



Norwegian  
Meteorological  
Institute

**MET** report

no. 31/2013  
Climate

# Vestre korridor Foreløpig klimalaster for 420kV Tjørhom-Ertsmyra

Helga Therese Tilley Tajet  
Karianne Ødemark

Bjørn Egil K. Nygaard (Kjeller Vindteknikk AS)



Utsikt fra Hesten retning sør-sørvest, fra befaring 26. September 2013.  
Foto: Helga Therese Tilley Tajet





Norwegian  
Meteorological  
Institute

# MET report

<b>Title:</b> Vestre korridor Foreløpig klimalaster for 420kV Tjørhom-Ertsmyra	<b>Date</b> 2014-03-17  Revidert utgave
<b>Section:</b> Klimatjenesteavdelingen	<b>Report no.</b> no. 31/2013
<b>Author(s):</b> Helga Therese Tilley Tajet Karianne Ødemark Bjørn Egil K. Nygaard (Kjeller Vindteknikk AS)	<b>Classification</b> <input checked="" type="radio"/> Free <input type="radio"/> Restricted
<b>Client(s):</b> Statnett	<b>Client's reference</b> 55560
<b>Abstract</b> <p>Foreløpige is- og vindlaster er angitt for strekket Tjørhom-Ertsmyra i forbindelse med en spenningsoppgradering av eksisterende kraftledning. Området er snørikt, og våt snø er den dominerende isingstypen. Det er gjort analyse av modelldata ved bruk av modellgenererte værdata for perioden 1979 - 2013. Lastene er gitt i tabell med 150-års returperiode for islastene og 50-års returperiode for vindlastene. Islaster varierer mellom 6 - 12 kg/m og vindlaster varierer mellom 35 - 48 m/s. Trasealt. 2.3-2.0-1.0 er noe mer utsatt enn trasealt. 5.0, på grunn av at vi antar det vil være mye turbulens fra vinden som kan føre til mye slitasje på ledningen her.</p>	
<b>Keywords</b> Klimalast, vindlast, islast, kraftledning, isfall, WRF, Vestre korridor	

  
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](http://www.met.no)



# Innhold

<b>Innhold</b>	<b>7</b>
<b>1 Innledning</b>	<b>8</b>
<b>2 Vind- og islaster</b>	<b>9</b>
2.1 Befaring	9
2.2 Trasealternativ 2.3-2.0-1.0 over Hesten	10
2.3 Isfall fra langspenn over Lilandsdalen (trasealt. 2.3-2.0-1.0)	10
<b>3 Analyse av modelldata</b>	<b>11</b>
3.1 Analysebakgrunn	11
3.2 Metode og data	11
3.3 Analyse av våt snø	12
3.4 Analyse av skyising	14
<b>4 Klimalaster</b>	<b>16</b>
<b>Referanser</b>	<b>19</b>
<b>Vedlegg A: WRF - modellering</b>	<b>20</b>

# 1 Innledning

Denne rapporten gir en vurdering av foreløpige klimalaster for ny 420 kV ledning fra Tjørhom (Sirdal) til Ertsmyra/Tonstad. Ledningen skal erstatte bestående 300kV Lyse-Tonstad. Klimalaster er beregnet for en parallellføring med eksisterende ledningstrasé i starten for trasealt. 2.3-2.0-1.0, men evt. ny ledning vil ikke være parallell med eksisterende ledning på hele strekningen. Det er også sett på en eventuell nyoppføring med en deling til et trasealt. 5.0. Det er ikke meldt om større værrelaterte driftsproblemer på bestående 300 kV ledning. Opprinnelige dimensjonerende klimalaster fra 1965 er skaffet til veie fra gamle arkivmapper etter tidligere konsulent Svein M. Fikke.

Vind- og islaster er analysert med utgangspunkt i trasekart og shp-filer mottatt per e-post den 6. september 2013, og 27. oktober 2013 for en alternativ krysning av Lilandsdalen på trasealt. 2.3-2.0-1.0. Rapporten angir foreløpige dimensjonerende klimalaster for ledningstraseen, delt inn i seksjoner med noenlunde like laster. Når alle mastepunkter er satt kan endelige klimalaster bestemmes med et høyere detaljnivå. Det ble gjort en meteorologisk befarings i området den 26. september 2013 hvor vi fløy over traséene og landet noen utvalgte steder.

