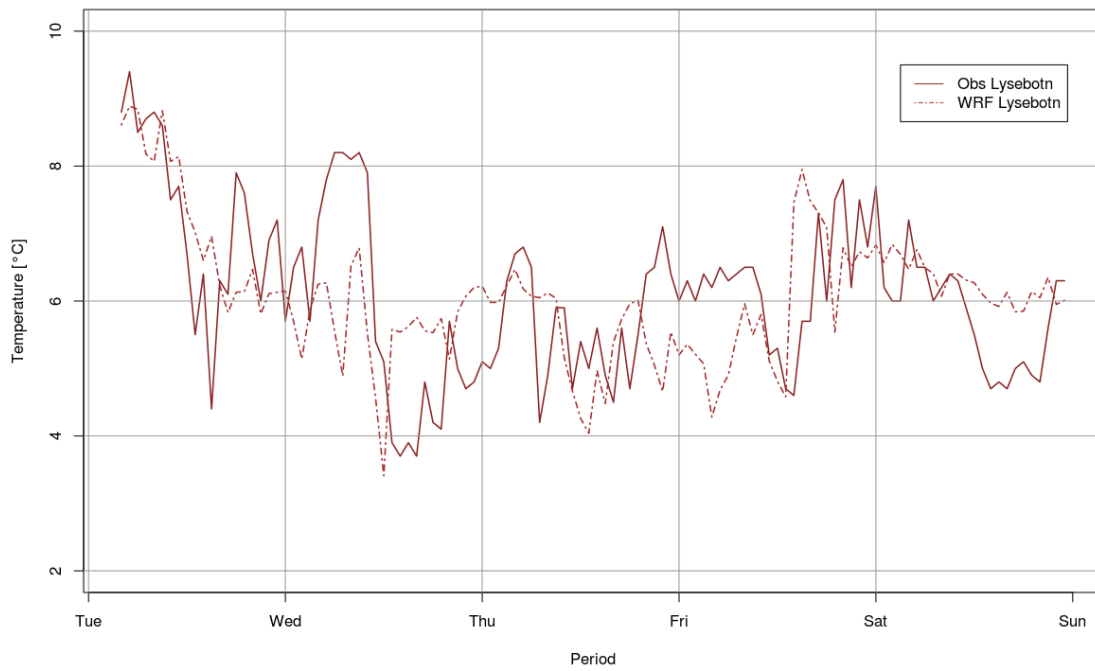
Hensikten med en slik sammenstilling er å kontrollere at modellen gjengir de generelle trekkene ved vær-situasjonene, og eventuelt avdekke om det er større systematiske feil i modellsimuleringene, som vil ha betydelig innvirkning på de simulerte islastene.

3.1 Temperatur

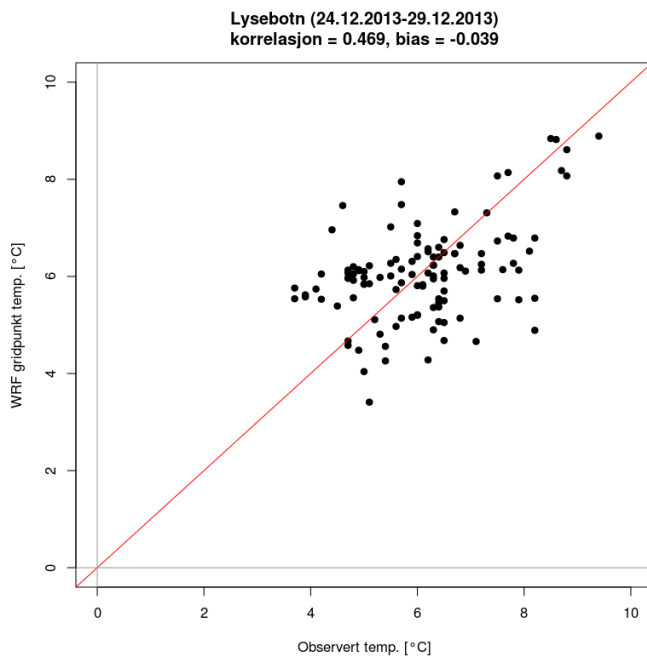
3.1.1 Lysebotn

Figur 2 viser timesverdier av temperatur på Lysebotn stasjon fra observasjoner og modelldata i perioden 24. – 29. desember 2013. Lysebotn stasjon ligger nede i Lysebotn på 5 meter over havet. Modellen har i dette området et veldig bratt terreng, pga de bratte dalsidene, og har blitt glattet noe for at modellen skal kunne kjøre (vedlegg 1). Derfor er det høydeforskjell og noe forskyvning av plasseringen av punktet for Lysebotn i modellen i forhold til hvor stasjonen ligger. Figur 3 har plottet timesverdiene av temperatur fra observasjoner og fra modelldata mot hverandre. Diagonalen er satt inn i rødt for å se hvordan observasjonene og modelldataen plasserer seg. Korrelasjonen mellom dem er 0,469 (~ 0,5). Biasen er -0,039, det forteller at temperatur fra modellen er litt kaldere enn observasjonene i dette tilfellet for Lysebotn.

Tirsdag 24.12.2013 - søndag 29.12.2013



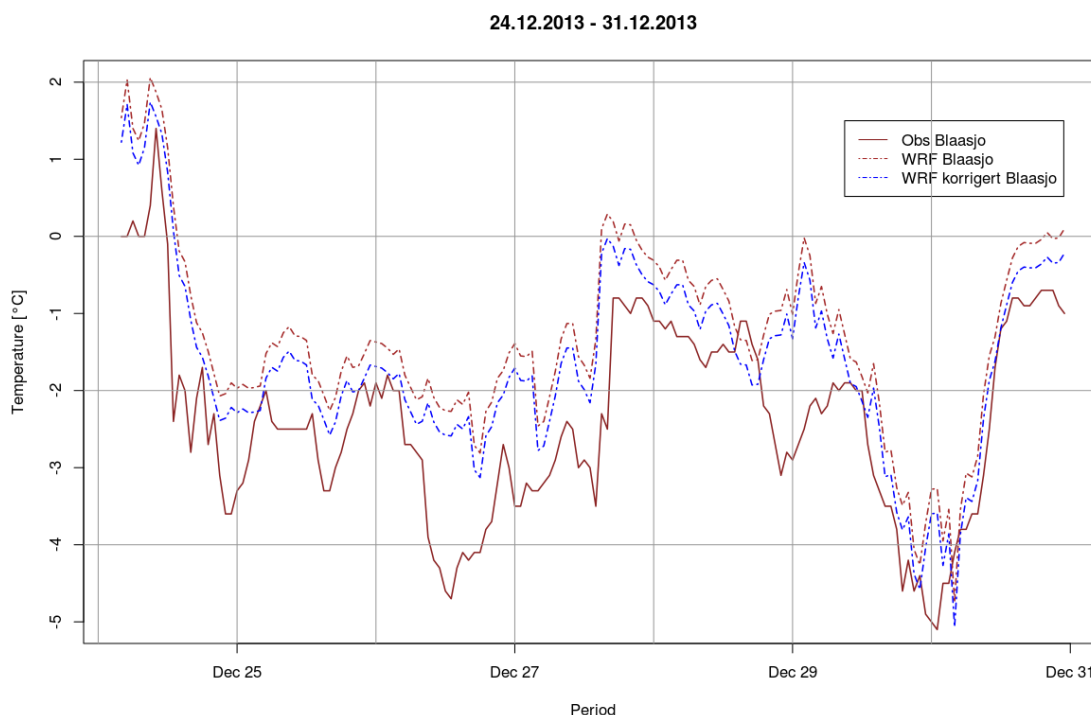
Figur 2: Temperatur timesverdier fra Lysebotn stasjon, observasjoner (brun heltrukket) og modelldata (brun stiplet) for perioden 24.12.2013-29.12.2013.



Figur 3: Observerte og modellerte timesverdier av temperatur for Lysebotn i perioden 24.12.2013-29.12.2013.

3.1.2 Blåsjø

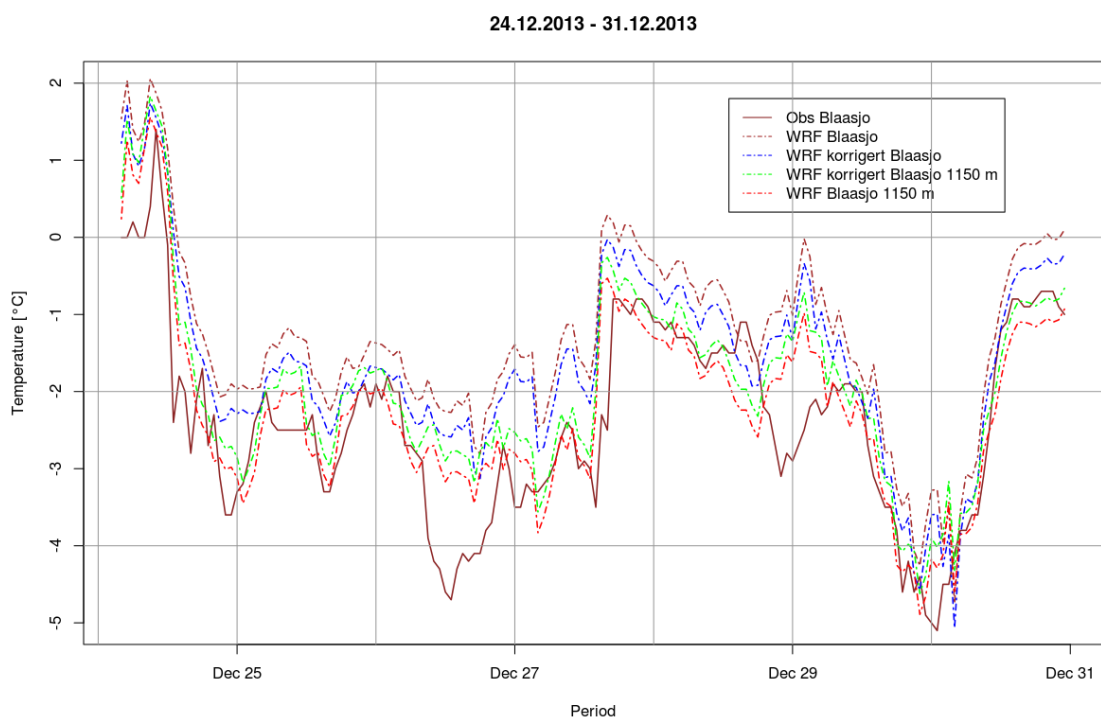
Blåsjø stasjon ligger ikke innenfor domenet i modellen med høyest oppløsning, men i det neste domenet med oppløsning på 2,5 km. Denne stasjonen er tatt med for å ha en høyfjellsstasjon å sammenlikne modellen med. Blåsjø ligger på 1105 moh. et stykke nordøst for Lysebotn. Figur 4 viser timesverdier av temperatur for Blåsjø for hendelsen 24. – 31. desember 2013. Gridpunktet fra modellen ligger litt lavere i terrenget og det er derfor gjort en høydekorreksjon på temperaturen. I figuren er observasjoner (brun heltrukken linje), modelldata ved nærmeste gridpunkt, på 1052 moh. (brun stiplet linje) og samme gridpunkt, men korrigert for høydeforskjellen opp til 1105 m (blå stiplet linje) plottet. Høydekorreksjonen er gjort ved bruk av at temperaturen minker med høyden, $0,6\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$.



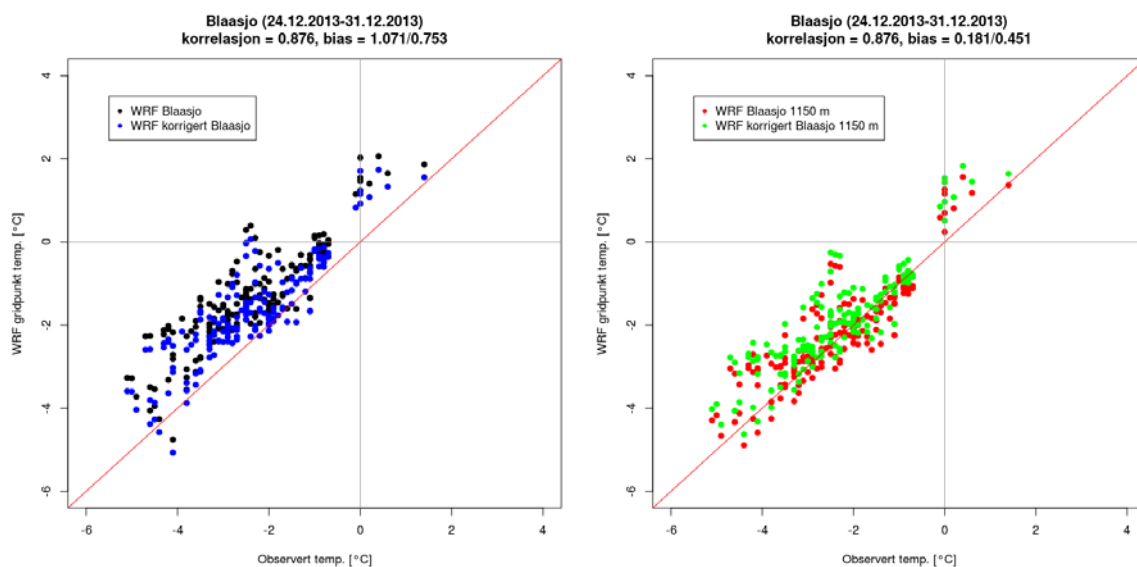
Figur 4: Temperatur timesverdier fra Blåsjø stasjon, observasjoner (brun heltrukken) og modelldata (brun stiplet) for perioden 24.12.2013-31.12.2013. Gridpunktet fra modell ligger litt lavere i terrenget og det er derfor gjort en høydekorreksjon på temperaturen (blå stiplet).

