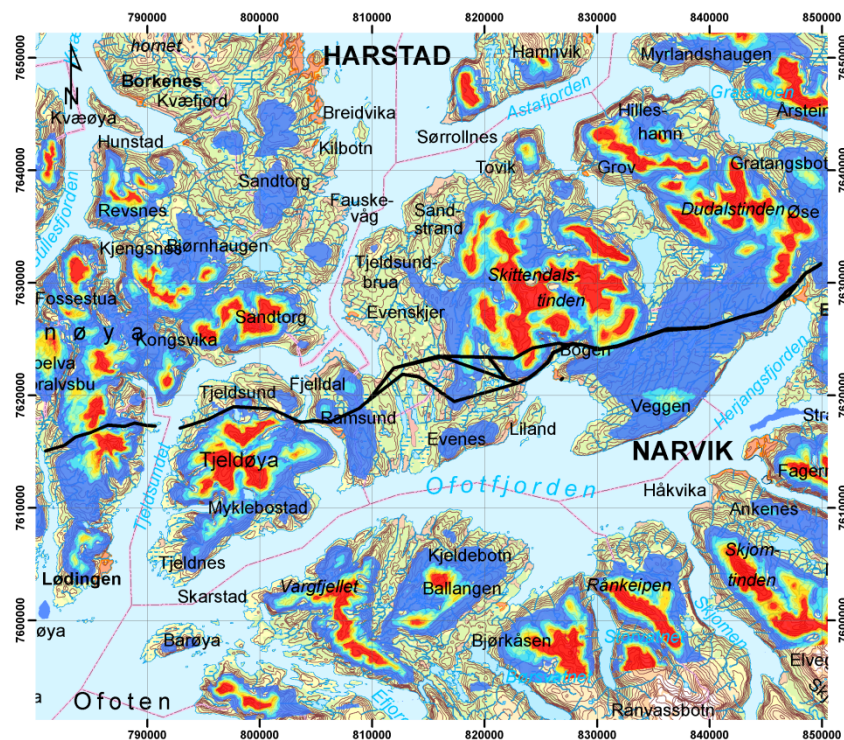


KJELLER  
VINDTEKNIKK

# Kvandal - Kanstadbotn, Narvik, Evenes, Skånland, Tjeldsund og Lødingen kommune, Nordland og Troms

Foreløpige klimalaster for 132 kV kraftledning

Rapport: KVT/ECI/2016/R057\_Rev1



Rapportnummer	Dato
KVT/ECI/2016/R057_Rev1	07.06.2017
Rapporttittel	Klassifisering
<b>Kvandal - Kanstadbotn, Narvik, Evenes, Skånland, Tjeldsund og Lødingen kommune, Nordland og Troms</b>	Begrenset til kunde
	Utgave nummer
Foreløpige klimalaster for 132 kV kraftledning	2
Kunde	Antall sider
Statnett SF	29 + vedlegg
Kundens referanse	Status
André Larsen Braathen	Endelig

**Formål**

Rapporten gir en foreløpig vurdering av vind- og islaster for ulike traséalternativer for en planlagt 132 kV ledning fra Kvandal til Kanstadbotn. Islaster er beregnet med 150-års returperiode. Vindlaster er beregnet med 50-års returperiode. Endelige klimalaster for bruk i dimensjonering kan fastsettes når nøyaktig masteplassing er bestemt, samt når finskala simuleringer er gjennomført for en lengre tidsperiode.

Rapporten inneholder skyisingskart basert på finskala modellsimuleringer (500 m x 500 m) for to isingsepisoder, som gir en indikasjon på hvilke områder som er mest utsatt for skyising. Det er også lagt ved et kart basert på finskala simuleringer over maksimal middelvind under stormen i 12.10.1996 da to master havarete.

Rapporten inneholder også kart over ekstremvind med 25-års returperiode med 1 km x 1 km oppløsning.

Rapporten er kvalitetssikret og gjennomgått etter Kjeller Vindteknikkis kvalitetssikringsystem.

**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	02.09.2016	Kun elektronisk		Pdf
2	07.06.2017	Kun elektronisk	Klimalaster for nytt traséalt. (5.0), i tillegg til vurdering av innspill fra hytteeier vedr. trasé over Tjeldøya (alt. 1.5).	Pdf

	Navn	Dato	Signatur
Utført av	Emilie C. Iversen Maren Fredbo	07.06.17	Emilie C. Iversen
Kontrollert av	Hálfdán Ágústsson	7 juni 2017	Hálfdán Ágústsson
Godkjent av	Øyvind Byrkjedal	07.06.2017	Øyvind Byrkjedal

# Innholdsfortegnelse

<b>INNHALDSFORTEGNELSE .....</b>	<b>2</b>
<b>1 SAMMENDRAG .....</b>	<b>3</b>
<b>2 METODE OG DATA .....</b>	<b>5</b>
2.1 LEDNINGSTRASÉ .....	5
2.2 DATA .....	7
2.3 ISINGSBEREGNING .....	7
2.3.1 Våt snø .....	7
2.3.2 Skyising .....	8
2.4 VINDBEREGNING .....	8
2.5 EKSTREMVERDIBEREGNINGER .....	9
2.5.1 Ising .....	9
2.5.2 Vind .....	9
<b>3 FINSKALA SIMULERINGER .....</b>	<b>10</b>
3.1 SAMMENLIKNING AV SKYVANN MED WRF4KM .....	10
3.2 FINSKALA ISINGSKART .....	12
3.3 FINSKALA VINDKART .....	16
<b>4 BEREGNING AV KLIMALASTER .....</b>	<b>18</b>
4.1 VÅTSNØ .....	18
4.2 SKYISING .....	20
4.3 VINDLASTER .....	21
4.4 FORELØPIGE KLIMALASTER .....	24
4.5 VURDERING TRASÉALTERNATIV 1.5 PÅ TJELDØYA .....	27
<b>5 REFERANSER .....</b>	<b>29</b>
<b>VEDLEGG A: FINSKALA KART .....</b>	<b>30</b>
<b>VEDLEGG B: BESKRIVELSE AV WRF-MODELLEN OG ISINGSBEREGNINGENE .....</b>	<b>35</b>

# 1 Sammendrag

Rapporten gir en vurdering av foreløpige vind- og islaster for den planlagte 132 kV kraftledningen fra Kvandal til Kanstadbotn nord i Nordland. Islaster er beregnet med 150-års returperiode, og vindlaster med 50-års returperiode, i 15 meters høyde over bakken. Analysene er basert på meteorologiske modeller, norsk vindlaststandard (NS-EN 1991-1-4), samt kvalitative vurderinger basert på erfaringer.

Traseen fremføres gjennom delvis kupert og kystnært terreng. Terreng høyden langs traseen varierer fra omtrent 20 moh. til 690 moh., og traseen vil for enkelte partier være utsatt for skyising fra sørvestlig kant. Traseen er i hovedsak orientert i retning omkring øst - vest, som dog er en relativt gunstig orientering i forhold til vindretning for ising. Det har vært en rekke driftsforstyrrelser på bestående ledning, samt noen mastehavarier. Flere av disse hendelsene kan knyttes til høye vindhastigheter og dels ising.

Nordre traséalternativ ved Bogen (alt. 1.4) er en spesielt utsatt strekning for skyis. Toppunktet over Dragvikfjellet ligger på omtrent 690 moh. og 150-års skyislaster er her beregnet til 10 - 30 kg/m. Det er usikkerhet rundt den nøyaktige lasten i dette punktet da beregnede verdier varierer betydelig avhengig av ledningsretningen. I tillegg viser sammenlikninger med finskalasimuleringene en noe mer terrengstyrt isingsretning enn grovskala dataene. Om man kunne foreta en korreksjon mot finskala simuleringer vil bidraget for en ledningsorientering på nordøst - sørvest kunne reduseres. For å gjennomføre dette kreves dog en lengre tidsserie av modelldata, med minst 500 m x 500 m oppløsning.

Toppunktene på traséalternativ 1.3 og 1.2/1.4 (øst for Kvitfors) er også noe utsatt for skyising, og er her foreløpig beregnet til opp mot 15 kg/m. Det er dog usikkerhet rundt de maksimale lastene. En sammenlikning og korreksjon mot finskala simuleringer bør foretas før dimensjonerende laster beregnes, men for dette kreves flere simulerte isingsepisoder med finskala modell. Dette gjelder også for strekningen gjennom Fiskefjordskardet (strekning 1.0 I).

Finskala skyisingskart for to episoder med høy isingsintensitet er utarbeidet for å vise den romlige fordelingen av ising. Kartene er vist i kapittel 3.2 og i Vedlegg A.

Strekningen av traseen som krysser Tjeldøya er spesielt utsatt for sterke vindkast. Traseen ligger her nord for høytliggende og bratt terreng som kan skape kraftige vindkast ved vind fra sør og sørvest normalt på ledningen. Det er her registrert fire mastehavarier grunnet vind (ref. Statnett). 50-års maksimale vindkast er her beregnet til 50 - 55 m/s basert på vindstandarden inkludert kastforsterkning bak bratt terreng. For å kunne beregne dette mer nøyaktig kreves en videreutvikling av modellverktøyet som er benyttet i denne rapporten. Se kapittel 4.3 for detaljer.

Finskala kart over maksimal vind under to stormer som forårsaket mastehavari er vist i kapittel 3.3 og i Vedlegg A.

Våtsnø dominerer i lavlandet. De høyeste våtsnølastene (6 - 10 kg/m) er gitt for strekningen over Tjeldøya der traseen ligger delvis bak bratt terreng i forhold til dominerende vindretning for våtsnø (sørvest). Våtsnølastene på lesiden av liknende terreng er ofte usikre og krever en mer detaljert modellanalyse.

De foreløpige klimalastene i Tabell 1-1 er gitt med referanse til trasékartene i Figur 4-5. Inndelingen av lastene er relativt grov og er for enkelte strekninger gitt med et bredt intervall. Den største lasten i intervallet er et øvre estimat basert på foreløpige beregninger. De brede intervallene spenner også ut variasjonen i laster med terreng høyde. Den høyeste lasten vil kun gjelde for toppunkt, eller det mest utsatte partiet på strekningen.

Tabell 1-1: Foreløpige klimalaster for 132 kV Kvandal - Kanstadbotn. Lastene er gitt med referanse til trasékart med inndeling i Figur 4-5. Islast har 150-års returperiode, og vindkast, både maksimalverdi og normalkomponent, har 50-års returperiode. Under Islast betegner VS våtsnø og SI skyis.

