



Norwegian
Meteorological
Institute

MET report

no. 28/2014
ISSN 2387-4201
Climate

**Modellbasert analyse av
islaster Skibotn–Reisadalen.
Vurdering av galoppering
Skibotn–Reisadalen,
Kvænangen–Alta og Alta-
Skaidi**

Harold Mc Innes
Bjørn Egil Nygaard (Kjeller Vindteknikk)



Norwegian
Meteorological
Institute

MET report

Title: Modellbasert analyse av islaster Skibotn–Reisadalen. Vurdering av galoppering Skibotn–Reisadalen, Kvænangen–Alta og Alta-Skaidi	Date 2014-12-18
Section: Climate	Report no. no. 28/2014/2014
Author(s): Harold Mc Innes Bjørn Egil Nygaard (Kjeller Vindteknikk)	Classification <input checked="" type="radio"/> Free <input type="radio"/> Restricted
Client(s): Statnett	Client's reference
Abstract <p>I forbindelse med en gjennomgang av tidligere gitte klimalaster ble strekningen Skibotn - Reisadalen vurdert å være høyt eksponert for ising, og det ble anbefalt å ta en ny vurdering av islaster basert på et modelldatasett med 4 km oppløsning. Denne oppløsningen viste seg å være for grov til å få med skjermingseffekter og den ble derfor supplert med modellberegninger med 500 m oppløsning. Islastene på de mest eksponerte stedene ble vurdert på grunnlag av modellberegningene, og det konkluderes med at islaster satt i tidligere rapporter er tilstrekkelige høye.</p> <p>Galopperingsfaren er vurdert for delstrekningene Skibotn – Reisadalen, Kvænangen – Alta og Alta – Skaidi. På grunnlag av kriteriet om at galoppering kan opptre ved moderat islast vil de høyeste partiene av delstrekningen Skibotn – Reisadalen være utsatt for galoppering i vintermånedene, mens risikoen for galoppering på Kvænangen – Alta og Ata – Skaidi vurderes som liten selv om det ikke kan utelukkes.</p>	
Keywords Klimalast, vindlast, islast, våtsnø, kraftledning, ising, galoppering	

Disciplinary signature

Responsible signature

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

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

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

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

www.met.no

Innhold

Innhold	7
1 Innledning	8
2 Vurdering av islaster ut fra ekstremverdianalyse og sammenstilling med tidligere gitte islaster for Skibotn - Reisadalen	11
3 Galoppering	14
3.1 Skibotn – Reisadalen	14
3.2 Kvænangen - Alta	14
3.3 Alta – Skaidi	15
4 Konklusjon	16
Referanser	17
Vedlegg 1 Tidligere gitte klimalaster	18
Vedlegg 2: Kjeller Vindteknikk rapport Balsfjord – Hammerfest, Troms. Islaster for 420 kV kraftledning.	23

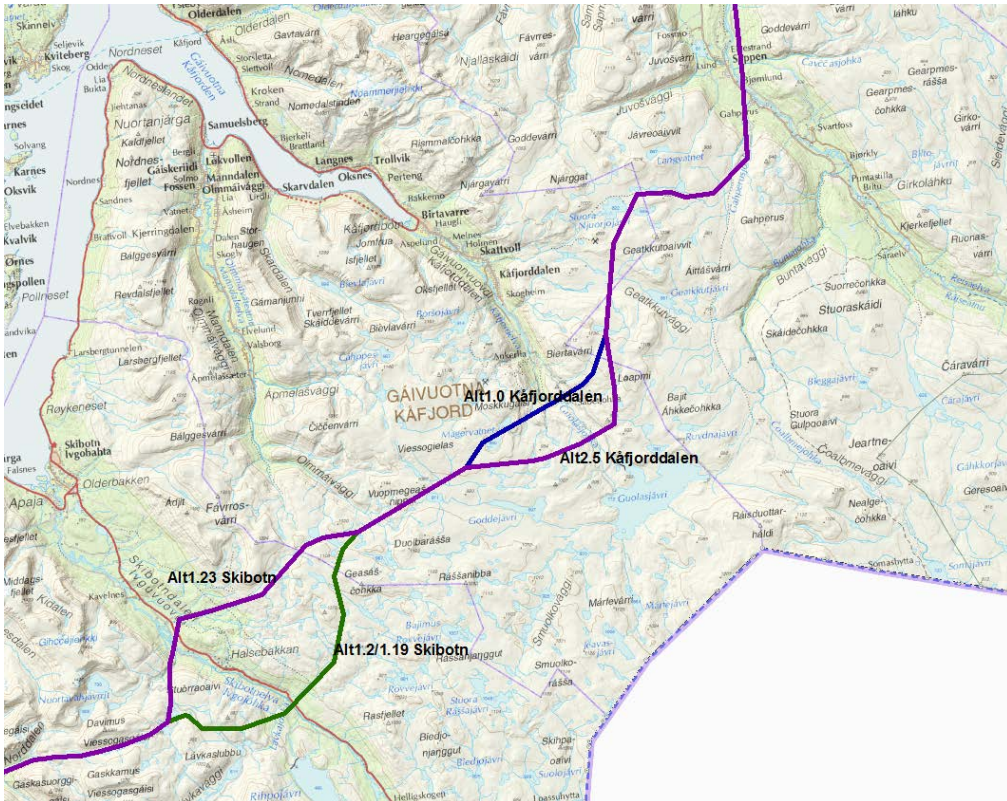
1 Innledning

I gjennomgangen av tidligere klimalaster (Meteorologisk institutt, 2014) ble delstrekningen Skibotn – Reisadalen (Figur 1) vurdert å være høyt eksponert for ising, og det ble anbefalt å ta en ny vurdering av islaster. Det ble i utgangspunktet foreslått å gjennomføre en enklere ekstremverdianalyse av islaster på strekningen. Den forenklede ekstremverdianalysen var basert på et dataarkiv med en oppløsning på 4 km, noe som viste seg for grovt til å representere skjermingseffekten fra Lyngsalpene. Analysen er derfor supplert med beregninger med 500 m oppløsning. I denne rapporten blir to alternative traseer vurdert ved Skibotndalen og Reisadalen (Figur 1).

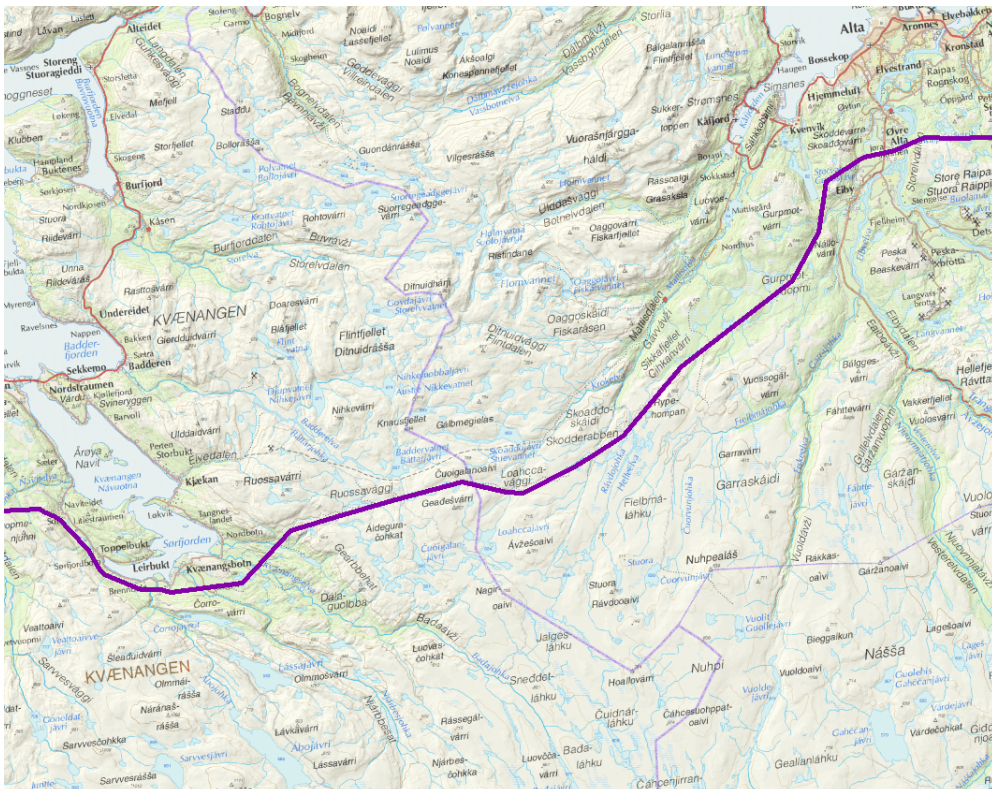
Statnett har også bedt om at faren for galoppering vurderes for strekningen Skibotn – Reisadalen, Kvænangen – Alta (Figur 2) og Alta- Skaidi (Figur 3). Vurdering av faren for galoppering blir gjort på grunnlag av en modellanalyse av isingsfrekvens langs de aktuelle strekningene, og presenteres i denne rapporten.

Det er tatt utgangspunkt i trase i shapefiler mottatt fra Statnett 19. august 2014.

Oppdraget er gitt av Statnett etter rammeavtale 2009/75.



Figur 1: Skibotn – Reisadalen. Alternativ 1.2 / 1.19 ved Skibotn er markert i grønt, alternativ 1.0 ved Kåfjordalen er markert i blått. Alternativ 1.23 ved Skibotn og 2.5 ved Kåfjordalen er i fiolett. (kartdata er fra Kartverket).



Figur 2: Kvænangen – Alta, kraftledningstrase markert i fiolett (kartdata er fra Kartverket).



Figur 3: Alta – Skaidi, kraftledningstrase markert i fiolett (kartdata er fra Kartverket).

2 Vurdering av islaster ut fra ekstremverdianalyse og sammenstilling med tidligere gitte islaster for Skibotn - Reisadalen

Strekningen Skibotn – Reisadalen ligger i Troms fylke i kommunene Storfjord, Kåfjord og Nordreissa. Nedenfor følger en vurdering av dimensjonerende islaster i de mest eksponerte områdene på de forskjellige trasealternativene (Figur 1). Vurderingene er gjort på grunnlag av en ekstremverdianalyse av ising der man har tatt utgangspunkt i et meteorologisk dataarkiv bestående av 15 år med data med 4 km oppløsning. Ettersom 4 km ikke var tilstrekkelig til å løse opp skjermingseffekten fra Lyngsalpene, er det kjørt modellberegninger med 500 m oppløsning på i alt 6 forskjellige isingsepisoder, og disse modellresultatene er brukt til å kvantifisere skjermingseffekten. Dette arbeidet er nærmere beskrevet i Vedlegg 2.

Med dimensjonerende islast menes islaster som har en returperiode på 150 år. Ekstremverdianalysene er utført for skyising, som forekommer når skyene når helt ned til ledningene ved temperaturer under 0 °C, noe som medfører at ledningene blir eksponert for underkjølte skydråper. Det er denne formen for ising som gir opphav til de største islastene i høyfjellet.

Det er valgt ut i alt 5 forskjellige steder som ut fra beliggenheten er vurdert som særlig utsatt for ising, og disse er markert i Figur 4. Det mest utsatte stedet er markert som X1, og det er i dette punktet data er hentet ut for ekstremverdianalyse. Ved vurdering av de øvrige stedene er det tatt utgangspunkt i analysen for X1 samt isingskartene for de forskjellige episodene som er vist i Vedlegg 2. Der kommer det frem at X1 er det mest utsatte av de valgte stedene, og at man derfor vil være på den trygge siden når dette stedet brukes som utgangspunkt. I fjellet vest for Skibotndalen indikerer isingskartene at man ved vestlige vindretninger har et område som er adskillig mer utsatt for ising enn stedene som er markert i Figur 4. Isingskartene gjelder imidlertid for en vertikal sylinder (referanseobjekt), og i dette området går traseen gjennom en dal. Vestavind vil her kanaliseres gjennom dalen parallelt med ledningstraseen, noe som i praksis gir lite ising på ledningen i motsetning til en vertikal sylinder. Den tidligere satte lasten her er på 12 kg/m (Meteorologisk institutt, 2010), og vurderes derfor å være tilstrekkelig.