Dette er en revidert versjon av rapporten etter ønske fra Statnett om å få traseene med trasealternativ og nummer i stedet for «østre» og «vestre» alternativ, samt få samlet et eget kapittel om hvordan trasealt. 2.3-2.0-1.0 er over Hesten. Derfor er det blitt endringer i kapittel 2 med noen omformuleringer og samling av tekst, og i kapittel 4 med navn på traseene.



## 2 Vind- og islaster

Ledningstraseen går i et område med generelt høye vind og islaster. Fjellpartiet mellom Tjørhom og Tonstad er svært nedbørsrikt og vinterstid kan det falle store snømengder på kort tid. Ved temperatur rundt null grader er faren for betydelig våtsnø på linene høy. Hovedretningen for slike våtsnø-tilfeller er fra vest, og ledningen er derfor eksponert med høy normalkomponent i store deler av traseen. Dimensjonerende våtsnølast kan til en viss grad relateres til maksimal døggnedbør målt ved nærmeste værstasjoner vinterstid. Tabell 1 nedenfor angir returperioder for døggnedbør ved de fire nærmeste nedbørstasjonene. I praksis vil mange av de mest nedbørrike hendelsene opptre i form av regn i lavlandet, men sludd eller snø i fjellet. Med disse nedbørsverdiene bør en basis dimensjonerende islast (våtsnø) ligge på ca. 10-11 kg/m for hele traseen.

*Tabell 1: Maksimal døggnedbør vinterstid. Returverdier angitt med to ulike metoder for ekstremverdberegning.*

Stasjon	10-års returperiode	50-års returperiode
Sirdal - Tjørhom	73 (71) mm	94 (93) mm
Skreådalen	86 (83) mm	112 (107) mm
Tonstad	76 (75) mm	97 (98) mm
Risnes i Fjotland	76 (73) mm	101 (95) mm

Trasealt. 5.0 ligger generelt mer beskyttet enn trasealt. 2.3-2.0-1.0 (i snitt lavere), selv om høyeste punkt her er høyere enn høyeste punkt på trasealt. 2.3-2.0-1.0. Skyisingsroser fra analyse (kapittel 3) viser hoved skyisingsretning fra S og SV. Det er hyppig skyising, men maks last neppe over 10 kg. På grunn av hyppig forekomst av ising kan de høyeste partiene være mer utsatt for galoppering og slitasje.

Nærmeste vindstasjoner ligger forholdsvis lavt i terrenget (under 500 moh) og er derfor ikke representative for forholdene i høyfjellet. Vurderingen av vindlastene er derfor vurdert med utgangspunkt i referansevind fra norsk vindstandard (NS-EN 1991-1-4:2005+NA:2009), samt tilhørende formelverk for beregning av vindkast. I tillegg vurderes lokale effekter knyttet til topografien langs ledningen, samt ledningens orientering i terrenget. De høyeste vindlastene er forventet med retning fra sørvest til nordvest og har derfor en høy normalkomponent på store deler av ledningstraseen. Det er brukt 24 m/s som referanseverdi for området, og det er tatt utgangspunkt i gjennomsnittlig linehøyde på 15 m for beregning av vindlastene.

### 2.1 Befaring

Det ble gjort en befaring av traséen den 26. september 2013. Da ble det flydd over begge traséalternativene, samt gjort noen landinger på eksponerte steder. På trasealt. 5.0 så vi at spennet som eventuelt vil gå ved Fjelldraget er noe utsatt, med relativt fri eksponering i alle retninger. Senere ble

det foretatt synfaring fra Sandvatnfjellet (ca. 870 moh.). Også her er ligger traseen relativt fritt eksponert for vind, våt snø og skyising fra alle retninger, uten at det forventes ekstraordinære værbelastninger. Trasealt. 2.3-2.0-1.0 ble synfart fra Hesten, se beskrivelsen under.