Figur 5 viser tilsvarende som Figur 4, men her er det i tillegg tatt med et gridpunkt på 1150 moh, for å se hvilken forskjell det utgjør fra punktet på 1052 moh. Dette er den røde stiplede linjen i figuren. Siden dette punktet er litt høyere enn der stasjonen ligger, er det også her gjort en høydekorrigering for temperaturen ($0,6\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$). Dette vises som den grønne stiplede linjen i figuren. Modelldataen fra gridpunktet på 1150 m ligger nærmere det som er observert på Blåsjø enn hva gridpunktet fra 1052 m gjør. Observasjoner og modelldata viser i det store bildet god overenstemmelse gjennom perioden. På dagen den 26. desember er ikke modellverdiene like kalde som observasjonene. Den 29. desember observeres det en minking i temperaturen, mens modellen ikke har klart å gjenskape dette, men har heller en økning i temperaturen på samme tid. Slike avvik er noen grader innenfor korte tidsperioder er å forvente når man benytter numeriske atmosfæremodeller, særlig nær bakken, og det er mange årsaker til forskjeller mellom observasjoner og modelldata. En vanlig årsak er en forskyving i timingen av f.eks en varmfront som raskt vil øke temperaturen i et område. En slik forskyving vil gi utslag i form av avvik på timebasis, men har liten betydning for statistikken over litt lengre tid.

For å se på bias og korrelasjonen er observasjoner og modelldata plottet mot hverandre, se Figur 6. Figuren til venstre viser observasjoner mot nærmeste gridpunkt på 1052 meters høyde (svarte prikker) og etter temperaturkorreksjon (blå prikker). Bias er hhv. 1,07 og 0,75, og med korrelasjon på 0,88. Dette er også plottet for det andre gridpunktet på 1150 m, i figuren til høyre. Her er røde prikker originale modelldata, mens de grønne prikkene er temperaturen korrigert for høydeforskjellen. Biasen for dette punktet er litt lavere enn ved det andre gridpunktet, hhv. 0,18 og 0,45. Biasen viser at modellen estimerer temperaturen litt høyere enn hva som observeres ved denne hendelsen for begge gridpunkt.



Figur 5: Temperatur timesverdier fra Blåsjo. Observasjoner (brun heltrukken), modelldata (brun stiplet) og høydekorrigert modelldata (blå stiplet) for samme gridpunkt, samt et gridpunkt litt lenger unna i 1150 meters høyde (rød stiplet) og høydekorrigert til stasjonspunkt (grønn stiplet) i perioden 24.12.2013-31.12.2013.

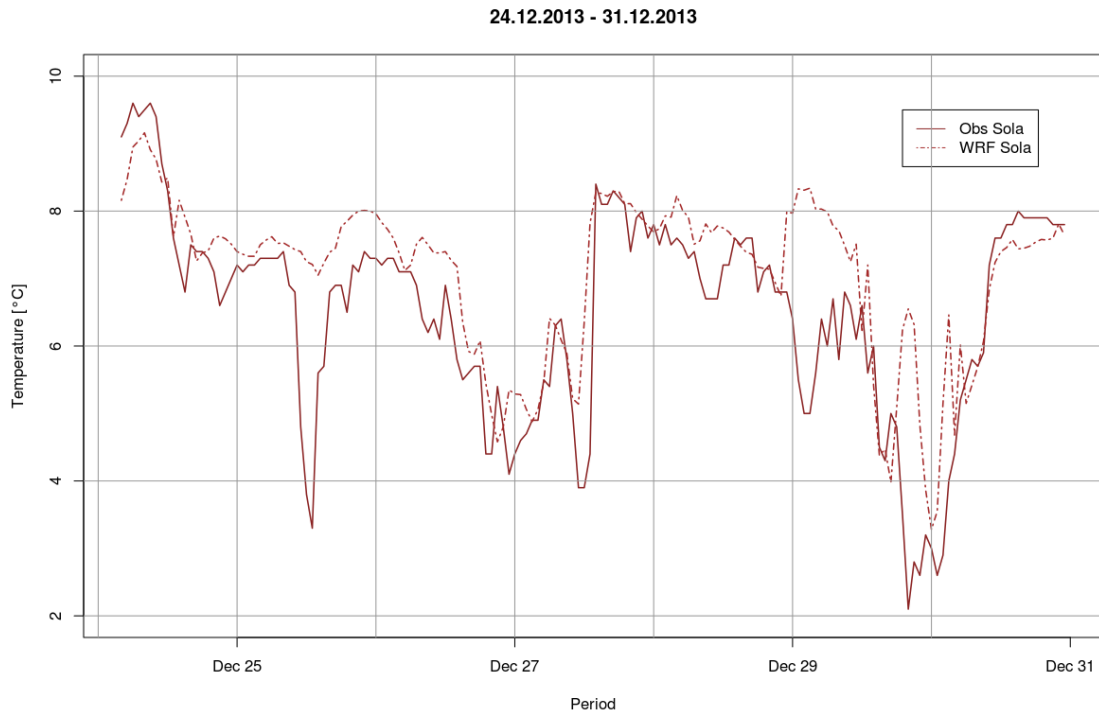


Figur 6: Observert og modellert temperatur på timesverdier. Svart direkte fra gridpunkt, blått korrigert for høydeforskjell for Blåsjø nærmeste gridpunkt (t.v.) og ved et høyere gridpunkt (t.h.).

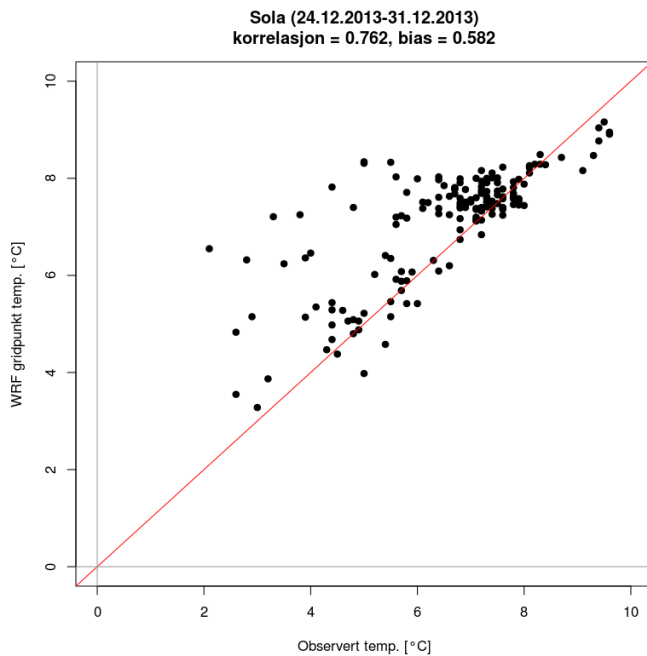
3.1.3 Sola

Stasjon på Sola ligger ikke innenfor domenet i modellen med høyest oppløsning, men i det neste domenet med oppløsning på 2,5 km. Timesverdier for temperatur ved Sola i perioden 24. – 31. desember (episode #1) er vist i Figur 7, for observasjoner (brun heltrukket linje) og modelldata (brun stiplede linje). Tilsvarende som for Blåsjø viser modellen motsatt av observasjonene den 29. desember, med temperaturfall i observasjoner og økning av temperatur i modellen. I tillegg får ikke modellen med seg temperaturfallet i løpet av den 25. desember.

De observerte og modellerte timesverdiene for Sola er for samme periode plottet mot hverandre i Figur 8. Korrelasjonen her er på 0,76 mens bias er 0,58. Modellert temperatur er også her litt høyere enn hva som er observert.

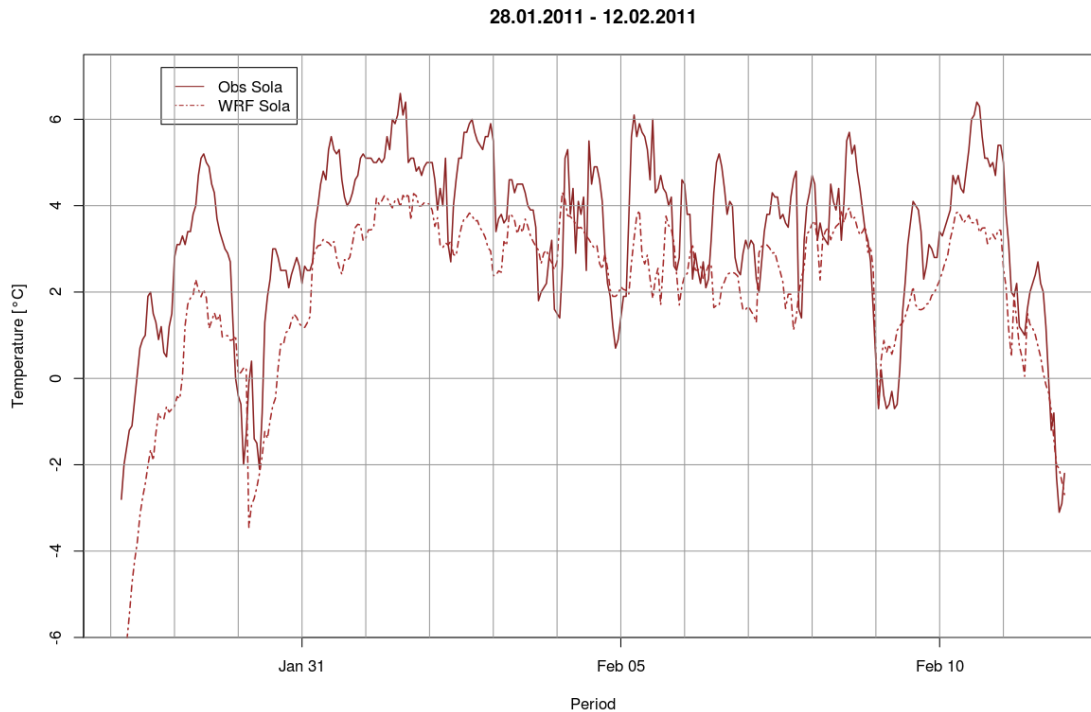


Figur 7: Temperatur timesverdier fra Sola stasjon, observasjoner (brun heltrukken) og modelldata (brun stiplet) for perioden 24.12.2013 – 31.12.2013.

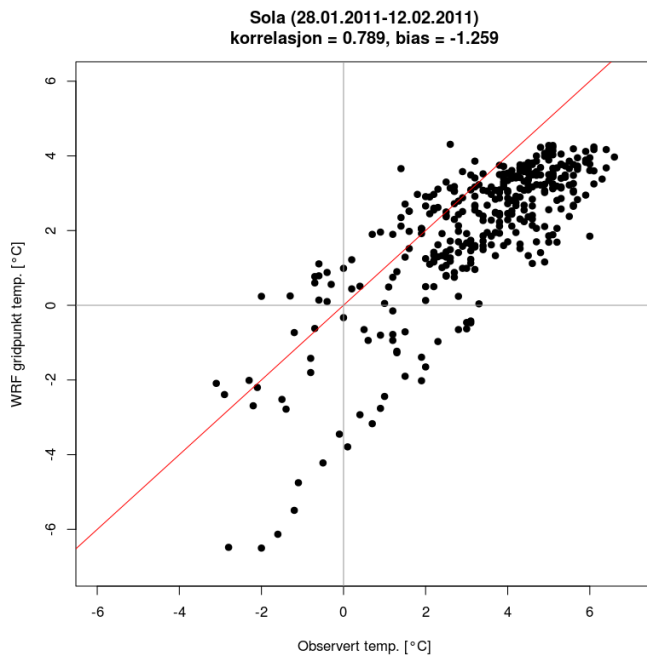


Figur 8: Observerte og modellerte timesverdier av temperatur for Sola i perioden 24.12.2013-31.12.2013.

Figur 9 viser timesverdier for temperatur, observert (heltrukken brun linje) og modellert (stiplet brun linje), for Sola i perioden 28. januar til 12. februar 2011 (episode #2). Modellert temperatur ligger generelt litt under den observerte, men fanger opp hovedtrekkene i denne perioden. At modellert temperatur er lavere enn observert kan også sees i Figur 10, hvor modellert og observert temperatur er plottet mot hverandre. For denne episoden er korrelasjonen og bias hhv 0,79 og -1,26.



Figur 9: Temperatur timesverdier fra Sola stasjon, observasjoner (brun heltrukken) og modelldata (brun stiplet) for perioden 28.01.2011 – 12.02.2011.