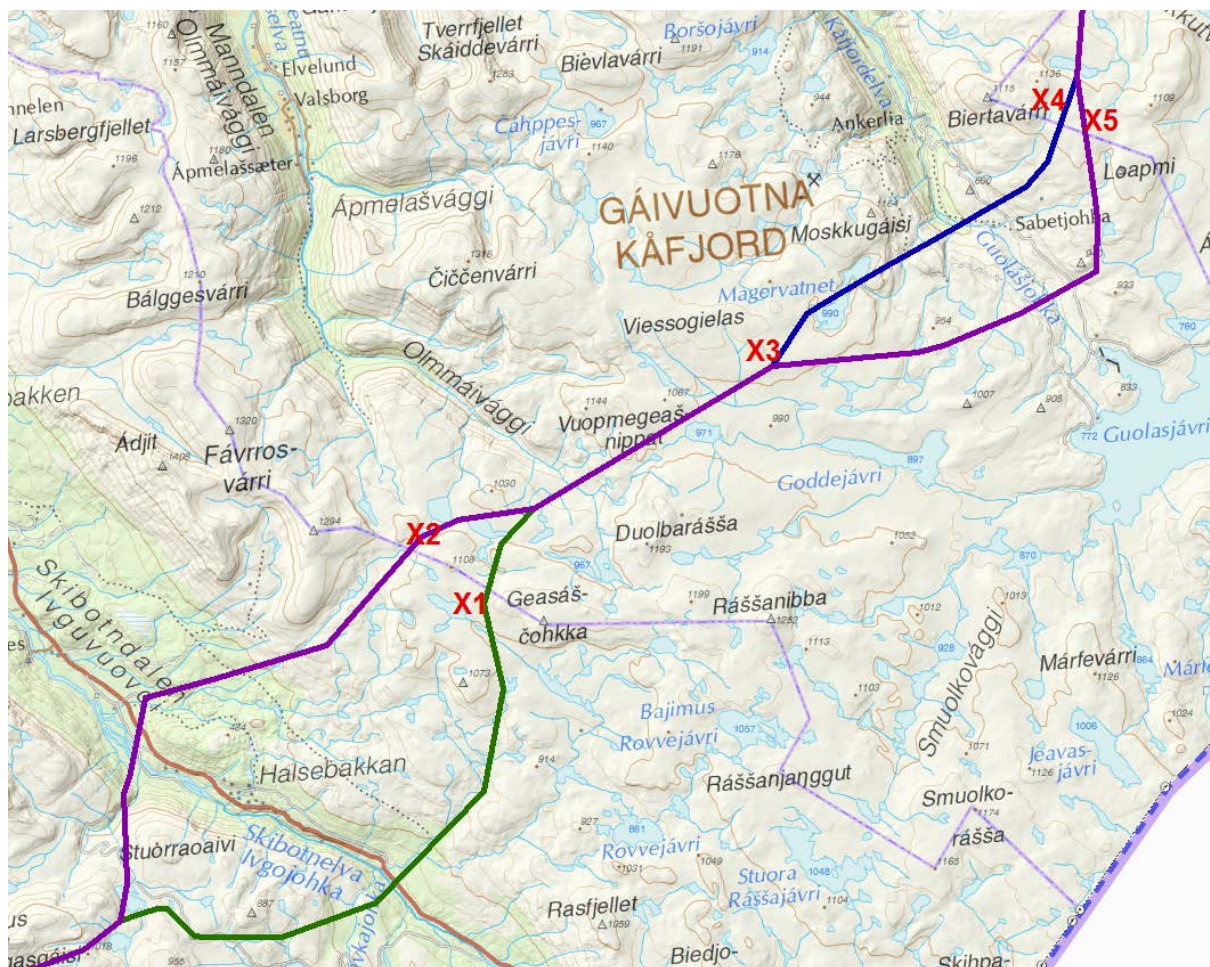
Det mest utsatte området (merket som X1 i Figur 4) ligger i underkant av 1100 moh på trasealternativ 1.2/1.19, og den tidligere oppgitte islasten her er 22 kg/m for mastepunktene

BM232 – BM234 (Tabell A). Det er et vinkelpunkt i området, men ledningen er tilnærmet orientert i retningen nord – sør både før og etter vinkelpunktet. Tabell 3 i Vedlegg 2 indikerer da en 150 års islast på 18 kg/m i 1100 moh, noe som betyr at den tidligere oppgitte islast på 22 kg/m er tilstrekkelig.

Området X2 i Figur 4 ligger på trasealternativ 1.23 og har en maksimal høyde på ca 1000 moh. Islasten for den mest utsatte delen her, som er mellom mastepunktene BM227 – BM230, er tidligere satt til 18 kg /m (Tabell B). Ledningens orientering er her nordøst – sørvest, og ut fra Tabell 3 i Vedlegg 2 vil 150 års islast på en ledning i 1000 moh være under 11 kg/m. Den tidligere oppgitte lasten på 18 kg/m skal med andre ord være rikelig.

Området markert med X3 (Figur 4) er lenger nordøstover ved traseskille mellom alternativene 1.0 og 2.5 Kåfjorddalen. Maksimal høyde over havet er ca 1060 m i dette området, og mellom mastepunktene BM268 og BM272 er islasten satt til 18 kg/m i tidligere rapport (Tabell A). Spennene FM270 til BM272 ligger på trasealternativ 1.0 etter skillet mellom 1.0 og 2.5. De første spennene på trasealternativ 2.5 har i tidligere rapport fått oppgitt en noe lavere islast på 15 kg/m (Tabell C). Denne traseen er her tilnærmet øst-vest orientert, og ut fra isingskartene i Vedlegg 2 kommer det frem at den vil være lite eksponert ved vind fra sør, noe som viser at det er rimelig med lavere last. Med en orientering nordøst – sørvest, slik traseen er ved det høyeste punktet, viser Tabell 3 i Vedlegg 2 en islast på mellom 10 og 11 kg/m i 1050 moh, og vi kan dermed her også konkludere med at tidligere oppgitte islaster er tilstrekkelige.

Øst for Kåfjorddalen, før trasealternativene 1 og 2.5 møtes igjen, ligger området merket X4 på alternativ 1. Maksimalhøyden er her 1030 moh, og spennene mellom mastepunktene BM296 og BM299 har i tidligere rapport fått islast på 18 kg/m (Tabell A). I samme området har trasealternativ 2.5 (merket X5 i Figur 4) en maksimal høyde over havet på ca 1070 m og spennene mellom mastepunktene FM299B og FM299G har i tidligere rapport fått en islast på 18 kg/m (Tabell C). Begge trasealternativene har en orientering som er tilnærmet nord – sør, og Tabell 3 i Vedlegg 2 viser en islast på under 11 kg/m for en ledning som ligger 1050 moh, mens den vil være noe høyere på 1070 moh. Iskartene i Vedlegg 2 viser at traseen i dette området er mindre eksponert enn ved X1, og det kan konkluderes med at de tidligere gitte islaster er på trygg grunn.



Figur 4: Utsatte deler av trasealternativene Skibotn – Reisdalen markert med X. Alternativ 1.2 / 1.19 ved Skibotn er markert i grønt, alternativ 1.0 ved Kåfjordalen er markert i blått. Alternativ 1.23 ved Skibotn og 2.5 ved Kåfjordalen er i fiolett. (kartdata er fra Kartverket).

3 Galoppering

Galoppering på ledninger er lavfrekvente svingninger med amplitude på opp til flere meter, noe som utsetter master og ledninger for fysisk belastning. Galoppering vil kunne oppstå når det er moderate mengder is på ledningen samtidig som vinden står normalt på den, og det er derfor risikoen for samtidighet av vind normalt på ledning og moderate ismengder som bør undersøkes dersom faren for galoppering skal vurderes. Galoppering kan opptre både ved moderate og sterkere vinder (Lilien and Havard, 2007)

Statnett ønsker å få vurdert faren for galoppering på strekningene Skibotn - Reisadalen, Kvænangen – Alta og Alta – Skaidi. Grunnlaget for denne vurderingen er forekomst av moderate ismengder (0.5 – 2 kg/m) beregnet med en atmosfæremodell. Dette er beskrevet i Kapittel 5 i vedlegg 2. Etersom modellen ikke tar høyde for at is detter av på grunn av vind og bevegelser i linene, vil sannsynligvis den beregnede isingsfrekvensen være noe høy.

3.1 Skibotn – Reisadalen

Delstrekningen går relativt høy til fjells med en stor del av traseen i 950 til 1100 moh, og den forventes ut fra beregningene presentert i Vedlegg 2 å ha moderate ismengder en betydelig del av tiden. Vinddata fra modellen indikerer hyppig forekomst av vind fra sør og vest og at ising vil forekomme ved disse vindretningene. Risikoen for galoppering vil være størst ved den høyestliggende delen av traseen (markert som X1 i Figur 4), der beregningene indikerer at islaster over 0.5 kg/m vil forekomme over 35 % av tiden, og betydelig hyppigere i vintermånedene. Ved 1000 moh er dette tallet redusert til 20 % av tiden. Det er med andre ord en risiko for galoppering på denne delstrekningen gjennom en betydelig del av vinterhalvåret.

3.2 Kvænangen - Alta

Delstrekningen går gjennom kommunene Kvænangen i Troms fylke og Alta i Finnmark fylke (Figur 2), og fjellstrekningen som vil kunne være utsatt for galoppering går i en høyde av 600 til 700 moh. På denne strekningen viser modelldataene 0.5 kg/m drøyt 1% av tiden (Vedlegg 2), noe som indikerer at det sjeldent er risiko for galoppering. I modellanalysen er det imidlertid kun skyis som vurderes. Galoppering vil kunne oppstå når våt snø har festet seg på linene slik at tiden med risiko kan være noe større. Dette er imidlertid et nedbørfattig

område slik at faren for galoppering vurderes å være relativt liten på denne delstrekningen selv om det ikke kan utelukkes.

3.3 **Alta – Skaidi**

Delstrekningen går gjennom kommunene Alta og Kvalsund i Finnmark fylke og delstrekningens høyeste punkt er drøyt 400 moh. Modellanalysen viser at skyis knapt forekommer på langs denne delen av traseen. Ising fra våt vil derimot kunne forekomme, men dette er et nedbørsfattig område og risikoen for galoppering vurderes å være liten.

4 Konklusjon

Det er gjort vurdering av islaster på 5 eksponerte steder på strekningen Skibotn – Reisadalen. Det mest utsatte stedet er på trasealternativ 2/1.19 og ligger ca 1100 moh. Islast gitt i tidligere rapport er her 22 kg/m, og modellanalysene indikerer her en 150 års islast på 18 kg/m. Den gitte islasten er med andre ord tilstrekkelig. På de øvrige eksponerte stedene indikerer modellanalysen at en 150 års islast vil ligge rundt 11 kg/m, mens tidligere satte islaster er 15 til 18 kg/m. Selv om det kan se ut som om de tidligere islastene er satt noe høyt, er det viktig å merke seg at de er satt av personell som har befart strekningen og dermed har kunnet vurdere sider av terrenget som ikke oppløses av en 500 m modell. I tillegg er det en usikkerhet knyttet til at dataarkivet som er brukt i isingsanalysene kun er på 15 år, og derfor bør det være en viss sikkerhetsmargin på dimensjonerende islaster. Man kan derfor ikke uten videre konkludere med at lastene er satt for høyt på disse stedene, men derimot at de er på den trygge siden.

Galopperingsfaren er vurdert for delstrekningene Skibotn – Reisadalen, Kvænangen – Alta og Alta – Skaidi. Det er da tatt utgangspunkt i kriterier for galoppering som er kjent for forfatterne, det vil si moderate ismengder kombinert med vind normalt på ledningen. Mye av delstrekningen Skibotn – Reisadalen ligger så høyt at den vil være utsatt for galoppering i vintermånedene på grunn av skyising. Risikoen for galoppering på Kvænangen – Alta og Alta – Skaidi vurderes som liten som følge av at det er lav hyppighet av skyising, men den kan ikke utelukkes ettersom våt snø vil kunne gi is på linene.

Referanser

Lilien , J. L og Havard, D. G. (2007), Expanded version of a tutorial originally presented at CIGRE B2 meeting Helsinki, Finland, July 2007.

Meteorologisk institutt (2014), Gjennomgang av tidligere klimalaster. Meteorologisk institutt rapport no. 7/2014

Meteorologisk institutt (2012), 420 kV Balsfjord – Hammerfest. Lastrapport for strekningen Skibotn - Reisadalen

Meteorologisk institutt (2012), 420 kV Balsfjord – Hammerfest Klimalaster for alt 2.5 Kåfjorddalen

Meteorologisk institutt (2012), 420 kV Balsfjord – Hammerfest Klimalaster for alt 1.23 Skibotn

Meteorologisk institutt (2010), 420 kV Balsfjord – Hammerfest. Lastrapport for strekningen Oteren -Skibotn

Vedlegg 1 Tidligere gitte klimalaster

Tabell A: Skibotn – Reisadalen, alternativ 1.2/1.19 ved Skibotn og alternativ 1.0 ved Kåfjorddalen. Fra Meteorologisk institutt (2012), 420 kV Balsfjord – Hammerfest. Lastrapport for strekningen Skibotn - Reisadalen)

Mast nummer	Geografisk referanse	Islast (kg/m)	Maks. vind (m/s)	Normalkomponent (m/s)
BM214 - BM215	Skibotndalen	5	36	36
BM215 – BM217	-	6	40	38
BM217 – FM220	-	8	44	42
FM220 – BM224	-	10	44	42
BM224 – FM226	-	12	45	42
FM226 – BM229	-	14	45	42
BM229 – BM231	-	18	45	43
BM231 – BM232	-	20	45	43
BM232 – BM234	Over toppen (Cazavarri)	22	46	44
BM234 – BM235	-	20	46	43
BM235 – BM236	-	18	45	42
BM236 – BM249	-	14	44	42
BM249 – BM254	-	10	42	40
BM254 – BM255	-	12	44	42
BM255 – BM268	-	14	44	43

BM268 - BM272		18	45	44
BM272 – BM281	-	14	45	44
BM281 – FM282	-	12	45	43
FM282 – FM285	-	10	44	42
FM285 – EFM286	-	5	42	38
EFM286 – FM288	Langspenn ned Kåfjorddalen	5	40	38
FM288 – FM289	-	6	42	38
FM289 – BM293	Langspenn opp Kåfjorddalen	10	42	40
BM293 – BM295	-	12	45	43
BM295 – BM296	-	15	45	43
BM296 - BM299	-	18	45	45
BM299 – BM302	-	15	44	44
BM302 – BM306	-	12	43	43
BM306 – BM312	-	8	43	43
BM312 – BM322	-	12	44	44
BM322 – BM345	-	8	44	44
BM345 – FM351	-	8	43	42
FM351 – FM360	-	7	42	40
FM360 – BM364	-	7	42	38
BM364 – BM368	-	6	40	36
BM368 – BM400	-	5	40	34
	Reisadalen			