## 2.2 Trasealternativ 2.3-2.0-1.0 over Hesten

Trasealt. 2.3-2.0-1.0 ligger nær kanten av fjellplatået, som impliserer andre turbulensforhold enn det man legger til grunn i et flatt terreng i en gitt terrengkategori. Det kan forekomme lokal vindforsterkning over kanten der ledningen er tenkt, og spesielt på lesiden av Hesten må det tas høyde for kastforsterkning ved vind fra nordvest. Økt middelvind over kanten kan i tillegg gi økt mengde våtsnø her. Som nevnt tidligere vil hyppig forekomst av lave laster føre til økt fare for galoppering og slitasje.

For trasealt. 2.3-2.0-1.0 er området rundt Hesten utsatt ved vind fra nordvest. Her er det tatt høyde for en vindkastforsterkning på 20 %. Denne vurderingen er gjort i samråd med seniorrådgiver Dr. Knut Harstveit ved Kjeller Vindteknikk. Dette reflekteres også i de høyere vindlastene satt for dette partiet.

På nevnte befaring landet vi på Hesten. Terrengets form tilsier vindkastforsterkning og generelt mye turbulens, som kan føre til slitasje på ledningen, spesielt i kombinasjon med ising. Hesten er på ca. 790 moh., men traséen vil ligge litt lenger øst og ned på ca. 750 moh, noe inn fra kanten. Den bratte dalsiden vil tvinge luften til å stige opp på platået. Ved høy fuktighet og kraftig vind er det fare for et lokalt belte med skyising langs denne kanten. Dessuten er det vindkastforsterkning over topper og på kanten av platåer [5]. Selv om traseen er tenkt plassert noe inn fra kanten, er den ikke tilstrekkelig langt nok inn til at man kan se bort fra disse effektene. Virkningen av slike lokale terrengeffekter er vanskelig å kvantifisere, og lastene her har dermed en høyere usikkerhet enn for laster i et flater terreng.

## 2.3 Isfall fra langspenn over Lilandsdalen (trasealt. 2.3-2.0-1.0)

Isingstypen relevant for langspennet vil i hovedsak være våtsnø, da skjermingen mot skyising er relativt god. Våtsnø akkumuleres på og rundt linene under kraftige snøfall, og vil ha en tetthet som avhenger av vinden og temperaturen under akkumulasjonsperioden. Det er to mekanismer som kan få isen til å løsne fra ledningene; vind og smelting. Da vindforholdene ofte endres raskt i slikt terreng, vil det alltid være risiko for isfall så lenge det sitter is på linene. Antall hendelser med akkumulert våtsnø over gitte mengder gir en indikasjon på risikoen. Modellresultatene viser følgende:

Islast	Ant potensielle hendelser i løpet av 35 år
3 kg/m	6
2 kg/m	24
1 kg/m	88
0.5 kg/m	221

Det er antatt at disse hendelsene har en gjennomsnittlig varighet på 1 døgn. Det er usikkert i hvilken horisontal avstand isfall fra ledningen kan utgjøre en risiko, samt hva som er årlig sannsynlighet for treff av isklumper som betegnes som farlige i området under ledningen.

Det er mulig å beregne slike sannsynlighets- og risikokart basert på spennets profil, terrengdata, isingsmodell og beregningsmodell for fallbaner til isklumper av ulike størrelser. Slike analyser er imidlertid resurskrevende og må evt. bestilles separat.

## 3 Analyse av modelldata

### 3.1 Analysebakgrunn

Da det foreligger en begrenset mengde relevante meteorologiske data for å bestemme klimalastene i området, er det besluttet å supplere med en analyse av modellgenererte værdata. Nærmeste værstasjoner ligger stort sett i lavere terreng og det er vanskelig å overføre denne informasjonen til å beskrive forholdene i fjellet. Modelldata er et godt alternativ da disse kan hentes ut i et hvilket som helst punkt, også i områder langt fra nærmeste målepunkt.

Kjeller Vindteknikk har utviklet metoder for å estimere klimalaster på konstruksjoner basert på slike data. Disse metodene benyttes i en rekke dimensjoneringsoppdrag både for kraftledninger, master, tårn og bruer.

### 3.2 Metode og data

Beregningene er basert på meteorologiske data generert med en numerisk værmodell. Modellen heter WRF (Weather Research and Forecasting model) og beskrevet i Vedlegg A. Modelldataene er fordelt i et horisontalt gitter med gitteravstand på 6 km, og strekker seg over perioden 1979 – 2013. For dette prosjektet er det hentet ut data fra fire punkter som ligger så nær traseene som mulig. Disse punktene spenner over høyder fra 700 - 850 moh. Dataene har en tidsoppløsning på 1 time og inneholder alle nødvendige parametere for å estimere vind og islaster.