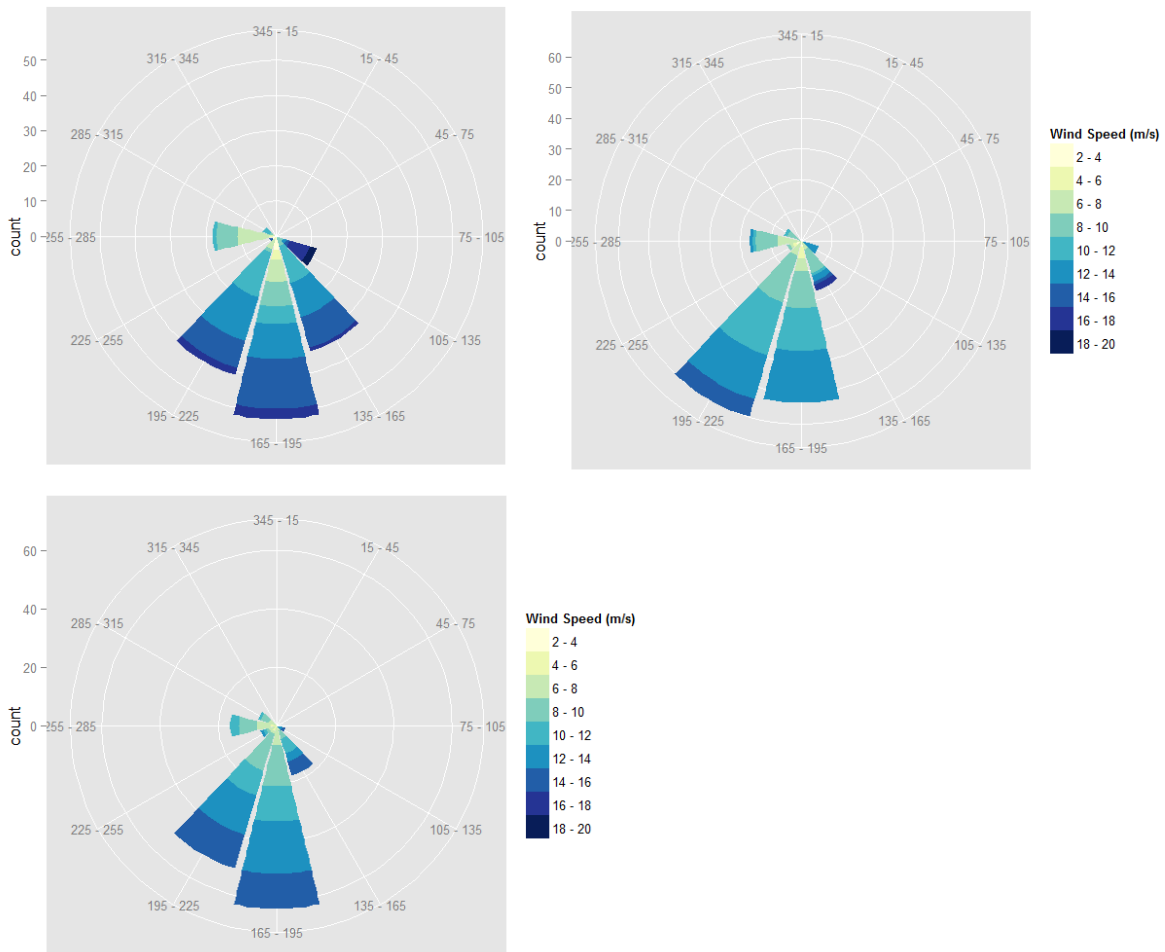
Figur 10: Observerte og modellerte timesverdier av temperatur for Sola i perioden 28.01.2011-12.02.2011.

3.2 Vind

Vindrosen for de samme hendelsene har blitt lagd for Blåsjø og Sola.

3.2.1 Blåsjø

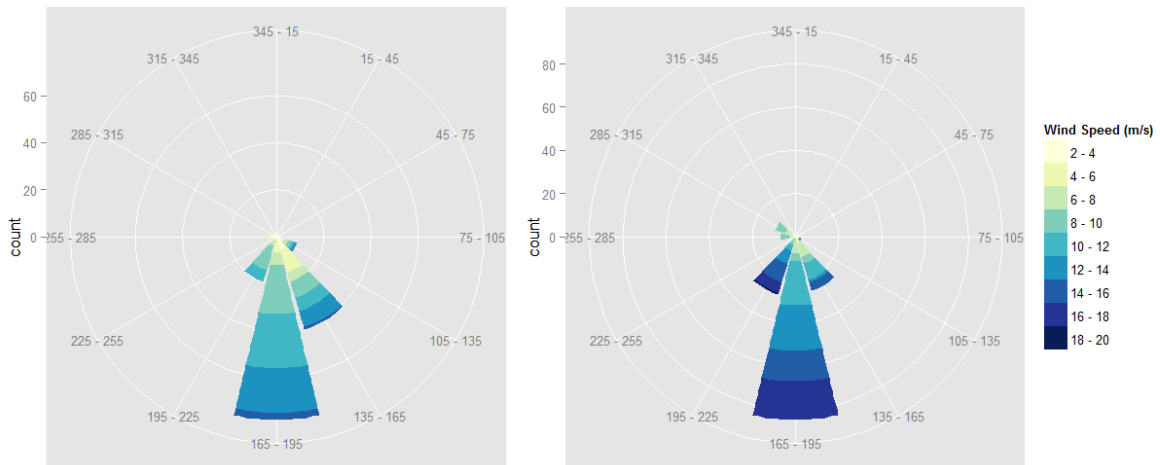
Figur 11 viser vindrosen for observasjoner fra Blåsjø (øverst til vestre) og modellerte verdier fra nærmeste gridpunkt (øverst til høyre), samt fra gridpunkt på 1150 moh. Vinddataene er for perioden 24.12.2013 til 30.12.2013. Vindrosene viser god overenstemmelse for perioden, særlig mtp retning. De observerte dataene har noe høyere vindstyrke enn det som er estimert i modellen. Modellen viser også noe lavere frekvens av vind i sektoren 135-165 grader enn det man ser i observasjonene. Gridpunktet som ligger høyere i terrenget fanger opp vinden fra sør bedre enn det første punktet.



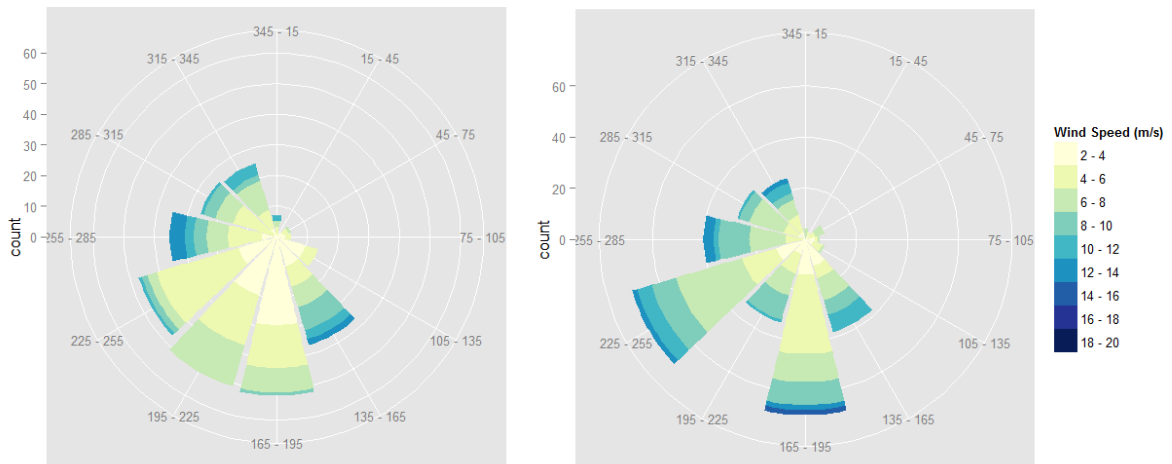
Figur 11: Vindrose fra observasjoner (øverst t.v.), modelldata fra nærmeste gridpunkt (øverst t.h.) og modelldata fra gridpunkt på 1150 meter for Blåsjø i perioden 24.12.2013-30.12.2013.

3.2.2 Sola

Vindroser fra Sola for episode #1 er vist i Figur 12, observert vind til venstre og modellert til høyre. Vindretning i perioden er godt gjengitt i modellen, men hastigheten er overestimert noe. For episode #2, vist i Figur 13, er også vindretning godt gjengitt i modellen, med unntak av underestimert av frekvens i sektoren 195 – 225 grader (sør-sørvest).



Figur 12: Vindrose fra observasjoner (t.v.) og modelldata (t.h.) fra Sola i perioden 24.12.2013-31.12.2013.



Figur 13: Vindrose fra observasjoner (t.v.) og modelldata (t.h.) på Sola i perioden 28.01.2011-12.02.2011

3.3 Sluttkommentar til verifiseringen

Alt i alt viser modellen en god gjengivelse av observasjonene i de valgte periodene vist her. Modellen gjengir det storskala værmønsteret godt, og viser ingen store systematiske avvik. For temperatur er det naturlig å forvente noen graders avvik i en prognose i forhold til observasjoner innenfor kortere tidsperioder, men så lenge det ikke er systematiske feil vil dette ha liten betydning for denne bruken av modellen, hvor vi skal kartlegge isingsforholdene over en lengre tidsperiode. Det samme gjelder for vind, både styrke og retning.

**Vedlegg 1: Kjeller Vindteknikk (KVT) Rapport: «420 kV
Lyse – Stølaheia Estimering av klimalaster» (KVT/BEN/2014/R024)**

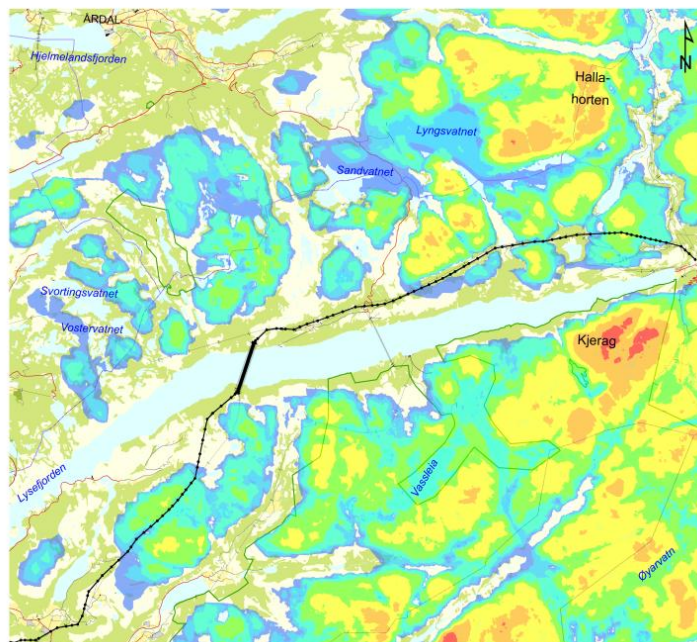


KJELLER
VINDTEKNIKK

420 kV Lyse - Stølaheia

Estimering av klimalaster

Rapport: KVT/BEN/2014/R024



Rapportnummer KVT/BEN/2014/R024	Dato 14.3.2014
Rapporttittel 420 kV Lyse - Stølaheia Estimering av klimalaster	Klassifisering Begrenset til kunde Utgave nummer 1
Kunde Meteorologisk Institutt	Antall sider 21 + Vedlegg
Kundens referanse Per-Ove Kjensli	Status Endelig

Sammendrag

Klimalaster for 420 kV ledningen fra Lyse i Forsand kommune til Stølaheia i Stavanger kommune er estimert. Analysene er basert på meteorologiske modeller, norsk vindlaststandard (NS-EN 1991-1-4), norsk elektroteknisk norm (NEK 445:2009), samt kvalitative vurderinger av lokale terreffeffer.

Ledningstraseen krysser to fjellpartier hvor skyising vil forekomme. Simuleringer med oppløsning på 500 m x 500 m viser at islaster opp mot 20 kg/m kan forekomme her, men at ledningen er plassert gunstig i terrenget og kan dimensjoneres for noe lavere laster.

Analyser av 35 år med modelldata viser at de høyeste vindkastene er forventet med retning fra SØ og NV. Høyeste vindkast med returtid 50 år forventes å variere betydelig langs traseen, og kan nå verdier på over 50 m/s enkelte steder. Islaster med estimert returtid på 150 år varierer fra 5 kg/m i de vestligste områdene til 15 kg/m for høyere og mer eksponerte partier. Isførende vindretning for skyis er fra V og NV, mens våtsnø også forventes fra S og SØ i områder over 500-600 moh.


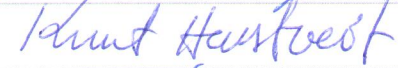

Vindkast med 50 års returperiode og islaster med 150 års returperiode er gitt i tabellform med referanse til mastenummer på vedlagt trasekart.

Forbehold

Selv om det i arbeidet med denne rapporten, så langt vi kjenner til, er benyttet oppdaterte analysemetoder, og vi i vårt arbeid forsøker å gi et så godt resultat som mulig, kan Kjeller vindteknikk AS ikke holdes ansvarlig for resultatene i rapporten eller for framtidig bruk av denne, og heller ikke for eventuelle direkte eller indirekte tap som skyldes eventuelle feil i rapporten.

Revisjonshistorie

Utgave	Dato	Antall eksemplarer	Kommentar	Distribusjon
1	14.3.2014	Kun elektronisk		Pdf

	Navn	Dato	Signatur
Utført av	Bjørn Egil Nygaard Svein M Fikke (konsulent)	14/3-2014	
Kontrollert av	Knut Harstveit	14/3-2014	
Godkjent av	Finn Nyhammer	14/3-2014	

Innholdsfortegnelse

INNHALDSFORTEGNELSE	2
1 INNLEDNING	3
2 METODE OG DATA	5
2.1 DATA	5
2.2 ISINGSBEREGNING	5
2.2.2 Skyising.....	6
2.3 VINDBEREGNING	6
2.4 EKSTREMVERDIANALYSE	7
3 FINSKALA SIMULERINGER	8
3.1 EPISODE #1	9
3.2 EPISODE #2 - #5	10
4 ESTIMERING AV KLIMALASTER	13
4.1 VÅTSNØ	14
4.2 SKYISING	17
4.3 VINDLASTER	19
5 KLIMALASTER - SEKSJONSINDELTE	20
6 REFERANSER.....	21
VEDLEGG A: TRASEKART	22
VEDLEGG B: WRF-MODELLEN	24

1 Innledning

Det er bedt om en vurdering av klimalaster for 420 kV ledning fra Lyse i Forsand kommune til Stølaheia i Stavanger kommune. Statnett SF har sendt trasekart i elektronisk format.

Klimalastene er beregnet med utgangspunkt i trasekartet i Figur 1 samt metodikk beskrevet i Kap 2 og 3. Vurdering av denne ledningen må sees i sammenheng med et nylig ledningshavari på 420 kV Sima - Samnanger, hvor betydelige ismengder ble observert. Detaljerte modellstudier ble iverksatt for å analysere denne isingshendelsen på fjellplatået nord for Hardangerfjorden. Med utgangspunkt i disse erfaringene er det nå gjort tilsvarende modellstudier for 420 kV Lyse - Stølaheia.