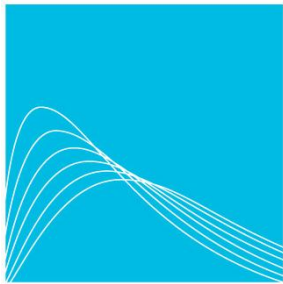
Tabell B: Alternativ 1.23 ved Skibotn. Fra Meteorologisk institutt (2012), 420 kV Balsfjord – Hammerfest Klimalaster for alt 1.23 Skibotn

Geografisk referanse	Mastnummer	Islast (kg/m)	Maks vind (m/s)	Normalkomponent (m/s)
Langspenn over Nordalselva	FM188 - BM190	8	44	40
	BM190 - FM197	8	42	38
	FM197 – BM198	6	42	38
	BM198 – FM199	6	42	38
Langspenn ned til Skibotndalen	FM199 – FM200	5	38	36
	BM200 – BM214	5	36	36
	BM214 – FM216	7	40	38
	FM216 - BM217	8	42	40
Aksogaikunvarri	BM217 – FM219	10	42	42
	BM219 - BM221	12	45	43
	BM221 – BM223	14	45	43
	BM223 – BM227	16	45	43
Cazavarri	BM227 – BM230	18	45	43
	BM230 – BM231	16	45	43
	BM231 - FM248	14	44	42

Tabell C: Alternativ 2.5 Kåfjorddalen fra Meteorologisk institutt (2012), 420 kV Balsfjord – Hammerfest Klimalaster for alt 2.5 Kåfjorddalen

Geografisk referanse	Mastenummer	Islast (kg/m)	Maks vind (m/s)	Normalkomponent (m/s)
Vinkelpunkt	FM 270 - BM276	15	45	45
	BM276 – BM284	12	45	45
	BM284 – BM288	10	43	43
	BM288 – BM289	8	42	42
Langspenn Kåfjordalen	BM289 – FM290	5	40	40
	FM290 – BM291	5	38	38
	BM291 – BM292	6	40	40
	BM292 – FM294	10	40	40
	FM294 - FM299B	14	43	41
	FM299B - FM299G	18	45	45
	FM299G - FM300	15	44	44

Vedlegg 2: Kjeller Vindteknikk rapport Balsfjord – Hammerfest, Troms. Islaster for 420 kV kraftledning.

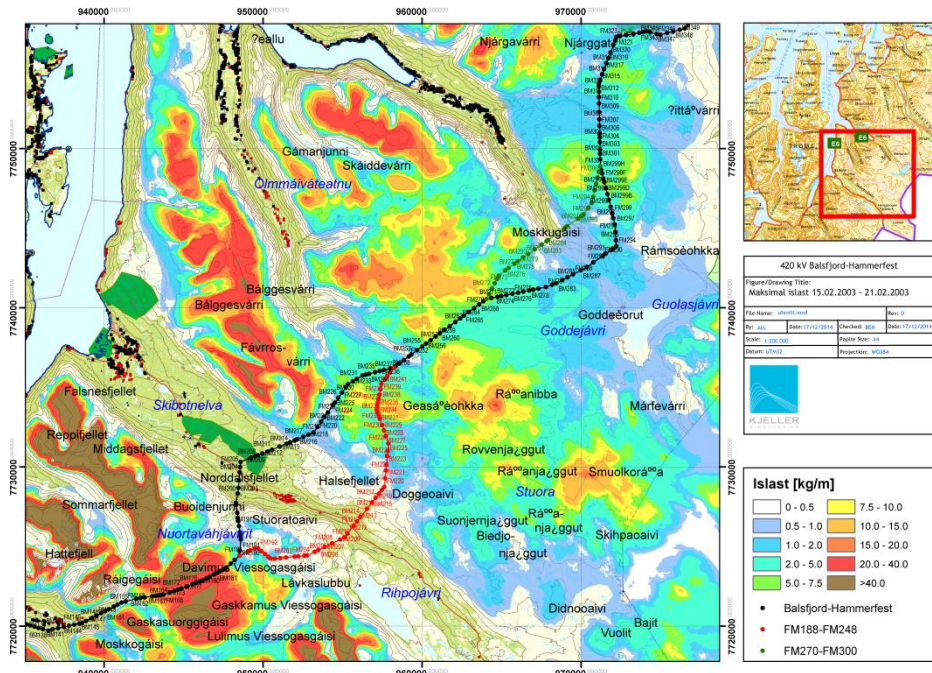


KJELLER
VINDTEKNIKK

Balsfjord - Hammerfest, Troms

Islaster for 420 kV kraftledning

Rapport: KVT/BEN/2014/R097



Rapportnummer	Dato
KVT/BEN/2014/R097	18.12.2014
Rapporttittel	Klassifisering
Balsfjord - Hammerfest, Troms	Begrenset til kunde
	Utgave nummer
Islaster for 420 kV kraftledning	1
Kunde	Antall sider
Meteorologisk Institutt	13 + vedlegg
Kundens referanse	Status
Harold McInnes	Endelig

Sammendrag

Rapporten er laget i forbindelse med en ny vurdering av islastene for høyfjellsområdet mellom Skibotndalen og Reisadalen. Rapporten omfatter også isingsstatistikk for tre delstrekninger, som skal brukes som underlag for vurdering av galopperingsfare. Analysene er basert på simuleringer med den meteorologiske modellen WRF.

For fjellplatået mellom Skibotndalen og Reisadalen forventes skyising fra sektorene sør, vest og nordvest. Lyngsalpene i vest har imidlertid en betydelig skjermingseffekt fra denne sektoren. Modellsimuleringer med 500 m x 500 m oppløsning viser en betydelig skjerming fra denne sektoren som ikke gjengis i en modell med 4 km x 4 km oppløsning. Skyenes vanninnhold fra sistnevnte modell er korrigert mot resultatene fra 500 m modellen og videre brukt for å beregne returverdier for islaster.

I 1100 moh. forventes en 150-års islast å ligge på ca 18 kg/m. Denne avtar raskt i lavere terreng. Dataserien har en begrenset lengde (15 år), og det er derfor betydelig usikkerhet knyttet til beregning av 150-års laster.

Isingskartene basert på finskala simuleringene viser at ledningstraseen er gunstig plassert med hensyn på å unngå områder med høye islaster.

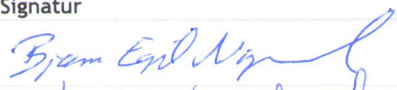
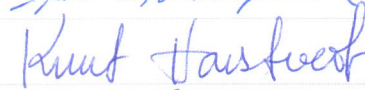

Isingsfrekvensen er høy i dette fjellpartiet. I 1100 moh. forventes islast større enn 0.5 kg/m i 35.7 % av tiden. I 1000 moh reduseres denne tiden til 18.8 %. For områdene Kvængsfjellet og Sennalandet er isingsfrekvensen betydelig lavere med henholdsvis 1.16 % og <0.01 %.

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	18.12.2014	Kun elektronisk		Pdf

	Navn	Dato	Signatur
Utført av	Bjørn Egil Nygaard	18/12-2014	
Kontrollert av	Knut Harstveit	18/12-2014	
Godkjent av	Lars Tallhaug	18/12-2014	

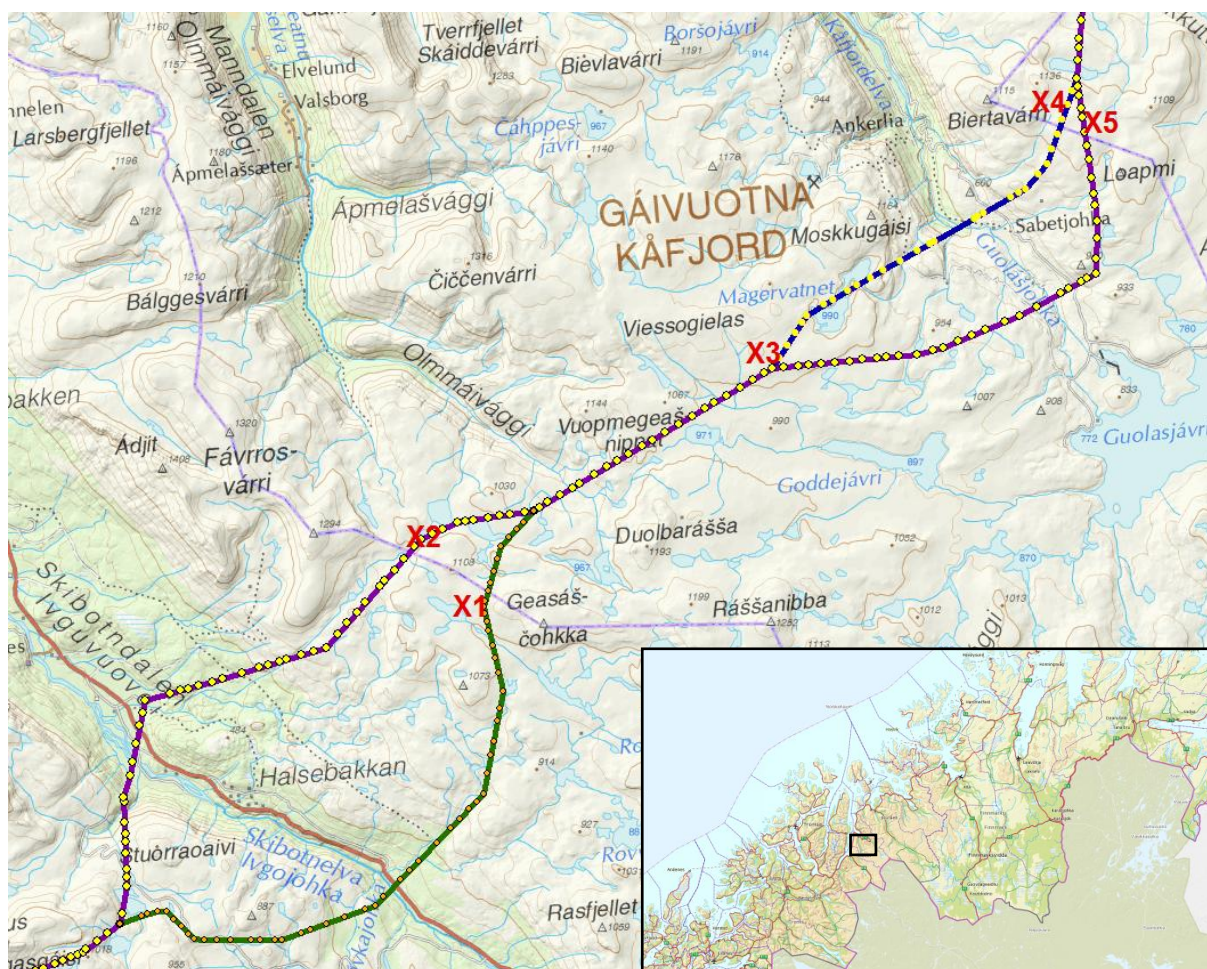
Innholdsfortegnelse

INNHALDSFORTEGNELSE	2
1 INNLEDNING	3
2 METODE OG DATA	4
2.1 DATA	4
2.2 ISINGSBEREGNING	4
2.2.1 Skyising.....	4
2.3 EKSTREMVERDIANALYSE	5
3 FINSKALA SIMULERINGER	6
3.1 FINSKALA ISINGSKART	7
4 BEREGNING AV RETURVERDIER.....	9
5 BEREGNING AV ISINGSFREKVENS.....	11
6 REFERANSER.....	13
VEDLEGG A: JUSTERING AV WRF4KM	14
VEDLEGG B: ISINGSKART	16
VEDLEGG C: WRF-MODELLEN	22

1 Innledning

Kjeller vindteknikk har på oppdrag fra Meteorologisk Institutt utført en analyse av islaster i forbindelse med en gjennomgang av de mest utsatte delstrekningene på Statnetts nye ledningsprosjekter. Denne rapporten omhandler et høyfjellsområde mellom Skibotndalen og Reisadalen hvor 420 kV kraftledningen Balsfjord - Hammerfest fremføres. I tillegg er det gjort modellberegninger av isingsfrekvens for Kvænangsfjellet og Sennalandet som underlag for vurdering av fare for galoppering.

Foreløpige analyser viste at Lyngsalpene har stor betydning for isingsforholdene for traseen, da disse gir betydelig skjerming ved ising fra vest. Denne skjermingen beskrives ikke tilstrekkelig i modelldata med grov oppløsning. Vi har derfor utført en rekke simuleringer med høy oppløsning for å analysere isingsforholdene på de mest utsatte delene av traseene.



Figur 1 Oversikt over ledningstraseer over fjellpartiet mellom Skibotndalen og Reisadalen. X1-X5 markert i rødt er områder som på forhånd har vært ansett som mest isingsutsatt.

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 4 km, og strekker seg over perioden 2000 - 2014 (heretter kalt WRF4km). Data er hentet ut for fire nabopunkter i modellen som ligger representativt plassert oppe på fjellplatået mellom Skibotndalen og Kåfjorddalen. Dataene har en tidsoppløsning på 1 time og inneholder alle nødvendige parametere for å beregne islaster.

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

Fjellpartiet mellom Skibotndalen og Kåfjorddalen ligger høyt over havet, men er i relativt stor grad skjermet for ising fra sørvest og vest på grunn av høyere terreng (bl.a. Lyngsalpene) i disse sektorene. I WRF4km er denne skjermingen ikke godt beskrevet på grunn av for grov oppløsning til å gjengi fjellenes høye og spisse fasong. For å gjenskape og tallfeste denne skjermingsgraden har vi utført simuleringer med den samme modellen men med en oppløsning på 500 m x 500 m (heretter WRF500m) for et utvalg enkelthendelser. Resultatene fra WRF500m simuleringene benyttes til å korrigere WRF4km dataene før disse benyttes for å bestemme returverdier for islaster etc. Sammenlikning mellom de to modellsimuleringene er gitt i Vedlegg A.