Strekning	Islast (kg/m)	Vindkast, maksimalverdi (m/s)	Vindkast, normalkomp. (m/s)	Kommentarer
1.0 A	4 VS	40	34	Mulig vindkastforsterkning bak Nattmålstuva ved sterk vind fra vest. 10 % kastforsterkning er lagt til grunn.
1.0 B	3 VS	38	32 - 34	
1.0 C	4 - 12 SI	39 - 45	35 - 38	Skyisutsatt strekning. Trolig høy parallellkomponent med ledningen. Islastene øker med terreng høyden.
1.0 D	4 VS	35 - 40	32 - 36	Mulig vindkastforsterkning bak Stortinden ved sterk vind fra vest. 10 % kastforsterkning bør vurderes for deler av strekningen.
1.0 E	6 VS	36 - 42	34 - 40	
1.0 F	4 VS	42	38	
1.0 G	6 - 10 VS	50 - 55	45 - 55	Område utsatt for kraftig vindkast ved vind fra sør og sørvest. Det er tatt hensyn til kastforsterkning bak bratt terreng i henhold til vindstandarden.
1.0 H	6 - 8 VS	48 - 52	46 - 50	
1.0 I	6 - 10 SI	46 - 50	44 - 48	Skyising forventes gjennom Fiskefjordskaret ved vind fra vest med høy parallellkomponent med ledningen.
1.0 J	6 VS	37 - 46	35 - 44	
1.1	4 VS	40	34	Se kommentar til 1.0 A.
1.2 A	5 VS	38	35	
1.2/1.4	5 - 15 SI	35 - 50	32 - 45	Modellanalysen indikerer skyising over høydedraget øst for Kvitfors. Islastene øker med terreng høyden fra minimum 5 kg/m for de lavereliggende delene av strekningen, til en makslast opp mot 15 kg/m i toppunktet. Makslasten er usikker. Lokal vindforsterkning over toppen.
1.2 B	4 VS	36	32 - 34	
1.2/1.3	5 VS	38	35	
1.3 A	5 - 15 SI	35 - 50	32 - 45	Se kommentar til 1.2/1.4. Traseen ligger her omtrent 40 m lavere enn alternativ 1.2/1.4, men isingen vil ha en større normalkomponent på ledningen her.
1.3 B	4 VS	36	32 - 34	
5.0	5 - 8 VS	38 - 40	35 - 37	Partiet forbi Geitslettvatnet kan være utsatt for våtsnøising og kraftigere vind som følge av lavere ruhet på underlaget og mindre skjerming.
1.4	4 - 30 SI	35 - 50	32 - 40	Modellanalysen indikerer kraftig skyising over Dragvikfjellet, men har trolig en høy parallellkomponent med ledningen. Islastene øker med terreng høyden fra minimum 4 kg/m for de lavereliggende delene av strekningen, til en makslast opp mot 30 kg/m i toppunktet. Makslasten er usikker. Vinden forsterkes noe gjennom skaret over toppen.

## 2 Metode og data

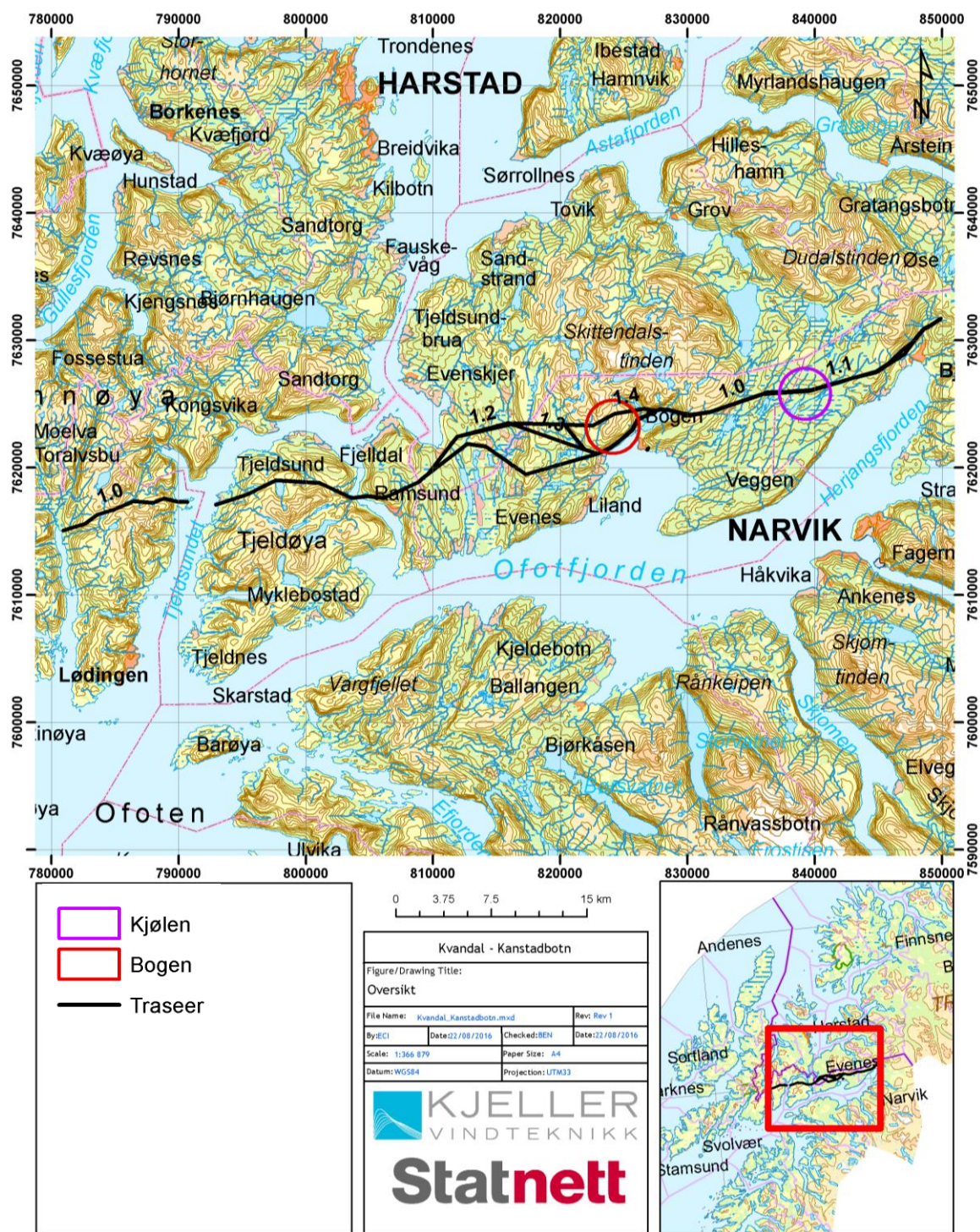
---

### 2.1 Ledningstrasé

Rapporten omhandler en planlagt 132 kV ledning fra Kvandal til Kanstadbotn. Traseen, inkludert flere alternativer, er markert i kartet i Figur 2-1.

Traseen fremføres gjennom delvis kupert og kystnært terreng, og for enkelte strekninger over fjellpartier som vil være utsatt for skyising fra sørvestlig kant. Terreng høyden varierer fra omtrent 20 moh. til 690 moh. Traseen er i hovedsak orientert i retning omkring øst - vest. Det er lagt til grunn en gjennomsnittlig normal linehøyde over terrenget på 15 m og linetykkelse på 30 mm.

Det er registrert en rekke vær-relaterte driftsforstyrrelser og noen havarier på bestående ledning. Kjeller Vindteknikk har mottatt rapporter og notater fra Statnett som tid- og stedfester mange av hendelsene. Nøyaktig tidspunkt for noen eldre hendelser er fremdeles ukjent. Spesielt utsatt er strekningen som krysser Tjeldøya, der ledningen fremføres på nordsiden av bratt fjellterreng. Her er det registrert fire mastehavarier grunnet sterke vindkast. Strekningen forbi Bogen er et skredutsatt område, og ett mastehavari er registrert. Feilstatistikken indikerer at problemer knyttet til sterk vind hovedsakelig forekommer nær bratt terreng med høye fjell oppstrøms.



Figur 2-1: Trasékart for Kvandal-Kanstadbotn inkludert ulike traséalternativ markert med nummer. Sirkler viser hvilke modellpunkt som er brukt i analysene og fremstilt i rapporten.

## 2.2 Data

Beregningene av is- og vindlaster er basert på meteorologiske data generert med en numerisk værmodell. Modellen som er benyttet er WRF (Weather Research and Forecasting model) og er beskrevet i Vedlegg B. Modelldataene er fordelt i et horisontalt gitter med oppløsning på 4 km x 4 km og tidsoppløsning på én time for perioden 1979 - 2015. Denne simuleringen benevnes WRF4km. Modelldata er hentet ut for representative punkter langs traseen.

Data fra en WRF simulering med en høyere horisontal oppløsning (1 km x 1 km, heretter WRF1km) er også tilgjengelig, men for kun ett år (2005). Disse dataene er benyttet til å korrigere de lengre tidsseriene med 4 km oppløsning for å få vindhastighet og retning til å bli mer realistisk i forhold til terrenget i området. Dataene er hentet 15 meter over bakkenivå. Metodikken som benyttes for å korrigere vinddata mot WRF1km er beskrevet i Liléo et al. (2013).

WRF simuleringer med en horisontal oppløsning på 500 m x 500 m som dekker området rundt traseen blir også utført for to korte isingsepisoder og to stormer. Dette for å få et inntrykk av den romlige fordelingen av skyis i området, samt hvorvidt et datasett med 500 m oppløsning klarer å gjenskape vindfeltet. En nærmere beskrivelse av bruken av disse dataene finnes i kapittel 3.

## 2.3 Isingsberegning

### 2.3.1 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. De nødvendige variablene er hentet ut som tidsserier fra WRF, og isingsraten i hvert tidspunkt bestemmes basert på de meteorologiske dataene.

I modellen er det antatt at isen faller av ledningen når luftens våt-temperatur<sup>1</sup> overstiger 1.5°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 Árni Jón Elíasson, Landsnet, 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. I modellen blir det derfor antatt at isen faller av i løpet av 24 timer etter at isingssituasjonen er over.

---

<sup>1</sup> Våt-temperaturen er et mål på luftfuktighet og er lik vanlig temperatur (tørr-temperatur) når luftens relative fuktighet er lik 100 %. Ved lavere relativ fuktighet ligger tørr-temperaturen høyere enn våt-temperaturen.



Da våtsnøberegningene baserer seg på modelldata med relativt grov horisontal oppløsning vil det være variasjoner lokalt som ikke blir fremstilt. For eksempel vil reell terreng høyde og temperatur variere innenfor en gridrute. På grunn av våtsnøens høye sensitivitet til lufttemperatur blir det derfor utført beregninger med en ensemblemetode. Det blir gjort en rekke modellkjøringer for samme modellpunkt der temperaturen blir endret med verdier varierende mellom -2 og 2 °C. For hver modellberegning endres temperaturen med 0.1 °C, noe som resulterer i 40 modellkjøringer for hvert modellpunkt. 50-års våtsnølasten blir gitt som medianverdien av de 40 ulike 50-års våtsnølastene som blir beregnet.

### 2.3.2 Skyising

Skyising forekommer ved temperatur under 0 °C, lavt skydekke/tåke og vind. I slike tilfeller vil små underkjølte skydråper være i flytende tilstand, men samtidig ha en temperatur lik luftens temperatur. Ved vind på tvers av en ledning vil disse dråpene kollideres med lina, fryse spontant, og akkumuleres som et hvitt isbelegg. Ved temperatur like under 0 °C (eller ved høy isingsintensitet) fryser dråpene mer langsomt og danner en tettere og mer transparent is. Skyising forekommer i all hovedsak i eksponert fjellterreng, og mengden øker ofte raskt med høyden.

Tidsserier av vindhastighet, temperatur, konsentrasjon av skyvann samt andre relevante skyparametre fra WRF4km anvendes for å beregne akkumulert skyis på et referanseobjekt<sup>2</sup>. Beregningene er gjort etter formelverket gitt i ISO-standarden for atmosfærisk ising på konstruksjoner, ISO 12494, og er beskrevet i Vedlegg B.

## 2.4 Vindberegning

Ekstremverdier av vindkast er først beregnet basert på Norsk Standard for vindlaster (NS-EN 1991-1-4). Her er referansevindhastigheter oppgitt på kommunenivå, sammen med et formelverk for å beregne dimensjonerende vindkast med valgt returtid for ulike terrengtyper. Basert på referansevinden, høyden over bakken og terrengtype (overflatens ruhet) bestemmes turbulensintensiteten og korresponderende kastfaktor. Referansevinden er definert som 10 minutters middelvind i 10 m høyde i homogent og flatt terreng med terrengkategori II, med returtid på 50 år.

Ekstremvind fra WRF modellen blir også beregnet. WRF dataene har en tidsoppløsning på 1 time, der verdiene best korresponderer til 1 times middelvind. For å konvertere til 10 minutters middelvind er dataene korrigert med en faktor på 1.05. Videre er formelverket gitt i vindstandarden benyttet for å beregne vindkast.

I vindberegningene er det ikke foretatt noen reduksjon av verken maksimalvind eller normalkomponent som følge av spennlengden. Vindanalysen må tolkes som en punktanalyse i en høyde over underlaget som er representativ for hele spennet.