Rapporten angir klimalaster på et format som er konsistent med Statnetts øvrige 420 kV prosjekter, d.v.s. vindkast (maksimalverdi og normalkomponent) med returtid 50 år, og islast med returtid 150 år. Rapporten går ikke nærmere inn på analyser av kombinasjonslast, da det forutsettes at det regnes full kombinasjon for hele ledningen.

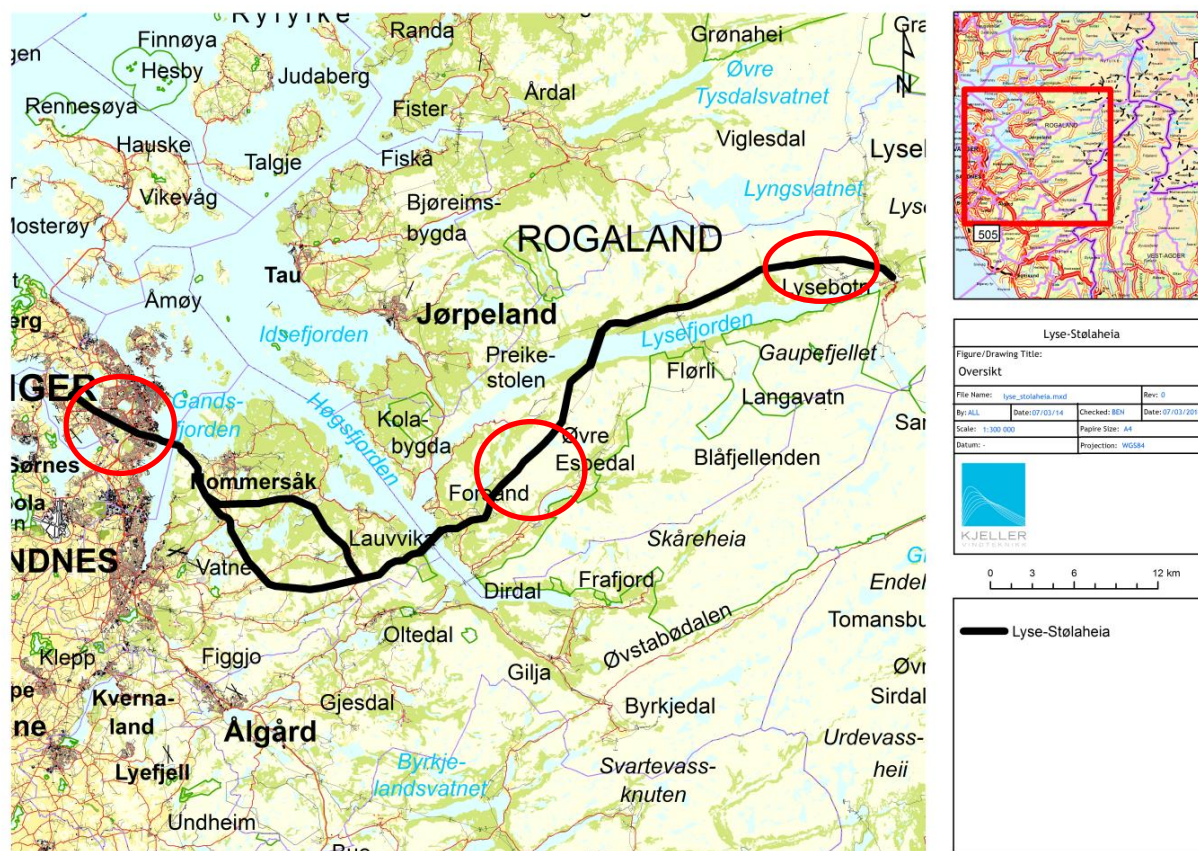
Rapporten inneholder:

1. En analyse av skyising, våtsnø og vind basert på modelldata for 1979 - 2014.
2. Finskalasimuleringer av 5 ekstremhendelser for skyising.
3. Tabell med estimerte klimalaster med referanse til mastepunkter på trasekart.

Analysen i punkt 1 baseres på tidsserier av modellerte ismengder (våtsnø og skyising) for hele modellperioden på 35 år. Ekstremverdier av ising er estimert for ledninger i ulike retningssektorer. Vindkast med 50 års returtid med basis i modelldataene vil bli sammenstilt med vindkast beregnet etter norsk vindstandard.

For punkt 2 er det generert horisontale kart over området som viser modellert ising i 20 m høyde over bakken for 5 utvalgte ekstremhendelser.

Kjeller Vindteknikk har ikke gjennomført en egen synfaring av denne ledningen. Det vises til rapport fra konsulent Svein M. Fikke. "420 kV ledning Lysebotn - Støleheia, Rogaland Jøsok Prosjekt AS på vegne av Lyse Infra AS; Vurdering av is- og vindlaster Revidert rapport 2013.03.08" hvor ledningstraseene ble befart med helikopter.



Figur 1: Trasekart, 420 kV Lyse - Stølaheia. De røde sirklene indikerer områdene hvor modelldata er hentet ut henholdsvis ved Stølaheia, Hellesvatnet og Ramnafjell (fra vest mot øst).

2 Metode og data

2.1 Data

Beregningene er basert på meteorologiske data generert med en numerisk værmodell. Modellen heter WRF (Weather Research and Forecasting model) og er beskrevet i Vedlegg B.

For langtidsstatistikk benyttes modelldata fordelt i et horisontalt gitter med oppløsning på 6 km x 6 km, som strekker seg over perioden 1979 - 2013. Punkter for tre områder langs traseen er hentet ut fra modellen. Disse punktene spenner over høyder fra 10 - 883 moh. Dataene har en tidsoppløsning på 1 time og inneholder alle nødvendige parametere for å analysere klimalaster. Modellert nedbør, vind, temperatur, luftfuktighet, snøfuktighet samt konsentrasjonen av underkjølt skyvann er hentet ut som tidsserier fra WRF for alle punktene. Disse dataene er videre brukt som inngangsdata til akkumulasjonsmodeller for våtsnø og for skyising.

For å danne et detaljert bilde av den horisontale fordelingen av skyising er det i tillegg gjort simuleringer med WRF modellen på 500 m x 500 m oppløsning. Basert på resultatene for perioden 1979 - 2013 er det valgt ut totalt fem episoder hvor skyising har vært fremtredende for de mest eksponerte delene av traseen. Fire av episodene representerer de periodene som gav høyest islaster. Episode nummer fem er den samme perioden som førte til store islaster og havari på 420 kV Sima - Samnanger i desember 2013.

I tillegg til modelldata er Norsk vindlaststandard (NS-EN 1991-1-4) og norsk elektroteknisk norm (NEK 445:2009) brukt som referansemateriell.

2.2 Isingsberegning

Ledningen fremføres i et varierende terreng vil være eksponert for både skyising og ising fra våtsnø. Det er derfor relevant å behandle begge isingstypene i denne rapporten.

2.2.1 Våtsnø

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 en luftledning. Isingsraten øker med økt vindhastighet, og for en horisontal ledning er det vinden på tvers av ledningen som er avgjørende.

Akkumulasjon av våtsnø på en horisontal ledning kan modelleres med en enkel modell som baserer seg på standard værelementer. Akkumulasjonsmodellen benyttet her er beskrevet i detalj i Nygaard et al. (2013) og er kalibrert mot et stort antall målinger på Island.

De nødvendige meteorologiske variablene er hentet ut som tidsserier fra WRF med 1 times oppløsning for hele modellperioden fra 1979 - 2013. Disse dataene er videre brukt som inngangsdata til akkumulasjonsmodellen, hvor isingsraten for hvert tidspunkt er basert på

de meteorologiske dataene, ledningens diameter (inkludert akkumulert is) samt ledningens retning.

I modellen er det antatt at isen faller av ledningen når luftens våt-temperatur¹ (wet-bulb temperatur) overstiger 2 °C. Det er i tillegg satt en tidsbegrensning på hvor lenge isen kan bli værende på ledningen. Erfaringer med observasjoner av is dannet av våtsnø (personlig kommunikasjon med Arní Jón Ellíassen, Landsnett, Island, 2011) er at den sjeldent henger på over lengre tid, tross minusgrader i luften. Som regel vil isen forsvinne i løpet av det første døgnet på grunn av vindkrefter, bevegelser som krakelerer isen, samt sublimasjon (isfordampning). En grense på 24 timer er satt som kriterium i beregningene.

2.2.2 Skyising

Skyising forekommer ved temperatur under 0 °C, lavt skydekke/tåke og vind. I slike tilfeller vil små skydråper være i flytende tilstand, men samtidig ha en temperatur lik luftens temperatur. Ved vind på tvers av en ledning vil disse dråpene kolliderer med lina, fryse spontant, og akkumuleres som et hvitt isbelegg. Skyising forekommer i all hovedsak i eksponert fjellterreng, og mengden øker ofte raskt med høyden.

Tidsserier av vindhastighet, temperatur, konsentrasjon av skyvann samt andre skyparametre fra WRF-simuleringen anvendes for å beregne akkumulert skyis på et standardlegeme, etter formelverket gitt i ISO-standarden for atmosfærisk ising på konstruksjoner, ISO 12494, og er beskrevet i Vedlegg B.

2.3 Vindberegning

For å estimere ekstremverdier av vindkast er beregningene først og fremst basert på norsk vindstandard, NS-EN 1991-1-4. Her er referanse-vindhastigheter oppgitt kommunevis, sammen med et formelverk for å beregne dimensjonerende vindkast med valgt returtid i det aktuelle terrenget. Basert på referansevinden (10 minutters middelvind i 10 m høyde i terrengkategori II med returtid på 50 år), høyden over bakken og terrengtype (overflatens ruhet) bestemmes turbulensintensiteten og korresponderende kastfaktor ved vind fra ulike retninger.

Vinddata fra WRF modellen er også hentet ut fra WRF 6 km for punkter langs traseen. Disse dataene representerer gjennomsnittsverdier for gridruter på 6 km x 6 km og vil derfor ikke representere vindkast på en realistisk måte, men benyttes for å beregne ekstremverdier av 10 min middelvind. Videre benyttes teorien fra NS-EN 1991-1-4 til å estimere vindkast basert på modellert middelvind.

¹ Våt-temperaturen er lik vanlig temperatur (tørr-temperatur) når luftens relative fuktighet er lik 100 %. Ved lavere relativ fuktighet ligger tørr-temperaturen høyere enn våt-temperaturen.

2.4 Ekstremverdianalyse

Det benyttes en statistisk analyse for å bestemme ekstremverdiene i seriene av modellerte is- og vindlaster fra WRF. Ekstremverdianalysen 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 ekstremverdiberegningen er dokumentert i Coles (2001).

En praktisk utfordring ved bruk av POT metoden er forutsetningen om at verdiene over grensen skal være uavhengige, hvilket betyr at to eller flere høye verdier som ligger nær hverandre i tid kun skal gjelde som én hendelse. WRF dataene har derfor blitt gruppert med kriteriet om at det skal være minst 4 dager mellom hver hendelse. 4 dager er bestemt ut ifra en typisk varighet på en passasje av et lavtrykkssystem.

En annen utfordring med POT analysen er at det ikke finnes en robust og objektiv måte å bestemme terskelverdien på. I denne analysen er 95 persentilen satt som utgangspunkt. I enkelte tilpasninger er terskelen justert noe manuelt for å optimalisere den teoretiske kurven.

3 Finskala simuleringer

Skyising opptrer først og fremst i eksponert fjellterreng og varierer betydelig i terrenget avhengig av lokale strømningsforhold og skjermingseffekter. For å danne et realistisk bilde av fordelingen av ising langs traseen kreves simuleringer med svært høy horisontal oppløsning. For dette formålet er WRF modellen satt opp med oppløsning på 500 m x 500 m for et avgrenset område som dekker de delene av ledningstraseen hvor det potensielt kan forekomme skyising. Detaljer om modelloppsettet finnes i Tillegg B. Oppsettet er for øvrig det samme som er benyttet for å simulere isingshendelsen som førte til havari på 420 kV Sima - Samnanger. Her var modellerte islaster i meget godt samsvar med de observasjonene som ble gjort på stedet.

Det er valgt ut fem enkelthendelser som er simulert med høy oppløsning. Disse er listet i Tabell 1. Episode #1 er sammenfallende med perioden som førte til store islaster på Sima - Samnanger, og er tatt med for sammenlikning. Episode #2 - #5 er de fire hendelsene som gav høyest islaster basert på 6 km dataene for perioden 1979 - 2013. Utvelgelsen av disse periodene ble gjort på bakgrunn av modellerte islaster ved ledningstraseens høyeste punkter ved Stora Ramnafjell og ved Stora Hellesvatnet.

Tabell 1: Oversikt over isingsepisoder som er simulert med høy oppløsning.