2.2 Isingsberegning

Kraftledningen fremføres her i et eksponert høyfjellsterreng og vil være eksponert for skyising. I lavere terreng er våtsnø den dominante isingstypen, men denne rapporten fokuserer på skyising.

2.2.1 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 terrenghøyden.

Tidsserier av vindhastighet, temperatur, konsentrasjon av skyvann samt andre skyparametre fra WRF-simuleringen anvendes for å beregne akkumulert skyis på et standardlegeme, etter formelverket gitt i ISO-standarden for atmosfærisk ising på konstruksjoner, ISO 12494, og er beskrevet i Vedlegg C. I tillegg er akkumulerte laster beregnet for horisontale ledninger orientert i ulike retninger. I disse beregningene er samme isingsmodell benyttet, men det er kun vindens komponent normalt på ledningen som inngår i isingsmodellen.

2.3 Ekstremverdianalyse

Det benyttes en statistisk analyse for å bestemme ekstremverdiene i seriene av modellerte is- og vindlaster fra WRF. Ekstremverdimetoden heter GEV (Generalized Extreme Value distribution) og går ut på å tilpasse fordelingen av årlige maksimale islaster med en teoretisk sannsynlighetsfordeling. 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. Etter at fordelingen er tilpasset dataene på beste måte kan returperioder bestemmes, med tilhørende returverdier. Modellen som er brukt i ekstremverdiberegningen er dokumentert i Coles (2001).

3 Finskala simuleringer

Traseens høyeste punkt ligger på snaue 1100 moh, og er eksponert for ising fra flere retninger. Ved hjelp av finskalasimuleringene studeres i hvor stor grad Lyngsalpene i vest skjermer for ising ved vind fra vestlig kant. Ved å sammenlikne meteorologiske data fra WRF500m og WRF4km får vi et estimat på en skjermingsfaktor. Skjermingsfaktoren legges inn i WRF4km dataene før disse benyttes videre til å bestemme returverdier for skyising.

Simuleringene på 500 m x 500 m oppløsning gir også en bedre beskrivelse av variasjonen i islaster langs traseene, spenn for spenn.

Basert på en analyse av rådataene fra WRF4km er det valgt ut 6 enkelthendelser som er simulert med høy oppløsning. Disse er listet i Tabell 1. De 4 første periodene er de isingshendelsene som gav høyest laster ved vind fra vest. Episode #5 og #6 er de to hendelsene som gav høyest islaster ved vind fra sør.

Tabell 1. Isingsepisoder som er simulert med WRF500m. Maksimal isvekt fra WRF4km er beregnet på et referanseobjekt i 1100 moh.

Episode	Fra dato	Til dato	Vind - retning	Maks isvekt WRF4km (kg/m)
#1	9.12.2001	17.12.2001	V	24.0
#2	15.2.2003	21.2.2003	V	22.0
#3	9.3.2004	11.3.2004	V	11.5
#4	28.12.2008	1.1.2009	V	18.3
#5	14.11.2009	28.11.2009	S	9.5
#6	7.2.2014	16.2.2014	S	5.3

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 islaster ut i terrenget med 30 m x 30 m oppløsning. Metoden kan beskrives med likning (1):

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

Her er M_{30} islasten for et punkt i 30 m dataene, M_{WRF} er islasten fra nærmeste punkt i WRF dataene, dM_{WRF}/dz_{WRF} er høydegradienten innenfor et område med radius på r gridpunkter,

mens $Z_{30} - Z_{WRF}$ representerer forskjellen i terreng høyde 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.

3.1 Finskala isingskart

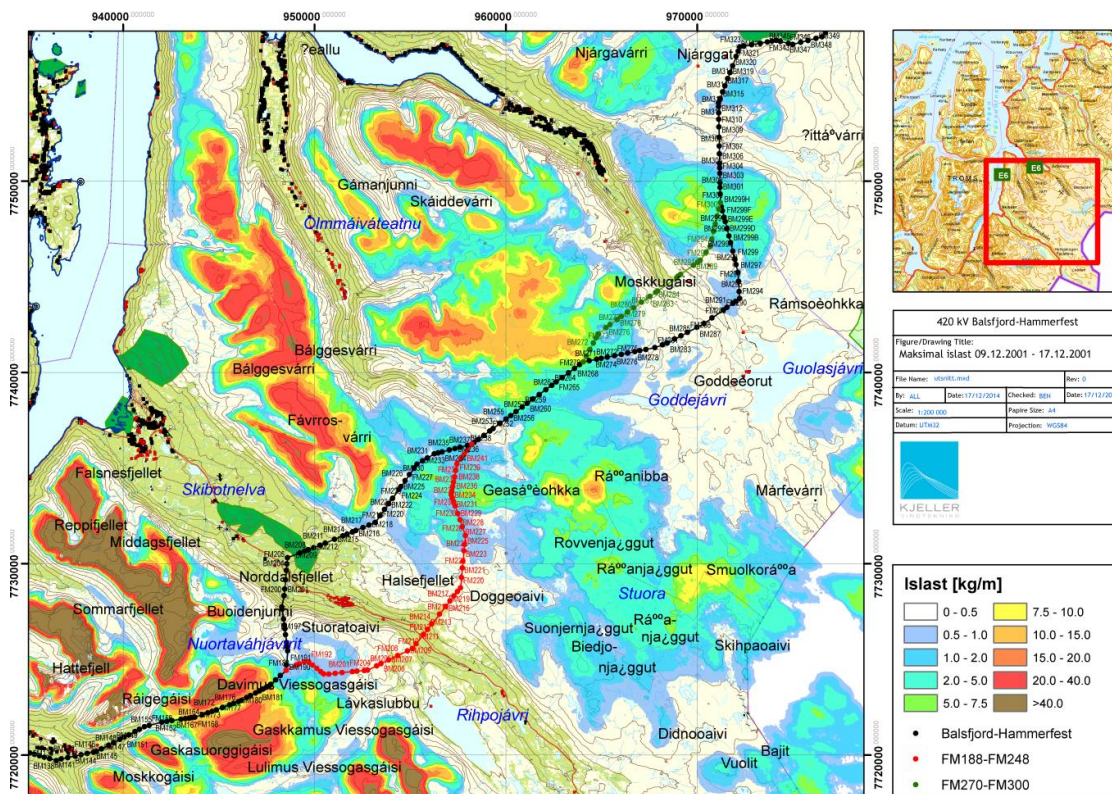
Isingskartene i Figur 2 og Figur 3 er basert på WRF modellens laveste modellflate, som er sentrert ca 20 m over bakken. Islastene er modellert på et referanseobjekt (ISO 12494). Fordi referanseobjektet er vertikalt orientert vil is akkumuleres effektivt fra alle vindretninger. Total ismengde på et referanseobjekt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

Kartet i Figur 2 viser et eksempel på en periode med ising fra vest (Episode #1). Vi ser at de høye fjellmassivene vest for traseen får betydelig høyere islast, og hele traseen unngår i stor grad de mest utsatte områdene. Sør for Skibotndalen passerer ledningstraseen gjennom et område med tilsynelatende høye islast. Her vil imidlertid vinden blåse langs ledningen og det vil trolig bli minimalt med is på ledningene.

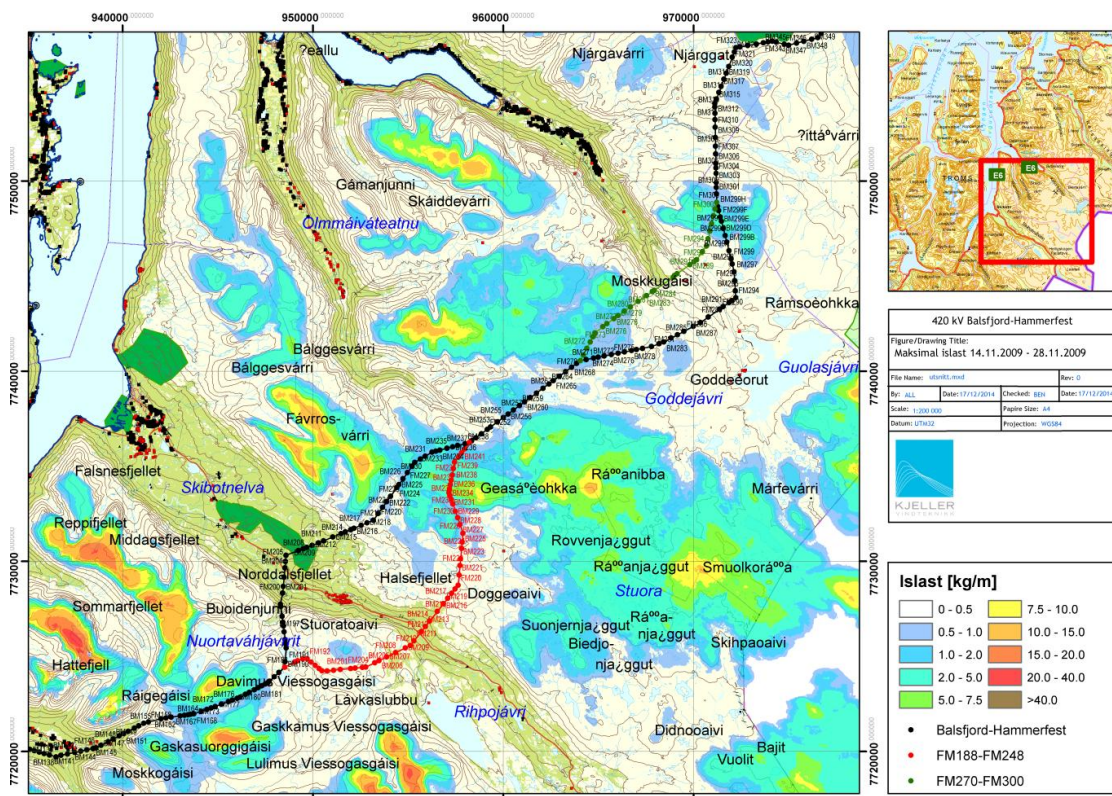
Figur 3 viser eksempel på en isingshendelse ved vind fra sør (episode #5). Her simuleres generelt lavere laster, og det er i større grad områdene i sør og sørøst som er eksponert for ising. Ved ledningstraseens høyestliggende partier forventes det også ising fra denne vindretningen.

Tilsvarende isingskart for alle simuleringene finnes i Tillegg B. Der finnes også oversiktskart som tydelig viser at Lyngsalpene har en skjermende effekt ved ising fra vest.

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 WRF4km er presentert i Vedlegg A.



Figur 2: Simulert maksimal akkumulert islast (kg/m) på et referanseobjekt for perioden 09.12.2001 - 17.12.2001.

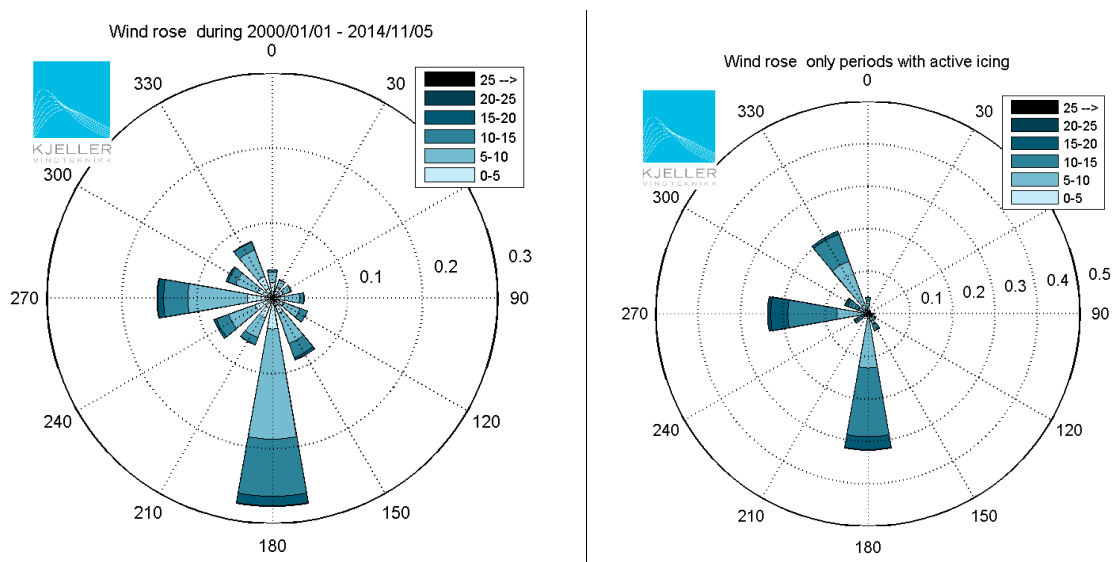


Figur 3: Simulert maksimal akkumulert islast (kg/m) på et referanseobjekt for perioden 14.11.2009 - 28.11.2009.

4 Beregning av returverdier

Før WRF4km benyttes for å bestemme returverdier for islaster er dataene sammenliknet med og korrigert i henhold til resultatene fra simuleringene med WRF500m. Korreksjonen som er gjort er i første rekke en justering av skyenes vanninnhold ved vind fra vestlig sektor og ved vind fra sørlig sektor. Detaljer omkring sammenlikningen og korreksjonen finnes i Vedlegg A.