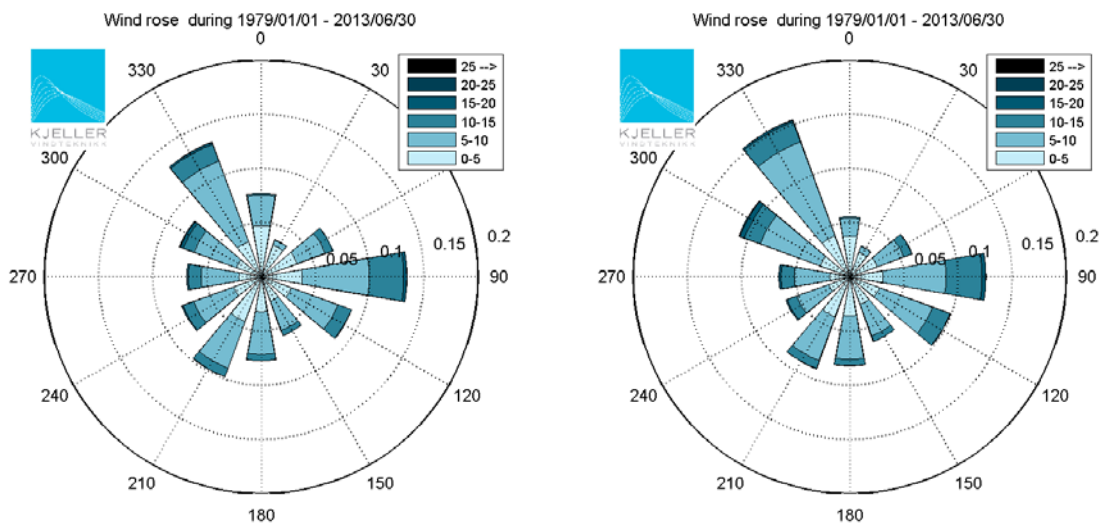
Modellert nedbør, vind, temperatur, luftfuktighet, snøfuktighet samt konsentrasjonen av underkjølt skyvann er hentet ut som tidsserier fra WRF for alle de fire punktene. Disse dataene er videre brukt som input til akkumulasjonsmodeller for våtsnø og for skyising. Isingsintensiteten bestemmes hvert tidspunkt basert på vind på tvers av ledningen, nedbør, snøens fuktighet (våtsnø) og konsentrasjonen av underkjølte skydråper (skyising). Modellen for våtsnø er kalibrert ved hjelp av 50 år med observasjoner fra ledningsnettet på Island, og er beskrevet i [1]. Modellen for skyising er hentet fra ISO-standard for atmosfærisk ising på konstruksjoner [2].

Det benyttes en statistisk analyse for å estimere returperioder basert på ekstremverdiene i seriene av modellert 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 ekstremverdieregningen er dokumentert i [3].