---

<sup>2</sup> Vertikalt orientert roterende sylinder med diameter 3 cm (ISO 12494).

## 2.5 Ekstremverdiberegninger

### 2.5.1 Ising

Det benyttes en statistisk analyse for å bestemme ekstremverdiene i seriene av modellerte våtsnølaster 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 utfordring med POT analysen er at det ikke finnes en robust og objektiv måte å bestemme terskelverdien på. I denne analysen er 97 persentilen brukt som grense. I enkelte tilpasninger er terskelen justert noe manuelt for å optimalisere den teoretiske kurven.

Siden våtsnø opptrer svært sjeldent er det knyttet relativt stor usikkerhet til beregning av 50-års returverdier, selv med en 36 års dataserie. Å gjøre 40 uavhengige våtsnøberegninger for et modellpunkt ved å justere temperaturen innenfor små intervaller, slik beskrevet under kapittel 2.3.1, bidrar til å redusere usikkerheten i ekstremverdiestimaten.

For enkelte værelementer 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 Gumbelfordelingen et spesialtilfelle av GEV.

### 2.5.2 Vind

De korrigerte dataseriene er framkommet gjennom en kvantilregresjon mellom vinden i WRF1km og WRF4km, og en ekstremvindanalyse gjennomføres på disse dataene. Det er benyttet Gumbel-Liebleins metodikk, som er en anerkjent metode for beregning av ekstremvind. Metodikken benytter årsmaksima av vindhastighet og forutsetter dataserier på minst 20 år. Tidsseriene fra modellen har lengde på 36 år. Beregningene gir dermed et robust estimat på ekstremverdier med 50 års returperiode.

## 3 Finskala simuleringer

Finskalsimuleringer (WRF500m) brukes til å lage detaljerte kart over skyising i området. De gir dermed en bedre beskrivelse av variasjonen i skyislaster langs traseen enn det noen få utvalgte punkt fra WRF4km gjør. Finskalsimuleringene brukes også til å gjøre en sammenlikning av skyenes vanninnhold med den grovere skala simuleringen (WRF4km). På denne måten oppdager vi om det er skjerming eller forsterkning grunnet lokal topografi som ikke blir inkludert i den grovere modellen. Vi kan også studere vindfeltet fra finskala simuleringene. Kart over maksimal vind i området for enkelte stormepisoder gir en indikasjon på utsatte og skjermede områder langs traseen. I denne rapporten er det gjort noen få kortere simuleringer. Hensikten er å bedre grunnlaget for fastsettelse av foreløpige laster, samt å vurdere nytteverdien av å gjøre mer omfattende simuleringer i neste fase.

### 3.1 Sammenlikning av skyvann med WRF4km

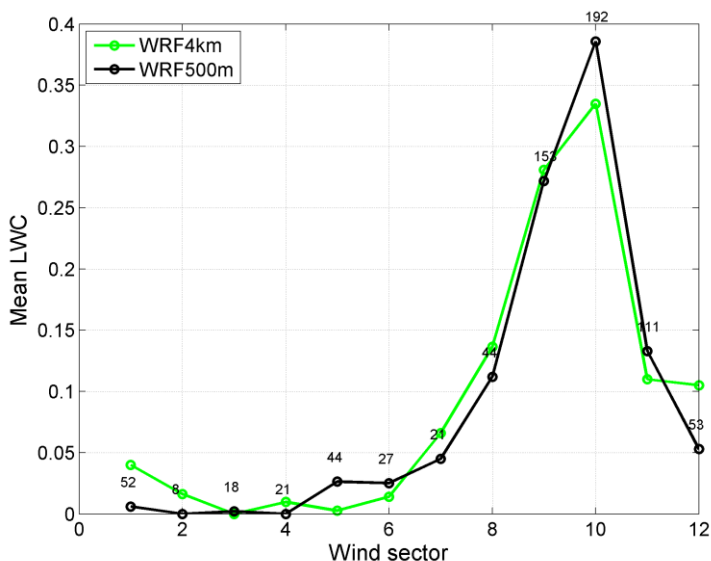
Basert på en analyse av rådataene fra WRF4km er det valgt ut to enkeltepisoder med høy isingsintensitet. Disse episodene er oppført i Tabell 3-1. Vi ønsker å sammenlikne resultater fra WRF500m med data for tilsvarende perioder fra WRF4km i traseens høgstliggende og mest eksponerte punkt over Dragvikfjellet på traséalternativ 1.4 (modellpunkt Bogen i WRF4km, 684 moh.).

Figur 3-1 viser gjennomsnittlig skyvanninnhold (Liquid Water Content, LWC) for hver vindsektor for begge episodene. Grønn kurve viser verdier fra WRF4km og svart kurve fra WRF500m for samsvarende modellpunkt. Tallene over den svarte kurven viser antall timer innenfor hver vindsektor i tidsperioden. Kurvene for begge modelloppsett viser at skyvann i hovedsak eksisterer i sektorene 7 - 12, som til sammen danner sektoren fra 165° -345° (sør til nordvest). Det er som regel i disse sektorene skyvann opptrer langs kysten da fuktig luft transporteres innover fra havet. Det er mest skyvann i sektorene 9 og 10 (225° -285°; sørvest og vest). Det er noe mer skyvann i WRF500m i sektor 10, og noe mer skyvann i WRF4km i sektor 12, men kurvene følger hverandre generelt godt. Dette tyder på at den lokale topografien ikke påvirker fordelingen av skyvann spesielt for dette modellpunktet og gir en indikasjon på at de relativt grove WRF4km dataene fremstiller mengden og fordelingen av skyvann relativt godt akkurat her. Det er dog vanskelig å konkludere noe basert på kun to korte isingsepisoder. Flere episoder må simuleres før en eventuelt kan foreta en korreksjon mot finskala dataene for flere punkter langs traseen.

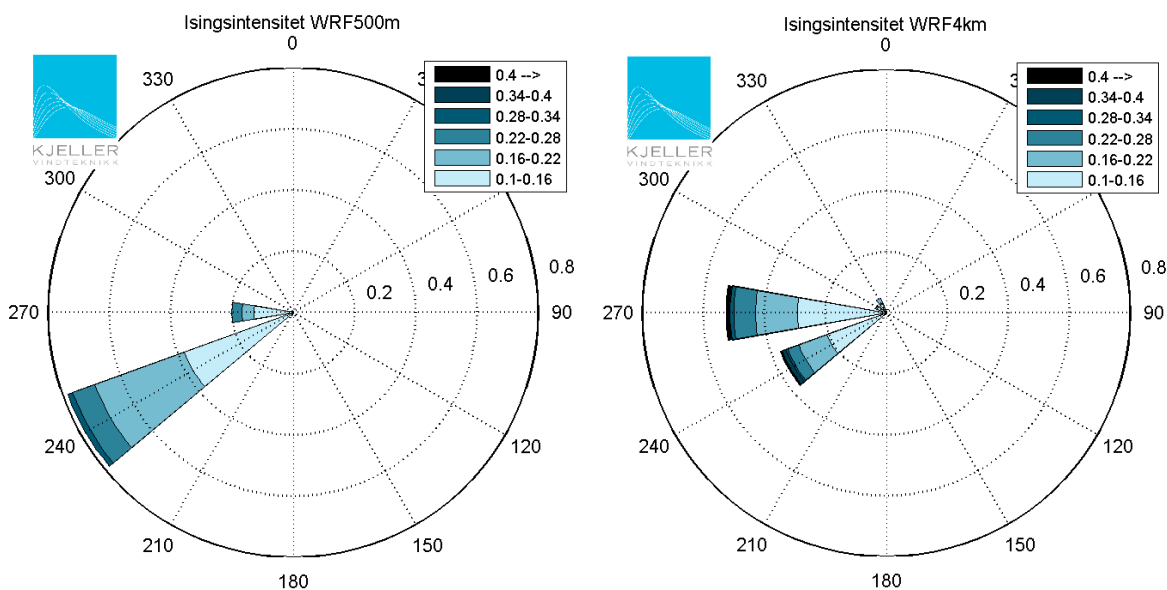
Figur 3-2 viser isingsintensitet for skyis for hver vindsektor fra WRF500m til venstre og WRF4km (vindkorrigeret mot WRF1km data) til høyre for den samme perioden og samme modellpunkt (Bogen). Isingsintensitet er en funksjon av mengde skyvann i luften og styrke og retning på vind. I WRF500m forekommer skyis i hovedsak ved vind fra sørvest, og i mindre grad fra vest, mens i WRF4km forekommer skyis for det meste ved vind fra vest, og i mindre grad ved vind fra sørvest i denne perioden. Figur 3-1 viste at skyvannet har tilnærmet like verdier for de ulike sektorene i de to modelloppsettene, så den ulike fordelingen av isingsintensitet skyldes ulik fordeling av sterk vind i de to modelloppsettene. Det samme kan observeres i dataene fra episode 1. I den fine skala modellen er fjellformasjonene bedre oppløst, som gjør at vinden blir styrt mellom Dragvikfjellet og Stortinden fra sørvest, mens den ikke blir det i den grove skala modellen. Dette vil påvirke retningsfordelingen av beregnede skyislaster. En korreksjon av vinden fra WRF4km mot vinden i WRF500m kan korrigere isingsintensitetsrosen, og dermed retningsfordelingen av islaster (som er avgjørende for å bestemme endelig islast for ledningen), men da kreves minst ett år med data fra WRF500m. Dette er mulig å utføre i neste fase av prosjektet.

Tabell 3-1: Isingsepisoder simulert med WRF500m.

Episode	Fra dato	Til dato
#1	14.02.1982	26.02.1982
#2	06.01.2000	24.01.2000



Figur 3-1: Gjennomsnittlig skyvanninnhold (Liquid Water Content, LWC) for hver vindsektor (1 - 12) for begge isingsepisoder og modellpunkt Bogen. Grønn kurve viser verdier fra WRF4km og svart kurve fra WRF500m. Tallene over den svarte kurven viser antall timer innenfor hver vindsektor i tidsperioden.



Figur 3-2: Isingsintensitet (kg/m pr. time) for skyis for hver vindsektor, basert på WRF500m data (venstre) og WRF4km data vindkorrigert mot WRF1km-punkt (høyre) for begge isingsepisoder. Lengden på hver sektorstolpe indikerer andelen av tiden med isingsintensitet over 0.1 kg/m pr. time innen gitt vindretning.