Resultatene som presenteres her er basert på WRF4km korrigert mot WRF500m og høydejustert til gitt høyde over havet. Venstre panel i Figur 4 viser vindklimaet under hele simuleringsperioden for gridpunktet som ligger nærmest traseens høyeste punkt, og viser at vind fra vest og sør er de vanligst. Den høyre figuren viser det at skyising i hovedsak forekommer ved vind fra vest, nordvest og fra sør.



Figur 4: Vindrose for 10 min middelvind i 20 m høyde for perioden 2000 - 2014. Hentet ut fra modellpunkt i 990 moh. og høydejustert til 1100 moh. Fargekoden på vindrosen indikerer vindhastighet (m/s) mens utstrekningen viser andelen av tiden det vil blåse fra en gitt retningssektor. Høyre: Vindrose for samme periode men kun for tidspunkter med isingsintensitet over 20 g/m per time.

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. Tabell 2 viser beregnede returverdier for skyising som funksjon av ledningsretning i 1100 moh. Ekstremverdiene er beregnet ved bruk av GEV metoden som beskrevet i Kapittel 2.3. Da dataserien har en begrenset lengde på 15 år er 150 års verdiene ikke beregnet direkte men skalert fra 50 års verdiene med en overgangsfaktor på 1.25, som er hentet fra NEK445:2009.

Tabell 2 viser at det er beregnet islaster med returperiode 150 år i underkant av 20 kg/m i 1100 moh. Fordi ising er forventet både fra sør, vest og nordvest forventes lastene å variere relativt lite avhengig av ledningens orientering. Ledning orientert i sørøst-nordvest

retning ser imidlertid ut til å få noe lavere laster. Disse verdiene er representative for relativt åpne områder i gitt høyde over havet. Påvirkning fra lokalt terreng vil medføre variasjoner som må vurderes spenn for spenn langs traseene.

Tabell 2 Returverdier for skyising for ledninger i ulike retninger. Beregnet fra WRF 4 km korrigert mot WRF500m og høydejustert til 1100 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. **Disse returverdiene er skalert fra 10 års verdien med faktorer tilsvarende snittet for de andre tre linjeretningene.

Linjeretning	Returverdier skyising (kg/m)						
	2 år	3 år	5 år	10 år	25 år	50 år	150 år
N-S	4.6	5.8	7.2	9.2	12.0	14.4	18.0*
NØ-SV	4.4	5.3	6.4	8.1	10.9	13.6	17.0*
Ø-V	3.8	4.9	7.1	8.8	11.7**	14.3**	17.9*
SØ-NV	3.2	3.8	4.5	5.4	6.5	7.4	9.3*

Tabell 3 viser at beregnede islast øker raskt med høyden for de fleste sektorer. Økningen er særlig markant fra 1050 til 1100 moh. Over 1100 moh. vil trolig lastene fort komme opp i 30 - 40 kg/m fra flere sektorer. På grunn av begrenset lengde på dataserien (15 år) er det knyttet relativt stor usikkerhet til islast med returperioder på 150 år.

Tabell 3: Beregnede 150-års verdier for islast fra skyising (kg/m) i ulike linjeretninger basert på modelldata løftet til ulike høyder over havet. 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.	1100 moh.
N-S	7.9	10.8	18.0
NØ-SV	10.2	10.4	17.0
Ø-V	10.7	12.5	17.9
SØ-NV	8.3	8.2	9.3

5 Beregning av isingsfrekvens

Erfaringer har vist at galoppering er et fenomen som i all hovedsak forekommer når det er is på linene. Det trenger ikke være store ismengder, men litt is på linene vil føre til endret form, og endrede aerodynamiske egenskaper. Som underlag for å vurdere faren for galoppering er det derfor laget statistikk på hvor ofte det forekommer ising over visse terskler.

Analyse av isfrekvens er utført for tre ulike områder langs 420 kV Balsfjord - Hammerfest. Disse områdene er høyfjellspartiet mellom Skibotndalen og Kåfjorddalen (samme som i forrige kapittel), fremføring over Kvæangfjellet (ca 700 moh.) og fremføring over Sennalandet (ca 400 moh.). Analysene er basert på WRF4km. For modelldata ved Kvæangfjellet og Sennalandet er det ikke gjort noen korreksjon mot WRF500m, da disse områdene er relativt utjevnet og omkringliggende terreng er tilstrekkelig gjengitt i 4 km oppløsning.

Tabell 4 viser generelt høy isingsfrekvens i området rundt traseens høyeste punkt. For eksempel forventes det i 1100 moh. en islast over 0.5 kg/m i 35.7 % av tiden. Denne synker til 18.8 % i 1000 moh. For vintermånedene isolert sett vil disse tallene være betydelig høyere.

Tabell 5 viser at isingsfrekvensen er betydelig lavere for Kvæangfjellet og Sennalandet. For Kvæangfjellet ser vi en islastfrekvens på 1.16 % over 0.5 kg/m. Dette indikerer at isingen som forutsettes for å skape galoppering relativt sjeldent er tilstede her. For Sennalandet gir ikke skyising utslag av betydning i det hele tatt.

Ising fra våtsnø kan imidlertid forekomme i all de tre områdene. Ising fra våtsnø har generelt en lav frekvens, og det forventes ikke at våtsnø vil være avgjørende for vurdering av faren for galoppering.

Erfaringer har vist at isen ofte faller av ledningene raskere enn det som tas høyde for i modellen, gjerne i sammenheng med kraftig vind og bevegelser i ledningene. Dermed må disse tallene tolkes som en øvre grense for hvor stor del av tiden det forventes is på ledningen. Ved å sammenlikne disse tallene får en allikevel en god indikasjon på hvilke områder en forventer hyppigst ising, og dermed har en økt fare for galoppering.

Tabell 4: Beregnet frekvens av islaster på et referanseobjekt (kg/m) fra skyis over ulike terskelverdier. WRF4km høydejustert og korrigert mot resultater fra WRF500m. Modelldata for området mellom Skibotndalen og Kåfjorddalen.

Terskelverdi	Prosentvis tid med islaster over terskelverdier		
	1000 moh.	1050 moh.	1100 moh.
> 0.5 kg/m	18.8 %	26.5 %	35.7 %
> 1.0 kg/m	11.0 %	17.7 %	24.8 %
> 2.0 kg/m	5.9 %	9.1 %	14.0 %

Tabell 5: Beregnet frekvens av islaster på et referanseobjekt (kg/m) fra skyis over ulike terskelverdier. WRF4km høydejustert til gitt høyde. Modelldata for fra modellpunkt nærmest Kvæangsfjellet og Sennlandet.

Terskelverdi	Prosentvis tid med islaster over terskelverdier	
	Kvæangsfjellet (700 moh.)	Sennlandet (460 moh)
> 0.5 kg/m	1.16 %	< 0.01 %
> 1.0 kg/m	0.14 %	< 0.01 %
> 2.0 kg/m	0.01 %	< 0.01 %

6 Referanser

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

ISO 12494, 2001. ISO (the International Organization for Standardization) 12494 - Atmospheric icing of structures.

Norsk Elektroteknisk Komite, NEK445:2009. Oversettelse av NEK EN 50341 og NEK EN 50423 samt norske tilpasninger.

Vedlegg A: Justering av WRF4km

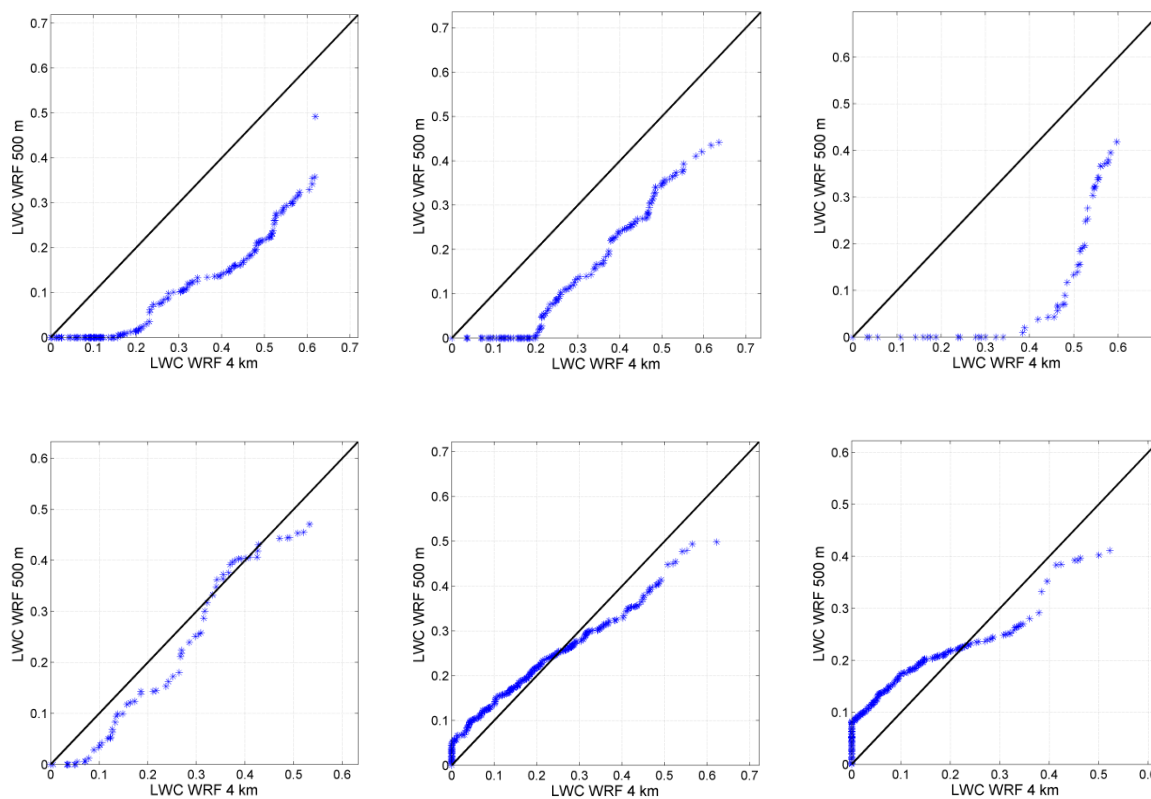
Tabell 6 nedenfor viser at beregnede islaster avviker betydelig mellom WRF4km og WRF500m for alle de 4 episodene med vind fra vest. Dette avviket er som forventet fordi skjermingseffekten i le av Lyngsalpene er godt løst opp i WRF500m, mens den er for dårlig oppløst i WRF4km. Skjermingen påvirker skyenes vanninnhold øst for Lyngsalpene, noe som vises tydelig i kolonnen til høyre i Tabell 6.

Tabell 6 Sammenlikning av resultater fra WRF500m og WRF4km i 1100 moh. Maksimal isvekt er beregnet for et referanseobjekt. LWC forhold i høyre kolonne er forholdet mellom skyenes vanninnhold i WRF4km og WRF500m.

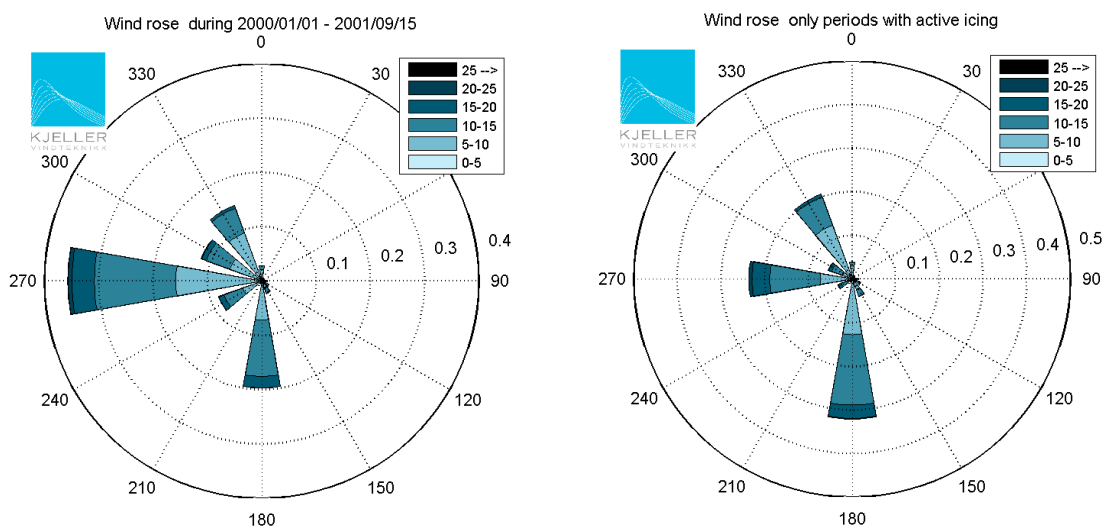
Episode	Fra dato	Til dato	Vind - retning	Maks isvekt WRF4km (kg/m)	Maks isvekt WRF500 m (kg/m)	LWC forhold
#1	9.12.2001	17.12.2001	V	24.0	5.0	0.359
#2	15.2.2003	21.2.2003	V	22.0	8.9	0.481
#3	9.3.2004	11.3.2004	V	11.5	2.1	0.344
#4	28.12.2008	1.1.2009	V	18.3	10.4	0.842
#5	14.11.2009	28.11.2009	S	9.5	14.5	1.028
#6	7.2.2014	16.2.2014	S	5.3	8.0	1.350

Sammenlikning av skyenes vanninnhold i Figur 5 viser at det for episodene med vestavind (nr 1-4) er en systematisk overestimering av vanninnholdet i WRF4km. Dette er som forventet på grunn av den fraværende skjermingen bak Lyngsalpene. Forskjellen er dog noe mindre for episode #4. For episode #5 og #6 med vind fra sør finner vi ikke den samme forskjellen. Dette er også som forventet, da terrenget oppstrøms er relativt godt beskrevet i WRF4km. Fordi WRF500m løser opp terrenget noe bedre helt lokalt er det faktisk en tendens til økt vanninnhold sammenliknet med WRF4km. Gjennomsnittlig er det et LWC-forhold på 0.51 for episodene med vestavind, og 1.19 for episodene med vind fra sør. Disse faktorene er benyttet for å korrigere vanninnholdet i WRF4km før beregning av islaster.

