



Norwegian
Meteorological
Institute

MET report

no. 03/2015
ISSN 2387-4201
Climate

Klimalaster for 420 kV kraftledning Sauda - Samnanger

Harold Mc Innes, Bjørn Egil Nygaard (Kjeller Vindteknikk),
Knut Harstveit (Kjeller Vindteknikk)



Title: Klimalaster for 420 kV kraftledning Sauda - Samnanger	Date 2015-01-15
Section: Avdeling for klimatjenester	Report no. no. 03/2015
Author(s): Harold Mc Innes, Bjørn Egil Nygaard (Kjeller Vindteknikk), Knut Harstveit (Kjeller Vindteknikk)	Classification <input checked="" type="radio"/> Free <input type="radio"/> Restricted
Client(s): Statnett	Client's reference [Client's reference]
Abstract <p>Statnett planlegger å bygge en ny 420 kV kraftledning mellom Sauda i Rogaland og Samnanger i Hordaland fylke, og har bedt Meteorologisk institutt om å vurdere is og vindlaster for planlagt trase. Oppdraget er utført i samarbeid med Kjeller vindteknikk, som blant annet har gjennomført modellberegninger for de mest utsatte delene av strekningen. Islaster er gitt med en returperiode på 150 år, mens vindlaster er gitt som vindkast med returperiode på 50 år.</p> <p>Dette er en lang strekning som går gjennom kommunene Sauda, Etne, Kvinnherad, Jondal, Kvam og Samnanger. Store deler av traseen går i lavlandet der det vil være moderate islaster av størrelsesorden 5 – 8 kg/m, men vindkastene kan bli store langs fjorden mellom Rosendal og Mauranger. Den mest utsatte delen av traseen er over fjellet mellom Maurangsfjorden og Hardangerfjorden, der det ene trasealternativet når opp til 1080 moh og får en islast på 30 kg/m. På grunn av terrengets komplekse form er det knyttet betydelig usikkerhet til dette estimatet.</p> <p>Det vestre alternativet går opp i 900 moh, og får betydelig lavere islast. Sør og nord for Åkrafjorden krysses også fjellpartier, men disse går lavere og får dermed ikke de høyeste islatene. På de mest utsatte trasealternativene mellom Åkra og Blåfalli estimeres maksimal islast til 13 kg/m.</p>	
Keywords Kraftledninger, klimalaster, ising, skyis, våt snø, vindaster, WRF	

Disiplinary 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

1	Innledning	11
2	Grunnlag for vurdering av klimalaster	14
2.1	Isingsprosesser og vurdering av dimensjonerende islaster	14
2.1.1	Vurdering av skyising	14
2.1.2	Vurdering av ising fra våt snø	15
2.2	Vurdering av vindlaster	16
2.3	Befaring	17
3	Klimalaster Sauda – Samnanger	18
3.1	Sauda – Blåfalli	18
3.2	Blåfalli – Mauranger	22
3.3	Mauranger - Samnanger	23
3.3.1	Høyfjellspartiet ved Isdalsskardet	24
3.3.2	Alternativ trase gjennom Tjørnaskard	24
4	Sammendrag	27
	Referanser	29
	Vedlegg 1 : Kart over traseen Sauda – Samnanger	30
	Vedlegg 2: Sauda – Samnanger, Rogaland og Hordaland. Klimalaster for 420 kV kraftledning	37

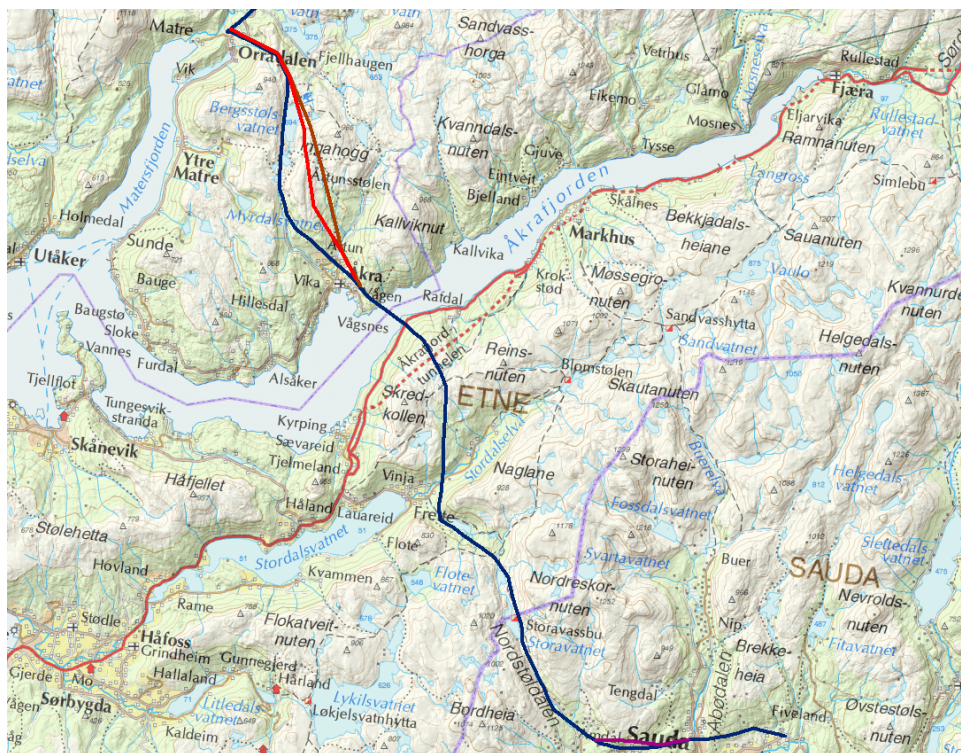
1 Innledning

Statnett planlegger å bygge en ny 420 kV kraftledning mellom Sauda i Rogaland og Samnanger i Hordaland fylke, og har bedt Meteorologisk institutt om å vurdere is og vindlaster for planlagt trase. Strekingen er delt opp i delstrekingene Sauda – Blåfalli (Figur 1), Blåfalli – Mauranger (Figur 2) og Mauranger – Samnanger (Figur 3). Sauda – Blåfalli starter i Sauda kommune, går gjennom Etne kommune og ender i Kvinnherad. Delstrekingen Blåfalli – Mauranger går i gjennom Kvinnherad kommune. Mauranger - Samnanger starter i Kvinnherad, går gjennom kommunene Jondal og Kvam og ender i Samnanger kommune.

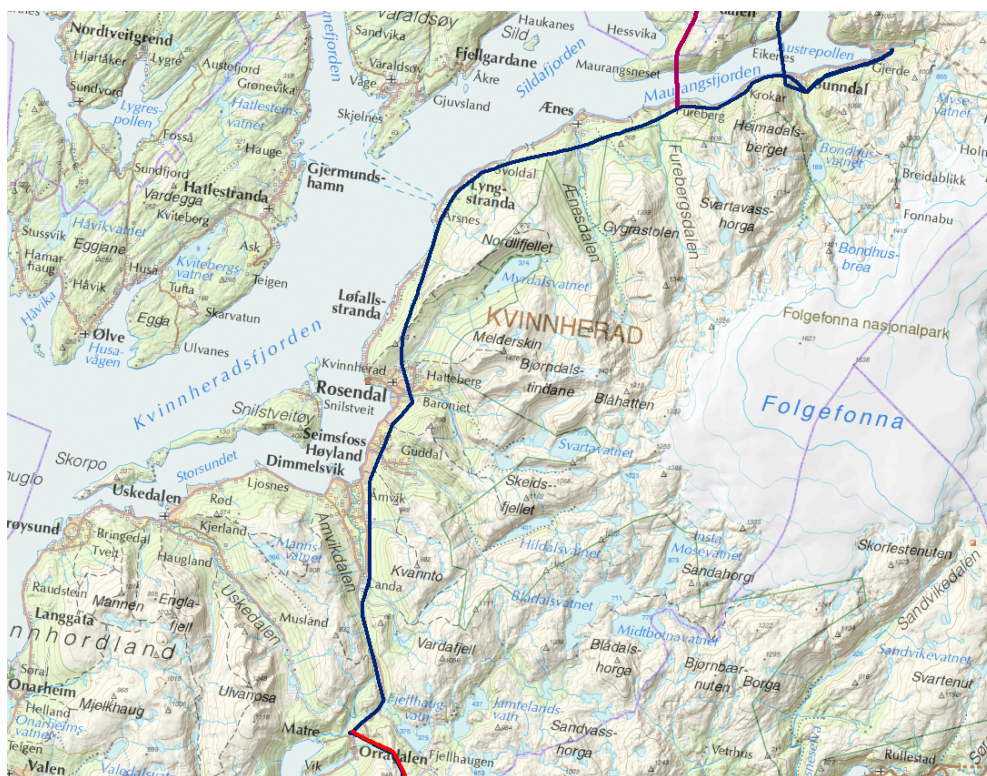
For delstrekingen Sauda – Blåfalli vil to alternative traseer bli vurdert nedenfor Nystølen like ved Sauda og tre alternative traseer vil bli vurdert mellom Åkra og Blåfalli. På delstrekingen Mauranger – Samnanger vil to alternative traseer bli vurdert over fjellet mellom Maurangsfjorden og Hardangerfjorden.

Islaster blir gitt med 150 års returperiode på grunnlag av modellberegninger, nedbørsdata fra meteorologiske stasjoner i området samt vurderinger av skjermingseffekter fra terreng. Ved estimering av vindlaster brukes Norsk vindstandard (Standard Norge, 2009) i tillegg til at det gjøres vurdering av terrenget rundt traseen. Vindlaster blir gitt i form av vindkast med 50 års returperiode. Hele strekingen mellom Sauda og Samnanger ble befart 30. oktober 2014.

Oppdraget er gitt av Statnett under rammeavtale 2009/75.



Figur 1: Delstrekningen Saurdal – Blåfalli med trasealternativer (kartdata er fra Kartverket)



Figur 2: Delstrekningen Blåfalli – Mauranger (kartdata er fra Kartverket)



Figur 3: Delstrekningen Mauranger - Samnanger (kartdata er fra Kartverket)

2 Grunnlag for vurdering av klimalaster

2.1 Isingsprosesser og vurdering av dimensjonerende islaster

I Norge vil islaster av betydning enten kunne tilskrives underkjølte skydråper som fryser på gjenstanden (skyising) eller at snøflak som inneholder flytende vann fester seg på den aktuelle gjenstanden (ising fra våt snø). Ising fra våt snø kan forekomme over hele landet og skjer i temperaturintervallet mellom 0.5 og 2 °C, mens skyising forutsetter at skybasen når helt ned til ledningen og er dermed mest vanlig i fjellet, der det i enkelte tilfeller har gitt islaster på ledninger av en størrelsesorden 100 kg/m. På Vestlandet kan imidlertid skyising forekomme ned til 400 moh (Norges vassdrags- og energidirektorat, 2012), men på dette nivået vil ising fra våt snø dominere. Det er vanlig å vurdere disse to prosessene separat da forekomst av underkjølte skydråper forutsetter temperaturer under frysepunktet i motsetning til våt snø.

2.1.1 Vurdering av skyising

Analysen utført i forbindelse med tidligere oppdrag (Mc Innes og Nygaard, 2014) og (Ødemark et al., 2014) viser at intensiteten av skyising er svært følsom for skjerming fra omkringliggende terreng og har meget store vertikale gradienter. Av den grunn bør numeriske atmosfæremodeller anvendes i områder der denne isingsprosessen er dominerende. Ved beregning av 150 års verdier for skyising er det tatt utgangspunkt i modellarkiv med meteorologiske data som dekker perioden 1979 -2014 med 6 km oppløsning, og ising er beregnet ut fra parametere som vind, skyvann og temperatur. Ettersom 6 km oppløsning er for grovt til å gi en realistisk beskrivelse av meteorologiske forhold på de aktuelle områdene, er atmosfæremodellen WRF kjørt med 500 m oppløsning for situasjoner med høy isingsintensitet. Disse analysene av enkeltepisoder er brukt for å korrigere returverdiene beregnet fra modellarkivet.

For at denne metodikken skal gi pålitelige resultater er nødvendig at modellen gir en realistisk beregning av grunnleggende meteorologiske parametere, og det har derfor blitt gjennomført valideringer av data fra WRF beregninger i forbindelse med tidligere oppdrag for Statnett. I rapporten som ble skrevet i forbindelse med isingsproblematikk

på 420 kV Sima – Samnanger (Ødemark et al., 2014) ble temperatur fra WRF modellen validert mot observasjoner fra Kvamsøy, Kvamskogen og Midtstova, mens vind fra WRF ble validert mot observasjoner fra Flesland, og det viste seg at modellen ga en realistisk simulering av vind og temperatur. En validering av WRF data lenger sør finnes i rapporten Klimalaster for 420 kV Lyse-Stølaheia (Tajet et al., 2014). Her er temperatur fra WRF validert mot observasjoner fra Lysebotn, Blåsjø og Sola, og vind er validert for Blåsjø og Sola. Også her finner man at modellen samsvarer godt med observasjoner.

Isingsintensiteten er svært følsom vindens styrke og dens normalkomponent på ledningen, og det er derfor viktig å kombinere modellsimuleringer med befaring og studier av topografien rundt traseen når stekninger som er utsatt for skyising vurderes. Traseen over fjellet mellom Maurangsfjorden og Hardangerfjorden har en maksimal høyde over havet på over 1080 m, og ansees som særlig utsatt for skyising. Fjellstrekningene sør og nord for Åkrafjorden går også relativt høyt slik at skyising må vurderes, selv om de er mindre utsatte enn strekningen mellom Maurangsfjorden og Hardanger.

2.1.2 Vurdering av ising fra våt snø

Selv om våt snø ikke vil gi de mest ekstreme islastene, kan de bli betydelige. I desember 2012 ble det på Island målt en islast fra våt snø på 16 kg/m (Eliasson et al., 2013). På grunnlag av erfaring fra tidligere arbeid, blandt annet vurdering av klimalaster Tjørhom – Erstmyra - Solhom (Mc Innes og Nygaard, 2014) forventes det at ising fra våt snø vil være dominerende under 800 – 900 moh. En tommelfingerregel sier at islast med 150 års returperiode i slike områder kan relateres til døggnedbør med 50 års returperiode med forholdet 1 til 10. Fra Tabell 1, som viser 10 og 50 års døggnedbør for 12 nedbørstasjoner på strekningen Sauda – Samnanger, kommer det frem at dette er et nedbørsrikt området. Det er imidlertid store lokale variasjoner med 50 års døggnedbør fra 103 mm ved Husnes til 200 mm ved Opstveit. Ut fra disse dataene settes en referanseverdi for islast fra våt snø til 13 kg/m, men på grunn av skjermingseffekter fra terrenget vil den mange steder være betydelig lavere.

Det er utført modellberegninger av ising fra våt snø der meteorologiske data fra dataarkiv for perioden 1979 – 2014 er brukt som grunnlag, og ut fra dette er returverdier for disse islastene beregnet. Dette er nærmere beskrevet i Vedlegg 2. I 178 moh ved Innstranda ved Hardangerfjorden gir dette en 150 års islast på 5.5 kg/m for en ledning i nord-sør retning og i 720 moh sør for Åkrafjorden gir beregningen 150 års islast på drøyt 14 kg/m for ledning i samme retning. Modellen for ising fra våt snø er imidlertid ikke tilstrekkelig verifisert for de høyeste lastene, men den indikerer at referanseverdien på 13 kg/m basert på 50 års døggnedbør er et godt utgangspunkt for å vurdere lasten på de mest utsatte stedene. Samtidig viser den at islasten på skjermede steder lavere i terrenget blir betydelig mindre.

Av erfaring vet man at stor høydeforskjell på et spenn gjør at islastene blir lavere (Svein Fikke, personlig kommunikasjon), og lastene reduseres derfor noe for langspenn over daler og søkk, og de reduseres betydelig for fjordspenn.

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
Samnanger	370 m	1901 – 2001	148 (142)	189 (175)
Kvamskogen	408 m	1957 - 2006	113 (108)	146 (137)
Ullensvang forsøksgård	12 m	1962 - 2013	89 (80)	126 (104)
Hatlestrand	45 m	1957 -2013	82 (80)	105 (104)
Rosendal	51 m	1936 - 2013	80 (77)	106 (100)
Husnes	13 m	1966 - 2013	78 (78)	103 (102)
Opstveit	38 m	1968 - 2013	152 (143)	200 (176)
Eikemo	178 m	1961 - 2013	128 (121)	167 (152)
Røldal	393 m	1902 - 2013	81 (76)	108 (99)
Røldal kraftverk	390 m	1967 - 2001	81 (77)	106 (100)
Litledal	83 m	1957 - 2013	91 (89)	115 (115)
Sauda	5 m	1928 - 2013	93 (90)	119 (116)

2.2 Vurdering av vindlaster

Vindlaster blir gitt i som vindkast med returperiode på 50 år, og både det totale vindkastet og normalkomponenten av kastet på ledningen vil bli oppgitt. Med vindkast menes kraftigste vind med varighet på 3 sekunder. Ved estimering av vindlaster tas det utgangspunkt i referansevind, som er 10 minutters middelvind med 50 års returperiode for den aktuelle kommunen. Denne er gitt i Norsk vindstandard (Standard Norge, 2009), og ut fra terrengkategori, høyde over havet og ledningens høyde over bakken estimeres 50 års vindkast. Videre er skjermingseffekter fra omkringliggende terreng en viktig faktor når vindkastet og dets normalkomponent skal fastsettes.

Traseen Sauda – Samnanger går gjennom 6 kommuner med noe forskjell i referansevind (Tabell 2). Høyde over havet varierer fra noen titalls meter til ca 1080 m, og terrenget er naturlig nok varierende over strekningen men vurderes gjennomgående best representert ved terrengkategoriene 2 og 3 i Norsk vindstandard. Unntaket er den høyestliggende delen av traseen mellom Maurangsfjorden og Hardangerfjorden, som vurderes best representert ved kategori 1. Slike steder vil vindkast med 50 års returperiode bli endel høyere enn Tabell 2 indikerer. Det er utført ekstremver dianalyse av vindkast på grunnlag av data fra modellarkiv (Vedlegg 2), og denne analysen gir 50 års vindkast som samsvarer relativt godt med vindstandarden.

Det finnes ikke meteorologiske stasjoner med vindobservasjoner lange nok til å gjøre ekstremverdberegninger i nærheten av den traseen, men data fra stasjonen på Flesland gir informasjon om vindforholdene i landsdelen. Kraftigste observerte vindkast

var her 41.2 m/s observert 23. januar 1994, og kraftigste middelvind var 27.3 m/s samme dag. Flesland ligger i Bergen kommune, som har en referansevind på 26 m/s.

Tabell 2: Referansevind fra Norsk vindstandard og 50 års vindkast for kommunen der traseen til 420 kV Sauda – Samnanger er planlagt. Beregning av kast er gjort for terrengkategori 2 og 3, høyden over bakken er satt til 15 m.