## 3.2 Finskala isingskart

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 50 m x 50 m. Algoritmen for høydejustering av islastene finner lokale høydegradienter fra modelldataene, og benytter disse til å fordele simulerte islaster ut i terrenget. Metoden kan beskrives med likning (1):

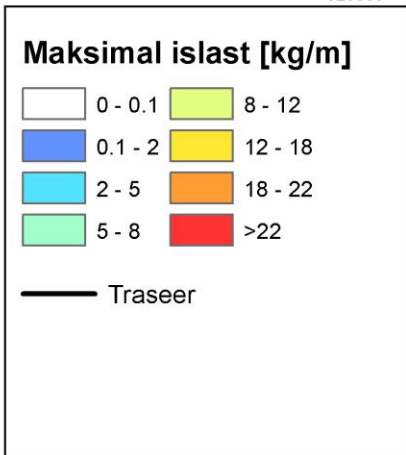
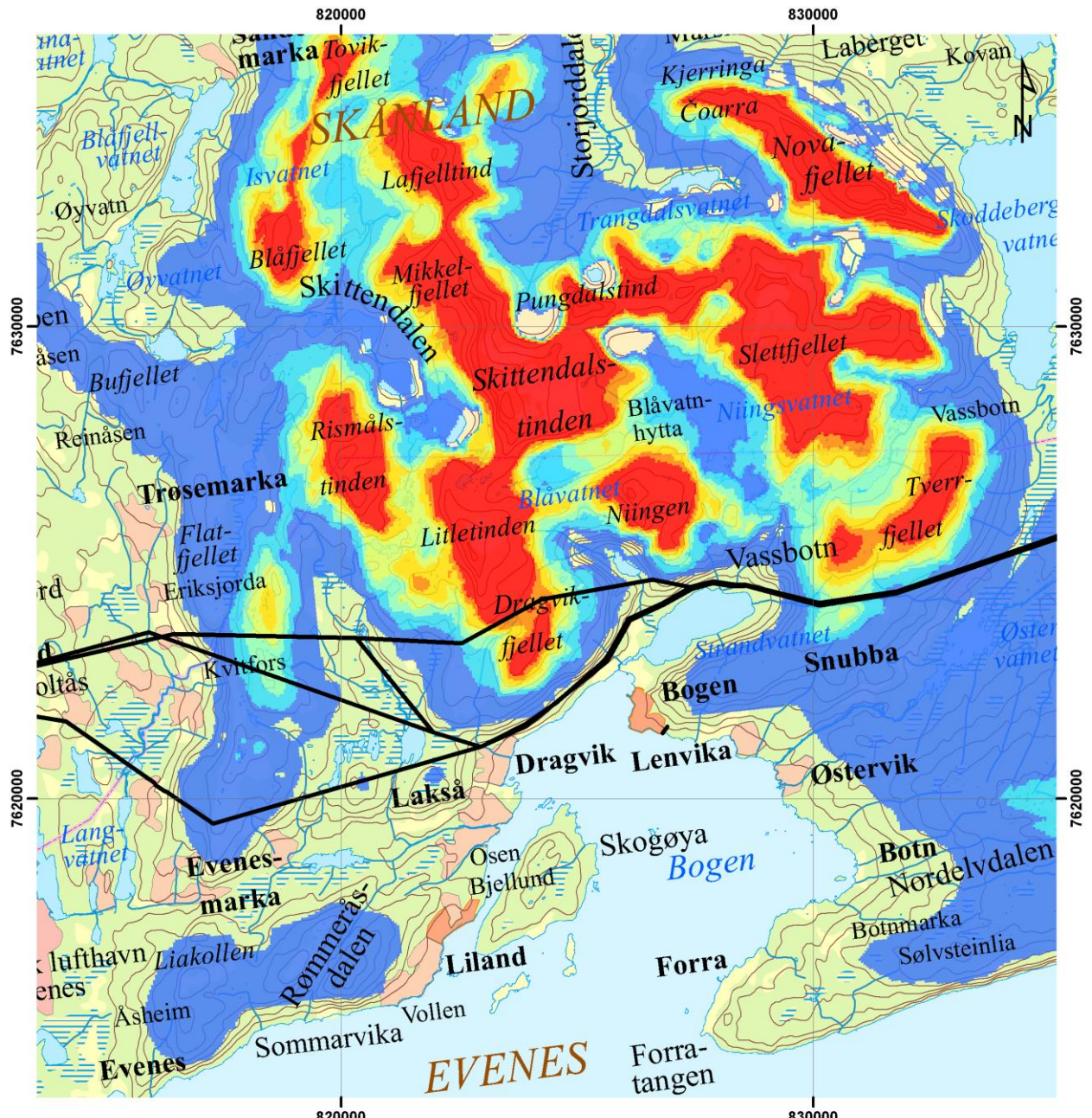
$$M_{50} = M_{WRF} + \left( \frac{dM_{WRF}}{dz_{WRF}} \right)_r (Z_{50} - Z_{WRF}) \quad (1)$$

Her er  $M_{50}$  islasten for et punkt i 50 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  $Z_{50} - Z_{WRF}$  representerer forskjellen i terrenghøyde mellom WRF og 50 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.

Isingskartet i Figur 3-3 viser maksimale islaster for episode 1. Kartet er basert på WRF modellens laveste modellflate, ca 17 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 en øvre grense for ising. Islaster beregnet basert på ledningens faktiske, horisontale orientering i terrenget er ofte lavere enn på et referanseobjekt, spesielt når ledningen er orientert parallelt med isførende vindretning. Det er også viktig å huske at islastene i kartet representerer én enkelt episode, og kan ikke knyttes til returperioder uten en kobling mot lange dataserier. Dette gjøres i Kapittel 4.

Kartet viser at traseen stort sett ligger relativt gunstig til i terrenget og unngår områdene med mest is. Den mest utsatte strekningen langs traseen er alternativ 1.4 ved Bogen (over Dragvikfjellet), hvor maksimal islast er beregnet til 18 - 22 kg/m under episoden. Trasealternativ 1.2/1.4 ved Kvitfors og strekningen nord for Kanstadvfjellet er også noe utsatt, hvor maksimale islaster er beregnet til 8 - 12 kg/m under episoden.

Tilsvarende isingskart for episode 2 finnes i Vedlegg A.

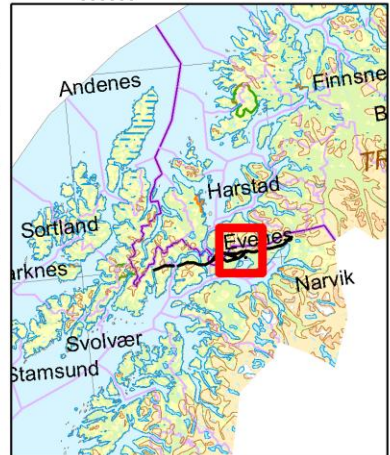


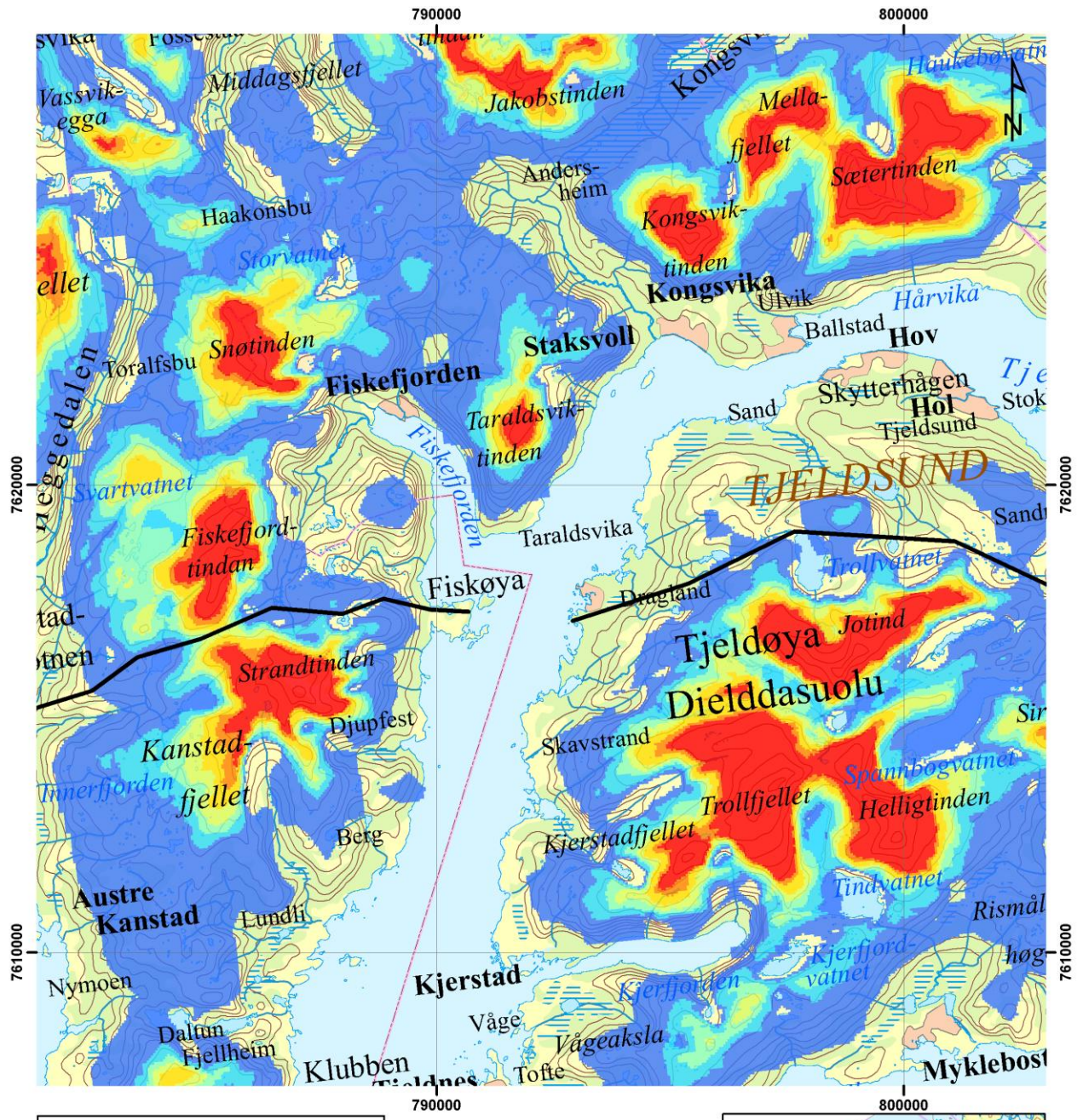
0 1 2 4 km

Kvandal - Kanstadbotn			
Figure/Drawing Title: Isingsepisode 14. - 26. feb 1982			
File Name: kvandal_kanstadbotn.mxd	Rev: Rev 1		
By: ECI	Date: 22/08/2016	Checked: BEN	Date: 22/08/2016
Scale: 1:109 677	Paper Size: A4		
Datum: WGS84	Projection: UTM33		