Figur 6 illustrerer effekten av korreksjonen av LWC i WRF4km. Etter justeringen er bidraget fra vest betydelig redusert mens bidraget fra sør er forsterket. Reduksjonen (0.51) fra vest er gjort for sektor 225 - 315 grader, mens økningen (1.19) fra sør er gjort for sektor 165 - 195 grader.



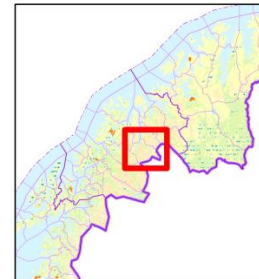
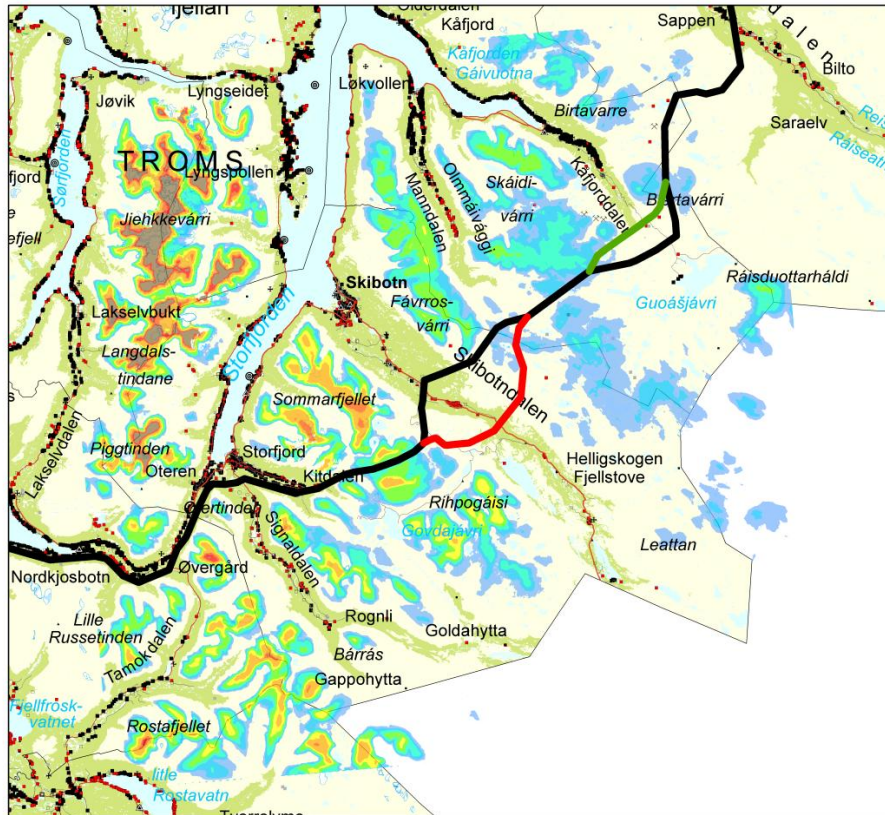
Figur 5: Skyenes vanninnhold (g/m^3) i WRF4km og WRF500m i sortert scatterplot. Episode #1 øverst til venstre episode #2 øverst i midten, osv.



Figur 6: Vindrose for tidspunkt med ising over 20g/time. Venstre: Fra WRF4km før justering av LWC. Høyre: fra WRF4km etter justering av LWC

Vedlegg B: Isingskart

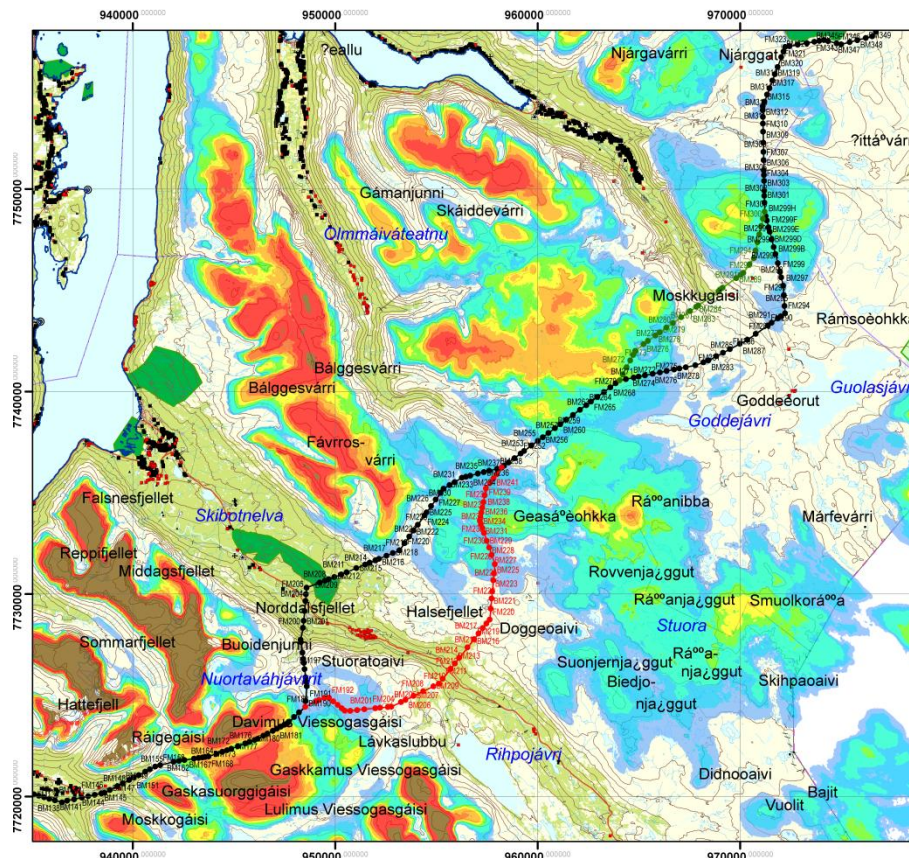
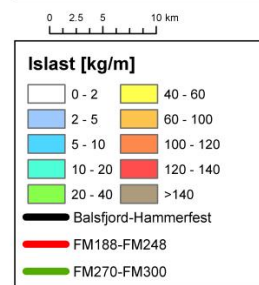
Episode #1



420 kV Balsfjord - Hammerfest

Figure/Drawing Title:
Maksimal islast 09.12.2001 - 17.12.2001

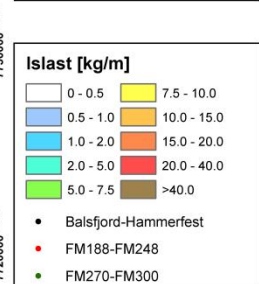
File Name: 090914.mxd	Rev: 0
By: ALL	Date: 17/12/2014
Scale: 1:100 000	Page: 1 of 1
Date: 07/02	Projection: WGS84



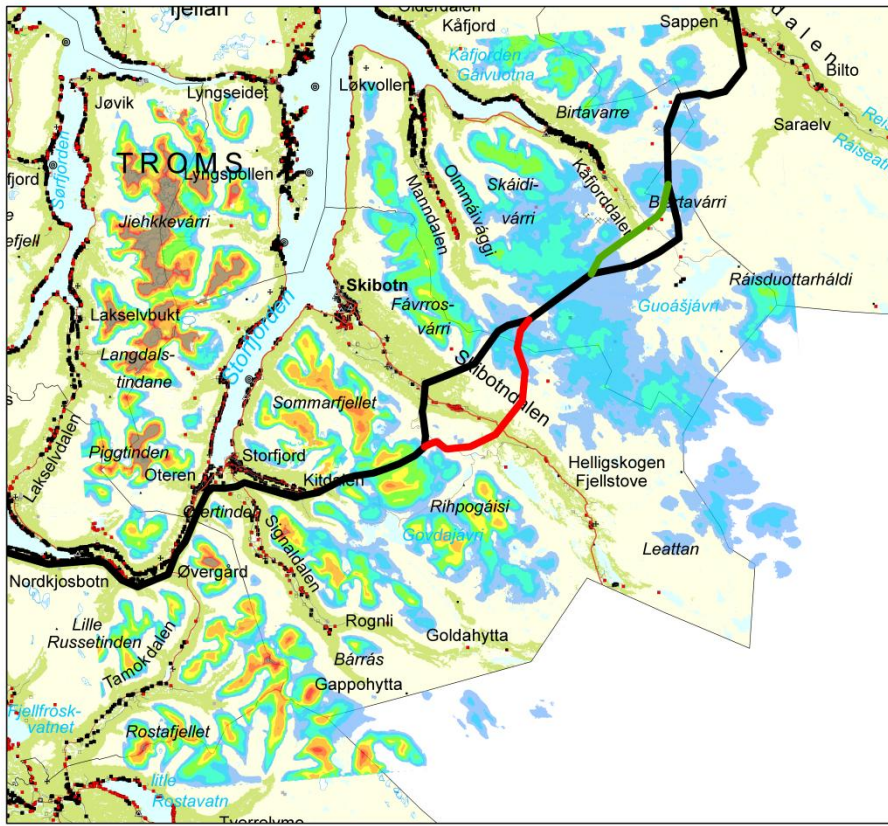
420 kV Balsfjord-Hammerfest

Figure/Drawing Title:
Maksimal islast 09.12.2001 - 17.12.2001

File Name: 090914.mxd	Rev: 0
By: ALL	Date: 17/12/2014
Scale: 1:100 000	Page: 1 of 1
Date: 07/02	Projection: WGS84



Episode #2

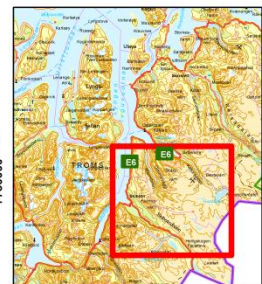
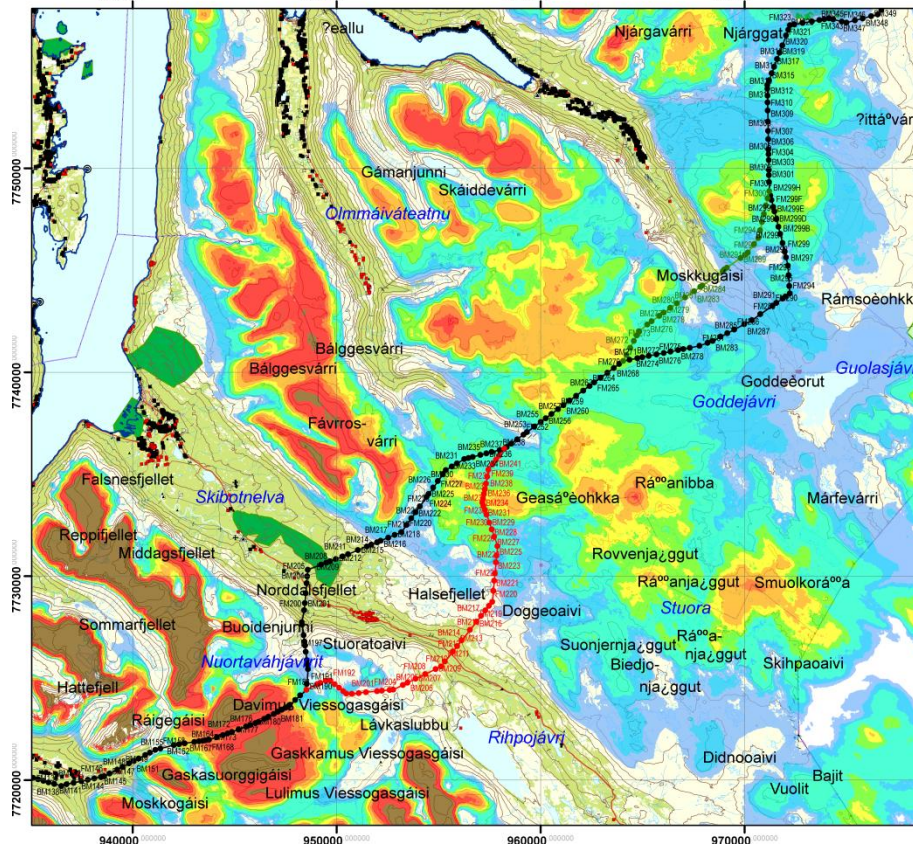
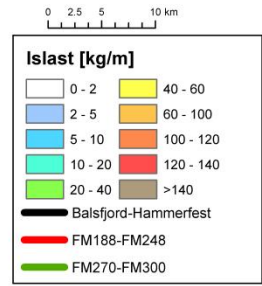


420 kV Balsfjord - Hammerfest

Figure/Drawing Title: Maksimal Islast 15.02.2003 - 21.02.2003

File Name: overrik.mxd	Rev: 0
By: ALL	Date: 17/12/2014
Scale: 1:300 000	Checked: BEN
Date: 17/12/2014	Project: WGS84