Kommune	Referansevind	Kast Terrengkategori 2 Ledningshøyde 15 m HOH < 1000 m	Kast Terrengkategori 3 Ledningshøyde 15 m HOH < 1000 m
Sauda	24 m/s	39 m/s	34
Etne	24 m/s	39 m/s	34
Kvinnherad	26 m/s	42 m/s	37
Jondal	26 m/s	42 m/s	37
Kvam	24 m/s	39 m/s	34
Samanger	24 m/s	39 m/s	34

2.3 Befaring

Traseen med samtlige alternativer ble befart med helikopter 30. oktober av representanter fra Statnett, Meteorologisk institutt og Kjeller Vindteknikk, og det ble foretatt en landing på det høyeste punktet mellom Maurangsfjorden og Hardangerfjorden. Vurderinger av terrenget omkring traseene foretatt under befaring supplerer informasjon fra modeller, meteorologiske stasjoner og vindstandard når klimalaster vurderes. Dette gjelder spesielt på de mest utsatte stedene.

3 Klimalaster Sauda – Samnanger

Nedenfor følger en vurdering av is og vindlastene for delstrekningene Sauda – Blåfalli (Figur 1), Blåfalli – Mauranger (Figur 2) og Mauranger – Samnanger (Figur 3). Traseen følger i hovedsak en eksisterende 300 kV ledning, og fra Statnett er det rapportert om hyppig ising på ledningens høyeste punkt ved Isdalssskardet, mens det for øvrige deler av eksisterende ledning ikke er rapportert om problemer knyttet til ising. Statnett har også erfart svært kraftige vinder ved Rosendal. Dette er sannsynligvis le-effekter når vind fra øst strømmer over fjellet og ut gjennom dalen.

3.1 Sauda – Blåfalli

Kart over delstrekningen er vist i Figur 1 samt i figurene A til D i Vedlegg 1. Delstrekningen starter nede i dalen øst for tettstedet Sauda, følger trase for eksisterende 300 kV nedenfor Nystølheia, med en alternativ trase litt lenger oppe i dalsiden mot nord. Traseen går opp Nordstøldalen, og når 600 moh mellom Storavatnet og Litlavatnet. Den går så ned fra fjellet igjen og krysser Stordalselva for så å gå opp igjen i ca 700 moh øst for Geitskardnuten. Deretter går den ned til Åkrafjorden og over til Åkra. Mellom Åkra og Blåfalli er det 3 alternative traseer over fjellet, hvorav den ene følger traseen til eksisterende 300 kV langs Bergstølsvatnet mens de to andre går et stykke øst for dette.

Ettersom traseen går opp i 700 moh sør for Åkrafjorden og to av trasealternativene går opp i 750 moh i fjellet nord for Åkrafjorden, er det gjort modellberegninger for skyising i dette området (Vedlegg 2). Disse beregningene viser at skyising vil forekomme på ledninger i dette området, men bidraget fra denne prosessen vil være betydelig mindre enn bidraget fra våt snø. De oppgitte 150 års islastene vil derfor tilskrives våt snø. Skyising vil imidlertid kunne gi relativt hyppig forekomst av mindre islaster, noe som kan påvirke risikoen for galoppering. Klimalastene er gitt i Tabell 3.

Tabell 3: Islaster med 150 års returperiode og vindkast med 50 års returperiode for strekningen mellom Sauda og Blåfalli. Trasealternativ som følger eksisterende 300 kV ved Sauda og mellom Åkra og Blåfalli.

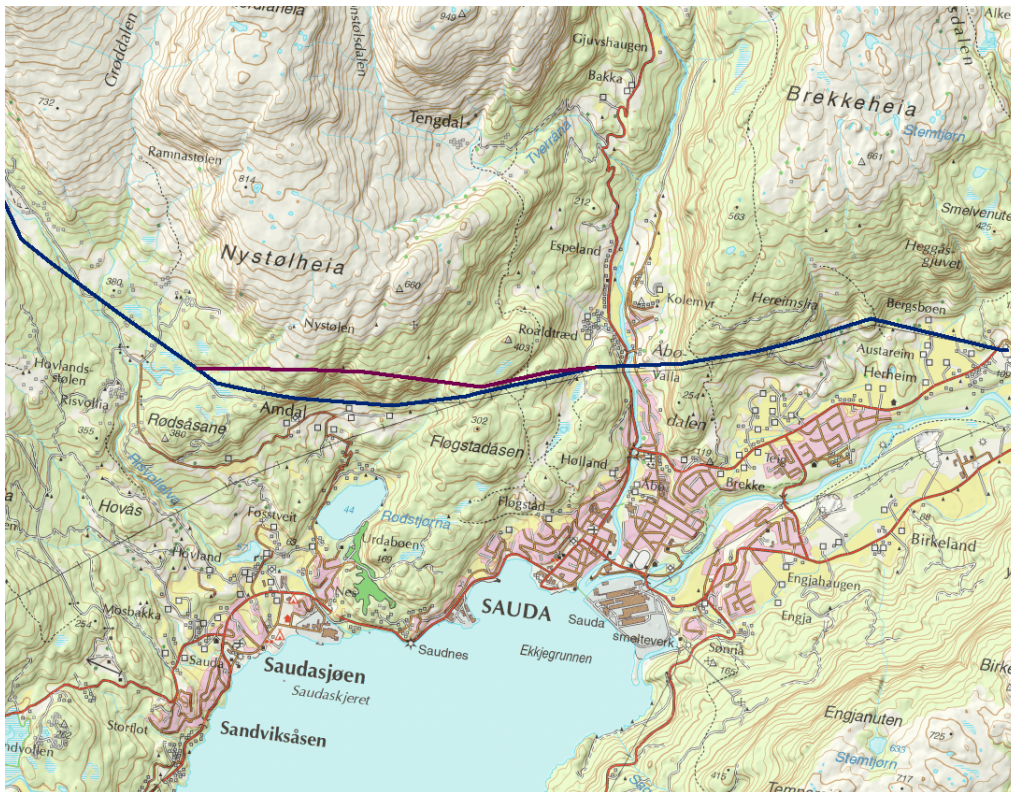
Referansepunkt	Islast (kg/m)	Maks vind (m/s)	Normalkomponent (m/s)
Startpunkt til skille mellom trasealternativer nedenfor Nystølen	6	34	34
Fra skille til traseene møtes ved Amdal	7	34	34
Amdal til vinkelpunkt nederst i Nordstølsdalen	7	34	34
Nederst i Nordstølsdalen til halveis i dalen	7	37	37
Videre opp til Storavatnet	9	39	36
Fra starten av Storavatnet til vinkelpunkt etter Litlavatnet	9	43	39
Fra vinkelpunkt og halvveis ned til Hellaugvatnet	8	39	39
Videre forbi Hellaugvatnet til vinkelpunkt før nedstigning til Stordalen	7	39	39
Ned til bunnen av Stordalen	7	39	39
Opp dalsiden nord for Stordalen	7 *	34	34
Opp til 600 moh sørøst for Geitskardnuten	9	34	34
Over fjellet til bratt nedstigning starter nord for Smådlasheia	11	43	43
Nedstigning mot Åkrafjorden	9**	41	41
Over Åkrafjorden	4	42	42
Videre fra Åkrafjorden til første traseskille ved Åkra	6	42	42
Fra traseskille til bratt oppstigning starter	6	37	37
Oppstigning til Lauvskorhaugen	7	37	35
Videre opp til vinkelpunkt sør for Stølsvatnet	8	37	35
Til trasealternativene møtes sør for Bergstølsvatnet	10	44	42
Videre til vinkelpunkt sør for Sengjanuten	9	42	42
Nedover til 300 moh	8	42	42
Frem til Blåfalli	7	44	44

* Last kan reduseres til 6 kg/m for spenn med høydeforskjell på minst 150 m

** Avhengig av spennets lengde og høydeforskjell kan last reduseres med 1 til 3 kg/m

Nordlig trasealternativ oppe i dalsiden mot Nystølheia

Denne er markert i fiolett i Figur 4 og går endel høyere oppe i åsen mot Nystølen enn trasealternativet som følger eksisterende 300 kV ledning. Maksimal islast på dette alternativet estimeres til 8 kg/m, det vil si 1 kg/m høyere. Vindlasten blir her 34 m/s, med samme normalkomponent.



Figur 4: Trasealternativ langs eksisterende 300 kV ledning (blått) og alternativ oppe mot Nystølheia (fiolett). Kartdata er fra Kartverket.

To trasealternativer mellom Åkra og Blåfelli (Figur 5)

Fra Åkra går en alternativ trase til øst for den som følger dagens 300 kV ledning, og ved Hengjefjellet deles denne i et vestre (A) og et østre (B) alternativ. Begge har høyeste punkt på ca 750 moh øst for Bergstølsvatnet, og går dermed endel høyere enn dagens 300 kV som når opp i drøyt 600 m i dette området. Alternativ A og B følger samme trase fra traseskillet i Åkra og frem til Åkraelva krysses, og de møter eksisterende 300 kV nord for Berstølsvatnet (Figur 5). Klimalaster for Alternativ A er gitt i Tabell 4 og Alternativ B er gitt i Tabell 5.

Tabell 4: Islaster med 150 års returperiode og vindkast med 50 års returperiode for strekningen Alternativ A.

Referansepunkt	Islast (kg/m)	Maks vind (m/s)	Normalkomponent (m/s)
Åkra til skille fra Alternativ B ved Åkraelva	7	37	37
Åkravelva og opp til 400 moh	7	37	37
Videre opp til 600 moh (Vardaheia)	9	39	39
Opp til 700 moh (Slettafjellet)	11	43	42
Slettafjellet – Futen	13	45	45
Futen – 300 kV trase	11	44	42

Tabell 5: Islaster med 150 års returperiode og vindkast med 50 års returperiode for strekningen Alternativ B.

Referansepunkt	Islast (kg/m)	Maks vind (m/s)	Normalkomponent (m/s)
Åkravelva og opp til 400 moh	7	37	37
Videre opp til 600 moh	9	37	37
Opp til 700 moh (Tjørnane)	11	44	42
Tjørnane– Futen	13	45	45
Futen – 300 kV trase	11	44	42



Figur 5: Trasealternativ langs eksisterende 300 kV ledning (blått), Alternativ A (rødt) og Alternativ B (brunt). Kartdata er fra Kartverket.

3.2 Blåfalli – Mauranger

Delstrekningen er vist på kart i Figur 2 samt figurene D til I i Vedlegg 1. Den går fra Blåfalli gjennom Myklebustdalen og deretter gjennom Åmvikdalen ned til Kvinnheradsfjorden. Videre følger den i hovedsak fjorden, men nord for Rosendal går den over Navarhaugen der den når sitt høyestepunkt på ca 450 moh. Deretter følger den for det meste fjorden frem til Mauranger. For denne delstrekningen er det kun ising fra våt snø som vurderes på ettersom den ikke går særlig høyt. Den går stort sett langt nede i terrenget og er dermed relativt godt skjermet, men ved Rosendal har det til tider vært rapportert kraftig vind, noe som mest sannsynlig er knyttet til vindforsterkning over fjellene i øst. På grunn av denne effekten vil også en god del av traseen videre inn mot Mauranger kunne være utsatt for kraftige vindkast. Klimalaster for delstrekningen er vist i Tabell 6.

Tabell 6: Islaster med 150 års returperiode og vindkast med 50 års returperiode for strekningen Blåfalli - Mauranger

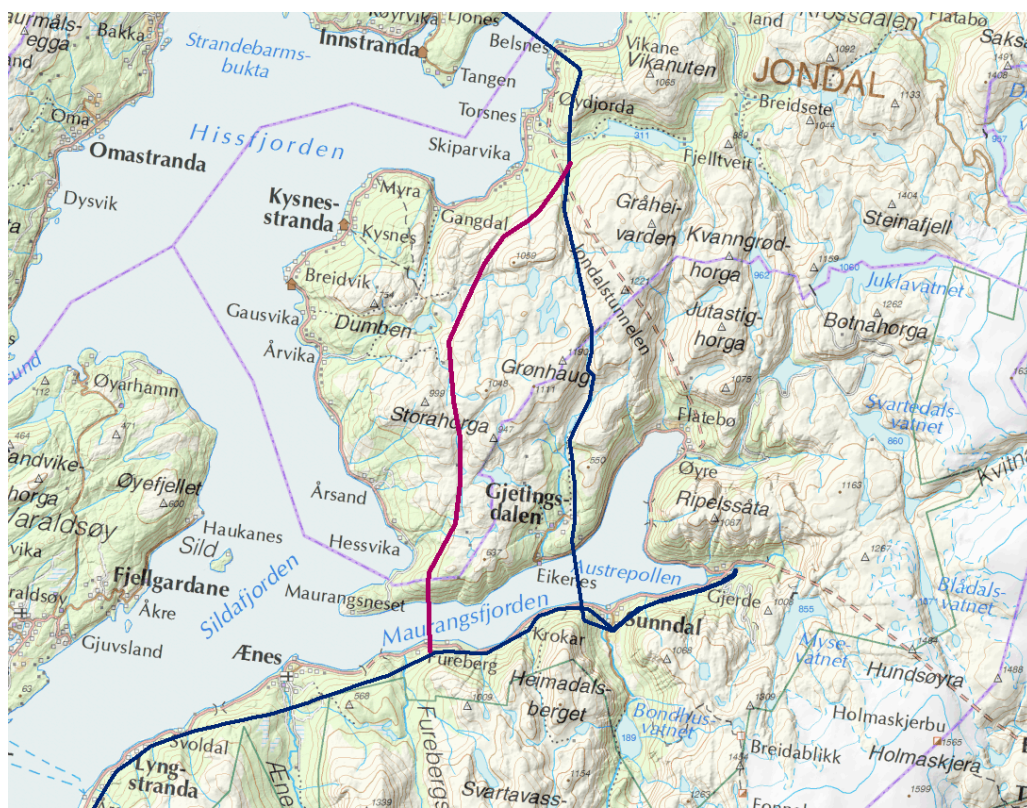
Referansepunkt	Islast (kg/m)	Maks vind (m/s)	Normalkomponent (m/s)
Blåfalli – Vinkelpunkt ved Midthølen	7	44	44
Midthølen – Vinkelpunkt øverst i Myklebustdalen	6	37	35
Til neste vinkelpunkt (Landa)	7	42	42
Landa – Vinkelpunkt ved Åmvik	6	42	40
Åmvik – Vinkelpunkt vest for Ørnafjellet	6	42	42
Videre til neste vinkelpunkt (Rosendal)	5	45	45
Rosendal	6	45	45
Opp mot Navarhaugen (til 400 moh)	7	45	45
Over Navarhaugen	9	45	45
Ned til 400 moh	7	44	44
Langs åssiden ned til 100 moh	6	42	40
Langs fjorden til 100 moh kote etter krysning av Svoldalselva	5	42	40
Opp til 300 moh	6	42	40
Over 300 moh frem til krysning av Æneselva	7	42	42
Over Æneselva	7	45 *	45
Over Svartaberg	8	42	42
Svartaberget – Skotberg	7	42	40
Skotberg – Ned mot Maurangsfjorden til 100 moh	6	45 *	45
Langs Maurangsfjorden til Sunndal	5	45*	45
Sunndal - Mauranger	5	45*	45

*Her bør det være 45 m/s både total og normal, på grunn av mulighet for sterke kast ned mot fjorden i de korte dalsiden med bratt terreng. Dette gjelder også i munningen av smådaler (Ænes, Fureberg, Bondhusdalen, Mauranger).

3.3 Mauranger - Samnanger

Delstrekningen er vist i Figur 3 samt i figurene I til M i Vedlegg 1. Denne delstrekningen krysser fjellet mellom Maurangsfjorden og Hardangerfjorden, og det blir her vurdert en alternativ trase som går lenger vest enn den som følger eksisterende 300 kV ledning (Figur 6). Den eksisterende ledningen går her så høyt som 1080 moh ved Isdalssskardet, og det er fra Statnett rapportert om hyppig ising på denne. Vestlig alternativ har maksimal høyde på 900 moh ved Tjørnaskardtjørna, men i dette området er det lite skjerming mot sørvest. Begge disse trasealternativene er utsatt for skyising ettersom de går relativt høyt, og det er derfor utført modellbaserte beregninger av 150 års verdier for denne typen ising.

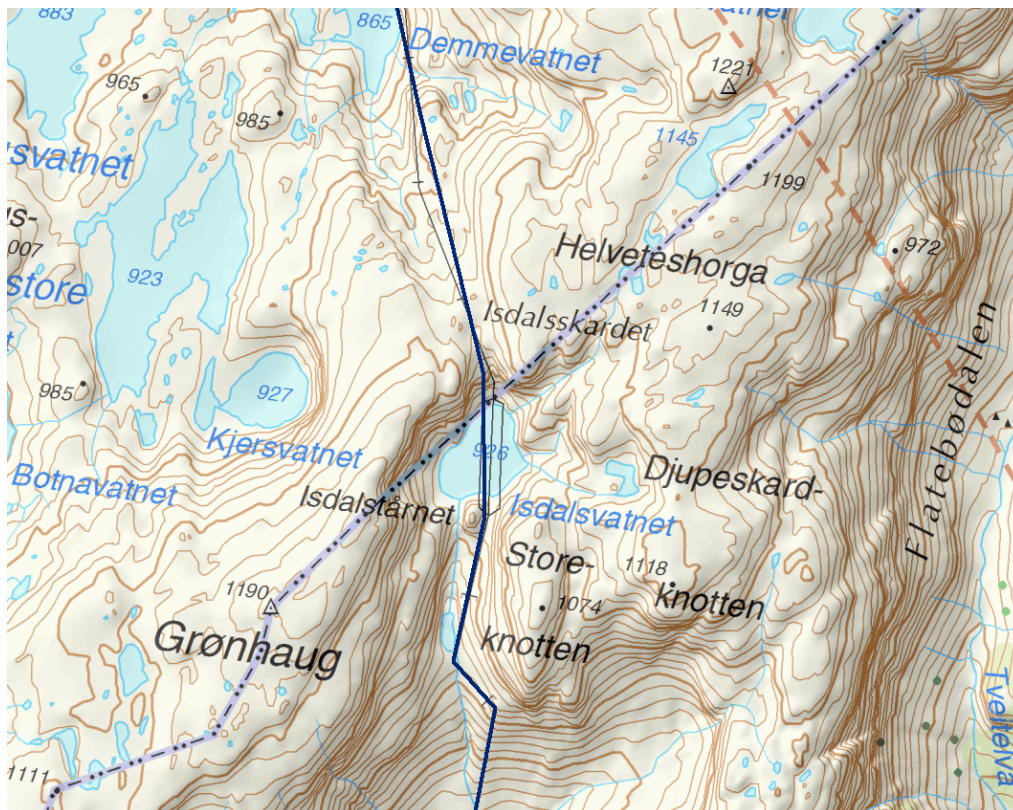
Trasealternativene går sammen igjen ned mot Hardangerfjorden før denne krysses. Traseen går deretter nordøstover til Byrkjenesvatnet, og videre nordover til den krysser et fjellområde ved Langavatnet der den når opp i drøyt 600 moh. Den går videre ned til Tordalen, deretter opp til Kvamsbotnen der den kommer opp i drøyt 650 moh, for så å gå ned i dalen igjen mot endepunktet i Samnanger. Klimalaster for strekningen er vist i Tabell 7.