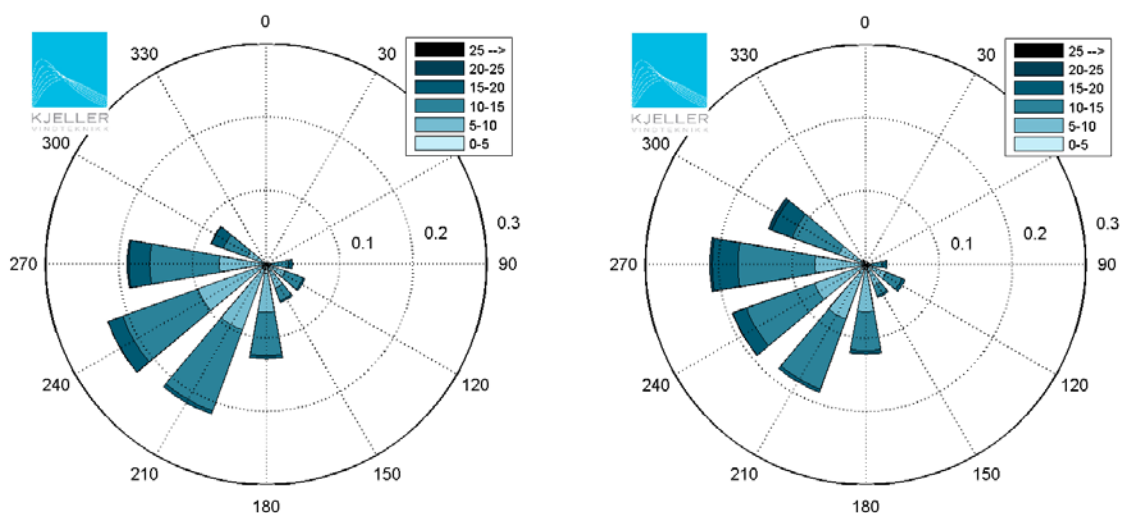
### 3.3 Analyse av våt snø

Våtsnø akkumuleres mest effektivt på linene ved vind på tvers av linjeretningen. Det er derfor viktig å studere vindklimaet og særlig vindretning under isingsforhold. Figur 1 viser vindklimaet for de to nærmeste punktene gjennom hele beregningsperioden. Det er liten variasjon mellom de to punktene, og vanligste vindretninger er fra NV og Ø.

Figur 2 viser samme fremstilling, men kun for tidspunkter med isingsintensitet over 50g per time. Våtsnø forekommer i all hovedsak ved vind fra SV til NV, og er ofte forbundet med relativt høy middelvind (mørk farge). Det store bidraget med østavind fører altså sjeldent til våtsnø. Fargen på vindrosene i Figur 2 indikerer at våtsnø ofte er forbundet med relativt kraftig vind fra V til NV, ofte over 15 m/s som 10 min middel.



**Figur 1:** Vindrose for 10 min middelvind i 20 m høyde for hele beregningsperioden, plottet for de to nærmeste punktene i modellen.

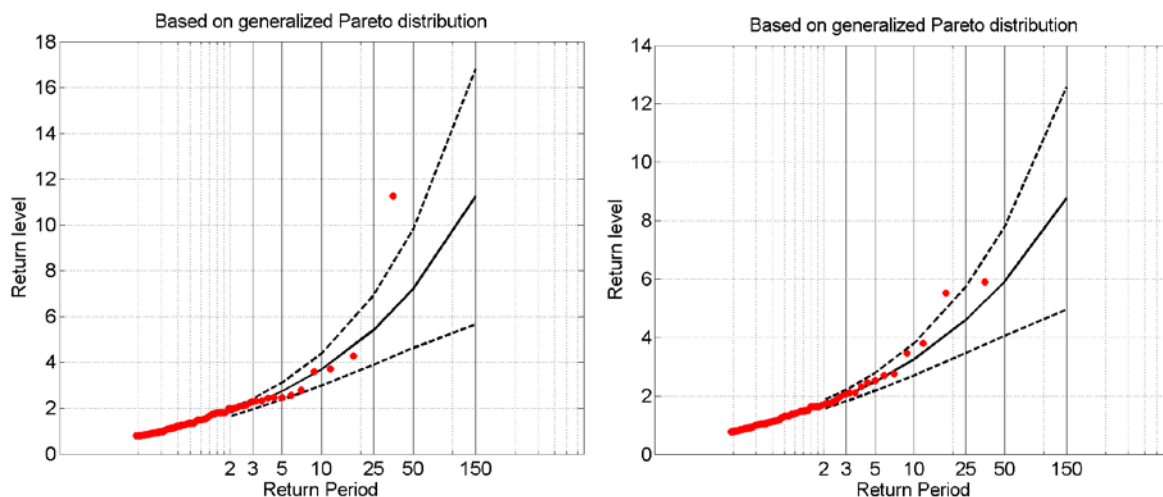


**Figur 2:** Vindrose for alle tidspunkt med isingsintensitet (våtsnø) på mer enn 0.05 kg/m per time, plottet for de to nærmeste punktene i modellen.

Eksempler på en ekstremverdigeberegning av våtsnø er gitt i Figur 3. I venstre figur er våtsnø beregnet på en horisontal ledning med orientering i nord-sør retning (vind i øst-vest retning). Tilpasningskurven indikerer her en 50-års last på ca. 7 kg/m. Tilsvarende beregning for en ledning i øst-vest retning er gitt i høyre figur, og viser en estimert 50-års islast på 6 kg/m.