KJELLER

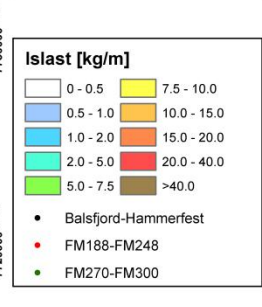


420 kV Balsfjord - Hammerfest

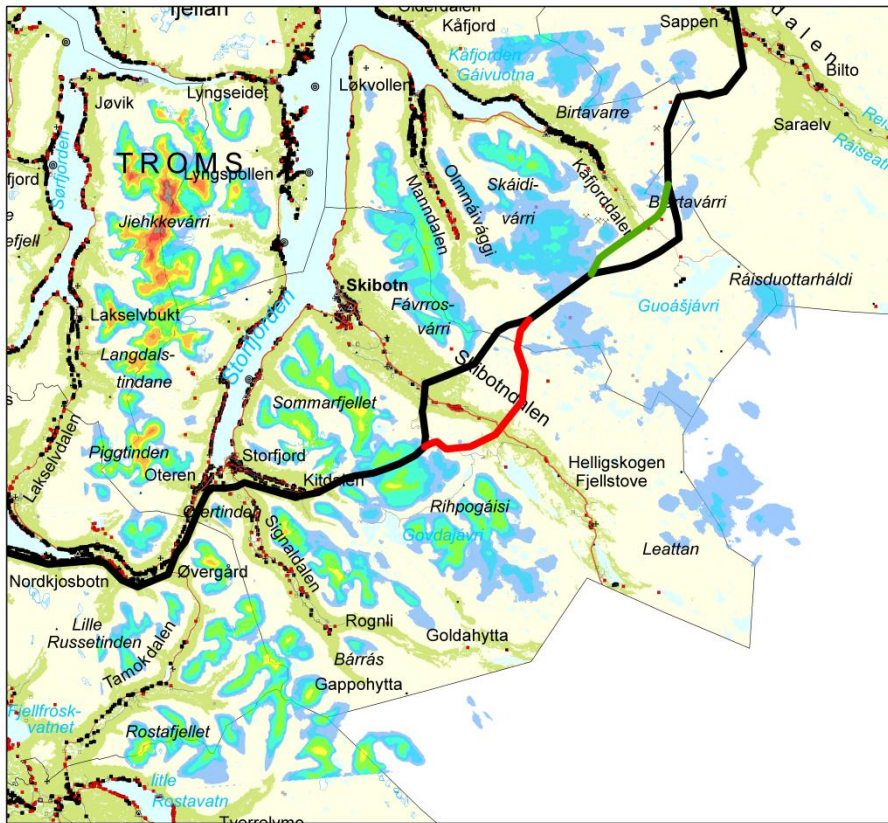
Figure/Drawing Title: Maksimal Islast 15.02.2003 - 21.02.2003

File Name: utbrik.mxd	Rev: 0
By: ALL	Date: 17/12/2014
Scale: 1:200 000	Checked: BEN
Date: 17/12/2014	Project: WGS84

KJELLER



Episode #3

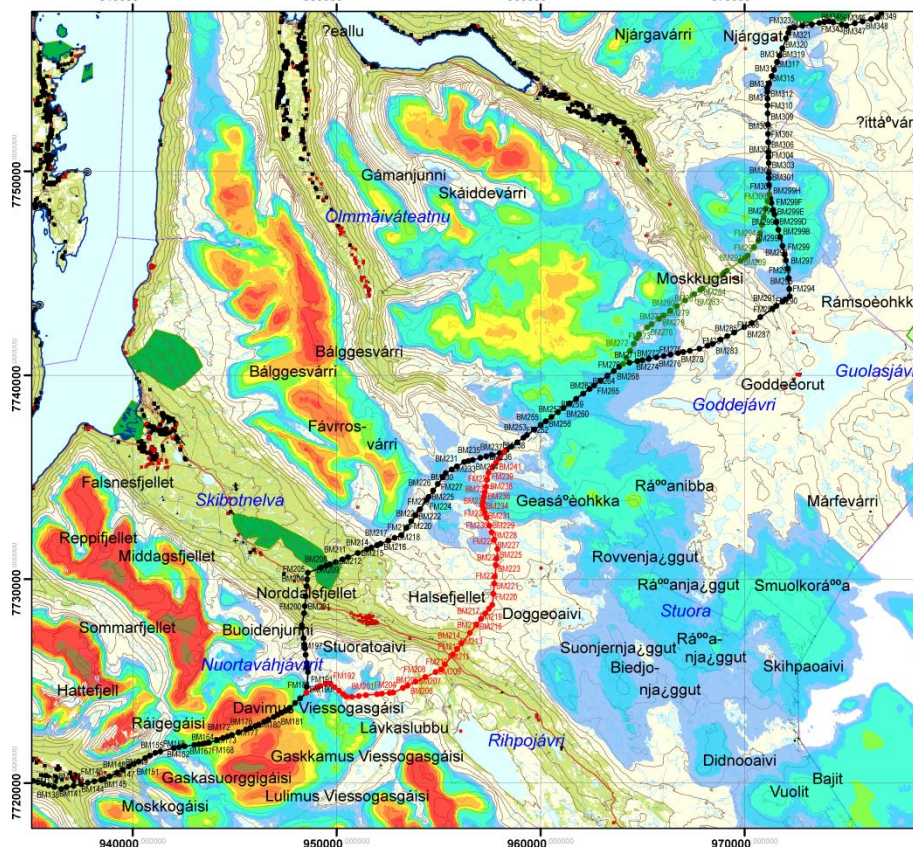
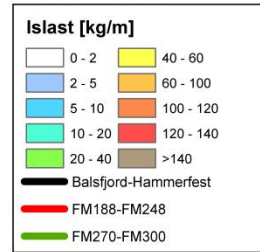


420 kV Balsfjord - Hammerfest

Figure/Drawing Title: Maksimal Islast 09.03.2004 - 11.03.2004

File Name: ovrstik.mxd	Rev: 0
By: ALL	Date: 17/12/2014
Scale: 1:300 000	Checked: BEN
Datum: UTM32	Projection: WGS84

KJELLER

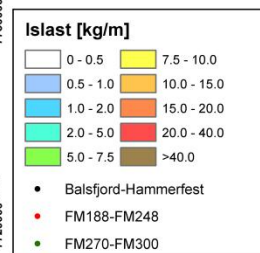


420 kV Balsfjord - Hammerfest

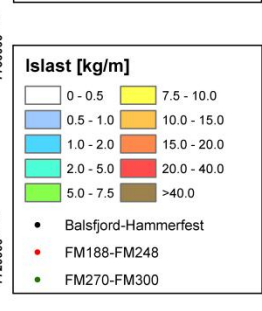
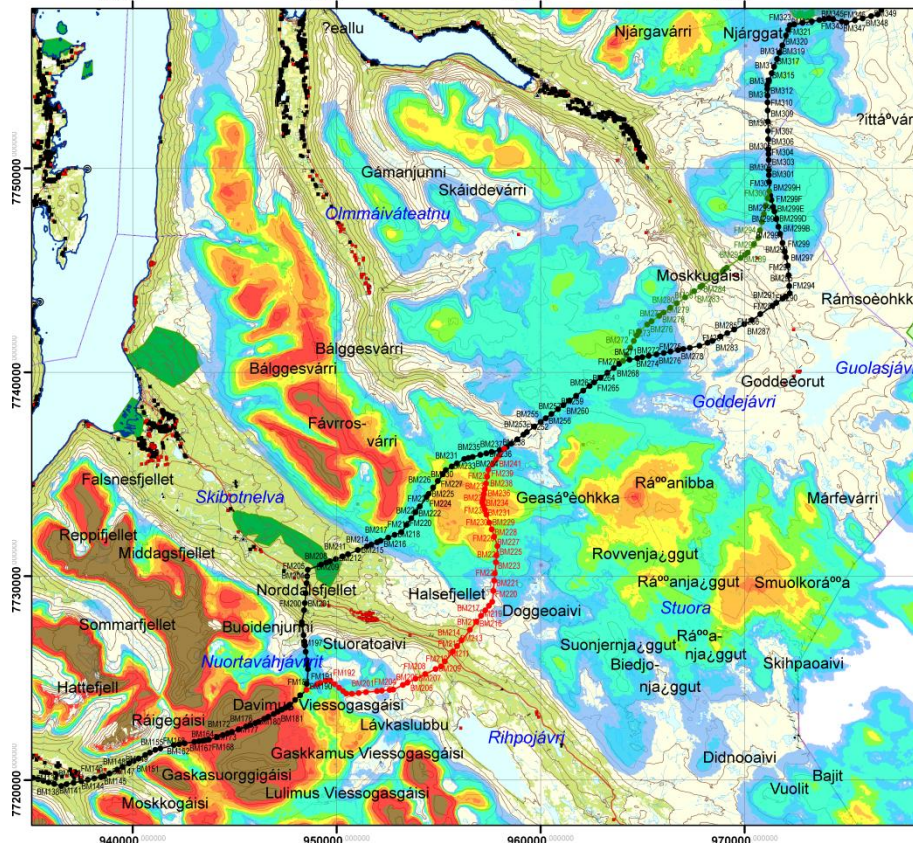
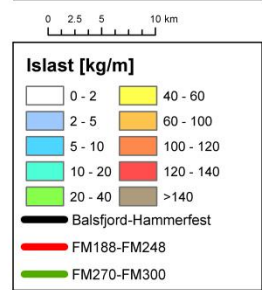
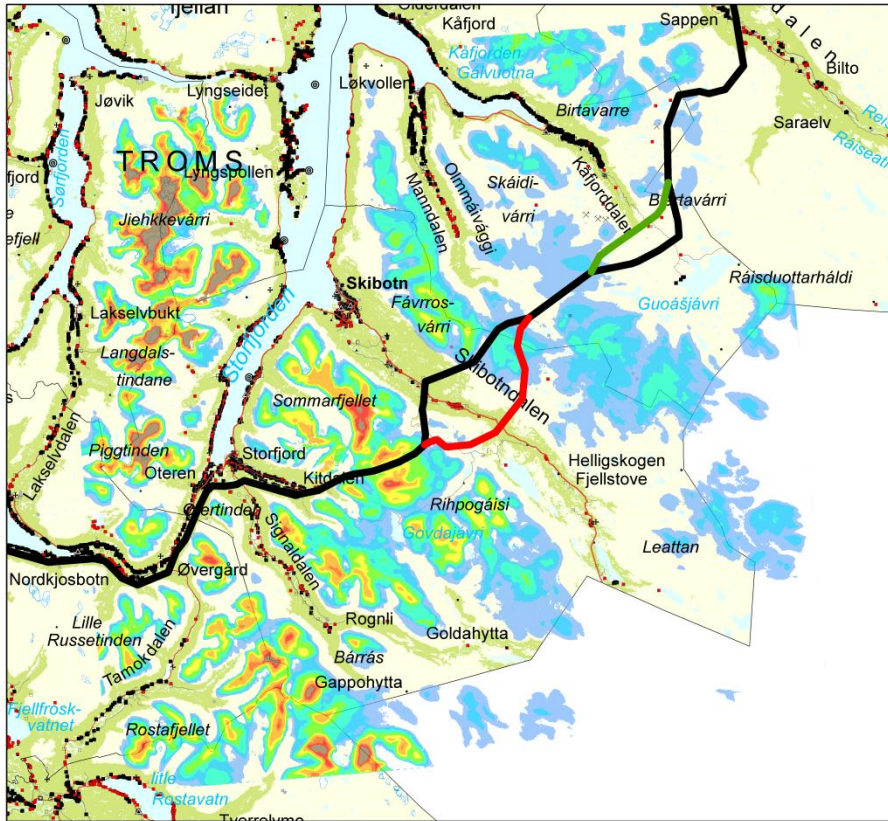
Figure/Drawing Title: Maksimal Islast 09.03.2004 - 11.03.2004

File Name: ovrstik.mxd	Rev: 0
By: ALL	Date: 17/12/2014
Scale: 1:200 000	Checked: BEN
Datum: UTM32	Projection: WGS84

KJELLER



Episode #4



Episode #5

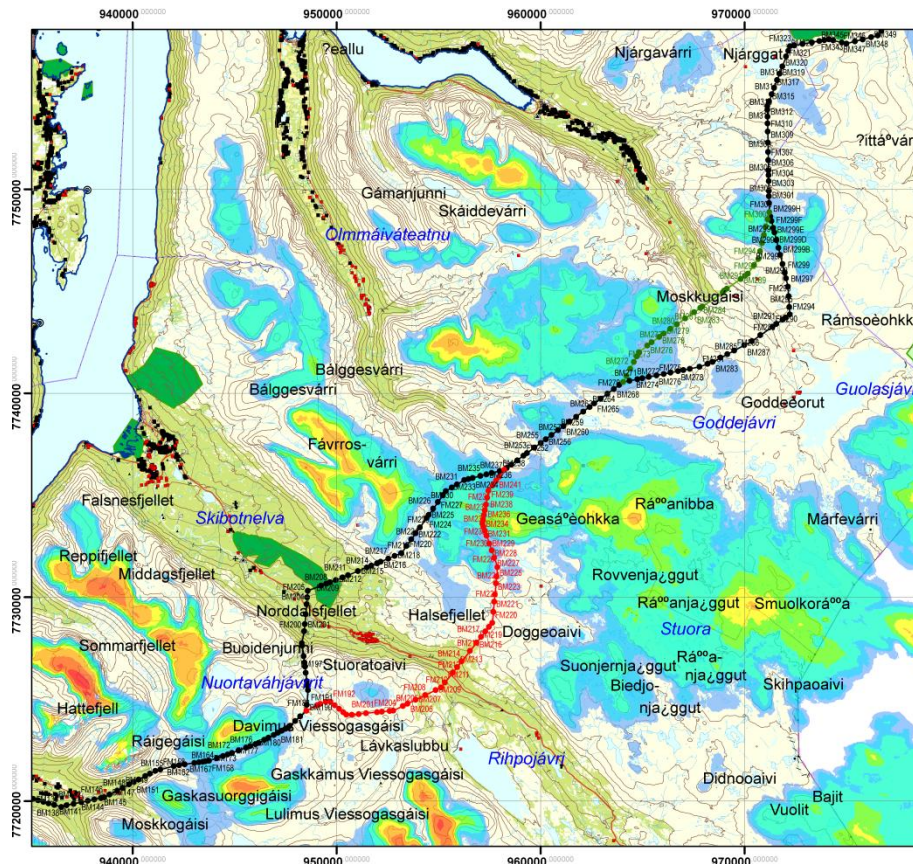
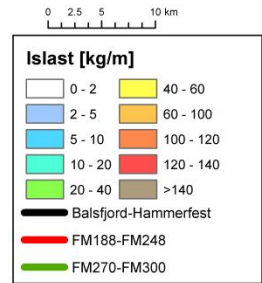