**Statnett**





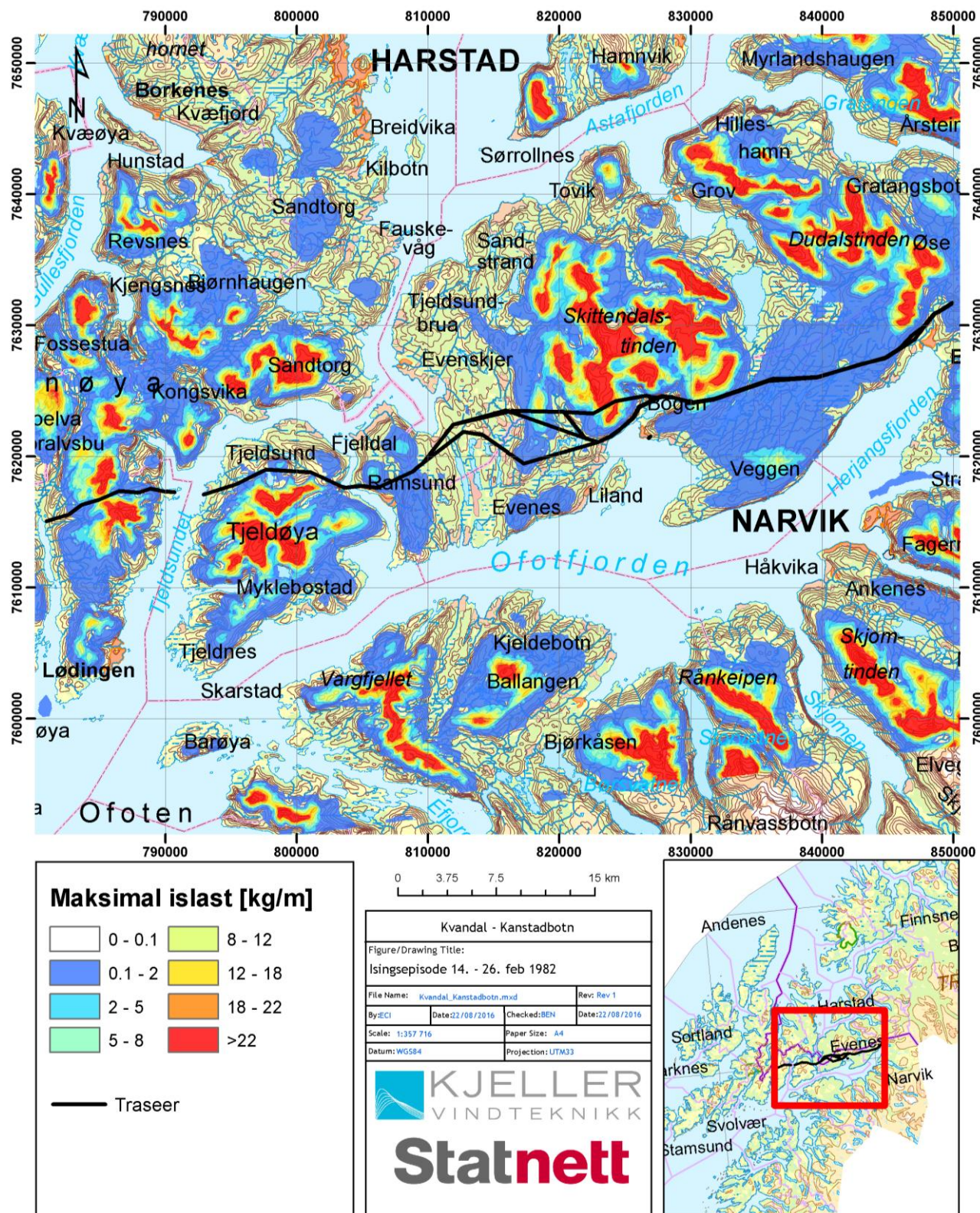
0 1 2 4 km

Kvandal - Kanstadbotn			
Figure/Drawing Title: Isingsepisode 14. - 26. feb 1982			
File Name:	Kvandal_Kanstadbotn.mxd	Rev:	Rev 1
By:ECI	Date:22/08/2016	Checked:BN	Date:22/08/2016
Scale:	1:109 677	Paper Size:	A4
Datum:	WGS84	Projection:	UTM33



**Statnett**



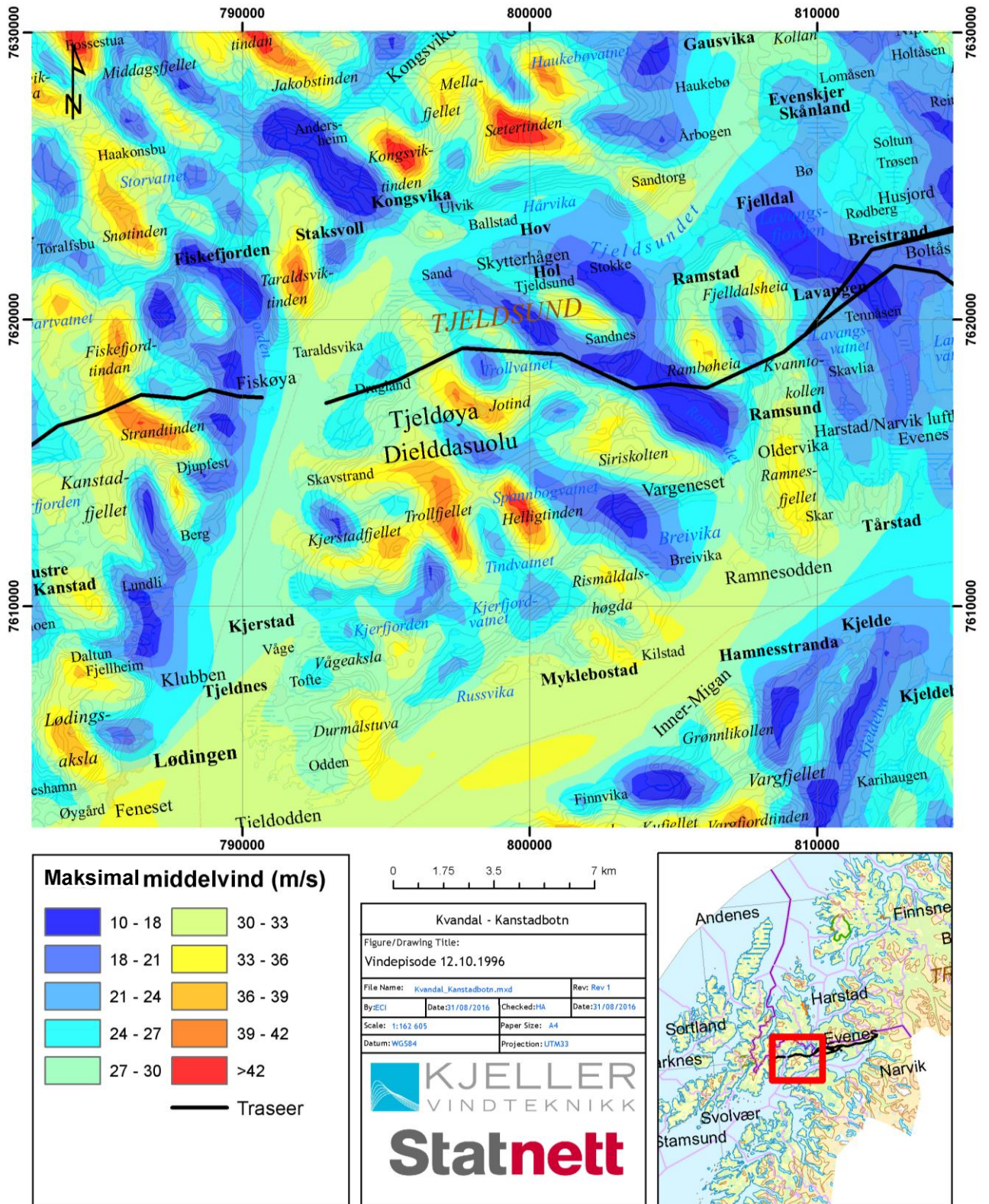


Figur 3-3: Simulert maksimal akkumulert islast (kg/m<sup>2</sup>) på et referanseobjekt i ca 17 m høyde over bakken for perioden 14. - 26. februar 1982, for hele traseen (nederst) og utsnitt over utsatte området (de to øverste).



### 3.3 Finskala vindkart

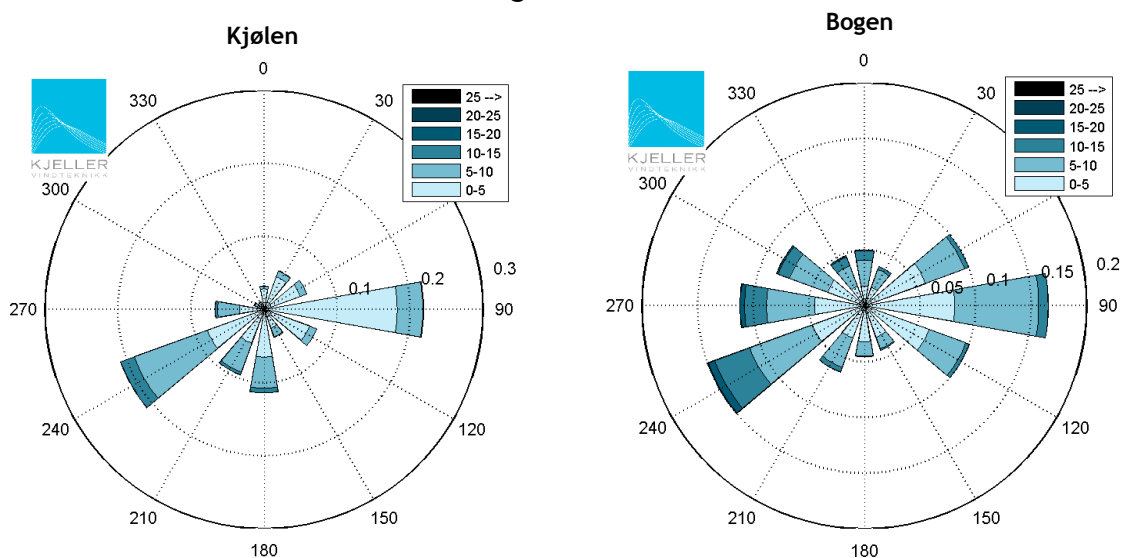
Under to kraftige stormer 12. oktober 1996 og 2. mars 2011 havarerte til sammen fire master på nordsiden av Tjeldøya. Disse stormene er også simulert med WRF500m. Kart over maksimal middelvind under 1996-stormen, som hadde de kraftigste vindhastighetene, er vist i Figur 3-4 (dette er et utsnitt - kart for hele traseen finnes i Vedlegg A). De høyeste vindhastighetene er av størrelse 40 - 45 m/s og forekommer på fjelltopper og rygger, som er typisk for en storm i komplekst terreng ved vind inn fra havet. Vindfeltet er forventet å gjenskapes relativt godt i områder hvor topografien er tilstrekkelig representert av modellen med 500 m oppløsning. Modellen vil feile for områder hvor fjellene er for bratte og dalene er for trange. Dette er for eksempel tilfellet for Fiskefjordskardet (hvor siste del av traseen fremføres), som er en bratt og trang kløft gjennom fjellet som blir glattet ut i modellen. Fjellryggen ved Jotind på Tjeldøya er meget smal og bratt, og blir også glattet ut i modellen. Modellert vind over denne ryggen blir dermed trolig underestimert. Gjennomsnittsvinden ved havariområdet ved Trollvatnet, nord for Jotind, er muligens godt gjenskapt av modellen. Kartet her viser relativt lav gjennomsnittsvind under stormen, men mastehavariene ble trolig forårsaket av sterke vindkast (finskala turbulensvirkler) utløst av fjellryggen på sørsiden. Middelvinden ved fjellryggen ved Jotind i kartet kan antageligvis regnes som en nedre grense for de faktiske vindkastene på havaristedet under stormen i 1996, som sannsynligvis var høyere enn 45 m/s. Modellen er ikke i stand til å simulere vindkast direkte, som foregår på en meget fin tidsskala og med en liten horisontal utstrekning.



Figur 3-4: Simulert maksimal middelvind (m/s) under stormen 12.10.1996.

## 4 Beregning av klimalaster

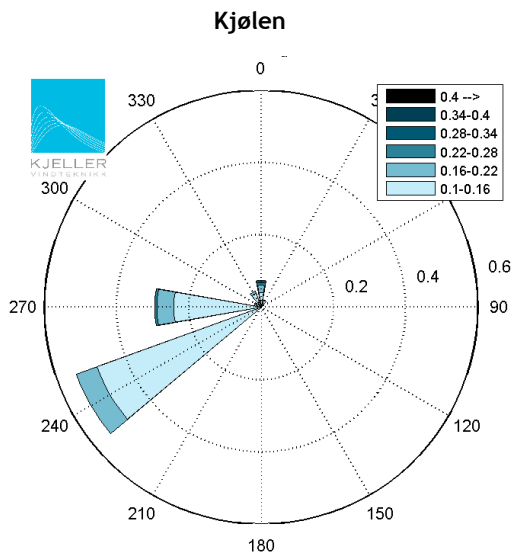
I Figur 4-1 er vindroser vist for to ulike WRF modellpunkt. Til venstre vises modellpunkt Kjølén (markert med lilla sirkel i kartet i Figur 2-1), som representerer et relativt flatt, åpent, lavtliggende område langs traseen. Vindrosen viser dominerende vindretninger fra sørvest og øst parallelt med terrenget. Til høyre vises modellpunkt Bogen (markert med rød sirkel i kartet i Figur 2-1), som representerer det høgstliggende og mest eksponerte området av traseen. Vindrosen her viser hyppig forekomst av vind i sektorene fra sørvest til nordvest og nordøst til sørøst. Sterk vind i området forekommer generelt fra sørvest.



Figur 4-1: Vindroser for perioden 1979 - 2015, 15 m over midlere terreng høyde, basert på WRF4km data vindkorrigert mot WRF1km-punkt (punktene er markert med sirkler i kartet i Figur 2-1). Fargekoden på vindrosen viser vindhastighet som 10 min middelvind (m/s). Lengden på hver sektorstolpe indikerer andelen av tiden med vind fra gitt retning.