Tabell 2 viser tilsvarende estimerte returverdier for ledninger i fire ulike himmelretninger for ulike returperioder. Lastene er beregnet for gjennomsnitt av to ulike gridpunkter, begge representative for ledningstraseen. Siden lengden på dataserien er 35 år vil et direkte estimat på 150 års returverdi bli svært usikkert. 150-års lastene i tabellen er derfor basert på en standard faktor (1.25) multiplisert med den estimerte 50-års verdien.

Disse modellresultatene gir en indikasjon på dimensjonerende islast for ledningen. Samtidig representerer modellen en gjennomsnittsverdi for et område på 6x6 km<sup>2</sup> og vil ikke ta hensyn til lokale terrengeffekter. Det er derfor nødvendig med en erfaringsbasert vurdering av forholdene helt lokalt langs ledningstraseene.



**Figur 3:** Modellerte ekstremverdier av våtsnø (kg/m, indikert med røde sirkler). Svart linje er den tilpassede ekstremverdifordelingen. Venstre: Beregnet for en ledning med orientering i N-S retning. Høyre: Beregnet for en ledning som går i Ø-V retning. Stiplet linje viser usikkerhet på ett standardavvik. Modellpunkt nr 9010.

**Tabell 2:** Returverdier for våtsnø ved ulike returperioder og linjeretninger. Gjennomsnitt av de to nærmeste gridpunktene (snitthøyde: 735 moh.)

Linjeretning	Returperiode						
	2 år	3 år	5 år	10 år	20 år	50 år	150 år*
<b>N-S</b>	2.0	2.4	3.1	4.3	6.5	8.8	11.0
<b>SV-NØ</b>	1.8	2.2	2.8	3.9	5.9	8.2	10.3
<b>V-Ø</b>	1.7	2.0	2.5	3.3	4.7	6.0	7.5
<b>NV-SØ</b>	2.0	2.3	2.9	3.6	4.9	6.1	7.6
<b>Retningsuavhengig</b>	2.4	2.9	3.6	4.8	6.8	8.7	10.9

\* Estimert med 1.25 x 50-års last [4].

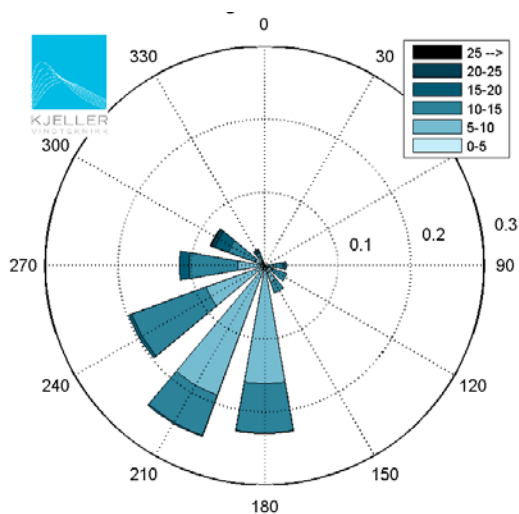
### 3.4 Analyse av skyising

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 kollidere 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.

Basert på modelldataene er skyising modellert i ulike høyder over havet. Figur 4 viser at skyising forekommer oftest i sektorer fra S til SV, men kan også forekomme ved kraftig vind fra VNV. Fra disse retningene er luften ofte fuktig, noe som favoriserer forholdene for ising.

På samme måte som for våtsnø er det gjort en ekstremverdianalyse av skyising. Resultatene i Tabell 3 viser eksempelvis at en 150-års verdi når 9 kg/m først i 900 meters høyde. Skyising vil altså forekomme, men resultatene indikerer ikke ekstremlastere høyere enn tilsvarende estimerer for våtsnø.

Selv om ikke skyising 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 4 viser antall hendelser med skyising over visse terskelnivåer. Eksempelvis vil det i 900 meters høyde i snitt forekomme ca. to hendelser hvert år med islastere over 1 kg/m (68 hendelser i løpet av 35-års perioden).