Episode	Fra dato	Til dato
#1	24.12.2013	30.12.2013
#2	28.01.2011	11.02.2011
#3	13.22.2001	22.02.2001
#4	01.01.1993	16.01.1993
#5	29.01.1987	07.02.1987

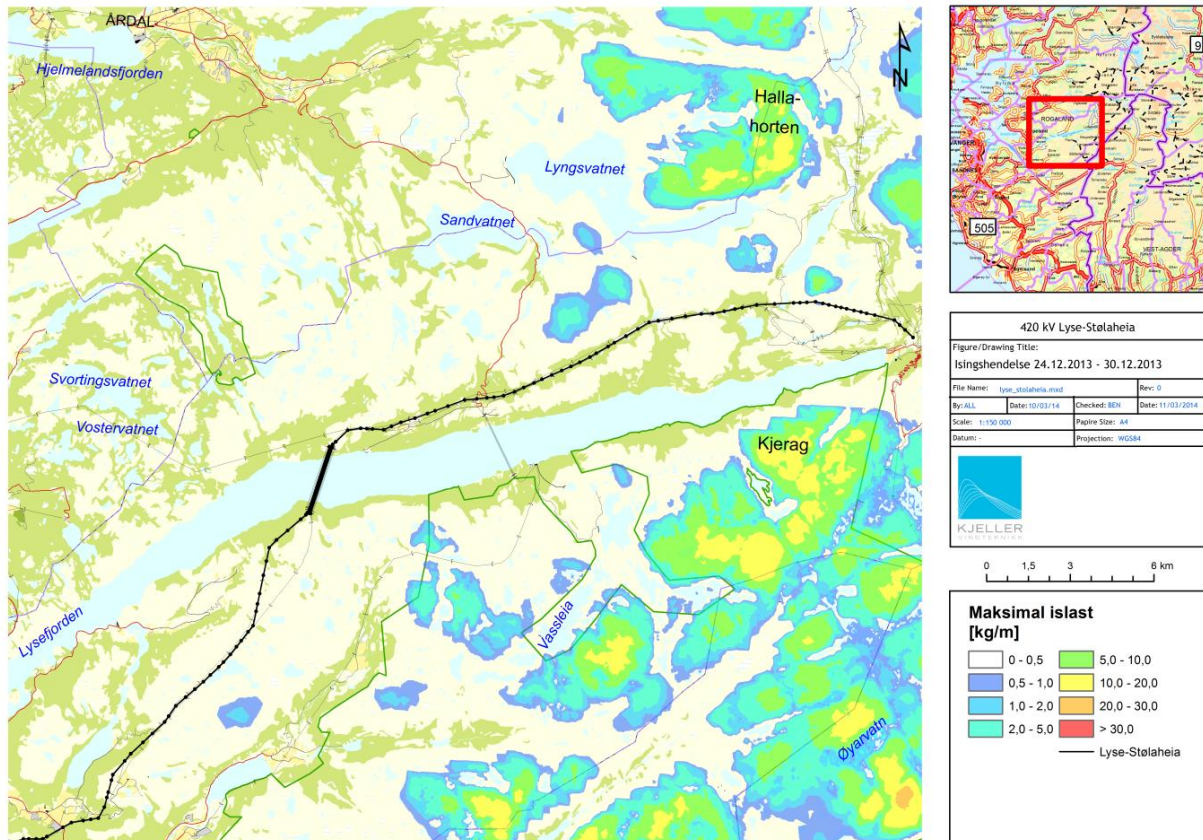
Selv med en oppløsning på 500 m x 500 m er det lokale variasjoner i isingsforholdene som ikke er oppløst av modellen. Dette gjelder særlig over rygger og topper med liten utstrekning, i trange daler eller langs bratte fjellsider. For å ta hensyn til noe av denne variasjonen er det gjort en høydejustering av de modellerte islastene fra modellterrenget på 500 m til et høyoppløst terreng med oppløsning på 30 m x 30 m. Algoritmen for høydejustering av islastene finner lokale høydegradienter fra modelldataene, og benytter disse til å fordele simulerte islaster ut i terrenget med 30 m x 30 m oppløsning. Metoden kan beskrives med likning (1):

$$M_{30} = M_{WRF} + \left(\frac{dM_{WRF}}{dz_{WRF}} \right)_r (Z_{30} - Z_{WRF}) \quad (1)$$

Her er M_{30} islasten for et punkt i 30 m dataene, M_{WRF} er islasten fra nærmeste punkt i WRF dataene, dM_{WRF}/dz_{WRF} er høydegradienten innenfor et område med radius på r gridpunkter, mens $Z_{30} - Z_{WRF}$ representerer forskjellen i terrenghøyde mellom WRF og 30 m terrengdata.

3.1 Episode #1

Denne perioden gav betydelige islaster på 420 kV Sima - Samnanger (bekreftet både fra observasjoner og tilsvarende modellsimuleringer). Simuleringen tyder på at denne perioden ikke har ført til ising av samme karakter for ledningen langs Lysefjorden. Dette skyldes først og fremst at temperaturen har ligget over null grader de fleste steder, særlig i laveliggende områder. Tilstrekkelig høyt til fjells har det vært kaldt nok, og vi finner islaster omkring 20 kg/m enkelte steder.

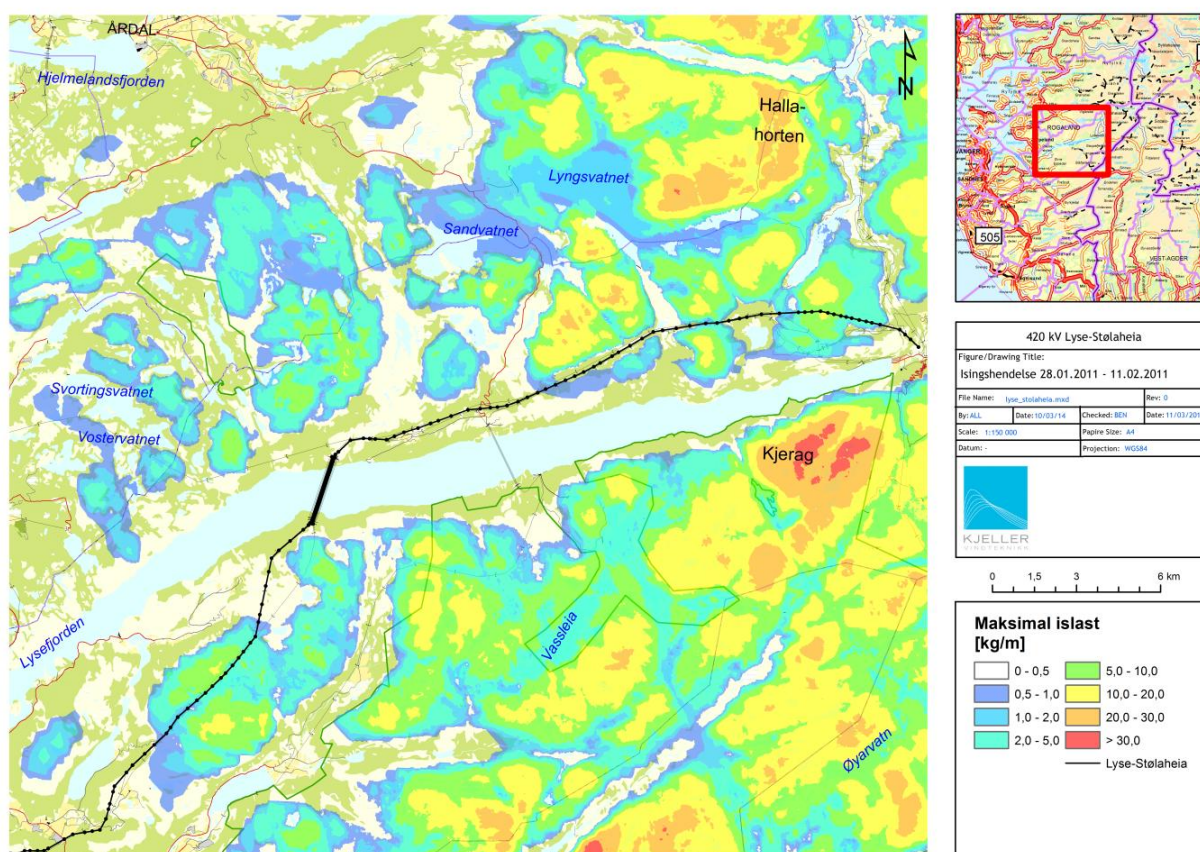


Figur 2: Simulert maksimal akkumulert islast (kg/m) på et standardlegeme for perioden 24.12.2013 - 30.12.2013.

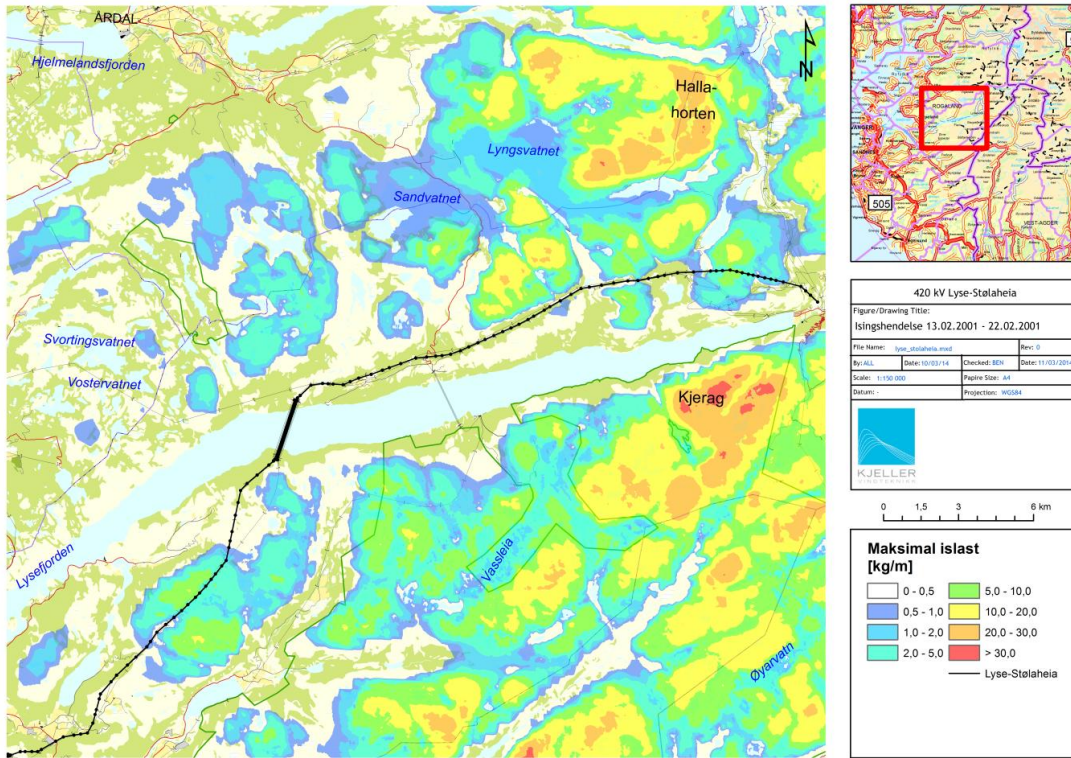
3.2 Episode #2 - #5

Alle disse periodene indikerer at området generelt er isingsutsatt, spesielt i høvfjellet med fri eksponering mot fuktig luft inn fra havet. Den relative fordelingen av islaster i terrenget er slående lik for episode #2 - #5. Ledningstraseen unngår områdene med de største lastene men passerer to områder hvor simuleringene viser omkring 10 kg/m.

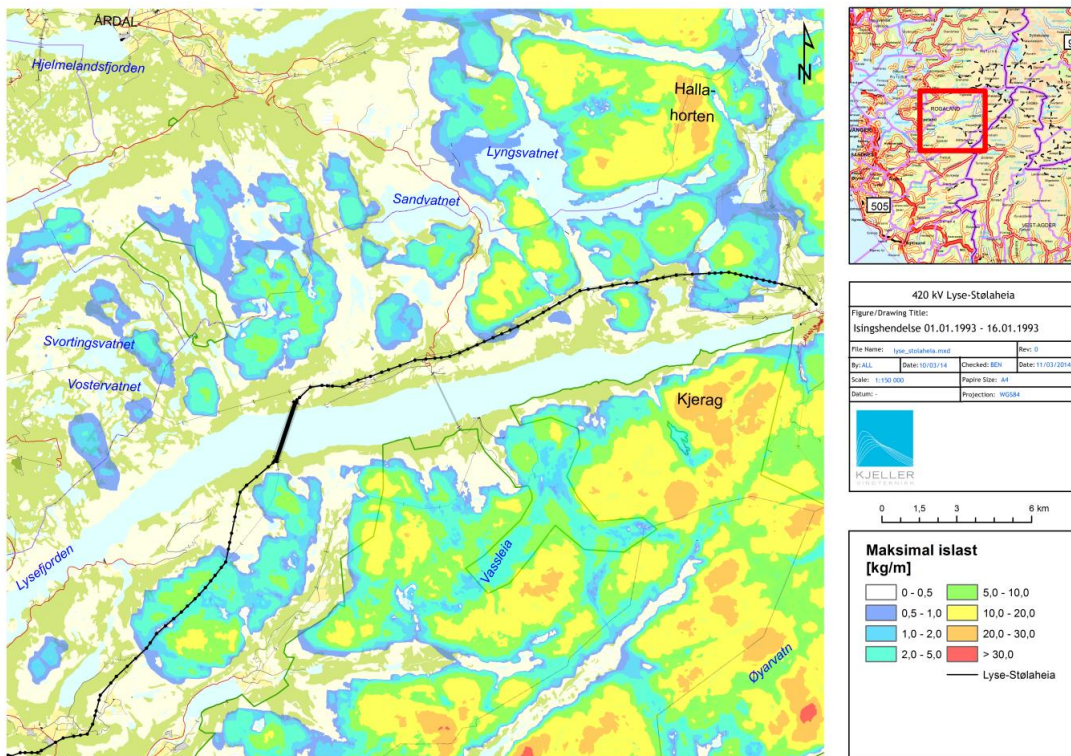
Simuleringene indikerer også at fjellpartiet langs sørsiden av Lysefjorden er noe mer eksponert enn på nordsiden, og at ledningstraseen i så måte er gunstig plassert. Det er verd å merke at i områder over ca 900 moh. øker islastene raskt med høyden, og over 1000 moh. finner vi 20 - 30 kg/m flere steder i disse enkelthendelsene.