Figur 6: Trasealternativ langs eksisterende 300 kV ledning (blått) og vestlig alternativ (fiolett). Kartdata er fra Kartverket

3.3.1 Høyfjellspartiet ved Isdalsskardet

Traseen når ved toppen sitt høyeste punkt på 1080 moh (Figur 7), og det ble under befaring opplyst om at det ved flere anledninger har vært nødvendig å fjerne is fra eksisterende ledning i dette området. I slike høyder er det skysising som vil gi de høyeste islastene, og modellberegninger viser (Vedlegg 2) at dette vil skje ved sørvestlig vind innover fjorden. Vinden vil da kanaliseres langs dalsøkket opp mot Isdalsskardet, noe som gjør at den vil blåse langs ledningen. Det antas at vinden i slike tilfeller vil ligge et sted mellom 30 ° og 45 ° i forhold til ledningsretningen ved høyeste punkt, noe som tilsier at islast med 150 års returperiode settes til 30 kg/m. At luften kanaliseres fra fjorden opp i gjennom dalen gjør at den taper lite fuktighet på veien, og derfor er dette området meget utsatt for ising. En vertikal sylinder (referanseobjekt) i dette området vil få en 150 års islast på over 61 kg/m, slik at den gitte lasten på 30 kg/m skyldes at traseen har en gunstig orientering i forhold til terrenget.



Figur 7: Høyfjellsparti ved Isdalsskardet (Kartdata er fra kartverket)

3.3.2 Alternativ trase gjennom Tjørnaskard

Dette alternativet går lengere vest enn Isdalsskardet og har høyeste punkt på 900 moh ved Tjørnaskardtjøna (Figur 8). Området vil ha være lite skjermet mot vind inn fjorden fra sørvest, som er den retningen som vil gi mest skysising. På grunnlag av

modellberegningene beskrevet i Vedlegg 2 estimeres derfor islast med 150 års returperiode til 20 kg/m ved høyeste punkt. Dette alternativet er med andre ord mer gunstig med hensyn på maksimal islast på grunn av at det går lavere, men strekningen som er eksponert for mer moderate laster fra skyis er her lengre enn den over Isdalsskardet. Klimalastene for dette alternativet er gitt i Tabell 8.



Figur 8: Alternativet over Tjørnaskardet (Kartdata er fra kartverket).

Tabell 7: Islaster med 150 års returperiode og vindkast med 50 års returperiode for delstrekningen Mauranger – Samnanger. Alternativ følger eksisterende 300 kV over fjellet til Hardangerfjorden. Islaster opp til og med 13 kg/m antas å være våt snø, mens de som er over dette tilskrives skyis.

Referansepunkt	Islast (kg/m)	Maks vind (m/s)	Normalkomponent (m/s)
Fjordspenn over Maurangsfjorden fra Sundal	4	45	45
Opp til 450 moh vest for Storefjellet	7	37	37
Videre opp til 600 m kote	9	42	39
Videre opp til 800 m kote	10 *	42	39
Videre opp til Isdalsvatnet	16	45	42
Brattheng opp fra Isdalsvatnet	20	46	44
Over toppen	30 **	47	47
Ned til Demmevatnet	22	46	44
Gjennom Daurmålsdalen til 700 moh	11	43	40
Videre ned til møte med alternativ trase	8	42	42
Videre til fjordspenn	7	42	42
Fjordspenn over Hardangerfjorden	4	45	45
Til vinkelpunkt ved Korsmundheia	6	39	39
Korsmundheia - Byrkjenesvatnet	7	37	37
Byrkjenesvatnet - Oshaugtjørn	7	34	34
Oshaugtjørn - Langavatnet	8	37	37
Over fjellet ved Langavatnet	9	42	40
Videre til etter krysning av Tordalen	8	37	35
Over fjellet (Kvamsbotnen)	9	45	42
Ned fra fjellet til Raunebotnen	8	37	36
Videre til endepunkt	6	34	33

* Islasten for de bratteste spennene vil kunne reduseres noe i forhold til det som står i tabellen.

**Området er meget isingsutsatt, men terrenget rundt traseen gjør at vind fra sørvest vil ha en relativt høy komponent parallelt med ledningen. Derfor blir ikke islast høyere enn 30 kg/m.

Tabell 8: Islaster med 150 års returperiode og vindkast med 50 års returperiode for vestlig alternativ over fjellet mellom Maurangsfjorden og Hardangerfjorden. Islaster opp til og med 13 kg/m antas å være våt snø, mens de som er over dette tilskrives skyis.

Referansepunkt	Islast (kg/m)	Maks vind (m/s)	Normalkomponent (m/s)
Fjordspenn over Maurangsfjorden fra Fureberg	4	45	45
Opp til 500 moh	8	42	42
Opp til Åsandsvatnet	11	45	45
Opp Åsandsdalen	13	45	43
Over toppen	20	45	45
Til vinkelpunkt vest for Ljosvasshorga	14	45	45
Ned mot Ljosavatnet	13	45	42
Ljosvatnet til vinkelpunkt øst for Middagsnuten	12	45	42
Ned middagsdalen til vinkelpunkt	10	45	42
Videre ned til trase langs eksisterende 300 kV	8	42	42

4 Sammendrag

Islaster med 150 års returperiode og vindlaster med 50 års returperiode er estimert langs trase for planlagt 420 kV kraftledning mellom Sauda og Samnanger. En stor del av traseen går i lavereliggende strøk der islastene er moderate og vil ligge mellom 5 og 8 kg/m. Vindlastene kan imidlertid bli betydelige flere steder langs fjorden mellom Rosendal og Mauranger som følge av forsterkning når vinden strømmer over fjell.

Traseens mest utsatte del er fjellområdet mellom Maurangsfjorden og Hardangerfjorden der to mulige trasealternativer er vurdert. Den ene går over Isdalsskardet og har høyeste punkt på ca 1080 moh, mens et alternativ lenger vest over Tjørnaskardet såvidt tangerer 900 moh. Islast med 150 års returperiode blir 30 kg/m på høyeste punkt ved Isdalsskardet, men på grunn av det komplekse terrenget er det betydelig usikkerhet knyttet til estimatet. Islast med 150 års returperiode blir 20 kg/m på høyeste punkt ved Tjørnaskardet. For normalkomponenten av 50 års vindkast er tallene henholdsvis 47 m/s for Isdalsskardet og 45 m/s ved Tjørnaskardet, og Tjørnaskardet er dermed det beste alternativet med hensyn på maksimale klimalaster.

Mellom Åkra og Blåfalli er tre alternative traseer over fjellet vurdert. De to alternativene lengst øst når opp til 750 moh slik at skyising vil forekomme, og dermed bidra til relativt hyppig forekomst av moderate islaster. Større laster vil komme fra våt snø, og på de østlige alternativene estimeres 150 års islast til 13 kg/m på høyeste punkt, mens den ikke vil overstige 10 kg/m for den vestlige traseen, som går betydelig lavere i terrenget. Det vestlige alternativet vil også ha noe lavere vindlaster.

Referanser

Eliasson, A. J., Agustsson, H., Hanneson, G.M., Thorsteins,E., (2013) Modelling wet-snow accretion. Comparison of cylindrical model to field measurements. Atmospheric Icing of Structures (IWAIS 2013)

Ødemark, K., Tajet, H. T. T., Nygaard, B. E. K., Mc Innes, H (2014), 420 kV Sima-Samnanger Foreløpig analyse av værforhold og islaster i forbindelse med brudd på topline og havarete toppspir, Meteorologisk institutt rapport 7/2014

Tajet, H. T. T., Ødemark, K., Nygaard, B. E. K. (2014), Klimalaster for 420 kV Lyse-Stølaheia, Meteorologisk institutt rapport 6/2014

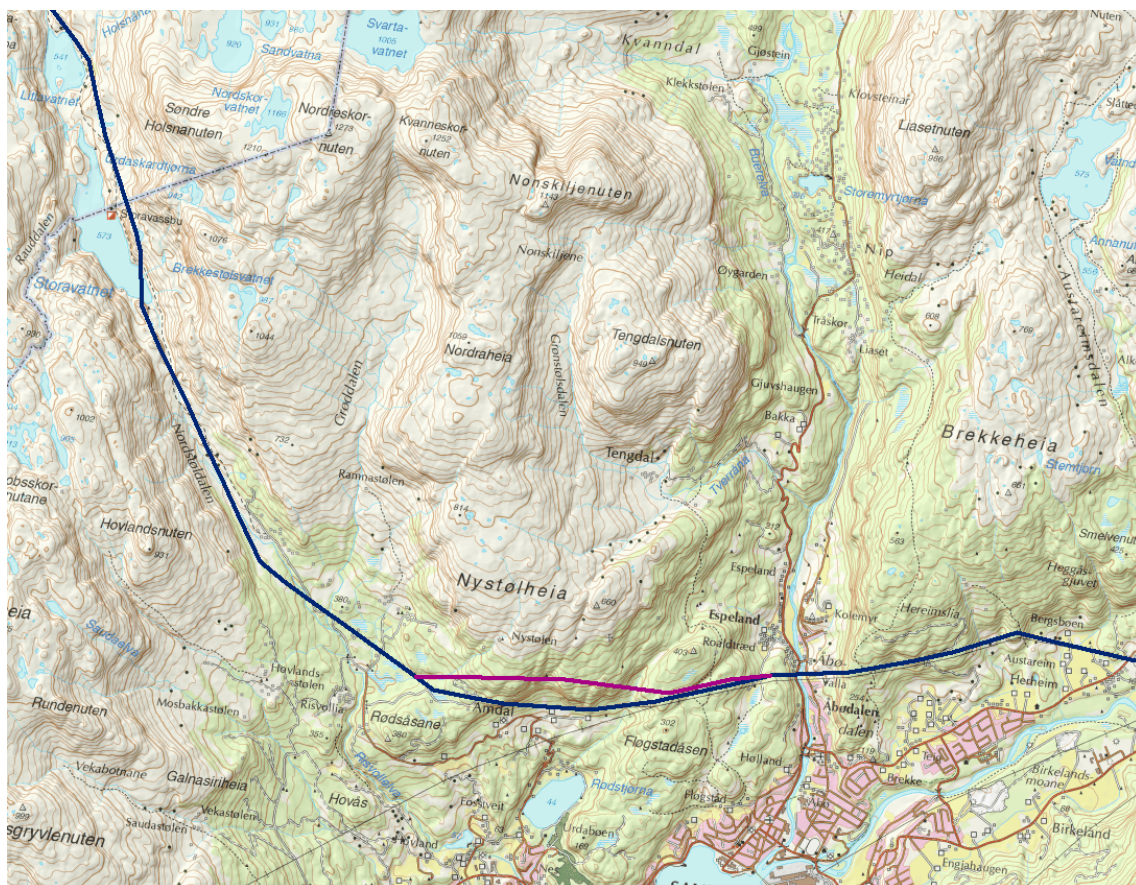
Mc Innes, H., Nygaard, B. E. K. (2014) Klimalaster for 420 kV Sauda – Lyse vest for Stølsdalen, Meteorologisk institutt rapport 15/2014

Mc Innes, H. og Nygaard, B. E. K. (2014), Endelige klimalaster for 420 kV Tjørhom – Ertsmyra – Solhom, Meteorologisk institutt rapport 20/2014

Norges vassdrags- og energidirektorat (2012), Isstorm, Ising på kraftforsyningsnettet, NVE rapport 44 2012.

Standard Norge (2009) *Eurokode 1: Laster på konstruksjoner Del 1-4: Allmenne laster Vindlaster* NS-EN 1991-1-4:2005+NA:2009

Vedlegg 1 : Kart over traseen Sauda – Samnanger



Figur A: Sauda – Litlavatnet (kartdata er fra Kartverket)



Figur B: Fra Litlavatnet, over Stordalen og opp til Geitskardnuten (kartdata er fra Kartverket)



Figur C: Over Åkrafjorden, til trase-skille og opp til Stølsvatnet (kartdata er fra Kartverket)



Figur D: Blåfelli og videre til Myklebustdalen (kartdata er fra Kartverket).



Figur E: Myklebustdalen – Åmvdalen (kartdata er fra Kartverket).



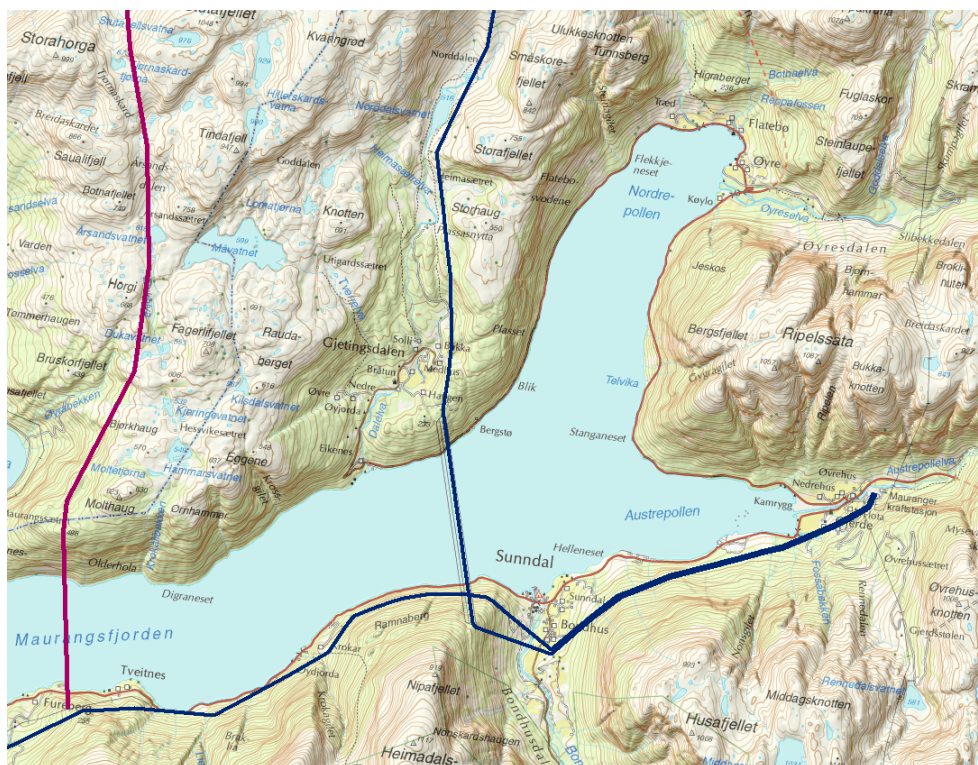
Figur F: Åmvdalen – Rosendal (kartdata er fra Kartverket)



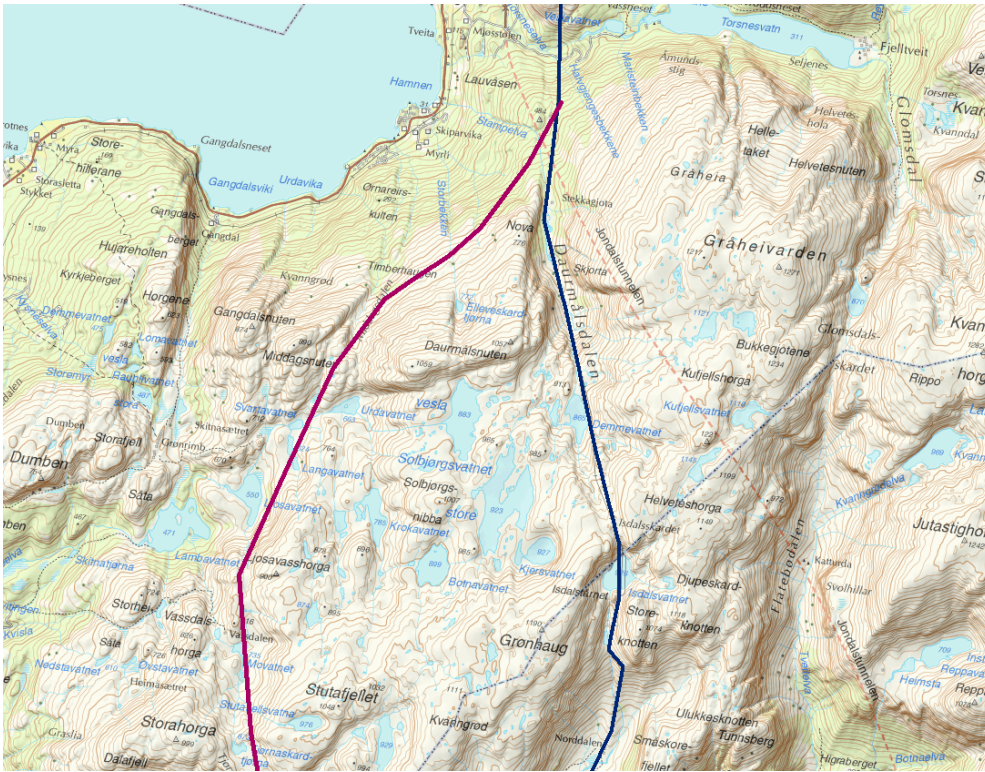
Figur G: Rosendal (kartdata er fra Kartverket).



Figur H: Rosendal – Maurangsfjorden (kartdata er fra Kartverket)



Figur I: Traseskille ved Mauranger (kartdata er fra Kartverket)



Figur J: Over fjellet mellom Maurangsfjorden og Hardangerfjorden (kartdata er fra Kartverket)



Figur K: Over Hardangerfjorden (kartdata er fra Kartverket)



Figur L: Byrkjenesvatnet - Langavatnet (kartdata er fra Kartverket)



Figur M: Frem til endepunkt i Samnanger (kartdata er fra Kartverket)

Vedlegg 2: Sauda – Samnanger, Rogaland og Hordaland. Klimalaster for 420 kV kraftledning



KJELLER
VINDTEKNIKK

Sauda - Samnanger, Rogaland og Hordaland

Klimalaster for 420 kV kraftledning

Rapport: KVT/BEN/2015/R003



Rapportnummer	Dato
KVT/BEN/2015/R003	15.1.2015
Rapporttittel	Klassifisering
Sauda - Samnanger, Rogaland og Hordaland	Begrenset til kunde
	Utgave nummer
Klimalaster for 420 kV kraftledning	1
Kunde	Antall sider
Meteorologisk Institutt	18 + vedlegg
Kundens referanse	Status
Harold McInnes	Endelig

Sammendrag

I forbindelse med prosjektering av en 420 kV kraftledning fra Sauda til Samnanger, er det gjort beregninger av vind- og islaster med fokus på traseens høyest liggende delstrekninger nord for Maurangsfjorden og på hver side av Åkrafjorden. Analysene er basert på meteorologiske modeller, norsk vindlaststandard (NS-EN 1991-1-4) samt norsk elektroteknisk norm (NEK 445:2009). Rapporten er utarbeidet for å øke beslutningsgrunnlaget når dimensjonerende klimalaster skal fastsettes for kraftledningen, samt for vurdering av ulike traséalternativer.