Figur 4: Vindrose for alle tidspunkt med isingsintensitet (skyising) på mer enn 0.05 kg/m per time. Beregnet i 850 moh.

Tabell 3: Estimerte returverdier for skyising i ulike høyder over havet.

Høyde	Returperiode			
	3 år	10 år	50 år	150 år
950 moh	3.9	5.2	7.5	9.4
900 moh	2.3	3.5	6.3	9.0
850 moh	1.2	2.0	3.6	5.0
800 moh	0.8	1.2	2.0	2.5

**Tabell 4:** Antall hendelser med akkumulert skyising over terskelverdier. Tidsperiode 1979 – 2013. Hendelser er definert med minst 4 dagers mellomrom.

Høyde	Antall hendelser over terskel		
	1 kg/m	2 kg/m	5 kg/m
950 moh	165	57	4
900 moh	68	19	2
850 moh	24	4	0
800 moh	5	1	0

## 4 Klimalaster

Klimalastene i tabellen nedenfor er angitt med returtid på 150 år for islaster og 50 år for vindlaster. Våt snø ser ut til å dominere overalt.

Referansepunkt	Islast (kg/m)	Maks vind (m/s)	Normalkomponent (m/s)
Tjørhom (start)	6	38	35
Vei krysning	6	38	38
Første knausen	10	44	44
På linje med Stemtjøndnen	8	40	40
Åmlitjødn	10	42	42
Goplefjell	8	38	38
Ousdalsvatn (nordsiden)	6	40	40
Ousdalsvatn (sørsiden)	8	38	35
Deling av traseer			

### Trasealt. 2.3-2.0-1.0

Referansepunkt på vedlagt kart	Islast (kg/m)	Maks vind (m/s)	Normalkomponent (m/s)
Deling av traseer	8	42	40
Knausen nord for Storetjødn	10	40	38
Sør for Storetjødn	10	38	36
Glovrestøltjødn	10	40	38
Toppen før det går ned (der den skiller vei med eksisterende line)	6	42	42
Nedre Totlandshei	8	42	42



Vinkelpunkt nord på Breidlofjellet			
Hesten (FM50)	12	44	44
Nedi lia ca. 500 moh	6*	50	50
	6	38	38
<b>Alt-1</b>			
Knaus før dalen	6*	40	40
Bunnen av Lilandsdalen (FM 54)	6*	40	40
Topp nord for Lilandsdalen	11	44	44
Raubergtjønn	6	42	42
På linje med Heimra Skjørbutjødn	6	40	40
Siste vinkelpunkt	6	40	36
Slutt			

\* Islasten kan reduseres til 4 kg/m for langspenn med høydeforskjell på 150 m eller mer.

### Alt-2 Kryssing av Lilandsdalen

Referansepunkt på vedlagt kart	Islast (kg/m)	Maks vind (m/s)	Normalkomponent (m/s)
Knaus før dalen			
	8	44	44
FM 55	6*	40	40
Topp nord for Lilandsdalen			

### Alt-3 Kryssing av Lilandsdalen

Referansepunkt på vedlagt kart	Islast (kg/m)	Maks vind (m/s)	Normalkomponent (m/s)
start			
	8	44	44
FM 54	8	40	38
FM 55			

### Trasealt. 5.0

Referansepunkt på vedlagt kart	Islast (kg/m)	Maks vind (m/s)	Normalkomponent (m/s)
Deling av traseene			
	10	42	42
Toppen før Instestølvatn	8	38	38
Dalen Instestølvatn	8	40	40
Rundatjødn	12	44	44
Toppen nord for Tjødnestøltjødn	8	38	38
Tjødnestøltjødn			

Sokleitjødn	10	40	38
Fjelldraget	12	42	40
Tverrbekktjørn	12	44	43
Nest siste vinkelpunkt	12	42	42
Siste vinkelpunkt	10	42	40
Slutt	8	42	36

## Referanser

- [1] Nygaard, Bjørn Egil Kringlebotn, 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 (2013).
- [2] ISO 12494 2000: Atmospheric Icing of structures, International Standard, ISO/TC98/SC3/WG6.
- [3] Coles, Stuart. *An introduction to statistical modeling of extreme values*. Springer, 2001.
- [4] Norsk Elektroteknisk Komite, NEK445:2009 er en norskspråklig samleutgave av europanormene NEK EN 50341 og NEK EN 50423 samt norske tilpasninger.
- [5] Norsk Standard NS 3491-4. Prosjektering av konstruksjoner. Dimensjonerende laster. Del 4: Vindlaster.