### 4.1 Våtsnø

Våtsnø er dominerende isingstype i lavlandet. En analyse av våtsnø blir foretatt modellpunkt Kjølén som ligger relativt lavt i terrenget (273 moh.) (modellpunktet er markert med lilla sirkel i kartet i Figur 2-1). Figur 4-2 viser isingsintensitet for våtsnø for hver vindsektor, som gir et bilde av ved hvilke vindretninger de største våtsnølastene vil akkumuleres. Det kan sees at våtsnø for det meste forekommer ved vind fra sørvest og vest i området.



Figur 4-2: Isingsintensitet (kg/m pr. time) for våtsnø for hver vindsektor, basert på WRF4km data vindkorrigert mot WRF1km-punkt. Lengden på hver sektorstolpe indikerer andelen av tiden med isingsintensitet over 0.1 kg/m pr. time innen gitt vindretning.

Ekstremverdier av akkumulerte islaster fra våtsnø er beregnet ved bruk av POT metoden som beskrevet i Kapittel 2.5.1. og korrigert med medianverdien beregnet gjennom ensemblemetoden beskrevet i Kapittel 2.3.1. Våtsnølaster med ulike returperioder er gitt for fire forskjellige ledningsretninger samt en retningsuavhengig verdi i Tabell 4-1 for modellpunkt Kjølen. Disse verdiene gir en indikasjon på nivået på våtsnølastene for ulike ledningsorientering for de laveliggende, åpne områdene langs traseen. 150-års maksimal (retningsuavhengig) våtsnølast er beregnet til 8.6 kg/m. Ledningen er stort sett orientert i retning mellom øst - vest og nordøst - sørvest, mer eller mindre parallelt med isførende vindretning, som gjør at lastene reduseres betraktelig.

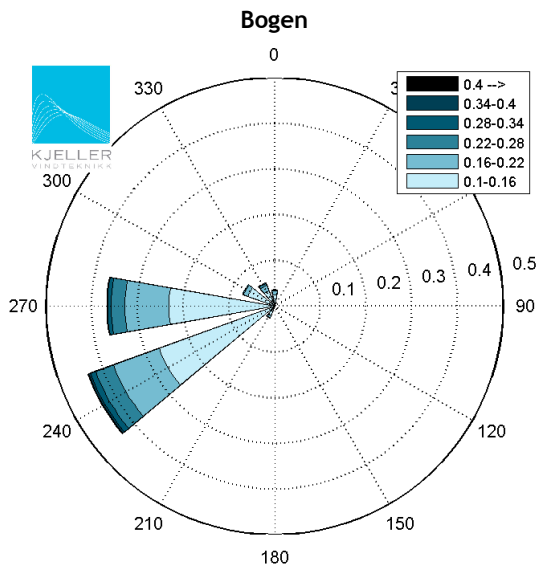
Tabell 4-1: Beregnede returverdier for islast fra våtsnø (kg/m) på en horisontal ledning orientert i ulike retninger. \*150-års laster er ikke beregnet direkte men skalert fra 50 års verdiene med en overgangsfaktor på 1.25, som er hentet fra NEK445:2009.

#### Kjølen 273 moh.

Linjeretning	Returverdier våtsnø (kg/m)						
	2 år	3 år	5 år	10 år	25 år	50 år	150 år*
N-S (0°)	1.2	1.4	1.9	2.6	4.1	5.6	7.0
NØ-SV (45°)	0.6	0.7	0.9	1.3	2.2	3.1	3.8
Ø-V (90°)	0.5	0.6	0.7	0.9	1.3	1.7	2.1
SØ - NV (135°)	1.1	1.3	1.7	2.3	3.3	4.3	5.4
Retningsuavhengig	1.4	1.7	2.2	3.1	4.9	6.9	8.6

## 4.2 Skyising

Skyising vil dominere for de høyereliggende strekningene av traseen, som kan sees i kartene i Figur 3-3. En analyse av skyis blir foretatt for traseen høgstliggende og mest eksponerte punkt nord for Bogen på traséalternativ 1.4 (modellpunktet er markert med rød sirkel i kartet i Figur 2-1). Figur 4-3 viser skyisingsintensitet for hver vindsektor for modellpunktet. Den viser at skyising i hovedsak forekommer ved vind fra sørvest og vest i området.



Figur 4-3: Isingsintensitet (kg/m pr. time) for skyis for hver vindsektor, basert på WRF4km data vindkorrigert mot WRF1km-punkt. Lengden på hver sektorstolpe indikerer andelen av tiden med isingsintensitet over 0.1 kg/m pr. time innen gitt vindretning.

Returverdier for skyis fra modellen er beregnet ved bruk av GEV metoden som beskrevet i Kapittel 2.5.1. Skyislaster med ulike returperioder er gitt for fire forskjellige ledningsretninger samt en retningsuavhengig verdi i Tabell 4-2 for modellpunkt Bogen. 150-års maksimal skyislaster er beregnet til 68.7 kg/m, som gjelder der traseen krysser over Dragvikfjellet på traséalternativ 1.4. Ledningen har her en nordøst - sørvest orientering, med en liten vridning mot øst - vest. Dette er en relativt gunstig orientering da isingen ofte vil være parallell med ledningen. Lasten er beregnet til 29.1 kg/m for en nordøst - sørvest orientering, mens den er 9.9 kg/m for en øst - vest orientering. Det ble foretatt en sammenlikning med data fra WRF500m i kapittel 3.1 for dette modellpunktet for to korte episoder med høy isingsintensitet. Det ble funnet at mengde og fordeling av skyvann i de ulike vindsektorene er relativt lik i fin- og grovskala modell, mens isførende vindretning er noe forskjellig. Finskala dataene viste at isingen i hovedsak forekommer fra sørvest, mens grovskala dataene (som er vindkorrigert mot 1km data) viste et relativt stort bidrag også fra vest. Om ising fra vest reduseres i WRF4km dataene vil islasten beregnet for en ledningsorientering på nordøst - sørvest reduseres. En lengre finskala dataserie (WRF500m) kreves dog før en kan bruke resultatene til eventuelt å korrigere WRF4km dataene før returperioder beregnes. De foreløpige resultatene gir en indikasjon på at maksimale, retningsuavhengige laster over Dragvikfjellet på traséalternativ 1.4 kan bli meget høye, men at de reduseres betraktelig når ledningens orientering tas i betraktning.

Beregnete returverdier for modellpunkt Bogen brukes sammen med skyisingskartene i Figur 3-3 som en indikasjon på den romlige fordelingen av islaster da de foreløpige dimensjonerende lastene skal fastsettes i kapittel 4.4.

Tabell 4-2: Beregnede returverdier for islast fra skyising (kg/m) på en horisontal ledning orientert i ulike retninger. \*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.

### Bogen 684 moh.

Linjeretning	Returverdier skyis (kg/m)						
	2 år	3 år	5 år	10 år	25 år	50 år	150 år*
N-S (0°)	13.5	16.5	20.7	27.6	39.5	51.6	64.5
NØ-SV (45°)	6.1	7.6	9.7	12.9	18.2	23.2	29.1
Ø-V (90°)	3.0	3.5	4.1	5.1	6.5	7.9	9.9
SØ - NV (135°)	10.9	13.3	16.6	21.9	31.1	40.4	50.5
Retningsuavhengig	15.1	18.2	22.5	29.6	42.2	55.0	68.7

## 4.3 Vindlaster

Ekstremverdier for vindkast er beregnet for en høyde på 15 m over bakken. Referansevindhastighet (10 min middelvind i 10 m høyde) gitt i NS-EN 1991-1-4 er 26 m/s for Evenes kommune, 27 m/s for Tjeldsund og 29 m/s for Lødingen. Kommuneverdien for Evenes er også representativ for første del av trassen som går gjennom Narvik kommune. Lødingen kommune dekker et område som ligger i kystlinja, med åpent hav mot sørvest, og er derfor eksponert mot sterk vind. Siste del av traseen som ligger i Lødingen kommune fremføres over et fjellparti omtrent 16 km fra kysten, og referanseverdien fra standarden er noe høy. 50-års vindkast i 15 meters høyde over bakken er beregnet ut i fra metodene og formelverket gitt i NS-EN 1991-1-4 og vist i Tabell 4-3. Traseen fremføres gjennom variert terreng, og verdier for vindkast vises derfor for tre forskjellige terrengkategorier (hvor nr. 1 er typisk åpent fjellterreng med ruhetsslengde 0.01 m, nr. 2 er terreng med lav, spredt vegetasjon med ruhetsslengde 0.05 m, og nr. 3 er typisk skogkledd terreng med ruhetsslengde 0.5 m).

Tabell 4-3: Beregnede 50-års vindkast i 15 meters høyde over bakken, basert på metodene og formelverket gitt i NS-EN 1991-1-4. Beregnet basert på referanseverdien for de tre kommunene Evenes, Tjeldsund og Lødingen, og for tre forskjellige terrengkategorier.

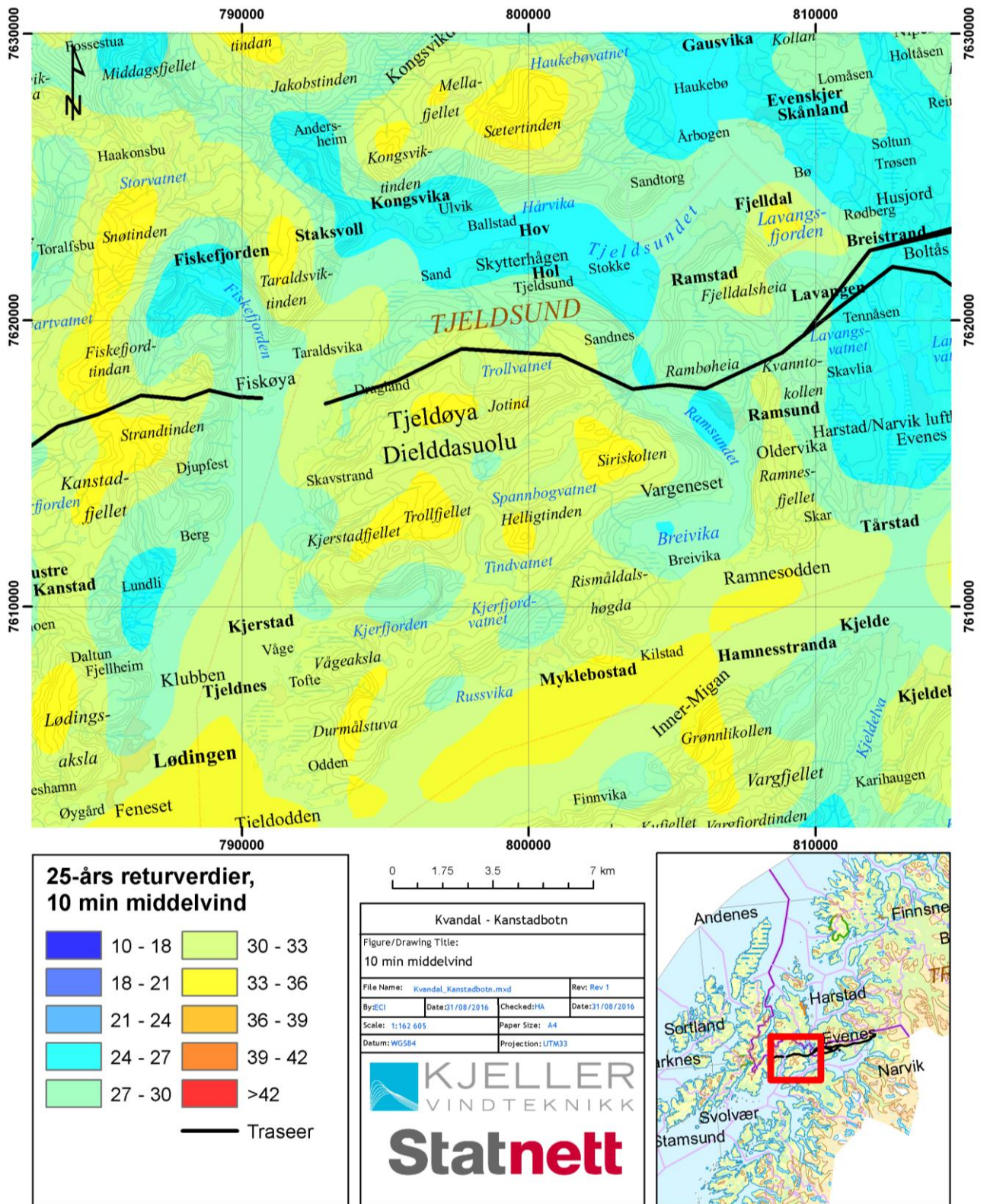
	50-års vindkast i 15 m (m/s)		
	Evenes	Tjeldsund	Lødingen
Terrengkategori 1	45.2	46.9	50.4
Terrengkategori 2	42.1	43.7	46.9
Terrengkategori 3	34.5	35.8	38.5

Beregningene basert på denne metoden fra vindstandarden forutsetter et relativt flatt og homogent terreng, uten påvirkning fra nærliggende terrengformasjoner. For enkelte partier langs traseen, som vest for Nattmålstuva på første del av trassen, vest for Stortinden ved Bogen og nord for Jotind og Tindhola på Tjeldøya bør det legges til en ytterligere forsterkning av vindkastene. Metoder for å bestemme vindkastforsterking bak bratt terreng er beskrevet i vindstandardens.