Omkring ledningstraseens høyeste punkt over Isdalskkardet (1080 moh.) forventes det høye islaster, forårsaket av fuktig luft ved vind fra vest og sørvest. Analysene viser at dette området er utsatt for betydelig ising både fra underkjølte skydråper og fra våtsnø. Tatt lokale terrengeffekter i betraktning beregnes en 150-års islast til ca 30 kg/m gjennom Isdalskkardet. Høyeste islast for en alternativ trase i samme område (900 moh.) beregnes til ca 20 kg/m.

Ledningstraseen i området rundt Åkrafjorden er stedvis eksponert for skyising, men de høyeste islastene her tilskrives ising fra våt snø, med 150-års laster omkring 13 kg/m. I lavere terreng nær fjorden beregnes 150-års islaster til ca 5 kg/m.

Den retningsvise fordelingen av ekstremvind fra modellen tyder på at vindens normalkomponent på ledningstraseen er høy i områder hvor ledningen er orientert i nord-sør retning og i sørvest-nordøst retning.

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	15.1.2015	Kun elektronisk		Pdf

	Navn	Dato	Signatur
Utført av	Bjørn Egil Nygaard	15/1-2015	<i>Bjørn Egil Nygaard</i>
Kontrollert av	Knut Harstveit	15/1-2015	<i>Knut Harstveit</i>
Godkjent av	Lars Tallhaug	15/1-2015	<i>Lars Tallhaug</i>

Innholdsfortegnelse

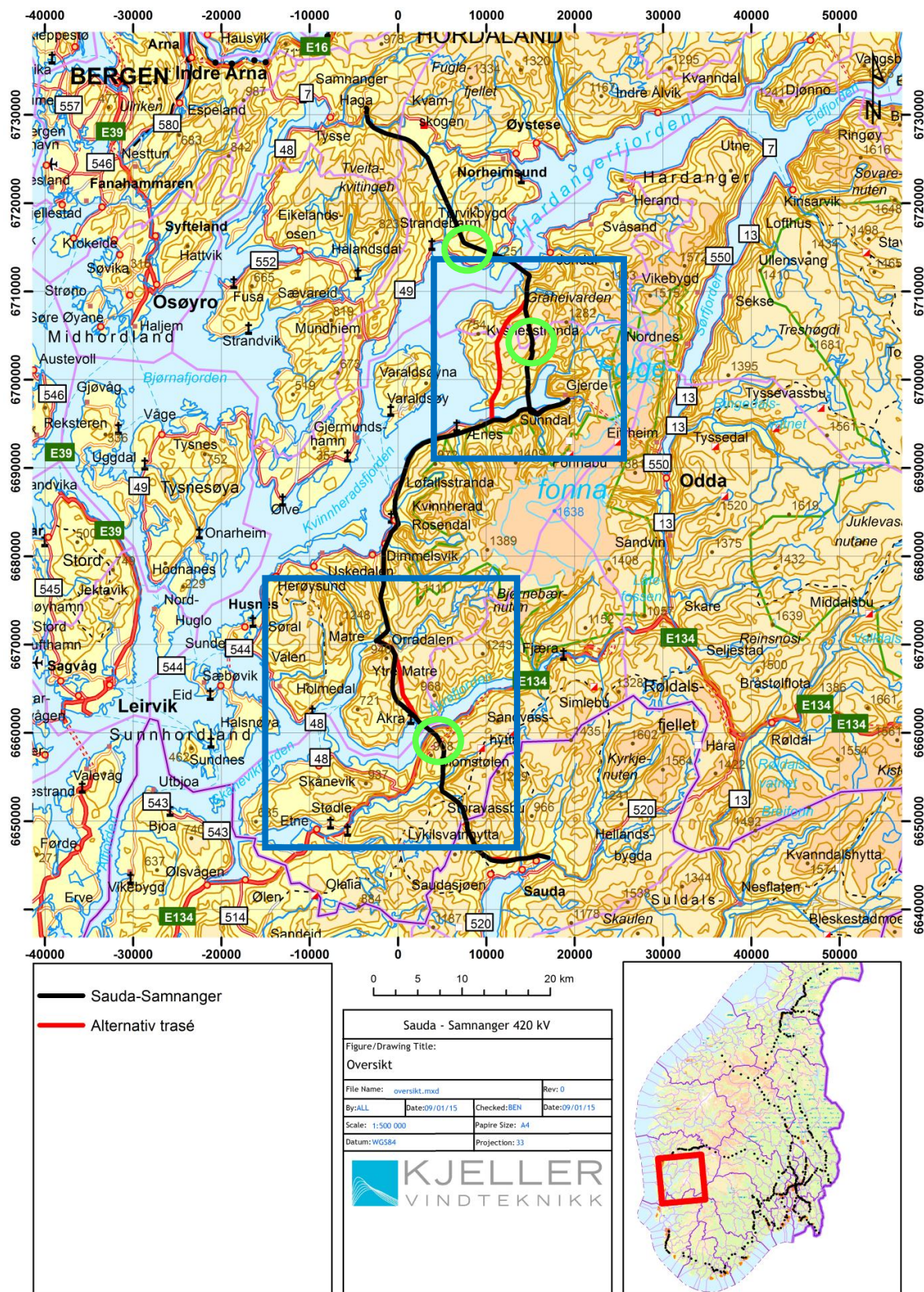
INNHALDSFORTEGNELSE	2
1 INNLEDNING	3
2 METODE OG DATA	5
2.1 DATA	5
2.2 ISINGSBEREGNING	5
2.2.1 Våt snø	5
2.2.2 Skyising	6
2.3 VINDBEREGNING	6
2.4 EKSTREMVERDIANALYSE	7
3 FINSKALA SIMULERINGER	8
3.1 FINSKALA ISINGSKART	9
4 BEREGNING AV KLIMALASTER.....	12
4.1 VÅTSNØ	13
4.2 SKYISING	14
4.2.1 Isdalsskardet.....	15
4.2.2 Vestlig trase (Tjornaskard)	17
4.2.3 Åkrafjorden	18
4.3 EKSTREMVIND	18
5 REFERANSER.....	19
VEDLEGG A: JUSTERING AV WRF6KM	20
VEDLEGG B: ISINGSKART	22
VEDLEGG C: BESKRIVELSE AV WRF-MODELLEN OG ISINGSBEREGNINGENE.....	30

1 Innledning

Kjeller vindteknikk har på oppdrag fra Meteorologisk Institutt utført en analyse av islaster i forbindelse med prosjektering av ny 420 kV kraftledning fra Sauda til Samnanger.

Denne rapporten gir en modellbasert analyse av isingsforholdene langs ledningstraseen, med særlig fokus på høytliggende områder hvor skyising er den fremherskende isingstypen. Ledningstraseen (sort strek i Figur 1) fremføres i et svært varierende terreng i et område med generelt store nedbørsmengder og tilsvarende høye islaster. Traseens høyeste partier er eksponert for ising fra underkjølte skydråper (skyising). Disse områdene analyseres ved hjelp av simuleringer med oppløsning på 500 m x 500 m. Islaster fra våt snø er analysert for tre representative punkter langs traseen, indikert med grønne sirkler i Figur 1.

Kjeller Vindteknikk var representert ved Bjørn Egil Nygaard på ledningsbefaring den 30. oktober 2014.



Figur 1: Oversikt over ledningstraseer. Blå rektangler indikerer modellområdene for simuleringer av skyising. Grønne sirkler viser punkter hvor data er hentet ut fra WRF6km.

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 C. Modelldataene er fordelt i et horisontalt gitter med gitteravstand på 6 km, og strekker seg over perioden 1979 - 2014 (heretter kalt WRF6km). Data er hentet ut for tre representative punkter langs traseen ved Innstranda, Isdalsskardet og Åkrafjorden som vist med grønne sirkler i Figur 1, henholdsvis fra nord mot sør. Dataene har en tidsoppløsning på 1 time og inneholder alle nødvendige parametere for å beregne islaster både fra skyising og våt snø.

Modellert vind, temperatur, luftfuktighet, konsentrasjonen av underkjølt skyvann samt konsentrasjonen av underkjølt yr er hentet ut som tidsserier fra WRF for alle områdene. Det foretas en høydejustering av temperatur- og skyvariabler til ønsket terrenghøyde før isingen er beregnet.

I enkelte fjellpartier er ledningstraseen eksponert for skyising, spesielt fremføringen over Isdalsskardet nord av Maurangsfjorden. Her går ledningstraseen over et pass i 1080 moh. og islastene er potensielt svært høye. Det forventes imidlertid stor variasjon på lokal skala. I WRF6km er de lokale effektene ikke beskrevet på grunn av for grov oppløsning. For å gjenskape noe av de lokale variasjonene har vi utført simuleringer med den samme modellen, men med en oppløsning på 500 m x 500 m (heretter WRF500m) for et utvalg enkelthendelser. Tanken er å benytte resultatene fra WRF500m simuleringene til å korrigere WRF6km dataene før disse benyttes for å bestemme returverdier for islaster etc. Sammenlikning mellom de to modellsimuleringene er gitt i Vedlegg A.

I området omkring Åkrafjorden fremføres ledningen i terreng hvor skyising kan forekomme. Også her er det utført simuleringer med WRF500m for å gjenskape noe av de lokale variasjonene.

2.2 Isingsberegning

Traseen går i varierende terrenghøyde, og er eksponert for ising fra både våtsnø og underkjølte skyer (skyising). Vi gjør derfor en analyse av begge isingstypene i denne rapporten.

2.2.1 Våt snø

Våt snø 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. For en horisontal ledning er det vinden på tvers av ledningen som er avgjørende.

Akkumulasjon av våt snø 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. Modellert nedbør, vind, temperatur, luftfuktighet og et estimat på snøfuktighet er

hentet ut som tidsserier fra WRF med 1 times oppløsning for hele modellperioden. Disse dataene er videre brukt som inngangsdata til akkumulasjonsmodellen. Isingsraten i hvert tidspunkt bestemmes ved nedbørintensitet, vind på tvers av ledningen, lufttemperatur, snøfuktighet samt total diameter av isbelagt line. I nedbørsrike høyfjellsområder kan modellen i noen enkelttilfeller gi svært høye laster. Disse vurderes som urealistiske da modellen ikke er tilstrekkelig validert for laster over ca. 12 kg/m. I slike tilfeller vil ekstremstatistikk fra modellen ikke brukes direkte, men den retningsvise fordelingen av våtsnø benyttes for å bestemme ledningens eksponeringsgrad for denne isingsformen.

I modellen er det antatt at isen faller av ledningen når luftens våt-temperatur¹ 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) og varme i ledningen. En grense på 24 timer er satt som utgangspunkt for 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. Når det blåser på tvers av en kraftledning vil disse dråpene kolliderer med linene, fryse spontant, og akkumuleres som et hvitt isbelegg. Skyising forekommer i all hovedsak i eksponert fjellterreng, og akkumulert ismengde øker raskt med terreng høyden.

Tidsserier av meteorologiske parametere fra WRF-simuleringene anvendes for å beregne akkumulert skyis på et standardlegeme, etter formelverket gitt i ISO-standard for atmosfærisk ising på konstruksjoner, ISO 12494, beskrevet i Vedlegg C. I tillegg er akkumulerte laster beregnet for horisontale ledninger orientert i ulike retninger. I disse beregningene er samme isingsmodellen benyttet, men det er kun vindens komponent normalt på ledningen som inngår i isingsmodellen.

2.3 Vindberegning

Vinddata fra WRF modellen er også hentet ut for representative punkter. Disse dataene representerer gjennomsnittsverdier for gridruter på 6 km x 6 km. Dataene direkte fra WRF kommer med tidsoppløsning på 1 time, og sammenstillinger med vindmålinger har vist at de korresponderer best med 1 times middelvind. For å konvertere til 10 min middelvind er ekstremene skalert med en faktor på 1.05. Videre er formelverket gitt i NS-EN 1991-1-4 benyttet for å estimere vindkast. Slike dataserier er beregnet for hele perioden 1979 - 2014.

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. POT metoden benyttes ved beregning av returverdier for våtsnø og vind.

For enkelte elementer kan det være vanskelig å identifisere enkelthendelser, og det er i stedet naturlig å benytte årlige maksimalverdier som grunnlag i ekstremverdianalysen. For eksempel for skyising, som i høyfjellet pågår over lang tid kan det være riktigere å forholde seg til årlige maksima i stedet for å dele inn i enkeltepisoder i en ekstremverdianalyse. Med årlige maksimalverdier som grunnlag benyttes en tilpassningsfordeling som heter GEV (Generalized Extreme Value distribution). GEV inneholder en formparameter som tilpasses etter fordelingen av de dataene som brukes. Eksempelvis er den klassiske Gumbel-fordelingen et spesialtilfelle av GEV for tilfeller der formparameteren for fordelingen lik 0.

3 Finskala simuleringer

Traseens høyeste punkt ligger på ca 1080 moh, og er eksponert for ising fra sørvest til vest. Ved hjelp av finskalasimuleringene studeres de lokale variasjonene og i hvor stor grad høyere terreng i vest skjermer for ising ved vind fra vestlig kant. Ved å sammenlikne meteorologiske data fra WRF500m og WRF6km får vi et estimat på en skjermingsfaktor. Skjermingsfaktoren kan legges inn i WRF6km dataene før disse benyttes videre til å bestemme returverdier for skyising (Vedlegg A). I samme område vurderes også islastene for den alternative traseen som går lengre vest (Tjørnaskardet).

Simuleringene på 500 m x 500 m oppløsning gir også en bedre beskrivelse av variasjonen i islaster langs traseene, spenn for spenn. Området rundt Åkrafjorden er også eksponert for skyising, og det er gjort simuleringer med WRF500m også her for å studere den lokale variasjonen.

Basert på en analyse av rådataene fra WRF6km er det valgt ut totalt 8 enkelthendelser som er simulert med høy oppløsning. Av disse er 5 simuleringer gjort for modellområdet ved Mauranger (Isdalsskardet) og 3 for modellområdet rundt Åkrafjorden (Figur 1).

Tabell 1. Isingsepisoder som er simulert med WRF500m. Maksimal isvekt fra WRF6km er beregnet på et referanseobjekt i 1080 moh. ved Isdalsskardet.

Episode	Fra dato	Til dato	Vind - retning	Maks isvekt WRF6km (kg/m)
#1	15.2.2012	26.2.2012	SV	17
#2	27.1.2011	10.2.2011	SV	34
#3	7.2.2002	20.2.2002	SV	26
#4	23.2.2000	10.3.2000	V-SV	23
#5	5.3.1994	18.3.1994	SV	32

Tabell 2. Isingsepisoder som er simulert med WRF500m. Maksimal isvekt fra WRF6km er beregnet på et referanseobjekt i 720 moh. sør av Åkrafjorden.

Episode	Fra dato	Til dato	Vind - retning	Maks isvekt WRF6km (kg/m)
#1	1.2.2011	10.2.2011	S-SV	2.6
#2	18.1.1994	3.2.1994	S-NV	3.8
#3	3.3.1979	6.3.1979	SV	3.7

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 med oppløsning på 500 m x 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 islast 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. I terreng med kompleks topografi vil det likevel være variasjoner som ikke kommer med i en slik justering, for eksempel varierende grad av skjerming bak ujevne, småskala høydedrag. Traseens høyeste punkt gjennom Isdalsskardet er et eksempel på en terrenotype hvor denne høydejusteringen ikke vil fange opp alle variasjoner. Variasjonen med terrenghøyden vil komme frem i iskartene, men lokale effekter i selve skaret vil ikke gjenskapes.

3.1 Finskala isingskart

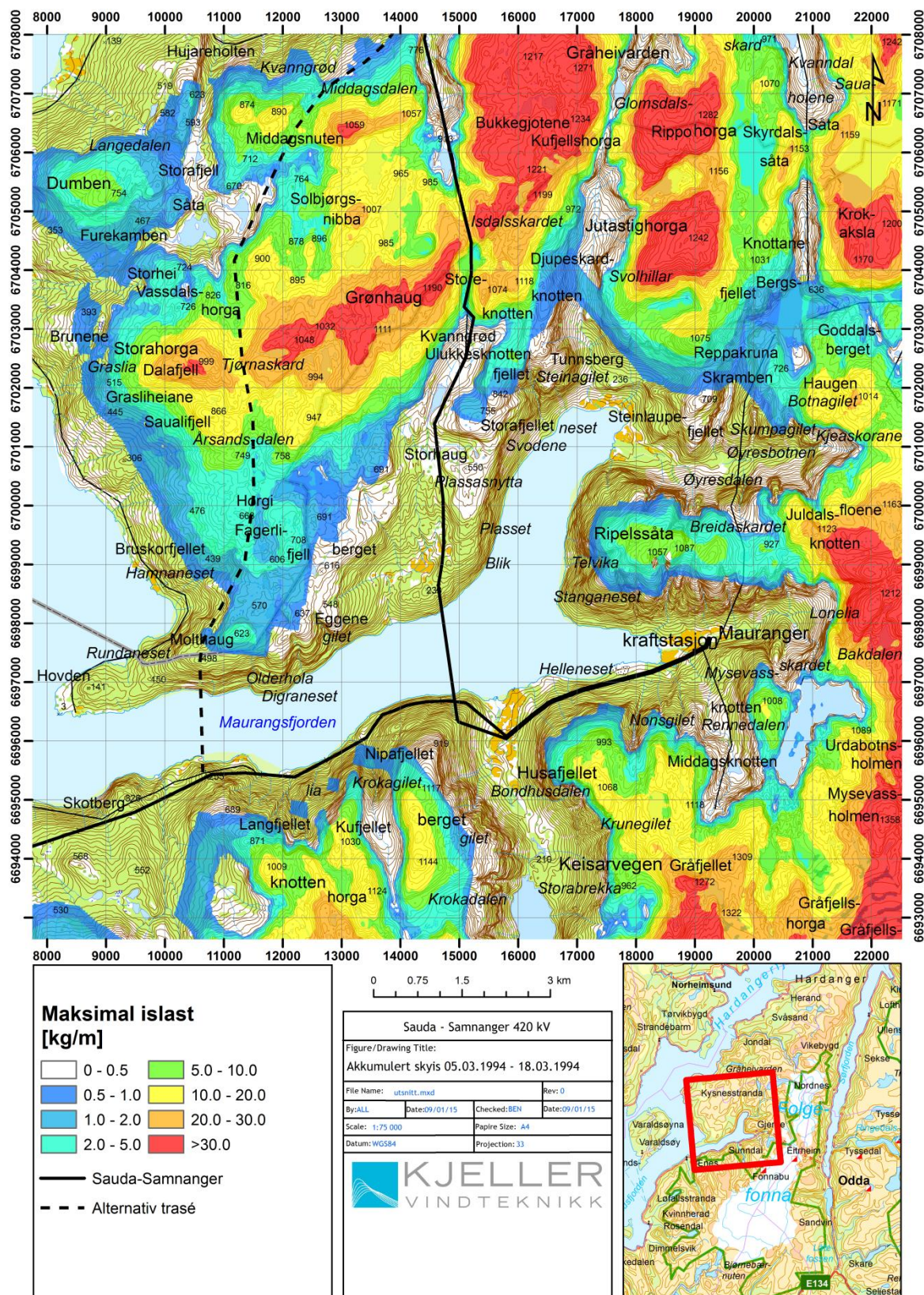
Isingskartene i Figur 2 og Figur 3 er basert på WRF modellens laveste modellflate, som er sentrert ca 20 m over bakken. Islastene er modellert på et referanseobjekt (ISO 12494). Fordi referanseobjektet er vertikalt orientert vil is akkumuleres effektivt fra alle vindretninger. Total ismengde på et referanseobjekt er derfor å anse som et konservativt estimat, og en øvre grense for ising. For noen delstrekninger er isførende vindretning i større grad parallell med ledningstraseen og det forventes dermed betydelig lavere laster på denne ledningen enn på et referanseobjekt.