420 kV Balsfjord - Hammerfest

Figure/Drawing Title: Maksimal islast 14.11.2009 - 28.11.2009

File Name: oversikt.mxd	Rev: 0
By: ALL	Date: 17/12/2014
Scale: 1:300 000	Page: 1 of 1
Date: 17/12/2014	Projection: WGS84

KJELLER

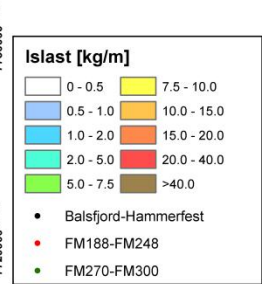


420 kV Balsfjord-Hammerfest

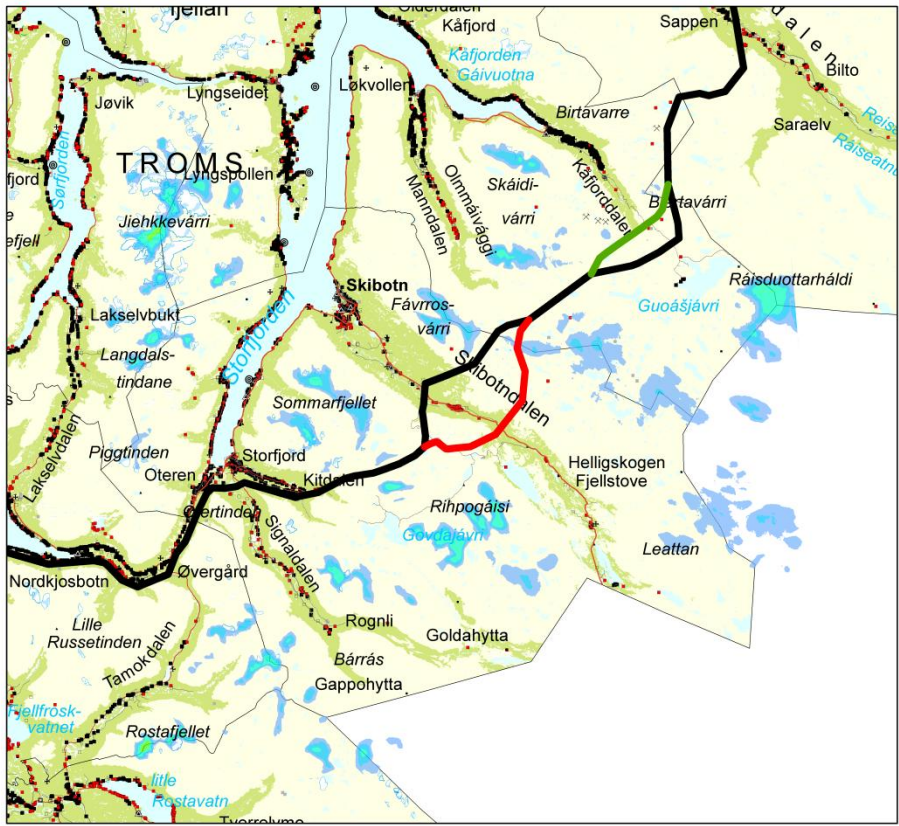
Figure/Drawing Title: Maksimal islast 14.11.2009 - 28.11.2009

File Name: utbrett.mxd	Rev: 0
By: ALL	Date: 17/12/2014
Scale: 1:200 000	Page: 1 of 1
Date: 17/12/2014	Projection: WGS84

KJELLER



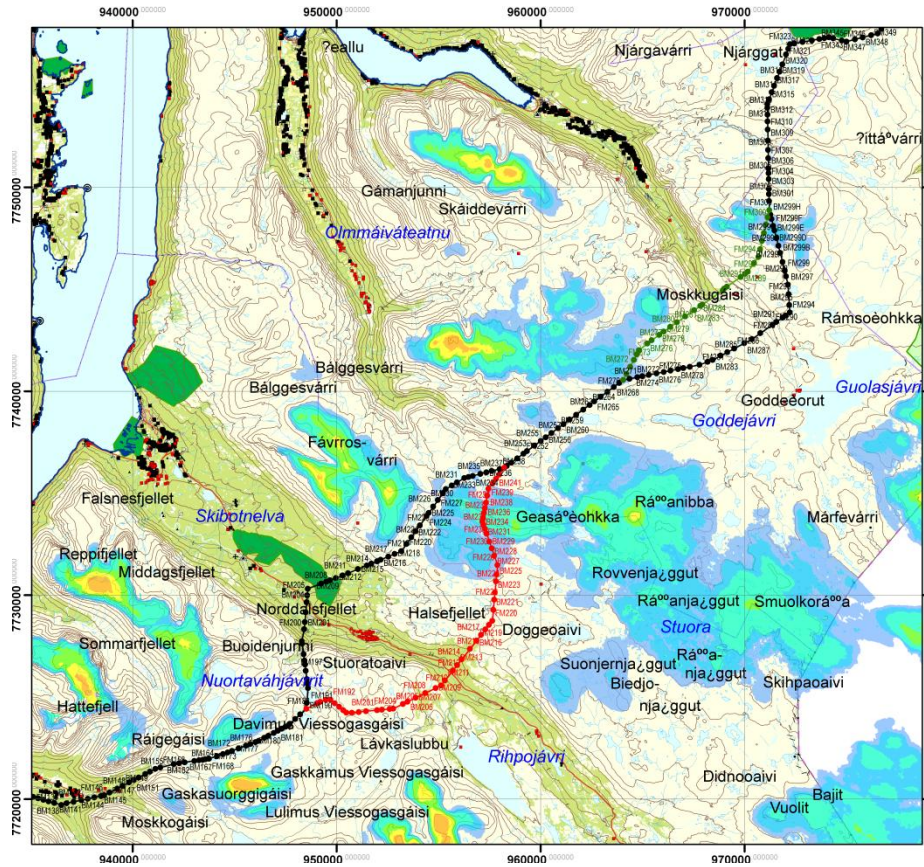
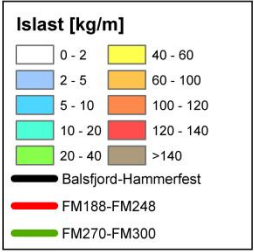
Episode #6



420 kV Balsford - Hammerfest

Figure/Drawing Title: Maksimal Islast 07.02.2014 - 16.02.2014

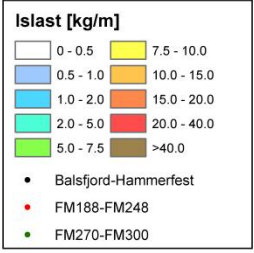
File Name: oversikt.mxd	Rev: 0		
By: ALL	Date: 17/12/2014	Checked: BEN	Date: 18/12/2014
Scale: 1:300 000	Page: 1 of 1	Datum: UTM32	
Projection: WGS84			



420 kV Balsford - Hammerfest

Figure/Drawing Title: Maksimal Islast 07.02.2014 - 16.02.2014

File Name: utbrett.mxd	Rev: 0		
By: ALL	Date: 17/12/2014	Checked: BEN	Date: 17/12/2014
Scale: 1:200 000	Page: 1 of 1	Datum: UTM32	
Projection: WGS84			



Vedlegg C: WRF-Modellen

Meso-Scale Model WRF

The Weather Research and Forecast (WRF) model is a state-of-the-art meso-scale numerical weather prediction system, aiming at both operational forecasting and atmospheric research needs. A description of the modelling system can be found at the home page <http://www.wrfmodel.org/>. The model version used in this work is v3.2.1 described in Skamarock et al. (2008)¹. Details about the modelling structure, numerical routines and physical packages available can be found in for example Klemp et al. (2000)² and Michalakes et al. (2001)³. 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 project⁴. For Norway, the model input uses the N50 land use data provided by the Norwegian Mapping Authority⁵.

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

¹ 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

² 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/>)

³ 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.

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

⁵ http://www.kartverket.no/eng/Norwegian_Mapping_Authority/

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

hours. FNL is an operational assimilation model that incorporates all available observation data globally, and uses this data to create a global analysis dataset, or a snapshot of the atmosphere, four times every day. The assimilation model incorporates data from several thousand ground based observation stations, vertical profiles from radiosondes, aircrafts, and satellites.

Model Setup

The model setup used in this analysis is shown in Figure B-1. The simulations of the northern European region have been performed for 14 years covering the period 2000-2014. The model has been set up with 2 nested domains. The horizontal resolutions are 16 km x 16 km and 4 km x 4 km.

The NCEP-FNL dataset is used as input for the 4 km simulations. The simulation has 32 layers in the vertical with four layers in the lower 200 m. We have used the Thompson microphysics scheme 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.

The fine scale simulations have been 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 the 500 m simulation.

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).

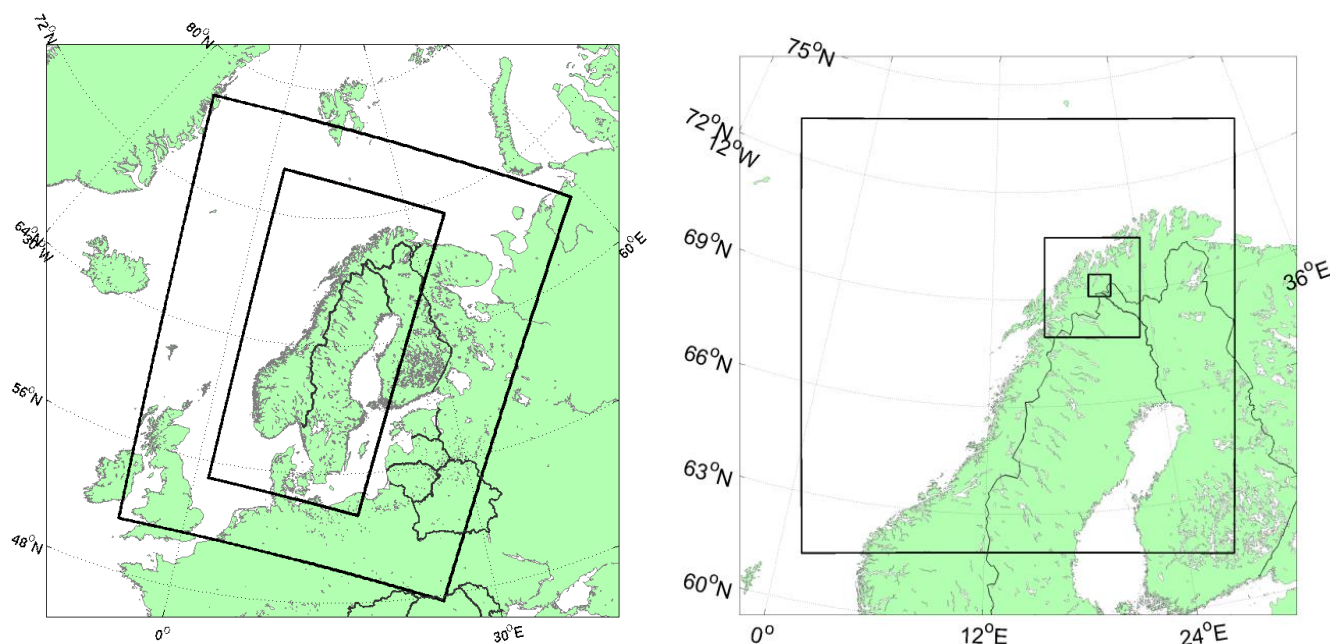


Figure B-1: Model set up for WRF simulations. Left: Coarse grid for 15 years simulation (4 km and 16 km), right: High resolution grid used for case studies (12.5 km, 2.5 km and 0.5 km).

Ice load calculations

According to the standard ISO 12494 (ISO/TC98/SC3/WG6 2000)⁷ 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 a_1 , a_2 and a_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.⁸ This is the scheme that gives the most accurate calculations of liquid water content⁹ and is thus recommended for icing calculations. Uncertainties are also related to 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.

⁷ ISO 12494 2000: Atmospheric Icing of structures, International Standard, ISO/TC98/SC3/WG6.

⁸ Thompson G., P.R. Field, W.D. Hall and R Rasmussen, 2006: A new bulk Microphysical Parameterization Scheme for WRF (and MM5)

⁹ 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.

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).¹⁰

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 flexible object. 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.

¹⁰ Harstveit K, Byrkjedal Ø. and E. Berge 2009: Validation of Regional In-Cloud Icing Maps in Norway, IWAIS, Andermatt 2009.