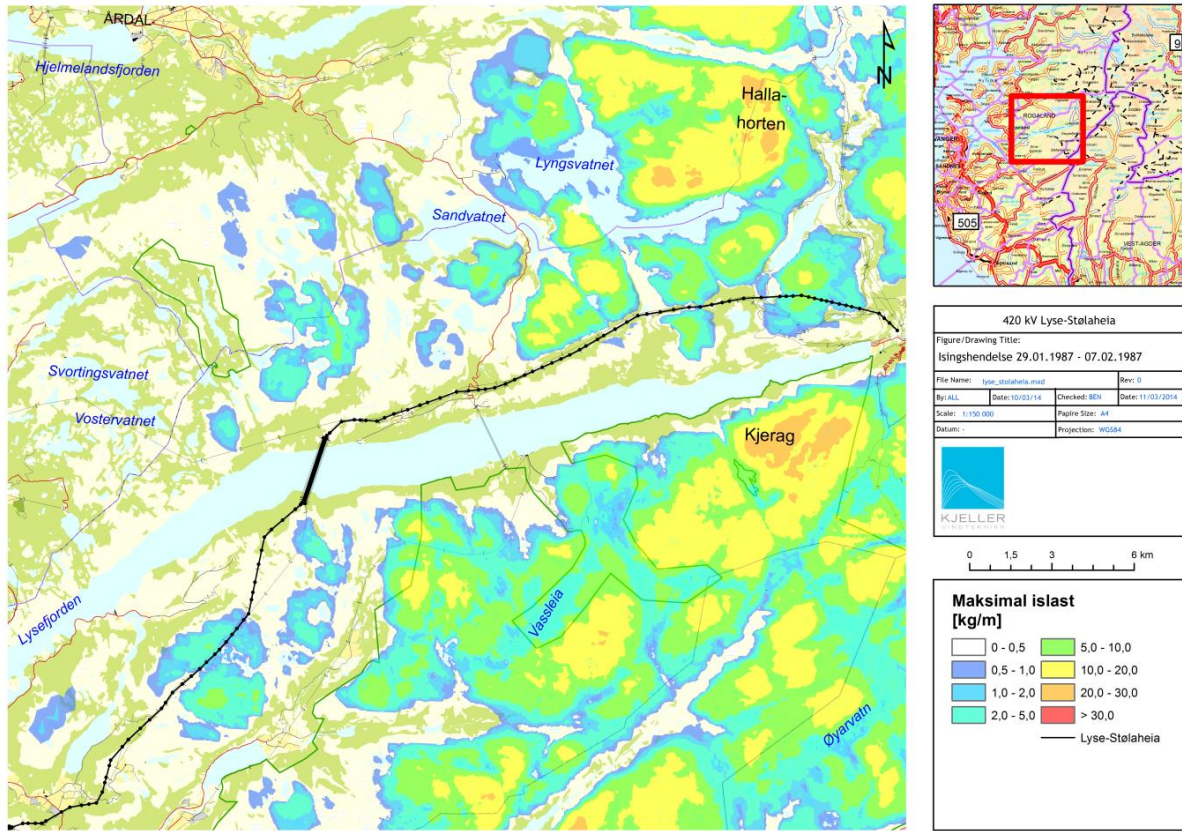
Figur 3: Simulert maksimal akkumulert islast (kg/m) på et standardlegeme for perioden 28.01.2011 - 11.02.2011.



Figur 4: Simulert maksimal akkumulert islast (kg/m) på et standardlegeme for perioden 13.02.2001 - 22.02.2001.



Figur 5: Simulert maksimal akkumulert islast (kg/m) på et standardlegeme for perioden 01.01.1993 - 16.01.1993.

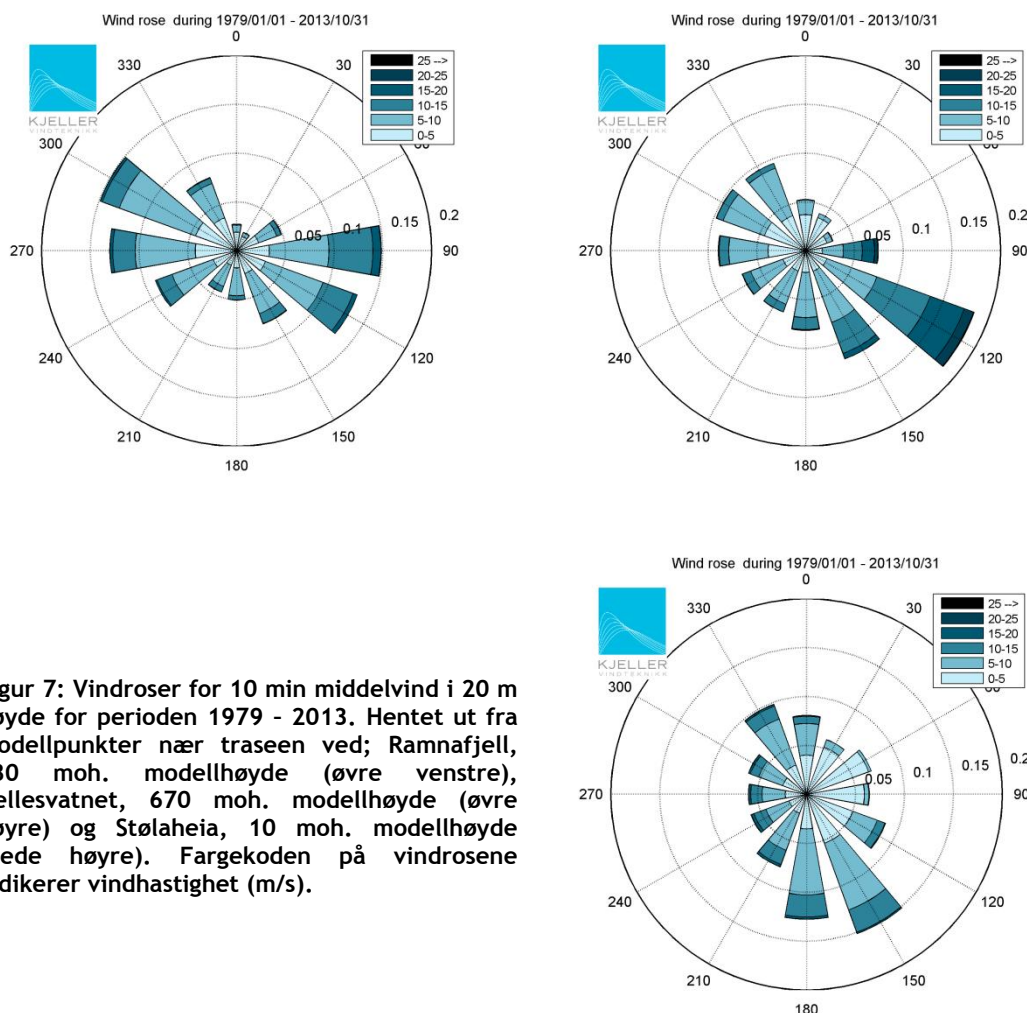


Figur 6: Simulert maksimal akkumulert islast (kg/m) på et standardlegeme for perioden 29.01.1987 - 07.02.1987.

4 Estimering av klimalaster

For å analysere ekstremverdier av vind og ising er det hentet ut modelldata for en 35-års periode for tre ulike områder langs traseen (Figur 1). Det første området er fremføringen på nordsiden av Lysefjorden, fra Ramnafjell og vestover, hvor det er hentet ut fire modellpunkter som spenner over høyder fra 740 - 880 moh. Område 2 omfatter sørsiden av Lysefjorden over Hellesvatnet og videre mot Høgsfjorden, representert med modellpunkter i høyden 440 - 670 moh. De siste fire modellpunktene er hentet ut i området videre mot Stølaheia, og alle punktene her har en modellhøyde på under 30 moh.

Figur 7 viser vindklimaet under hele simuleringsperioden for tre gridpunkter som representerer forholdene nær Ramnafjell, Hellesvatnet og Stølaheia. Dominerende vindretninger er fra Ø-SØ og fra V-NV. For de to østligste områdene, representert ved Ramnafjell og Hellesvatnet, forventes det oftest kraftig vind fra sørøst. For det vestligste punktet (Stølaheia) er de høyeste vindhastighetene fordelt i flere sektorer, dog ikke fra NØ-Ø.

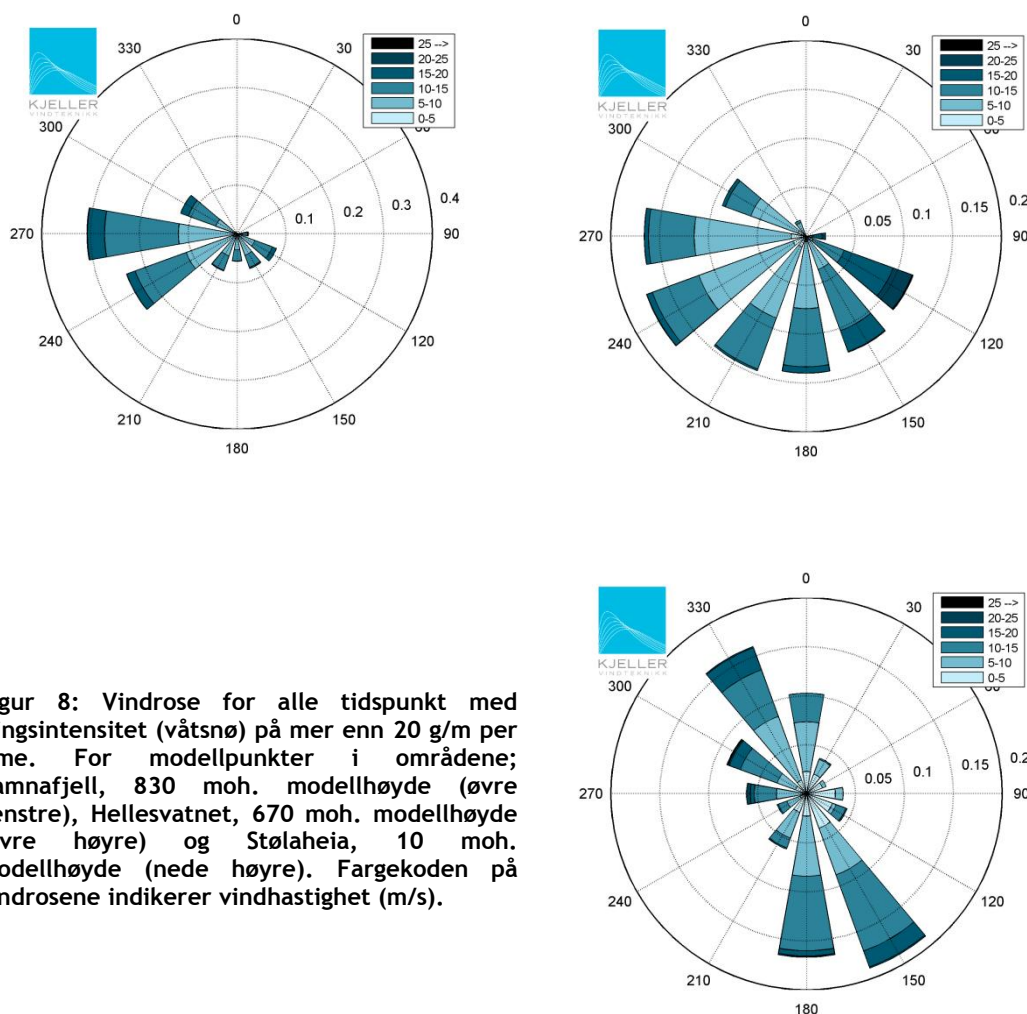


Figur 7: Vindroser for 10 min middelvind i 20 m høyde for perioden 1979 - 2013. Hentet ut fra modellpunkter nær traseen ved; Ramnafjell, 830 moh. modellhøyde (øvre venstre), Hellesvatnet, 670 moh. modellhøyde (øvre høyre) og Stølaheia, 10 moh. modellhøyde (nede høyre). Fargekoden på vindrosene indikerer vindhastighet (m/s).

4.1 Våtsnø

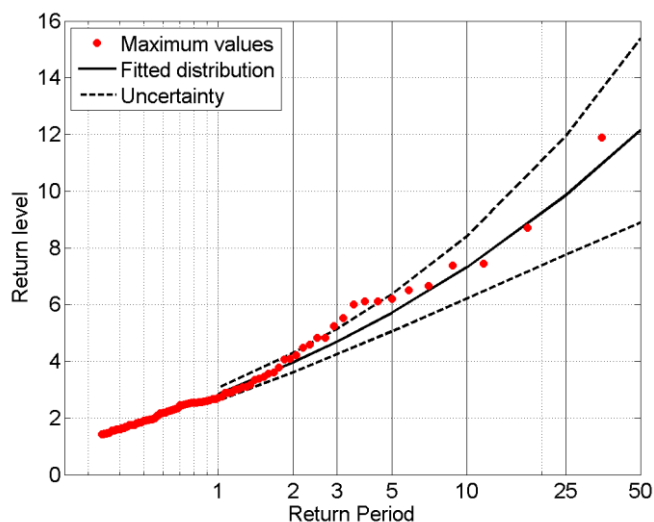
Hvilke vindretninger som oftest er forbundet med våtsnø varierer betydelig langs traseen. Nord for Lysefjorden forekommer de aller fleste våtsnøhendelsene ved vind fra vest, mens på sørsiden av Lysefjorden er det betydelig bidrag fra SV, S og SØ (øvre panel i Figur 8).

For området lengst vest (ved Stølaheia) forekommer våtsnø først og fremst fra NV og fra SØ. I dette området (i lave høyder) er vind fra SV stort sett forbundet med mildvær og regn, og slår følgelig ikke ut på våtsnøstatistikken.



Figur 8: Vindrose for alle tidspunkt med isingsintensitet (våtsnø) på mer enn 20 g/m per time. For modellpunkter i områdene; Ramnafjell, 830 moh. modellhøyde (øvre venstre), Hellesvatnet, 670 moh. modellhøyde (øvre høyre) og Stølaheia, 10 moh. modellhøyde (nede høyre). Fargekoden på vindrosene indikerer vindhastighet (m/s).