Siden traseen fremføres i et varierende terreng, hvor man i utgangspunktet forventer store, lokale variasjoner i vindforholdene, ønsker vi å studere resultater fra modellsimuleringene. Beregninger av ekstrem middelvind med 25-års returperiode (som er typisk for en storm av styrke som den i 1996 nevnt tidligere) er vist for et utsnitt av traseen over Tjeldøya i Figur 4-4 (for hele traseen se Vedlegg A). Kartet er basert på en Gumbel-Lieblein analyse av WRF4km data

langtidskorrigert mot ett år med WRF modelldata med en horisontal oppløsning på 1 km x 1 km (se Liléo et al. 2013 for en nærmere beskrivelse av metodikk). Det resulterende datasettet er glattet før kartet lages, men har altså en effektiv oppløsning på 1 km. Kartet kan bli sammenliknet med finskalakartet (500 m x 500 m) i Figur 3-4 under kapittel 3.3 for stormen i 1996, som tidligere er blitt estimert til å ha en liknende returperiode (20 - 30 år, ref. Teknisk Rapport, Fikke, 1996). Ekstremvindskartet har dog en lavere horisontal oppløsning og løser opp færre av detaljene i vindfeltet enn finskalakartet, for eksempel er vindmaksima på fjelltopper underestimert i forhold til finskala vinden.

På grunn av den meget komplekse orografien i Lofoten kan ikke et ekstremvindkart med en oppløsning på 1 km brukes til å nøyaktig fastsette vindlaster for utsatte områder. Et mer nøyaktig ekstremvindkart kan utarbeides basert på minst ett år med simuleringer med 500 m oppløsning, men et slikt kart vil fortsatt ikke kunne representere vindfeltet nøyaktig for områder med kompleks topografi (diskutert under kapittel 3.3). Mulige løsninger basert på CFD (computational fluid dynamics) eller LES (large-eddy simulations) med meget høy romlig oppløsning bør vurderes.



Figur 4-4: Kart over 25-års returverdier for ekstrem 10-min middelvind, basert på WRF4km data vindkorrigert mot WRF1km data.



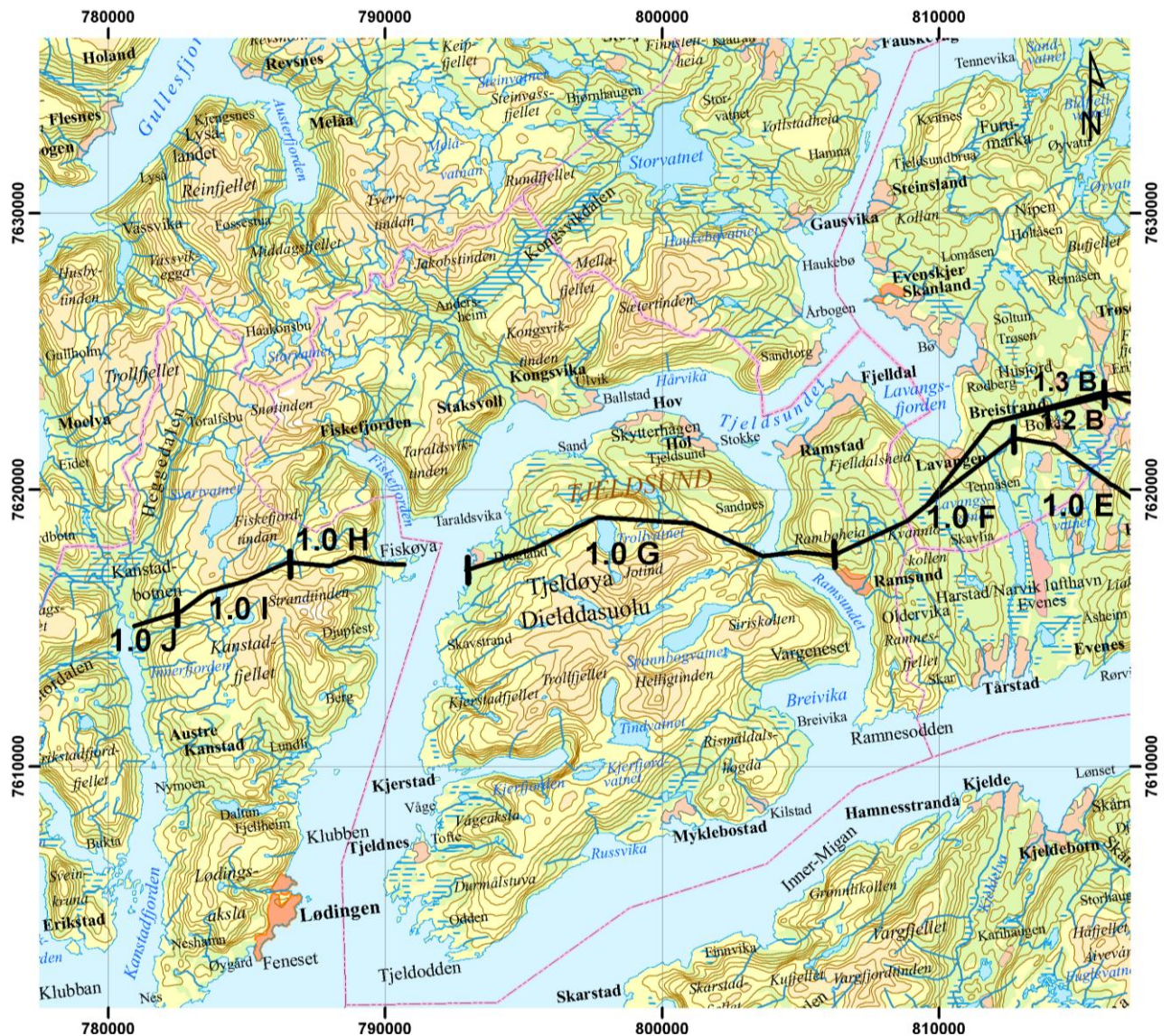
## 4.4 Foreløpige klimalaster

De foreløpige klimalastene i Tabell 4-4 er gitt med referanse til trasékart med inndeling i Figur 4-5. Islaster er gitt med 150-års returperiode, og vindlaster er gitt med 50-års returperiode, i 15 meters høyde over bakken. Klimalastene er bestemt med utgangspunkt i resultatene fra Kapittel 2.2, og variasjoner på lokal skala er også tatt hensyn til gjennom en erfaringsbasert vurdering. Inndelingen av de foreløpige lastene er relativt grov og er for enkelte strekninger gitt med et bredt intervall. Den største lasten i intervallet er et øvre estimat basert på foreløpige beregninger. De brede intervallene spenner også ut variasjonen i laster med terrenghøyde. Den høyeste lasten vil kun gjelde for toppunkt, eller det mest utsatte partiet på strekningen.

Tabell 4-4: Foreløpige klimalaster for 132 kV Kvandal - Kanstadbotn. Lastene er gitt med referanse til trasekart med inndeling i Figur 4-5. Islaster har 150-års returperiode, og vindkast, både maksimalverdi og normalkomponent, har 50-års returperiode. Under Islast betegner VS våtsnø og SI skyis.

Strekning	Islast (kg/m)	Vindkast, maksimalverdi (m/s)	Vindkast, normalkomp. (m/s)	Kommentarer
1.0 A	4 VS	40	34	Mulig vindkastforsterkning bak Nattmålstuva ved sterk vind fra vest. 10 % kastforsterkning er lagt til grunn.
1.0 B	3 VS	38	32 - 34	
1.0 C	4 - 12 SI	39 - 45	35 - 38	Skyisutsatt strekning. Trolig høy parallellkomponent med ledningen. Islastene øker med terreng høyden.
1.0 D	4 VS	35 - 40	32 - 36	Mulig vindkastforsterkning bak Stortinden ved sterk vind fra vest. 10 % kastforsterkning bør vurderes for deler av strekningen.
1.0 E	6 VS	36 - 42	34 - 40	
1.0 F	4 VS	42	38	
1.0 G	6 - 10 VS	50 - 55	45 - 55	Område utsatt for kraftig vindkast ved vind fra sør og sørvest. Det er tatt hensyn til kastforsterkning bak bratt terreng i henhold til vindstandarden.
1.0 H	6 - 8 VS	48 - 52	46 - 50	
1.0 I	6 - 10 SI	46 - 50	44 - 48	Skyising forventes gjennom Fiskefjordskaret ved vind fra vest med høy parallellkomponent med ledningen.
1.0 J	6 VS	37 - 46	35 - 44	
1.1	4 VS	40	34	Se kommentar til 1.0 A.
1.2 A	5 VS	38	35	
1.2/1.4	5 - 15 SI	35 - 50	32 - 45	Modellanalysen indikerer skyising over høydedraget øst for Kvitfors. Islastene øker med terreng høyden fra minimum 5 kg/m for de lavereliggende delene av strekningen, til en makslast opp mot 15 kg/m i toppunktet. Makslasten er usikker. Lokal vindforsterkning over toppen.
1.2 B	4 VS	36	32 - 34	
1.2/1.3	5 VS	38	35	
1.3 A	5 - 15 SI	35 - 50	32 - 45	Se kommentar til 1.2/1.4. Traseen ligger her omtrent 40 m lavere enn alternativ 1.2/1.4, men isingen vil ha en større normalkomponent på ledningen her.
1.3 B	4 VS	36	32 - 34	
5.0	5 - 8 VS	38 - 40	35 - 37	Partiet forbi Geitslettvatnet kan være utsatt for våtsnøising og kraftigere vind som følge av lavere ruhet på underlaget og mindre skjerming.
1.4	4 - 30 SI	35 - 50	32 - 40	Modellanalysen indikerer kraftig skyising over Dragvikfjellet, men har trolig en høy parallellkomponent med ledningen. Islastene øker med terreng høyden fra minimum 4 kg/m for de lavereliggende delene av strekningen, til en makslast opp mot 30 kg/m i toppunktet. Makslasten er usikker. Vinden forsterkes noe gjennom skaret over toppen.





Figur 4-5: Trasékart med inndeling og nummerering for tildeling av foreløpige klimalaster i Tabell 4-4.