# Vedlegg A: WRF - modelling

## 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)<sup>1</sup>. Details about the modelling structure, numerical routines and physical packages available can be found in for example Klemp et al. (2000)<sup>2</sup> and Michalakes et al. (2001)<sup>3</sup>. 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 project<sup>4</sup>. For Norway, the model input uses the N50 land use data provided by the Norwegian Mapping Authority<sup>5</sup>.

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

---

<sup>1</sup> 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

<sup>2</sup> 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/>)

<sup>3</sup> 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.

<sup>4</sup> <http://www.eea.europa.eu/publications/COR0-landcover>

<sup>5</sup> [http://www.kartverket.no/eng/Norwegian\\_Mapping\\_Authority/](http://www.kartverket.no/eng/Norwegian_Mapping_Authority/)

data originates from the Final Global Data Assimilation System (FNL)<sup>6</sup> 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 Center for Medium range Weather Forecasting (ECMWF). The reanalysis data ERA Interim<sup>7,8</sup> 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.

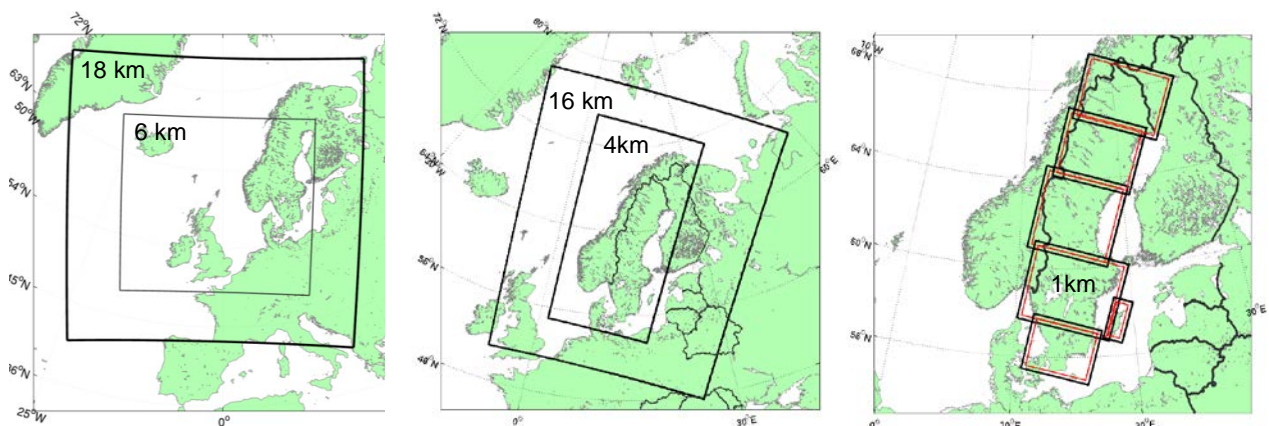
## Model Setup

The model setups used in these analyses are shown in Figure A-1. The simulations of the northern European region have been performed for 34 and 12 years covering the periods of 1979-2013 and 2000-2011, respectively. The model has in each case been set up with 2 nested domains. The horizontal resolutions are 16 km x 16 km and 4 km x 4 km for the shorter period, and 18 km x 18 km and 6 km x 6 km for the longer period. To describe Sweden in greater detail the model has also been set up with several 1 km x 1 km simulations that cover the period 01.10.2009 – 30.09.2011.

The ERA Interim dataset is used as lateral boundary conditions for the 6 km simulation, while the NCEP–FNL dataset is used as input for the 4 km and 1 km simulations.

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 YSU 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 step from 5 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.



**Figure A-1:** Model set up for WRF simulations. Left: 6 km (and 18 km), middle: 4 km (and 16 km), right: several 1 km domains covering Sweden.

<sup>6</sup> <http://www.emc.ncep.noaa.gov/gmb/para/parabout.html>

<sup>7</sup> 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

<sup>8</sup> <http://www.ecmwf.int/research/era/do/get/era-interim>