Våtsnø akkumuleres mest effektivt på linene ved vind på tvers av linjereetningen. Ekstremverdigeregning av islast fra våtsnø er gjort for ledninger med orientering i fire ulike himmelretninger: Ø-V, N-S, SV-NØ og SØ-NV. Eksempel på en ekstremverdigeregning av islast er gitt i Figur 9. Her er våtsnø beregnet for gridpunktet nær Hellesvatnet for en NØ-SV orientert ledning. Tilpasningskurven indikerer her en 50-års last på ca 12 kg/m.



Figur 9: Modellerte ekstremverdier av islast fra våtsnø (kg/m, indikert med røde sirkler). Svart linje er den tilpassede ekstremverdifordelingen. Beregnet for gridpunktet nærmest Hellesvatnet og for en ledning som går i retning fra NØ mot SV i relativt flatt åpent terreng.

Tabell 2 oppsummerer estimerte returverdier for islast fra våtsnø for en ledning orientert i de fire ulike retningene i de tre områdene representert ved Ramnafjell, Hellesvatnet og Stølaheia.

Det forventes altså en betydelig variasjon i islastene langs traseen. I Stølaheia-området med få meter over havnivå og generelt mildt klima forventes beskjedne laster, mens området sør og sørvest for Lysefjorden ser ut til å være betydelig mer eksponert, med høye estimerte returverdier for alle ledningsretninger. Nord for Lysefjorden forventes også relativt høye islastene fra våt snø, men traseens orientering i Ø-V retning ser ut til å være gunstig for å unngå de helt store lastene.

Det bør legges til at det er vanskelig å beregne 150-års returverdier fra tidsserier på kun 35 år. Den økte usikkerheten med økende returperioder illustreres av det faktum at konfidensintervallet (± 1 standardavvik; Stiplede linjer i Figur 9) øker markant med lengre returperioder. I disse analysene er estimert 50-års verdi multiplisert med en standard faktor på 1.25 for overgang fra 50 år til 150 års returtid for islastene.

50-års islast som er angitt i NEK 445:2009 for kysten Rogaland - Stad (0 - 200 moh.) er 3.5 kg/m, og for Fjordene Rogaland - Stad (0 - 400 moh.) 4.0 kg/m. Disse tallene er i rimelig overensstemmelse med modellresultatene. Over disse høydene indikerer modellen en markant økning i islastene med økt høyde over havet. Denne økningen forklares i lavere temperatur (oftere snø), økte nedbørmengder, og dels høyere vindhastigheter.

Modellresultatene gir en indikasjon på 50 års islast fra våtsnø for ledningen. Samtidig representerer modellen gjennomsnittsverdier for områder på 6 km x 6 km og vil ikke ta hensyn til lokale terreng effekter. De samme argumenter gjelder for estimatet fra NEK 445. Det gjøres derfor en erfaringsbasert vurdering til slutt hvor islastene justeres for ulike seksjoner, avhengig av lokale eksponerings- og skjermingseffekter (Kap. 5).

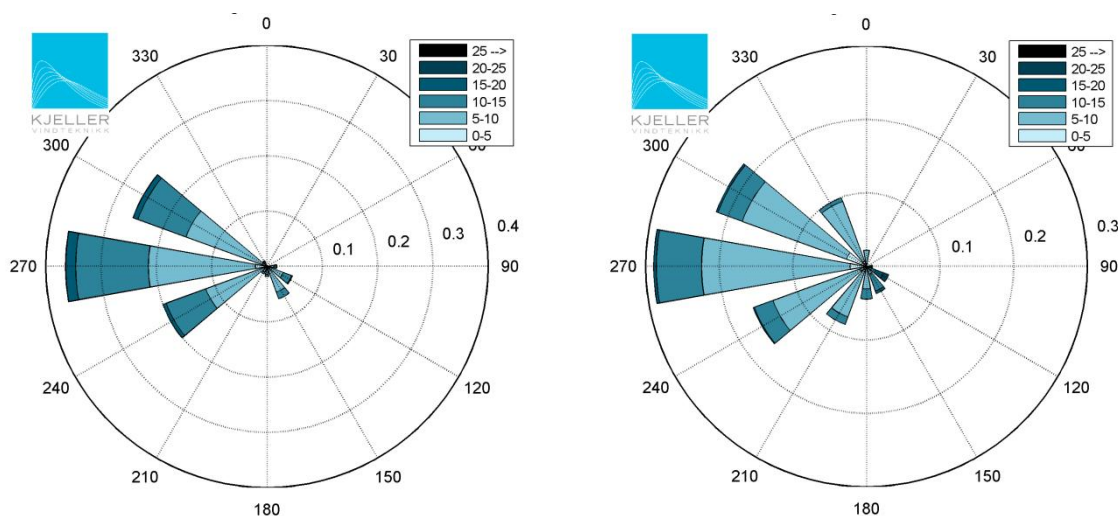
Tabell 2: Estimerte 150-års returverdier for islast fra våtsnø (kg/m) i ulike linjeretninger for tre områdene langs traseen. Svarte tall indikerer hovedretningen på ledningen i de respektive områdene.

Linjeretning	150-årige returverdier våtsnø (kg/m)		
	Ramnafjell	Hellesvatn	Stølaheia
N-S	11.9	13.7	2.1
SV-NØ	10.6	15.2	2.4
V-Ø	6.8	14.1	2.8
NV-SØ	9.3	14.5	2.3

4.2 Skyising

Tilsvarende som for våtsnø er det beregnet vindroser for tidspunkter med skyising. Figur 10 viser slike isingsroser for området ved Ramnafjell (venstre) og Hellesvatnet (høyre). For området ved Stølaheia gir modellen ingen skyising av betydning, som forventet i lavtliggende terreng. Modellen indikerer at skyising i hovedsak er forbundet med vind fra vestlig kant, med bidrag både fra sørvest og fra nordvest.

Tabell 3 og Tabell 4 viser at skyising forventes å øke betydelig med høyden.



Figur 10: Vindrose for alle tidspunkt med isingsintensitet (skyising) på mer enn 20 g/m per time. For modellpunkter i områdene; Ramnafjell 860 moh. (venstre) og Hellesvatnet 655 moh. (høyre). Fargekoden på vindrosene indikerer vindhastighet (m/s).

Tabell 3: Estimerte returverdier for skyising (kg/m) på et standardlegeme i ulike høyder over havet. Basert på gridpunktet nærmest Ramnafjell, og tidsperioden 1979-2013. *Islast med 150-års returtid er lik 50-års verdien multiplisert med 1.25.

Høyde	Returverdier for skyising (kg/m)			
	3 år	10 år	50 år	150 år*
800 moh	2.5	3.6	5.0	6.3
850 moh	4.7	6.7	9.5	11.9
900 moh	8.0	11.7	18.1	22.6

Tabell 4: Estimerte returverdier for skyising (kg/m) på et standardlegeme i ulike høyder over havet. Basert på gridpunktet nærmest Hellesvatnet, og tidsperioden 1979-2013. *Islast med 150-års returtid er lik 50-års verdien multiplisert med 1.25.

Høyde	Returverdier for skyising (kg/m)			
	3 år	10 år	50 år	150 år*
700 moh	1.6	2.3	3.2	4.0
750 moh	2.8	3.8	5.0	6.3
800 moh	4.7	6.4	9.0	11.3

Selv om skyising ikke nødvendigvis viser seg å gi de høyeste ekstremverdiene, er det viktig å ta hensyn til i vurderingen av ulike traseer, fordi hyppig ising vil kunne føre til økt slitasje og økt sannsynlighet for galoppering. Tabell 5 og Tabell 6 viser antall hendelser med skyising over visse terskelnivåer i løpet av 35-års perioden, henholdsvis for området ved Ramnafjell og Hellesvatnet. Tabellene viser at isingsfrekvensen øker betraktelig med høyden. Analysene viser også at området ved Hellesvatnet, som er mer åpent og kystnært, har oftere og mer ising enn området ved Ramnafjell, i samme høyde.

Tabell 5: Antall hendelser per år med akkumulert skyising over terskelverdier. Tidsperiode 1979 - 2013. Modellpunkt ved Ramnafjell. Hendelser er definert med minst 4 dagers mellomrom og adskilt med en smelte- eller sublimeringsperiode.

Høyde	Antall hendelser per år over terskel		
	1 kg/m	3 kg/m	5 kg/m
800 moh	1.0	0.03	0
850 moh	4.5	1.0	0.2
900 moh	6.0	2.9	1.2

Tabell 6: Antall hendelser per år med akkumulert skyising over terskelverdier. Tidsperiode 1979 - 2013. Modellpunkt ved Hellesvatnet. Hendelser er definert med minst 4 dagers mellomrom og adskilt med en smelte- eller sublimeringsperiode.

Høyde	Antall hendelser per år over terskel		
	1 kg/m	3 kg/m	5 kg/m
700 moh	1.8	0.2	0
750 moh	3.0	0.3	0.03
800 moh	6.5	1.3	0.3

4.3 Vindlaster

Referansevindhastighet (10 min middelvind i 10 meters høyde i terrengkategori II) gitt i NS-EN 2009-1-4 (Norsk Vindstandard) er 26 m/s for både Forsand kommune Sandnes kommune og Stavanger kommune. Det er gjort en fortløpende vurdering langs traseen av terrengruhet i ulike vindretninger. Med en typisk terrengruhet for dette området ($Z_0 = 0.05$) gir vindstandarden, uten hensyn til retning, 50 års vindkast lik 42.0 m/s i 15 meters høyde for flatt terreng.

I fjellet kan vindkastene bli vesentlig høyere enn dette. Vinden vil bli sterkt styrt av topografien, slik at over fjelltopper og i dalfører med høyere fjell på sidene, kan vindkastene trolig være i størrelsesorden 45 - 50 m/s eller mer, avhengig av lokale forhold. Det er verdt å merke seg at selv i trange daler med bratte fjellsider kan det bli relativt høye vindkast på tvers på grunn av lokal virveldannelse over skarpe fjellkammer.

I tillegg er det gjort ekstremverdiberegninger av vind basert på modelldataene. Tabell 8 viser vindkast med 50-års returperiode for de ulike områdene. Siden modellen jobber i et utjevnet terreng er ikke lokale forhold gjengitt i disse resultatene. Ekstremverdiene i tabellen skal derfor ikke benyttes direkte for dimensjonering, men den retningsvise fordelingen gir allikevel en god pekepinn på maksvindens normalkomponent på ledningen.

Tabell 7: Estimerte 50-års returverdier for vindkast for de tre områdene. Beregnet som normalkomponent på ledninger i ulike retninger, og som maksimalverdi (Retningsuavhengig). Svarte tall indikerer hovedretningen på ledningen i de respektive områdene.

Linjeretning	50-års returverdier for vindkast (m/s)		
	Ramnafjell	Hellesvatn	Stølaheia
N-S	42.3	49.8	43.0
SV-NØ	38.5	46.3	45.7
V-Ø	34.6	34.6	40.7
NV-SØ	36.1	36.2	40.7
Retningsuavhengig	42.5	51.3	45.8

5 Klimalaster - seksjonsinndelt

Lastene i Tabell 8 er gitt med referanse til mastenummer som vist på trasekart i Tillegg A. Islaster er estimert med 150 års returtid, mens vindkast er gitt med 50 års returtid. Vindkast, både maksimalverdi og normalkomponent er estimert i 15 meters høyde over bakken, hvilket er ment å representere gjennomsnittshøyden for de fleste spenn. For spenn med betydelig større høyde (over 20 m) til bakken bør vindlastene vurderes særskilt. Islastene i tabellen er våtsnø.

Tabell 8: Klimalaster seksjonsvis for hovedalternativ (nordlig alternativ ved Storavatnet).

Mastenummer	Islast (kg/m)	Maksimalt vindkast (m/s)	Normalkomponent (m/s)
1 - 5	6	42	35
5 - 6	10	45	42
6 - 14	12	48	42
14 - 17	10	45	42
17 - 26	8	45	40
26 - 28	8	45	42
28 - 43	8	45	40
43 - 48	8	45	42
48 - 55	8	45	40
55 - 59	12	50	45
59 - 61	8	45	42
61 - 62	4	45	35
62 - 67	8	45	42
67 - 70	10	45	45
70 - 73	12	45	45
73 - 80	15	48	45
80 - 86	12	45	42
86 - 101	9	45	42
101 - 107	9	50	48
107 - 108	4	45	42
108 - 118	9	45	45
118 - 131	6	45	42
131 - 138	8	45	45
138 - 142	6	45	42
142 - 145	5	44	40
145 - 158	6	48	45

Tabell 9: Klimalaster seksjonsvis for sørlig alternativ ved Storavatnet.

Mastenummer	Islast (kg/m)	Maksimalt vindkast (m/s)	Normalkomponent (m/s)
118 - 134	9	45	45
134 - 145	6	45	45

6 Referanser

Norsk Elektroteknisk Komite, NEK445:2009 er en norskspråklig samleutgave av europainormene NEK EN 50341 og NEK EN 50423 samt norske tilpasninger.