Kartet i Figur 2 viser et eksempel på en periode med ising for modellområdet som dekker Isdalsskardet og det vestlige alternativet over Tjørnaskard. Vi ser at det forventes høye islast i eksponerte områder. Sett i forhold til høyden over havet er det høyest islast i de vestligste områdene, hvor det er mer åpent ut mot havet. Det simuleres relativt høye laster for en kort strekning ved fremføringen over Isdalsskardet.

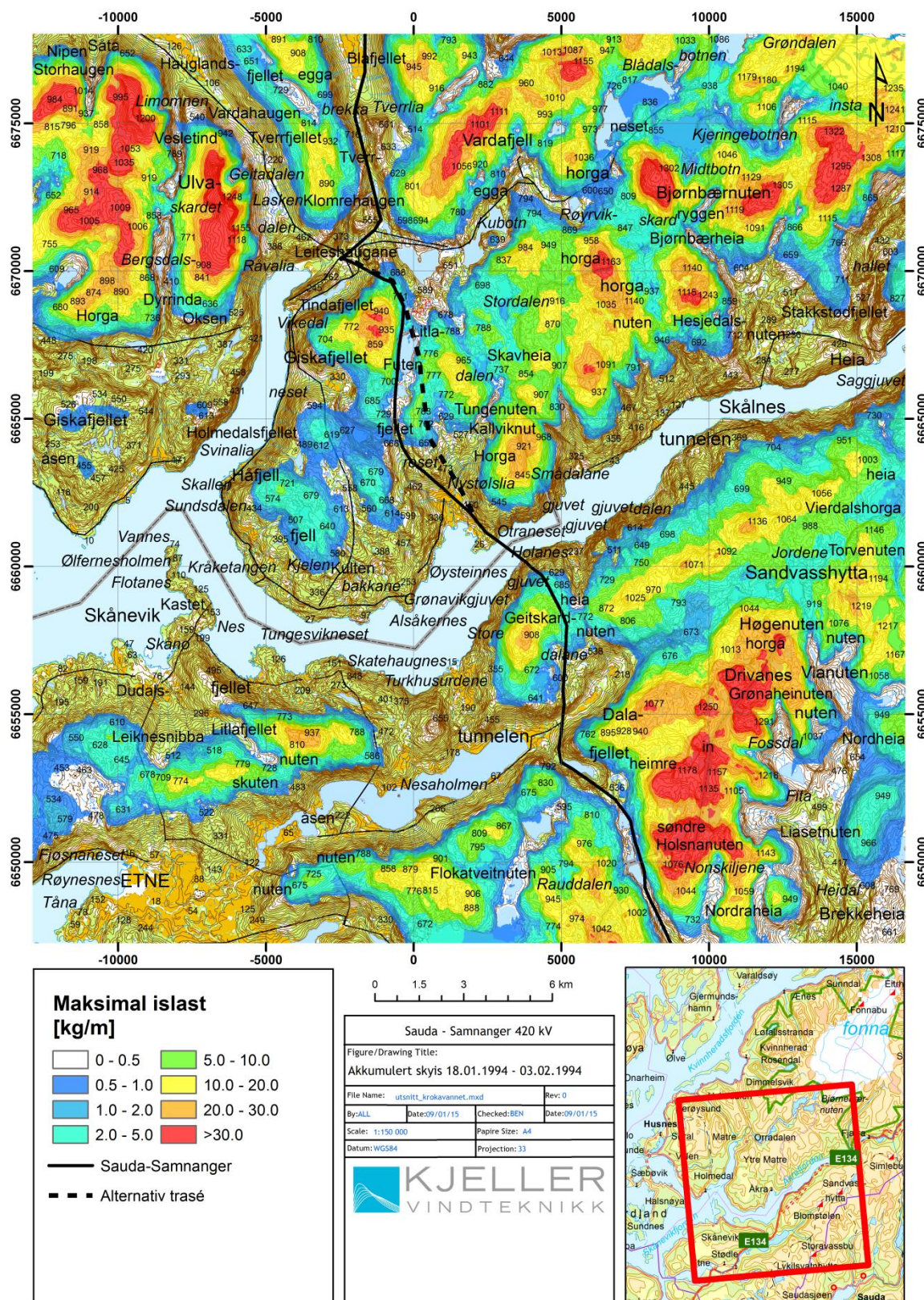
Figur 3 viser simulerte islast for en av episodene for modellområdet omkring Åkrafjorden. Også her er det stedvis høye islast, men traseen unngår de mest eksponerte områdene.

Tilsvarende isingskart for alle de 8 enkelte episodene finnes i Vedlegg B.

Islastene i kartene representerer enkelthendelser, og kan ikke knyttes til returperioder uten en kobling mot lange dataserier. Dette gjøres i Kapittel 4. En mer detaljert sammenlikning med WRF6km er presentert i Vedlegg A.



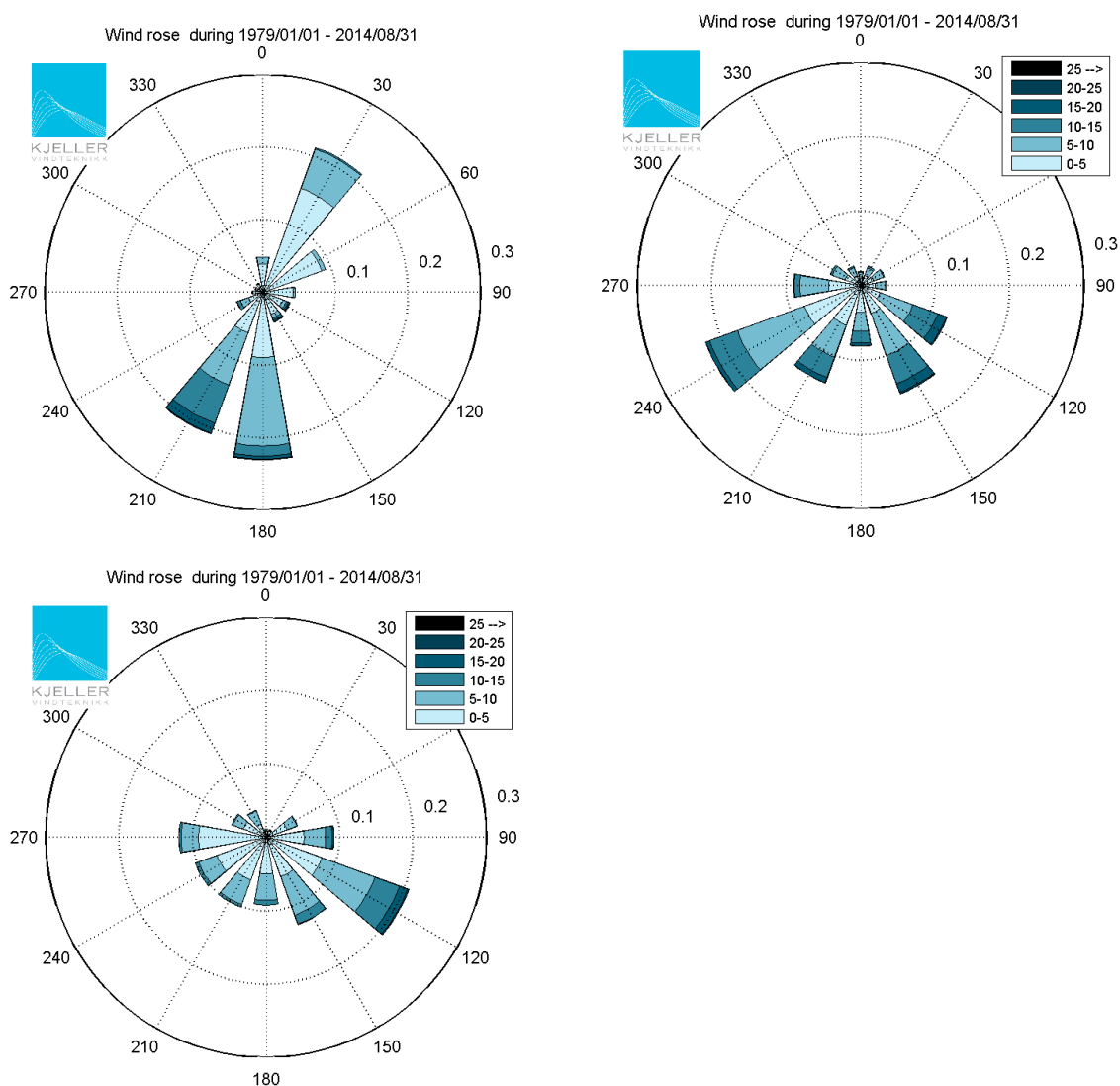
Figur 2: Simulert maksimal akkumulert islast (kg/m) på et referanseobjekt for perioden 05.03.1994 - 18.03.1994.



Figur 3: Simulert maksimal akkumulert islast (kg/m) på et referanseobjekt for perioden 18.01.1994 - 03.02.1994.

4 Beregning av klimalaster

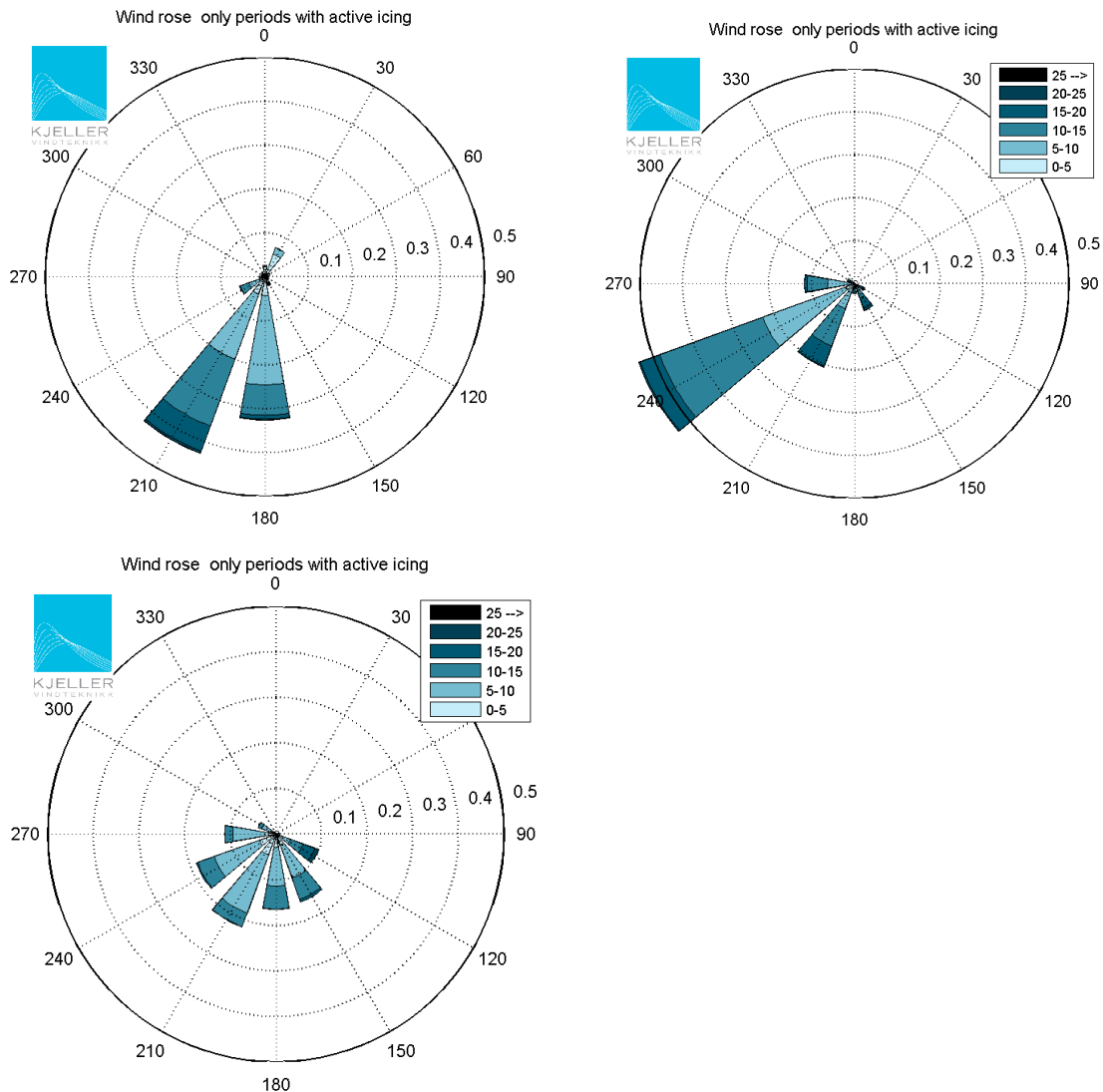
Figur 4 viser at vindklimaet er for de tre punktene (grønne sirkler i figur 1) har ulike karakterer. Innstranda (178 moh.) ligger relativt lavt og vinden her er i stor grad styrt i retning parallelt med Hardangerfjorden. Ved Isdalsskardet (1080 moh) er fremherskende vindretninger fra sørvest og sørøst. Vi ser at de sterkeste vindene ofte kommer fra sørøst. Sør av Åkrafjorden (720 moh.) er sørøst den vanligste vindretningen, og det er også fra sørøst modellen indikerer de sterkeste vindene.



Figur 4: Vindrose for 10 min middelvind i 10 m høyde for hele beregningsperioden, basert på WRF6km i tre punkter. Fargekoden på vindrosen indikerer vindhastighet (m/s). Øverst til venstre: Innstranda (178 moh). Øverst til høyre Isdalsskardet (1080 moh). Under: Sør av Åkrafjorden (720 moh).

4.1 Våtsnø

Hvilke vindretninger som oftest er forbundet med våtsnø varierer langs traseen. Ved Innstranda forekommer våtsnø i all hovedsak ved vind fra sør og sørvest, altså inn Hardangerfjorden. Ved Isdalskkardet er våtsnø oftest forbundet med vind fra sørvest, mens sør av Åkrafjorden indikerer modellen at våtsnø kan forekomme fra flere retninger, selv om sørvest er hyppigst også her.



Figur 5: Vindrose for alle tidspunkt med isingsintensitet (våtsnø) på mer enn 10 g/m per time, basert på WRF6km i tre punkter. Fargekoden på vindrosen indikerer vindhastighet (m/s). Øverst til venstre: Innstranda (178 moh). Øverst til høyre Isdalskkardet (1080 moh). Under: Sør av Åkrafjorden (720 moh).

Tabell 3 og Tabell 4 viser beregnede returverdier for akkumulert våtsnø på ledninger orientert i ulike retninger for modellpunktene ved Innstranda og Åkrafjorden. Disse ekstremverdiberegningene indikerer islaster fra våtsnø omkring 5 kg/m i lavtliggende områder, og laster omkring 14 kg/m for høyereliggende områder, her representert ved modellpunkt henholdsvis ved Innstranda (178 moh) og Åkrafjorden (720 moh). For

modellpunktet ved Isdalsskardet gir en tilsvarende analyse islaster fra våtsnø over 20 kg/m. Dette er trolig urealistisk høyt da modellen ikke er tilstrekkelig verifisert for høyere laster enn ca 12 kg/m. I dette området er skyising den fremherskende isingstypen, og analysen av skyising vil være avgjørende for den dimensjonerende islasten her.

Tabell 3 Returverdier for våtsnø for ledninger i ulike retninger for modellpunkt ved Innstranda. Beregnet fra WRF6km i 178 moh. *150-års laster er ikke beregnet direkte men skalert fra 50 års verdiene med en overgangsfaktor på 1.25, som er hentet fra NEK445:2009.

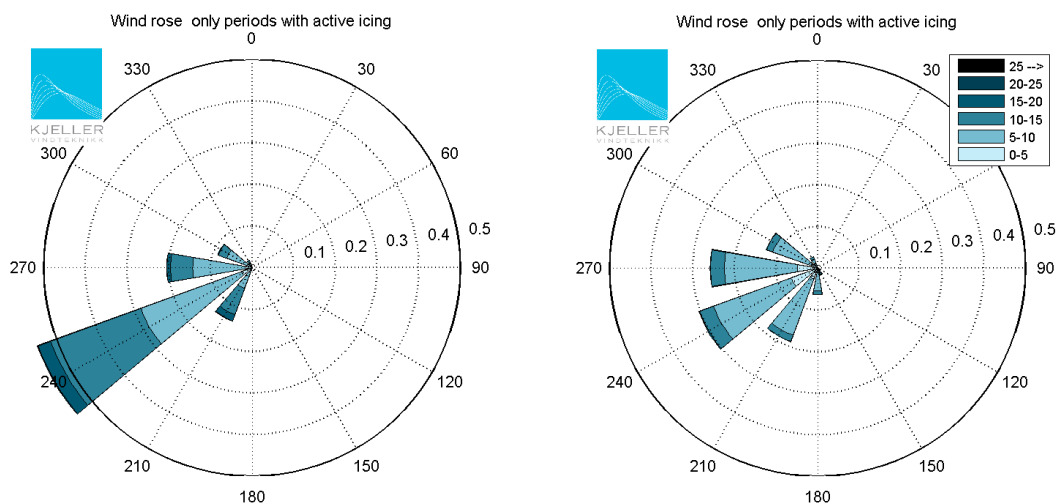
Linjeretning	Returverdier våtsnø (kg/m)						
	2 år	3 år	5 år	10 år	25 år	50 år	150 år
N-S	1.1	1.4	1.7	2.3	3.4	4.4	5.5*
NØ-SV	0.9	1.1	1.4	1.8	2.5	3.2	4.0*
Ø-V	1.0	1.2	1.4	1.9	2.7	3.6	4.5*
SØ-NV	1.0	1.2	1.5	2.0	2.9	3.8	4.7*

Tabell 4 Returverdier for våtsnø for ledninger i ulike retninger for modellpunkt sør for Åkrafjorden. Beregnet fra WRF6km i 720 moh. *150-års laster er ikke beregnet direkte men skalert fra 50 års verdiene med en overgangsfaktor på 1.25, som er hentet fra NEK445:2009.