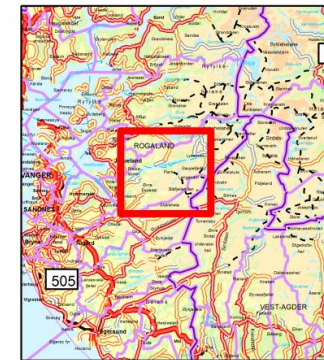
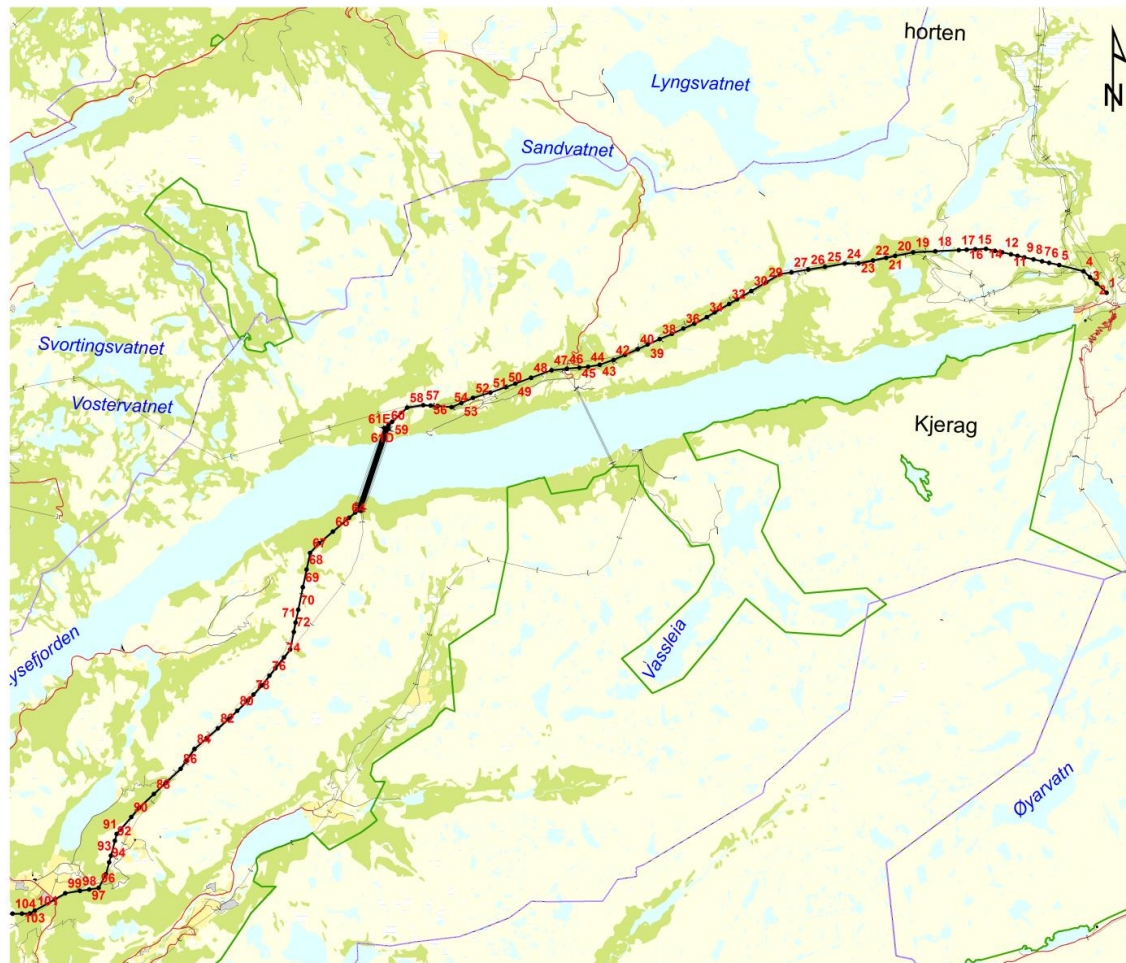
NS-EN 1991-1-4:2005+NA, 2009: Eurocode 1: Laster på konstruksjoner. Standard Norge, 2009


ISO12494 (Atmospheric icing of structures)

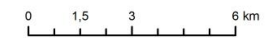
Coles, Stuart. An introduction to statistical modeling of extreme values. Springer, 2001.

Nygaard, Bjørn Egil Kringelbotn, Hálfván Ágústsson, and Katalin Somfalvi-Tóth. "Modeling Wet Snow Accretion on Power Lines: Improvements to Previous Methods Using 50 Years of Observations." *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 2013.

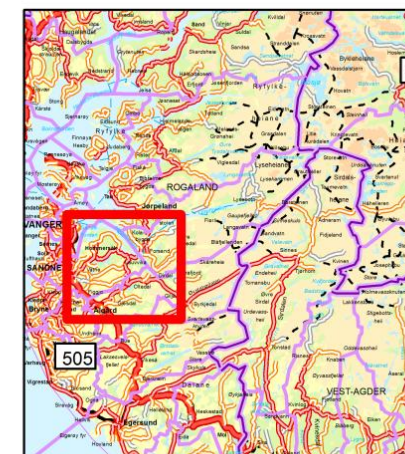
Vedlegg A: Trasekart



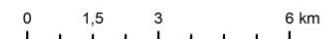
420 kV Lyse-Stølaheia			
Figure/Drawing Title: Mastnummerering - østlig del			
File Name: lyse_stolaheia.mxd	Rev: 0		
By: ALL	Date: 10/03/14	Checked: BEN	Date: 11/03/2014
Scale: 1:150 000	Papire Size: A4		
Datum: -	Projection: WGS84		
 KJELLER VINDEKNIKK			



—	Lyse-Stølaheia
•	Mastepunkt



420 kV Lyse-Stølaheia			
Figure/Drawing Title: Mastnummerering - vestlig del			
File Name: lyse_stolaheia.mxd		Rev: 0	
By: ALL	Date: 10/03/14	Checked: BEN	Date: 11/03/2014
Scale: 1:150 000		Papire Size: A4	
Datum: -		Projection: WGS84	
 KJELLER VINDETEKNIKK			



—	Lyse-Stølaheia
•	Mastepunkt

Vedlegg B: 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 v3.2.1 described in Skamarock et al. (2008)². Details about the modelling structure, numerical routines and physical packages available can be found in for example Klemp et al. (2000)³ and Michalakes et al. (2001)⁴. 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. In addition the code is 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 data 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 project⁵. For Norway, the model input uses the N50 land use data provided by the Norwegian Mapping Authority⁶.

For the solving of the model equations it requires boundary conditions of the area considered. Such lateral boundary data is available from the National Centers for Environmental Protection (NCEP). The data originates from the Final Global Data Assimilation System (FNL)⁷ and is available as global data with 1 degree resolution every 6

² 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

³ 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/>)

⁴ 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 Zwiefhofer and Norbert Kreitz. World Scientific, Singapore.

⁵ <http://www.eea.europa.eu/publications/COR0-landcover>

⁶ http://www.kartverket.no/eng/Norwegian_Mapping_Authority/

⁷ <http://www.emc.ncep.noaa.gov/gmb/para/parabout.html>

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 Center for Medium range Weather Forecasting (ECMWF). The reanalysis data ERA Interim^{8,9} 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.

Model Setup

The model setups used in these analyses are shown in Figure B-1. The simulations of the northern European region have been performed for 34 years covering the period of 1979-2013. The model has been set up with 2 nested domains. The horizontal resolutions are 18 km x 18 km and 6 km x 6 km for the longer period. The fine scale simulations are set up with three nested domains with horizontal resolution stepwise increasing from 12.5 km x 12.5 km to 0.5 km x 0.5 km from the outermost to the innermost domains.

The ERA Interim dataset is used as lateral boundary conditions for both the 6 km simulation and the 500 m simulations (for case #1 the NCEP-FNL dataset is used as input due to a 3 months delay in the availability of the ERA Interim data).

Each of the simulations has 32 layers in the vertical with four layers in the lower 200 m. We have used the Thompson microphysics scheme and the MYNN scheme for boundary layer mixing.

The 500 m simulations require a high resolution digital elevation dataset as input. For these simulations we have utilized the ASTER GDEM satellite retrieved elevation model, with a horizontal resolution of 1 sec (approximately 30 m).

With the current setup, the WRF-model calculates the change in the meteorological fields for each grid-cell for a time step from 2 to 108 seconds in the different domains with increasing time step for lower horizontal resolution. In this way a realistic temporal development of the meteorological variables is achieved. Data is stored to disk every 1 hours of simulation.

⁸ 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

⁹ <http://www.ecmwf.int/research/era/do/get/era-interim>

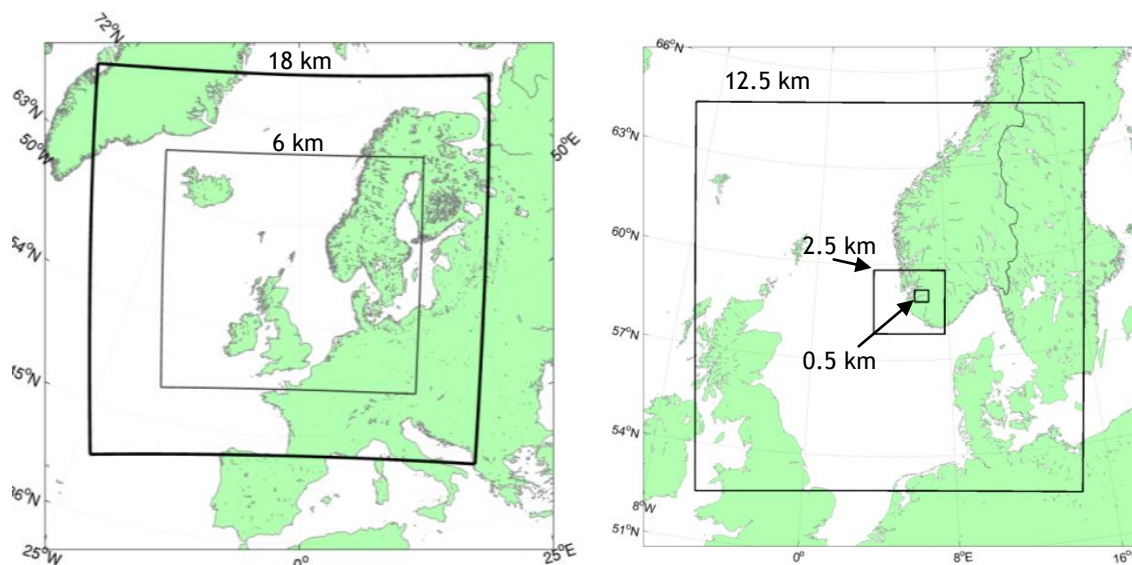


Figure B-1: Model set up for WRF simulations. Left: Coarse grid for 35 years simulation (6 km and 18 km), right: High resolution grid used for case studies (nested down to 0.5 km).

Ice load calculations

According to the standard ISO 12494 (ISO/TC98/SC3/WG6 2000)¹⁰ icing has been calculated from

$$\frac{dM}{dt} = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \cdot w \cdot A \cdot V \quad (1)$$

Here dM/dt is the icing rate on a standard cylindrical icing collector (defined by ISO 12494 as a cylinder of 1 m length and 30 mm diameter), w is the liquid water content, and A is the collision area of the exposed object. V is the wind speed and α_1 , α_2 and α_3 are the collision efficiency, sticking efficiency and accretion efficiency, respectively.

Accumulated over time (1) gives M as the mass of ice on a standard cylindrical icing collector. Icing is calculated at a specific height equivalent to the elevation of the line route.

There are several sources of uncertainty in the model data. The cloud processes are simplified and calculated by using parameterizations. Uncertainties therefore exist in the total amounts of cloud water available in the air masses, and in the distribution of cloud water vs. cloud ice in the air masses. The model setup is using a sophisticated microphysics scheme.¹¹ This is the scheme that gives the most accurate calculations of liquid water content¹² and is thus recommended for icing calculations. Uncertainties are also related to

¹⁰ ISO 12494 2000: Atmospheric Icing of structures, International Standard, ISO/TC98/SC3/WG6.

¹¹ Thompson G., P.R. Field, W.D. Hall and R Rasmussen, 2006: A new bulk Microphysical Parameterization Scheme for WRF (and MM5)

¹² Nygaard, Bjørn Egil, Jón Egill Kristjánsson, Lasse Makkonen, 2011: Prediction of In-Cloud Icing Conditions at Ground Level Using the WRF Model. J. Appl. Meteor. Climatol., 50, 2445-2459.

the vertical distribution of the moist air and choice of parameterization scheme for the boundary layer mixing processes.

In the simulations also the topography is represented by a grid, and does not reflect the real height of the mountain peaks. This means that the mountain tops in the model are lower than in the real world. This discrepancy can lead to an underestimation of the icing amounts particularly for coarse model grids. We correct for the discrepancy in height between the model grid and the actual elevation of the sites. This correction is done by lifting the air in the model to the correct terrain height. This lifting will contribute to lower the pressure and temperature in the air, allowing for an increased amount of cloud water, or it will lead to condensation in the cases when the air will reach the water vapor saturation pressure. The lifting is performed according to the vertical profile of temperature and moisture locally in the model.

Removal of ice

Ice melting is calculated by evaluating the energy balance model, given by

$$Q = Q_h + Q_e + Q_n, \quad (2)$$

where Q_h and Q_e are the sensible and latent heat fluxes. Q_n is the net radiation term. There are also other terms which will come into the total energy balance model, however they are assumed to be of negligible size in this context. A detailed description of the melting terms is given in Harstveit (2009).¹³

When Q becomes positive, melting will start. Often during melting episodes, the ice does not melt gradually away such as described by the energy balance model. When the melting is initialized the ice will often be removed more quickly by shedding, particularly from a rotating blade. This ice shedding is a stochastic process which makes it difficult to estimate the time when all ice is removed. In this work no ice shedding is assumed in relation to melting of the ice. This implies that the ice load can be overestimated at some periods during melting. The melting process does however happen quite fast, so only shorter periods of time will be affected.

Sublimation is a process for ice removal that is found to be important, in particular for dry inland sites where the temperature can stay below freezing for several months continuously during the winter. At such sites the accumulated ice will not melt. Sublimation is defined as the transfer of ice from solid state directly to water vapor. This will happen in situations with dry air. The sublimation rate increases with wind speed when the ventilation of the iced object is high. This can allow for faster ice removal of e.g. a rotating turbine blade compared to a fixed object. The sublimation rate is calculated by evaluating the energy balance between outgoing long wave radiation and latent heat release from the sublimation process. Sublimation has been included in the icing calculations. During the process of sublimation we have observed that the ice becomes brittle and that small pieces of ice continuously fall off the cylinder. This shedding is included by multiplying the sublimation rate with a factor of 2.5.

¹³ Harstveit K, Byrkjedal Ø. and E. Berge 2009: Validation of Regional In-Cloud Icing Maps in Norway, IWAIS, Andermatt 2009.