Linjeretning	Returverdier våtsnø (kg/m)						
	2 år	3 år	5 år	10 år	25 år	50 år	150 år
N-S	3.1	3.7	4.6	6.2	8.9	11.5	14.4*
NØ-SV	2.6	3.2	4.1	5.5	8.1	10.8	13.5*
Ø-V	2.6	3.1	4.0	5.4	8.0	10.7	13.4*
SØ-NV	2.7	3.2	4.1	5.6	8.2	10.8	13.5*

4.2 Skyising

Tilsvarende som for våtsnø er det beregnet vindroser for tidspunkter med skyising. Figur 6 viser slike isingsroser for modellpunkt ved Isdalsskardet (venstre) og sør av Åkrafjorden (høyre). For området ved Innstranda gir modellen ingen skyising av betydning, som forventet i lavtliggende terreng. Modellen indikerer at skyising i hovedsak er forbundet med vind fra sørvest til vest.



Figur 6: Vindrose for alle tidspunkt med isingsintensitet (skyising) på mer enn 20 g/m per time. For modellpunkter i områdene; Isdalsskardet (1080 moh) og Sør av Åkrafjorden (720 moh). Fargekoden på vindrosene indikerer vindhastighet (m/s).

4.2.1 Isdalsskardet

Den retningsvise fordelingen av ising har stor betydning for akkumulerte laster på en horisontal ledning. Når vindretningen er parallell med ledningen vil det akkumuleres minimalt med is på liner, mens isingen når sitt maksimum når vindretningen er normalt på ledningen.

Beregninger av returverdier for skyising er i første omgang basert på WRF6km høydejustert til gitt høyde over havet, uten videre korreksjoner for lokale terrengeffekter.

Tabell 5 viser beregnede returverdier for skyising som funksjon av ledningsretning i 1080 moh direkte fra WRF6km. Med isførende vindretning fra vest og sørvest (omkring 240°) ser vi at det er ledninger orientert i retning nord-sør og sørøst-nordvest som får de største islastene. Tabellen indikerer her 150-års islaster i størrelsesordenen 50-60 kg/m.

Tabell 6 viser at tilsvarende beregninger i ulike høyder over havet gir en kraftig vertikalgradient i islastene med nær en dobling av 150-års laster fra 1000 til 1080 moh.

Tabell 5 Returverdier for skyising for ledninger i ulike retninger for modellpunkt ved Isdalsskardet. Beregnet fra WRF6km. *150-års laster er ikke beregnet direkte men skalert fra 50 års verdiene med en overgangsfaktor på 1.25, som er hentet fra NEK445:2009.

Linjeretning	Returverdier for skyising (kg/m)						
	2 år	3 år	5 år	10 år	25 år	50 år	150 år
N-S	13.9	17.3	21.3	26.7	33.9	39.6	49.5
NØ-SV	4.5	5.3	6.2	7.1	8.0	8.6	10.7
Ø-V	5.2	6.5	8.0	10.2	13.3	15.9	19.9
SØ-NV	14.9	18.9	23.8	30.7	40.6	49.0	61.2
Referanseobjekt	16.7	20.8	25.6	31.9	40.7	49.3	61.6

Tabell 6: Beregnede 150-års verdier for islast fra skyising (kg/m) i ulike linjeretninger basert på modelldata løftet til ulike høyder over havet. Beregnet fra WRF6km. Verdiene er skalert fra 50 års verdier med en overgangsfaktor på 1.25, som er hentet fra NEK445:2009.

Linjeretning	150 års returverdier for skyising (kg/m)		
	1000 moh.	1050 moh.	1080 moh.
N-S	24.3	39.1	49.5
NØ-SV	5.4	8.0	10.7
Ø-V	12.6	17.2	19.9
SØ-NV	33.6	49.4	61.2
Referanseobjekt	33.6	49.6	61.6

Ising på et referanseobjekt fra WRF 6 km kan korrigeres til 500 m terreng ved å bruke forholdstall fra Vedlegg A. WRF 500 m terreng gir ca 15 % lavere skyvannsinhold og ca 20 % lavere islaster. Dette må tolkes som en skjerming fra høyere terreng sør for Maurangerfjorden, en effekt som øker innover i fjorden og som ikke er oppløst i 6 km modellen. Imidlertid er selve skaret ikke oppløst i 500 m modellen heller. Her må en forvente en akselerasjon av vinden over skaret, hvilket vil øke isingen. Vi beholder derfor verdiene fra WRF 6 km som isingsverdier på et referanseobjekt.

For ledningstraseen over selve Isdalsskardet er sannsynligvis de beregnede islastene direkte fra WRF6km vesentlig for høye. All erfaring fra vind gjennom slike skar tilsier at vinden der dreies parallelt med skaret. Dvs. at regional vind fra sørvest til vest som fører til ising i dette området ofte vil ha en retning nær sør lokalt over selve Isdalsskardet. For islastene betyr dette en betydelig reduksjon i avsetningen på selve ledningene, mens for master og andre komponenter som har frontareal mot sør vil isingen kanskje øke i omfang. Som et forsøk på å kvantifisere reduksjonen i islaster på grunn av denne vinddreiningen har vi utført isingsberegninger der hele vindrosen er dreid slik at komponenten normalt på kraftledningen er redusert. I Tabell 10 er returverdier for islaster beregnet for to tilfeller der hovedretningen for ising (240° fra Figur 6, venstre) er rotert til å stå 45 grader og 30 grader på ledningsretningen. Tabell 10 viser at denne vinkelen har stor betydning for lastene på ledningen, med 35.8 kg/m og 19.4 kg/m henholdsvis med vinkel på 45 grader og 30 grader.

Dersom vindretningen mot formodning ikke skulle dreie langs skaret, men ha en større vinkel, må den komme over høyere terreng før den treffer ledningen. I dette tilfellet får vi en betydelig terrengskjerming med minst like stor effekt på islasten som i tilfelle med vind gjennom skaret med mindre vinkel.

Terrenget tilsier at fuktig, isførende vind sjelden treffer ledningen med en vinkel som er større enn 30 - 45 grader. Sannsynligvis er vinkelen ofte mindre enn 30 grader, dvs. at vindretningen er nær parallell med ledningen. Basert på disse betraktningene hvor vi kun tar hensyn til vinddreiningen gjennom skaret bør ledningen dimensjoneres for ca 30 kg/m som en 150 års islast ved traseens høyeste punkt. På grunn av terrengets komplekse form er det knyttet betydelig usikkerhet til islastene.

Tabell 7 Retourverdier for skyising for ledninger med angitt vinkel relativt til dominerende isingsretning (240°) for modellpunkt ved Isdalsskardet. Beregnet fra WRF6km høydejustert til 1080 moh. *150-års laster er ikke beregnet direkte men skalert fra 50 års verdiene med en overgangsfaktor på 1.25, som er hentet fra NEK445:2009.

Vinkel relativt til isførende retning	Retourverdier for skyising (kg/m)						
	2 år	3 år	5 år	10 år	25 år	50 år	150 år
45°	10.7	13.2	16.1	19.8	24.8	28.7	35.8
30°	7.4	9.0	10.5	12.3	14.2	15.5	19.4
Referanseobjekt	16.7	20.8	25.6	31.9	40.7	49.3	61.6

4.2.2 Vestlig trase (Tjornaskard)

Den alternative traseen har sitt høyeste punkt ved Tjornaskard i ca 900 moh. Deler av denne traseen ligger fritt eksponert mot sørvest, og sammenlikning med WRF500m viser at det ikke er noen skjermingseffekt her tilsvarende den vi fant for Isdalsskardet (Vedlegg A). Tabell 8 viser at det for en ledning orientert i retning nord-sør beregnes en 150-års islast på 14.1 kg/m mens det for en ledning i sørøst-nordvest retning beregnes en 150-års islast på 26 kg/m.

For den faktiske ledningstraseen synes ca 20 kg/m å være riktig for det høyeste punktet basert på disse beregningene. Tabell 9 viser imidlertid store vertikalgradienter i islasten, så nøyaktig masteplassing vil ha betydning for å bestemme endelige islaster.

Tabell 8 Retourverdier for skyising for ledninger i ulike retninger for modellpunkt ved Isdalsskardet. Beregnet fra WRF6km høydejustert til 900moh. *150-års laster er ikke beregnet direkte men skalert fra 50 års verdiene med en overgangsfaktor på 1.25, som er hentet fra NEK445:2009.

Linjeretning	Retourverdier for skyising (kg/m)						
	2 år	3 år	5 år	10 år	25 år	50 år	150 år
N-S	3.2	4.1	5.2	6.8	9.1	11.2	14.1
NØ-SV	0.8	1.0	1.3	1.6	2.2	2.7	3.4
Ø-V	3.3	4.2	5.4	7.1	9.7	12.0	14.9
SØ-NV	5.4	6.9	8.9	11.9	16.5	20.8	26.0
Referanseobjekt	5.7	7.3	9.3	12.2	16.8	21.0	26.3

Tabell 9: Beregnede 150-års verdier for islast fra skyising (kg/m) i ulike linjeretninger basert på modelldata løftet til ulike høyder over havet. Beregnet fra. Verdiene er skalert fra 50 års verdier med en overgangsfaktor på 1.25, som er hentet fra NEK445:2009.

Linjeretning	150 års returverdier for skyising (kg/m)		
	850 moh.	900 moh.	950 moh.
N-S	10.3	14.1	20.2
NØ-SV	2.3	3.4	5.3
Ø-V	9.9	14.9	20.1
SØ-NV	17.6	26.0	35.0
Referanseobjekt	17.7	26.3	35.0

4.2.3 Åkrafjorden

I dette området er det gjort en beregning av islaster fra skyising I 720 moh. som tilsvarer traseens høyeste punkt sør for Åkrafjorden. Basert på WRF6km blir en 150-års islast beregnet til 4.5 kg/m på et referanseobjekt. Dette er vesentlig lavere enn lastene fra våt snø. Modellen indikerer altså at skyising vil forekomme i dette området, men at de høyeste akkumulerte lastene må tilskrives våt snø.

4.3 Ekstremvind

Dimensjonerende vindlaster bør settes med utgangspunkt i kommunevis Referansevindhastighet og formelverk gitt i NS-EN 2009-1-4 (Norsk Vindstandard). Disse beregningene omfattes ikke i denne rapporten, men for å øke beslutningsgrunnlaget for å sette vindlastene har vi gjort ekstremverdiberegninger av vind basert på modelldataene fra WRF6km.

Tabell 10 viser vindkast med 50-års returperiode for de ulike områdene hvor det er hentet ut data. Sterkest vind normalt på ledningen forventes på en ledning orientert i retning sørvest - nordøst. Dette henger sammen med den sterke vinden som forventes fra sørøst. 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. Den den retningsvise fordelingen gir derfor bare en pekepinn på maksvindens normalkomponent på ledningen.

Tabell 10: Estimerte 50-års returverdier for vindkast for de tre områdene i 20 m høyde over bakken. 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)		
	Innstranda	Isdalsskardet	Åkrafjorden
N-S	36.7	40.9	43.7
SV-NØ	45.6	47.7	42.7
V-Ø	41.1	39.4	32.0
NV-SØ	36.9	38.5	31.3
Retningsuavhengig	46.2	49.5	46.1

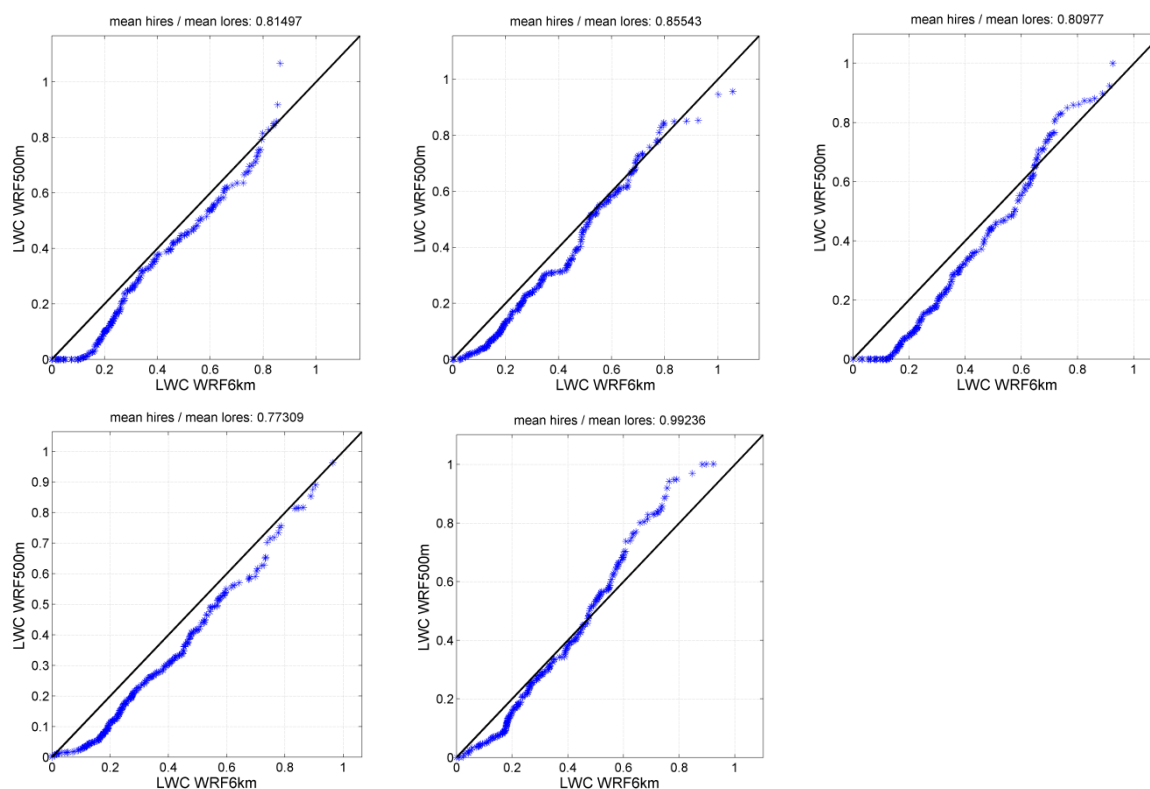
5 Referanser

- [1] Norsk Elektroteknisk Komite, NEK445:2009 er en norskspråklig samleutgave av europanormene NEK EN 50341 og NEK EN 50423 samt norske tilpasninger.
- [2] EN 1991-1-4:2005+NA, 2009: Eurocode 1: Laster på konstruksjoner. Standard Norge, 2009
- [3] 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).
- [4] ISO/TC98/SC3/WG6, Atmospheric icing of structures, International Standard, ISO 12494, 2000
- [5] Coles, Stuart. *An introduction to statistical modeling of extreme values*. Springer, 2001.

Vedlegg A: Justering av WRF6km

For traseen høyeste punkt over Isdalsskardet ligger ledningen delvis i le for høyere terreng ved vindretning omkring vest og sørvest (isførende vindretning). Denne skjermingen er ikke gjengitt når WRF6km brukes direkte på grunn av utglattet terreng. I WRF500m er heller ikke Isdalsskardet løst opp, men terrenget i vest og sørvest er gjengitt i modellen. Dette gjør at skyenes vanninnhold reduseres noe i WRF500m ved vind fra vest og sørvest.

Figurene nedenfor viser at vanninnholdet er forskjellig i WRF6km og i WRF500m for alle episodene (ikke tydelig i episode #5). Forholdet mellom skyenes vanninnhold kommer frem i kolonnen til høyre i Tabell 11. Det gjennomsnittlige forholdet mellom vanninnholdet i WRF6km og WRF500m er 0.85. Ved å benytte denne faktoren for å korrigere vanninnholdet i WRF6km før beregning av islaster, reduseres islastene i snitt med ca 20 %.



Figur 7: Skyenes vanninnhold (g/m^3) i WRF6km og WRF500m i sortert scatterplot. Episode #1 øverst til venstre episode #2 øverst i midten, osv. Terreng høyden i WRF500m er 1080 moh mens data fra WRF6km er høydejustert til 1080 moh. fra modellpunkt i 989 moh.

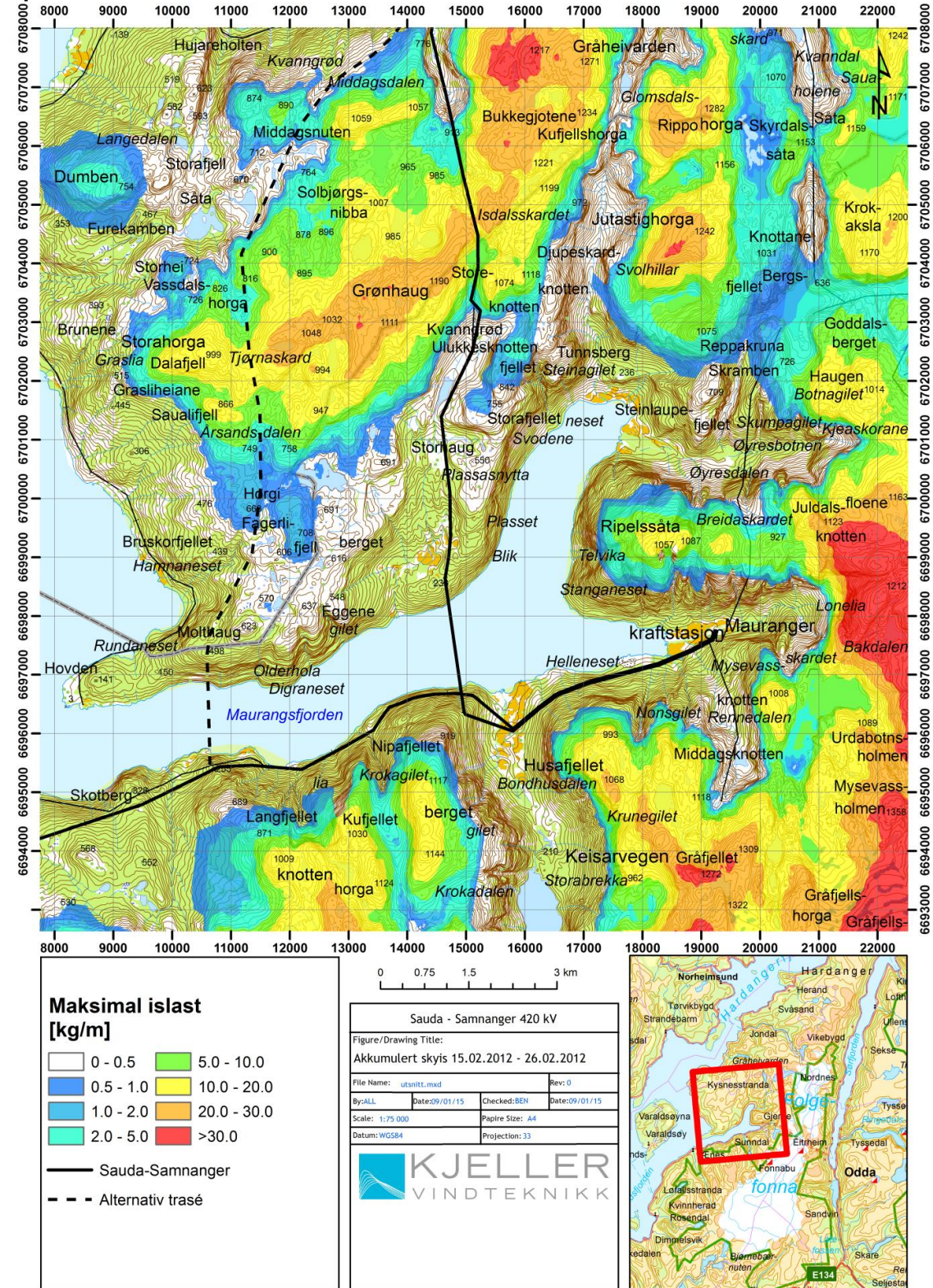
Tabell 11 Sammenlikning av resultater fra WRF500m og WRF6km i 1080 moh. Maksimal isvekt er beregnet for et referanseobjekt. LWC forhold i høyre kolonne er forholdet mellom skyenes vanninnhold i WRF6km og WRF500m.

Episode	Fra dato	Til dato	Vind - retning	LWC forhold
#1	15.2.2012	26.2.2012	SV	0.81
#2	27.1.2011	10.2.2011	SV	0.86
#3	7.2.2002	20.2.2002	SV	0.81
#4	23.2.2000	10.3.2000	V-SV	0.77
#5	5.3.1994	18.3.1994	SV	0.99

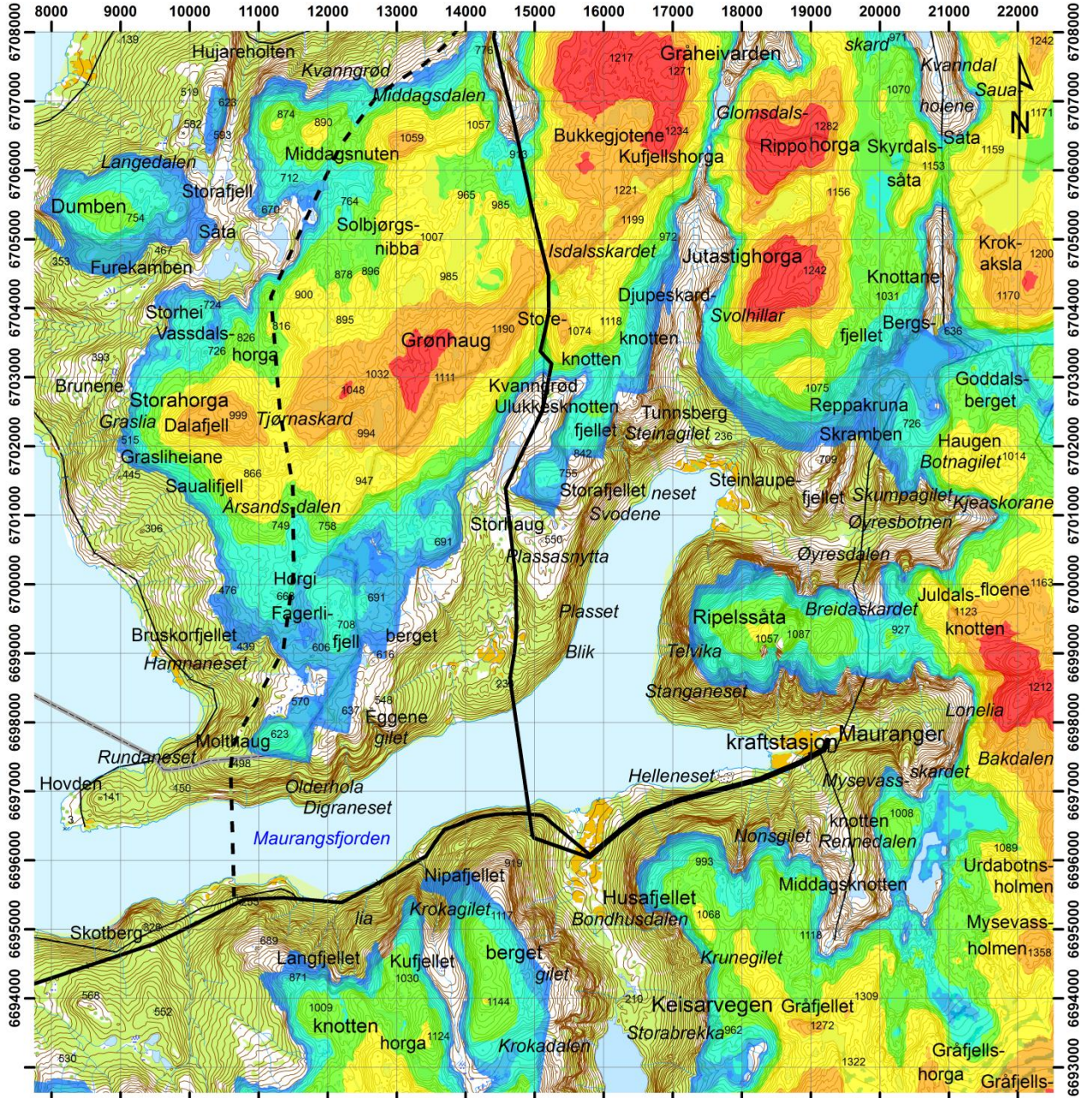
Vedlegg B: Isingskart

Mauranger

Episode #1



Episode #2



Maksimal islast [kg/m]

0 - 0.5	5.0 - 10.0
0.5 - 1.0	10.0 - 20.0
1.0 - 2.0	20.0 - 30.0
2.0 - 5.0	>30.0

— Sauda-Samnanger
 - - - Alternativ trasé

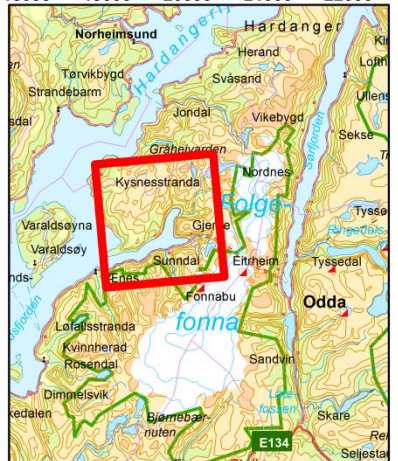
0 0.75 1.5 3 km

Sauda - Samnanger 420 kV

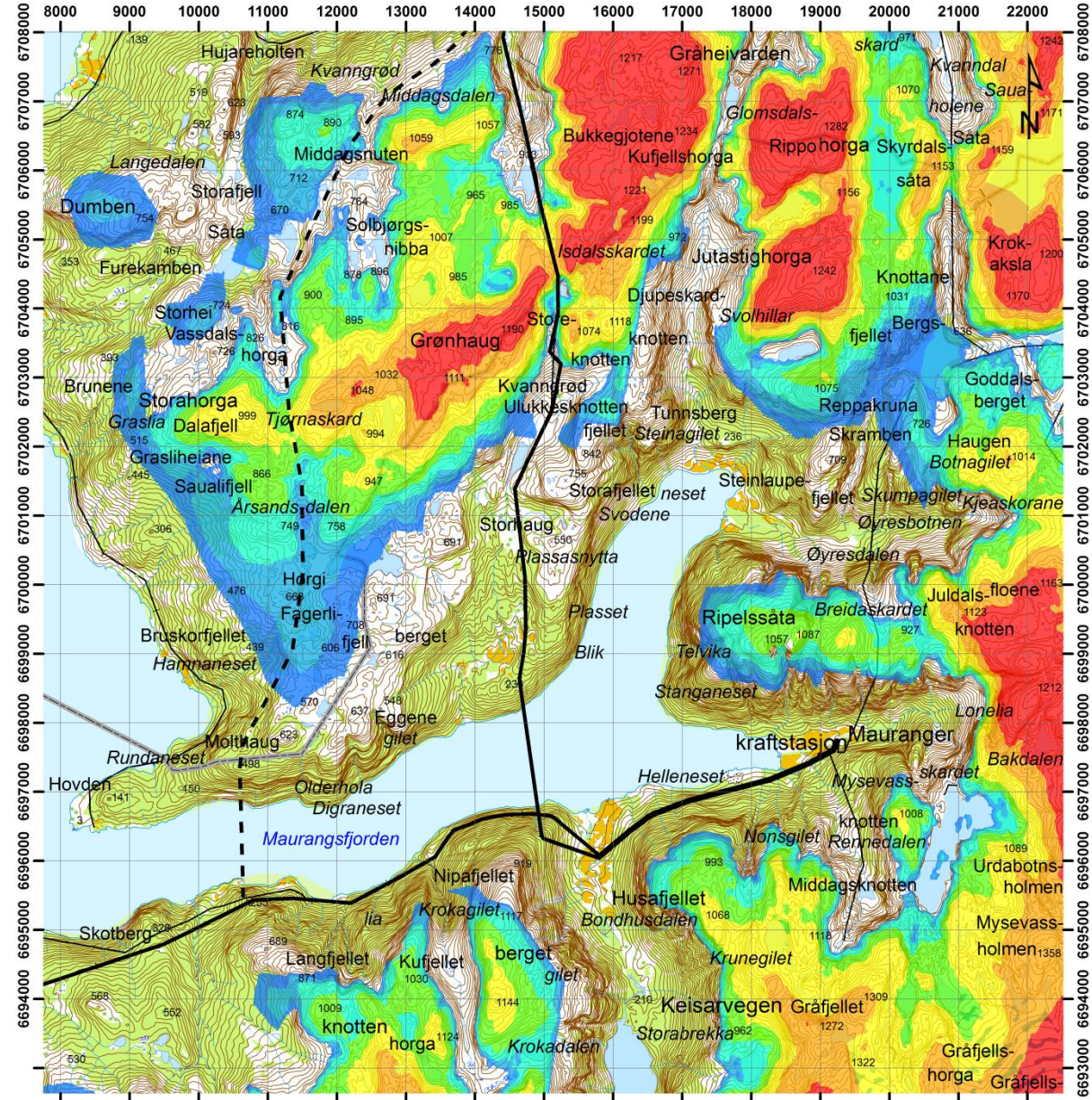
Figure/Drawing Title:
 Akkumulert skyis 27.01.2011 - 10.02.2011

File Name: utsnitt.mxd	Rev: 0		
By: ALL	Date: 09/01/15	Checked: BEN	Date: 09/01/15
Scale: 1:75 000	Papire Size: A4		
Datum: WGS84	Projection: 33		

KJELLER
 VINDTEKNIKK



Episode #3



Maksimal islast [kg/m]

0 - 0.5	5.0 - 10.0
0.5 - 1.0	10.0 - 20.0
1.0 - 2.0	20.0 - 30.0
2.0 - 5.0	>30.0

— Saura-Samnanger
- - - Alternativ trasé

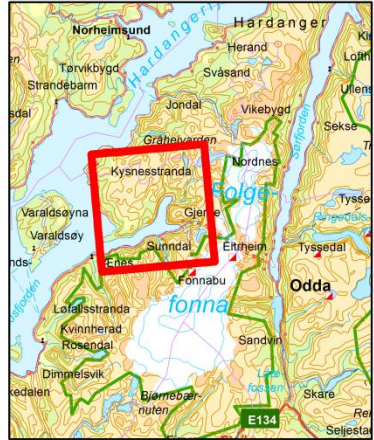
0 0.75 1.5 3 km

Saura - Samnanger 420 kV

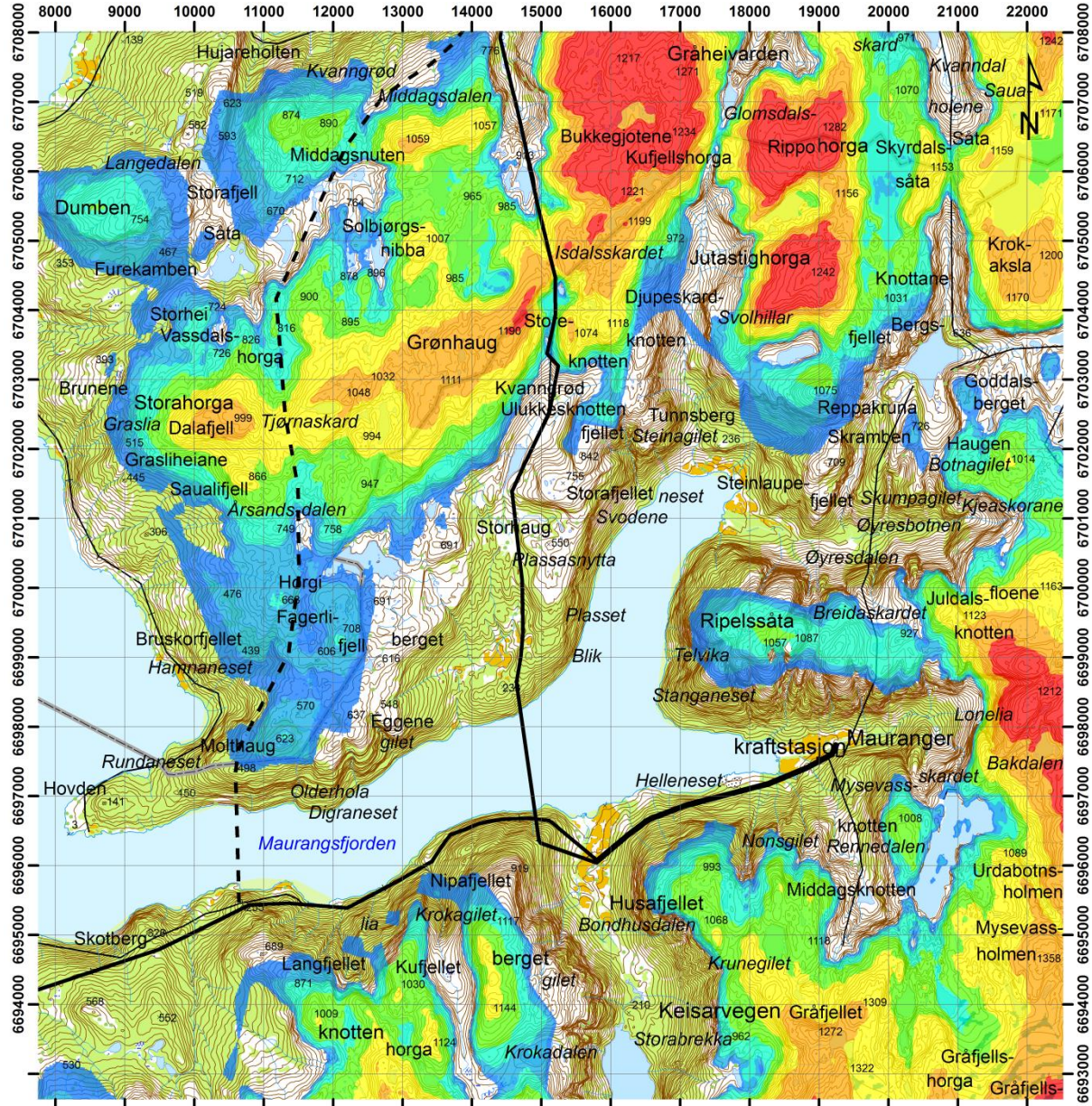
Figure/Drawing Title:
Akkumulert skyis 07.02.2002 - 20.02.2002

File Name: utsnitt.mxd	Rev: 0		
By: ALL	Date: 09/01/15	Checked: BEN	Date: 09/01/15
Scale: 1:75 000	Papire Size: A4		
Datum: WGS84	Projection: 33		

KJELLER
VINDTEKNIKK



Episode #4



Maksimal islast [kg/m]

0 - 0.5	5.0 - 10.0
0.5 - 1.0	10.0 - 20.0
1.0 - 2.0	20.0 - 30.0
2.0 - 5.0	>30.0

— Saura-Samnanger
- - - Alternativ trasé

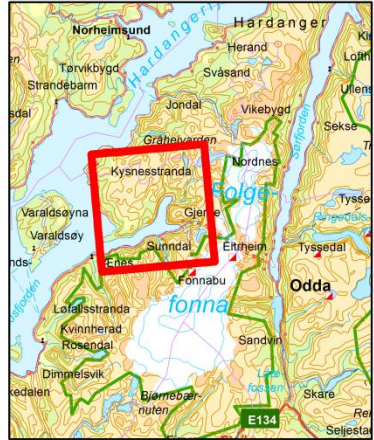
0 0.75 1.5 3 km

Saura - Samnanger 420 kV

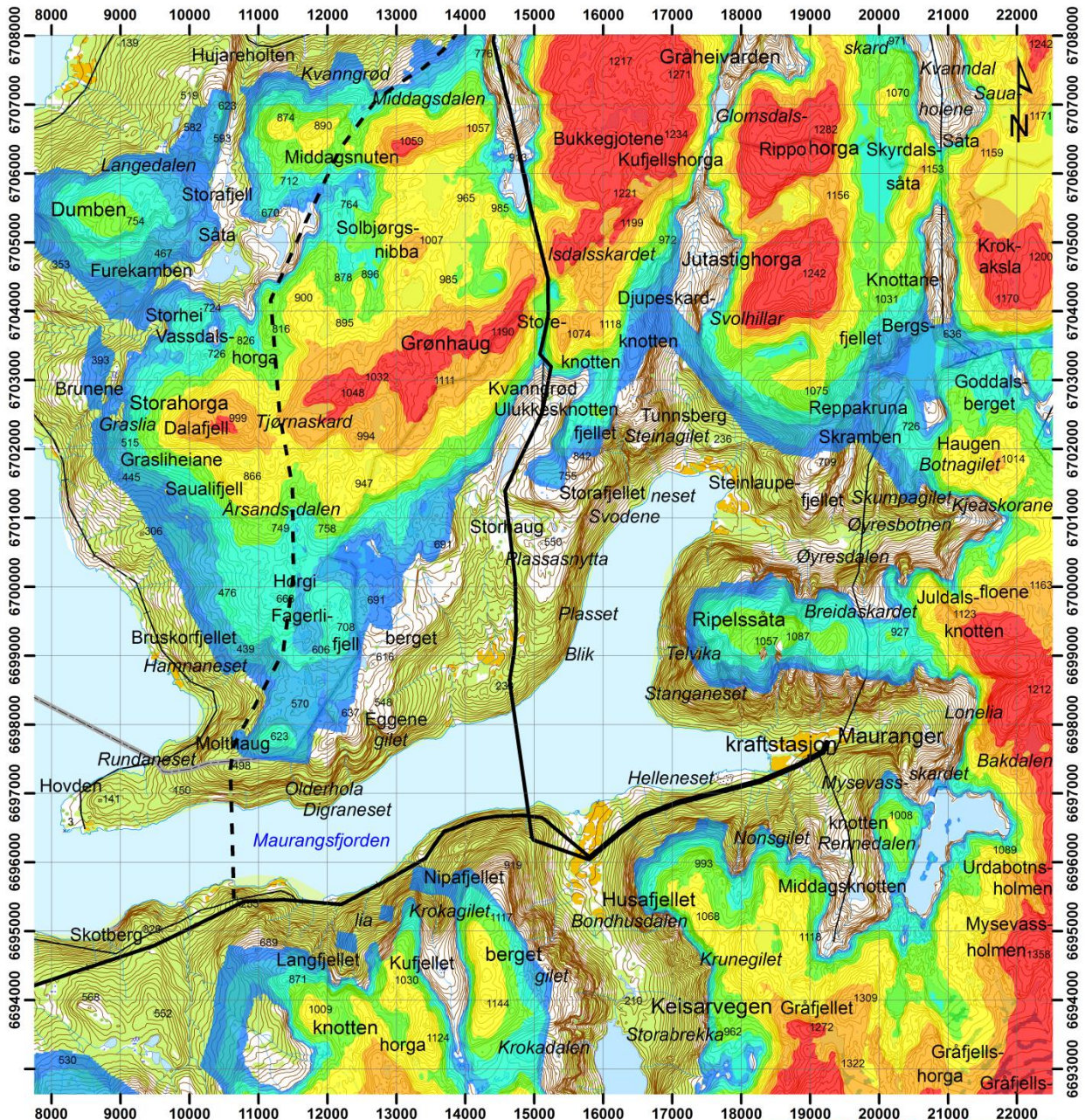
Figure/Drawing Title:
Akkumulert skyis 23.02.2000 - 10.03.2000

File Name: utsnitt.mxd	Rev: 0		
By: ALL	Date: 09/01/15	Checked: BEN	Date: 09/01/15
Scale: 1:75 000	Papire Size: A4		
Datum: WGS84	Projection: 33		

KJELLER
VINDTEKNIKK



Episode #5



Maksimal islast [kg/m²]

0 - 0.5	5.0 - 10.0
0.5 - 1.0	10.0 - 20.0
1.0 - 2.0	20.0 - 30.0
2.0 - 5.0	>30.0

— Saura-Samnanger
- - - Alternativ trasé

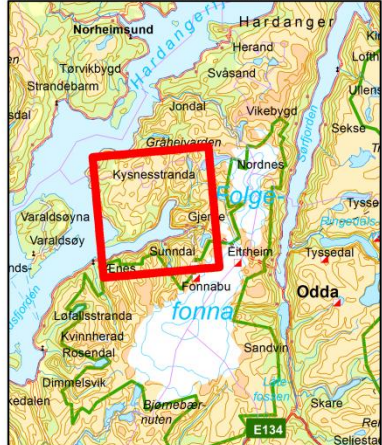
0 0.75 1.5 3 km

Saura - Samnanger 420 kV

Figure/Drawing Title:
Akkumulert skyis 05.03.1994 - 18.03.1994

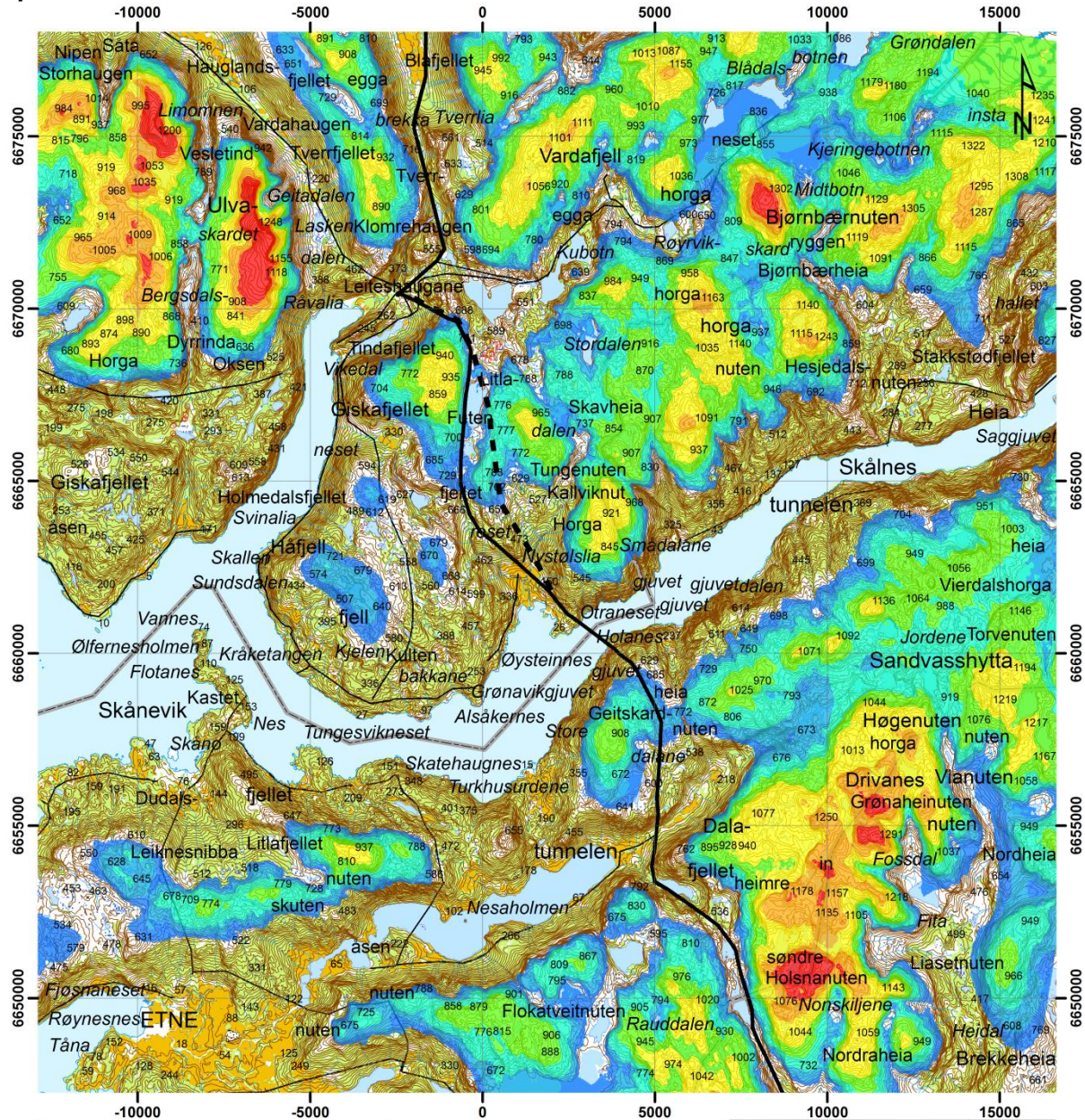
File Name: utsnitt.mxd	Rev: 0		
By: ALL	Date: 09/01/15	Checked: BEN	Date: 09/01/15
Scale: 1:75 000	Papire Size: A4		
Datum: WGS84	Projection: 33		

KJELLER
VINDTEKNIKK



Åkrafjorden

Episode #1



Maksimal islast [kg/m²]

0 - 0.5	5.0 - 10.0
0.5 - 1.0	10.0 - 20.0
1.0 - 2.0	20.0 - 30.0
2.0 - 5.0	>30.0

— Sauda-Samnanger
 - - - Alternativ trasé

0 1.5 3 6 km

Sauda - Samnanger 420 kV

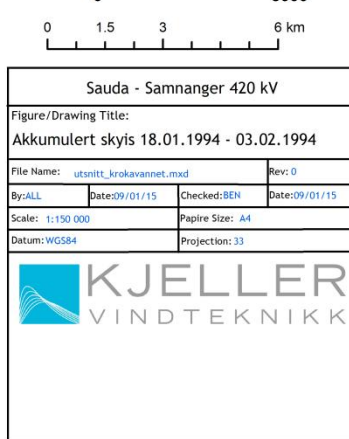
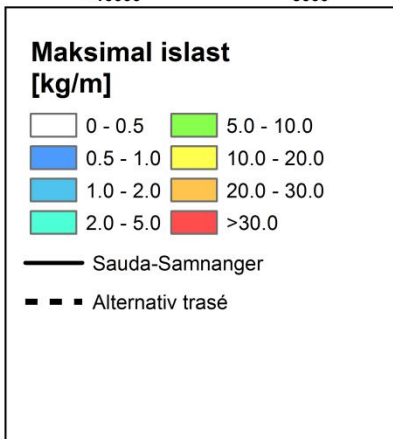
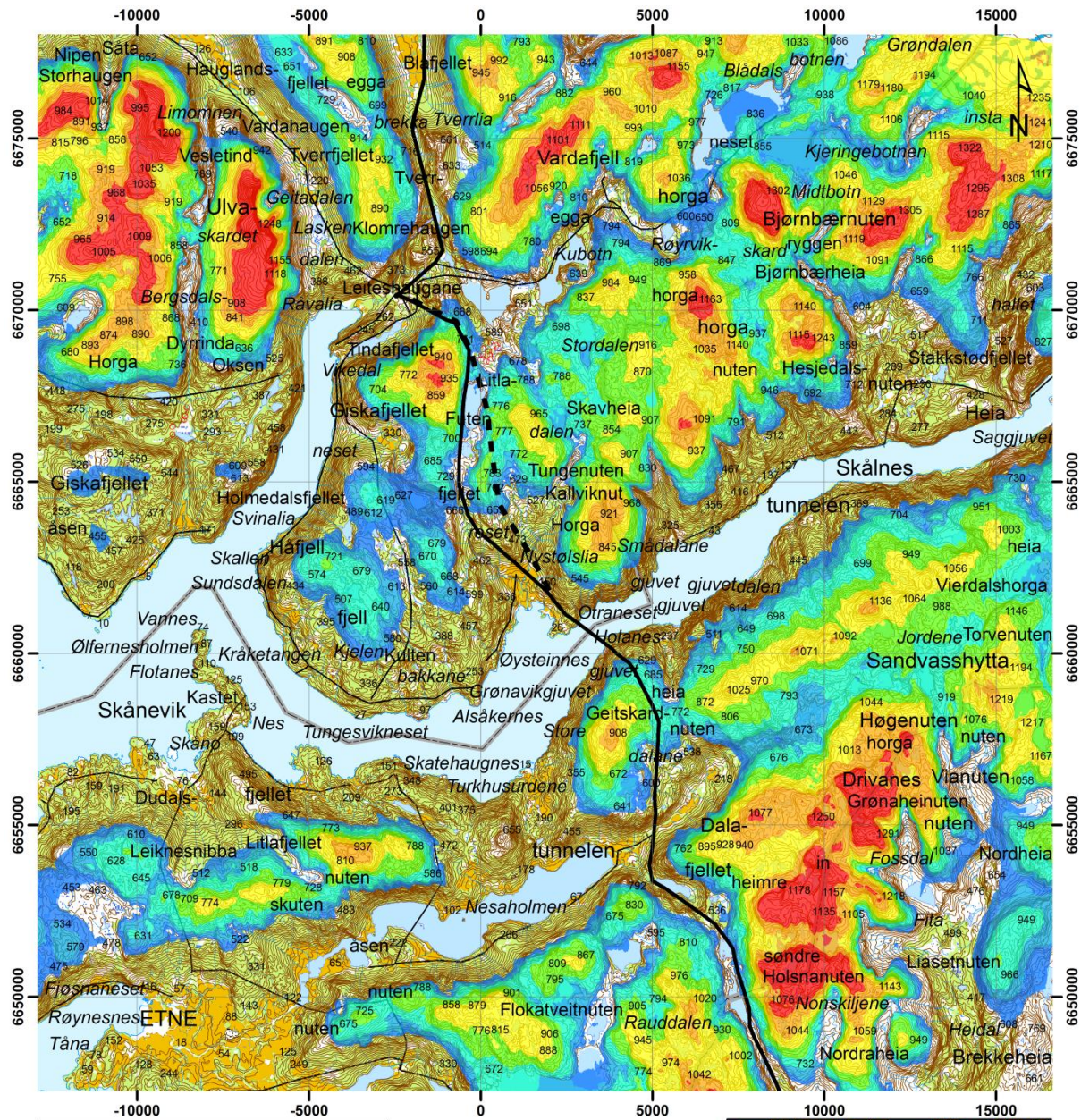
Figure/Drawing Title:
 Akkumulert skyis 01.02.2011 - 10.02.2011

File Name: utsnitt_krokavannet.mxd	Rev: 0		
By: ALL	Dates: 09/01/15	Checked: BEN	Date: 09/01/15
Scale: 1:150 000	Papire Size: A4		
Datum: WGS84	Projection: 33		

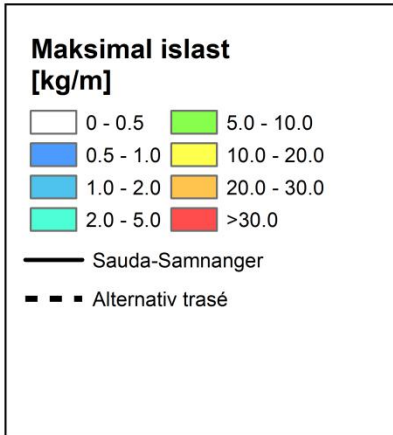
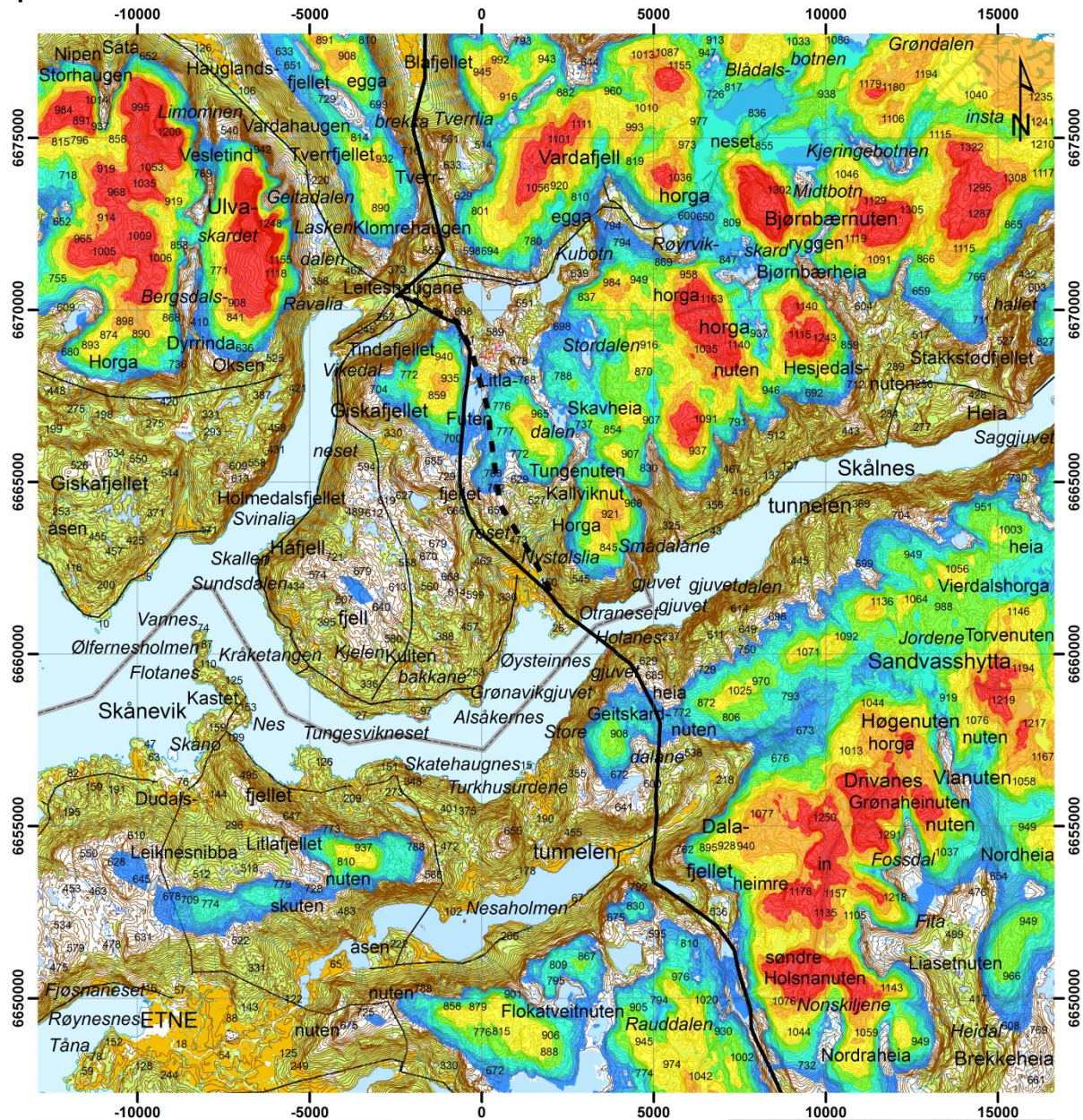
KJELLER
 VINDTEKNIKK



Episode #2



Episode #3



Vedlegg C: Beskrivelse av WRF-Modellen og isingsberegningene

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

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 Zwiefelhofer and Norbert Kreitz. World Scientific, Singapore.

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

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

Assimilation System (FNL)⁷ 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^{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. 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.

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

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>

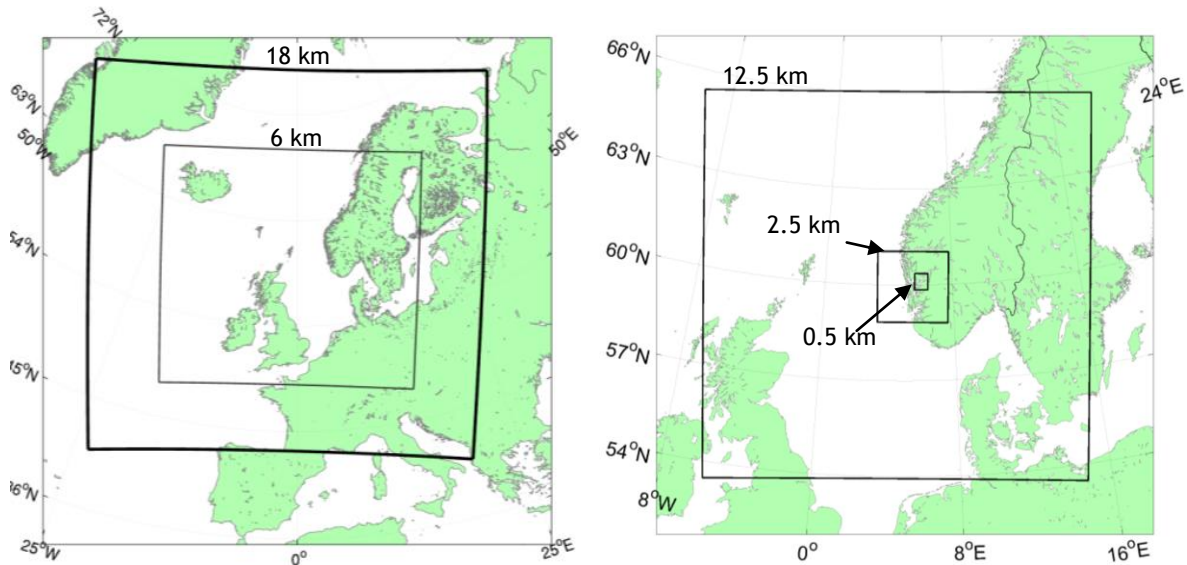


Figure B-1: Model set up for WRF simulations. Left: Coarse grid for 35 years simulation (6 km and 18 km), right: High resolution grid used for case studies (nested down to 0.5 km).

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, IWAS, Andermatt 2009.