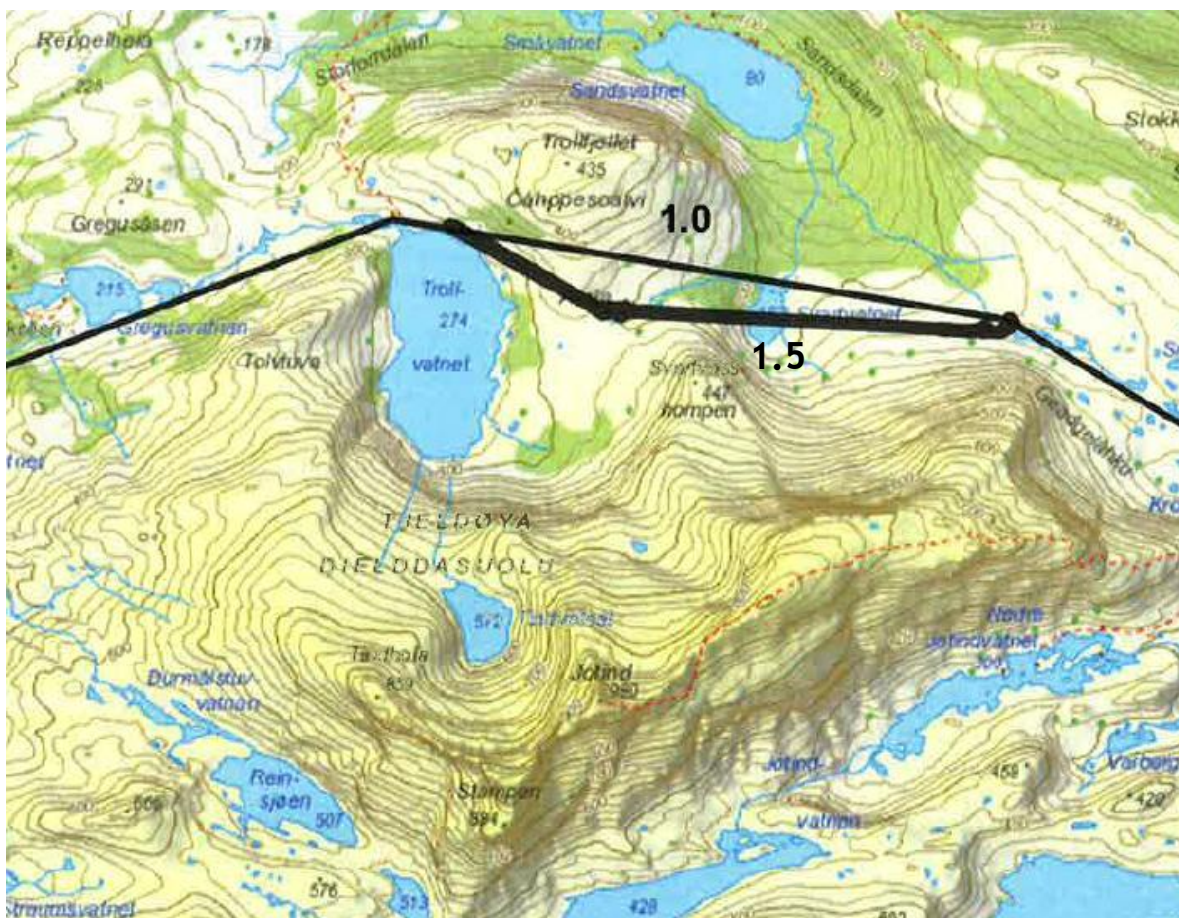
## 4.5 Vurdering traséalternativ 1.5 på Tjeldøya

Statnett har mottatt et innspill (22.10.2016) fra hytteeier Per-Harald Jensen med forslag til endring av traseen ved Svartvatnet og Trollfjellet på Tjeldøya (alternativ 1.5). Traséforslaget kan sees i Figur 4-6. Jensen argumenterer for at linja må legges lenger ned i dalen mellom Svartvatnet og Trollvatnet for å unngå det værharde partiet over Trollfjellet, der linja har hatt de største utfordringene. Det var også her to master havarerte under stormen i 1996 (se meteorologisk rapport fra Svein Fikke datert 28.10.96). Jensen beskriver at det er "fallvær" fra sørvest som skaper problemer på eksisterende linjetrasé.

Jensens beskrivelse av de lokale vindforholdene er forenelig med KVTs vurderinger. Den kraftigste høydevinden i området ligger vanligvis omkring sørvest. Når denne strømmer over de

bratte fjellformasjonene som utgjør Tindhola, Stampen og Jotind kan høydevinden presses ned i lavere områder på lesiden. I tillegg kan de bratte fjellformasjonene generere kraftige virvler som fraktes nedover fjellsiden og kan treffe området ved Trollvatnet og Trollfjellet. Fjellformasjonen er kompleks og forholdene nedstrøms formasjonen, for eksempel ved Trollvatnet og Trollfjellet, er særlig avhengig av vindretningen. Under stormen i 96 beskrev Svein Fikke at vindretningen hadde vært SSV-SV. Denne vinden kom derfor inn både over selve Tindhola og over ryggen mot nordvest. Dette gir grunnlag for en strukket virvel med sterke vindkast rett mot ledningen. Sannsynligvis har denne situasjonen gitt kraftigere vindkast oppover Trollfjellet enn nede i dalføret. En slik vindretning vil også treffe med mindre normalkomponent på det nye traséalternativet.

Men som sagt vil problemområder variere med værtype og vindretning, og kraftige virvler kan også bli ført helt ned til dalbunnen ved andre værtilstander. Det er dermed vanskelig å konkludere på generell basis med at det foreslåtte alternativet er mindre utsatt for kraftige vindkast. En må regne med at hele området mellom Jotind og Trollfjellet er eksponert for kraftige vindkast, og at små endringer i plassering av traseen vil utgjøre en liten forskjell. Ønsker man derimot å studere dette mer i detalj kan en ta i bruk av andre verktøy, som for eksempel en CFD modell. En samtale og befaring sammen med hytte-eieren kan også gi nyttig informasjon.



Figur 4-6: Trasékart over Tjeldøya med forslag til alternativ trasé (alt. 1.5) forbi Svartvatnet, Trollfjellet og Trollvatnet. Forslag fra hytteeier ved Svartvatnet, Per-Harald Jensen.

## 5 Referanser

---

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

Fikke, Svein, 132 kV Kvandal - Kanstadbotn og 132 kV Kanstadbotn - Hinnøy, Mastehavariet 12.10.96, Meteorologiske forhold omkring havaritidspunktene, Teknisk Rapport, Statnett, 1996.

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

ISO/TC98/SC3/WG6, Atmospheric icing of structures, International Standard, ISO 12494, 2000

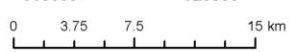
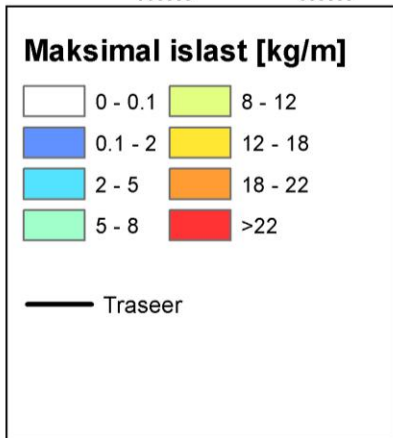
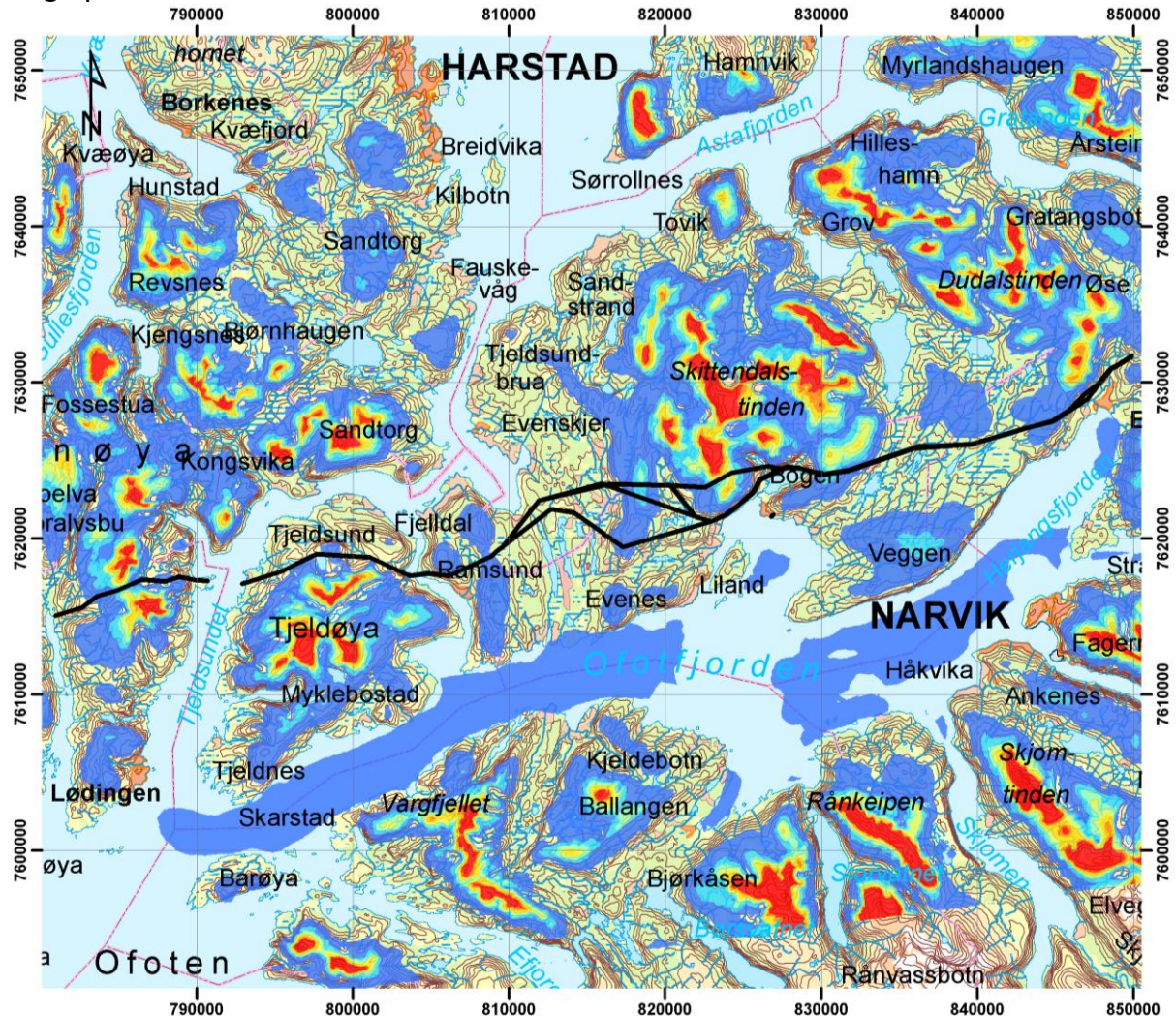
Liléo S., E. Berge, O. Undheim, R. Klinkert og R. E. Bredesen, "Long-term correction of wind measurements. State-of-the-art, guidelines and future work", Elforsk report 13:18, 2013.

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

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

# Vedlegg A: Finskala kart

Isingsepisode #2

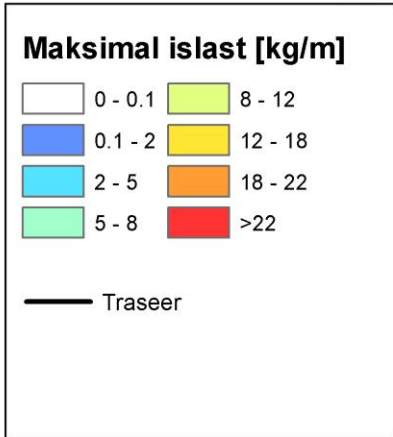
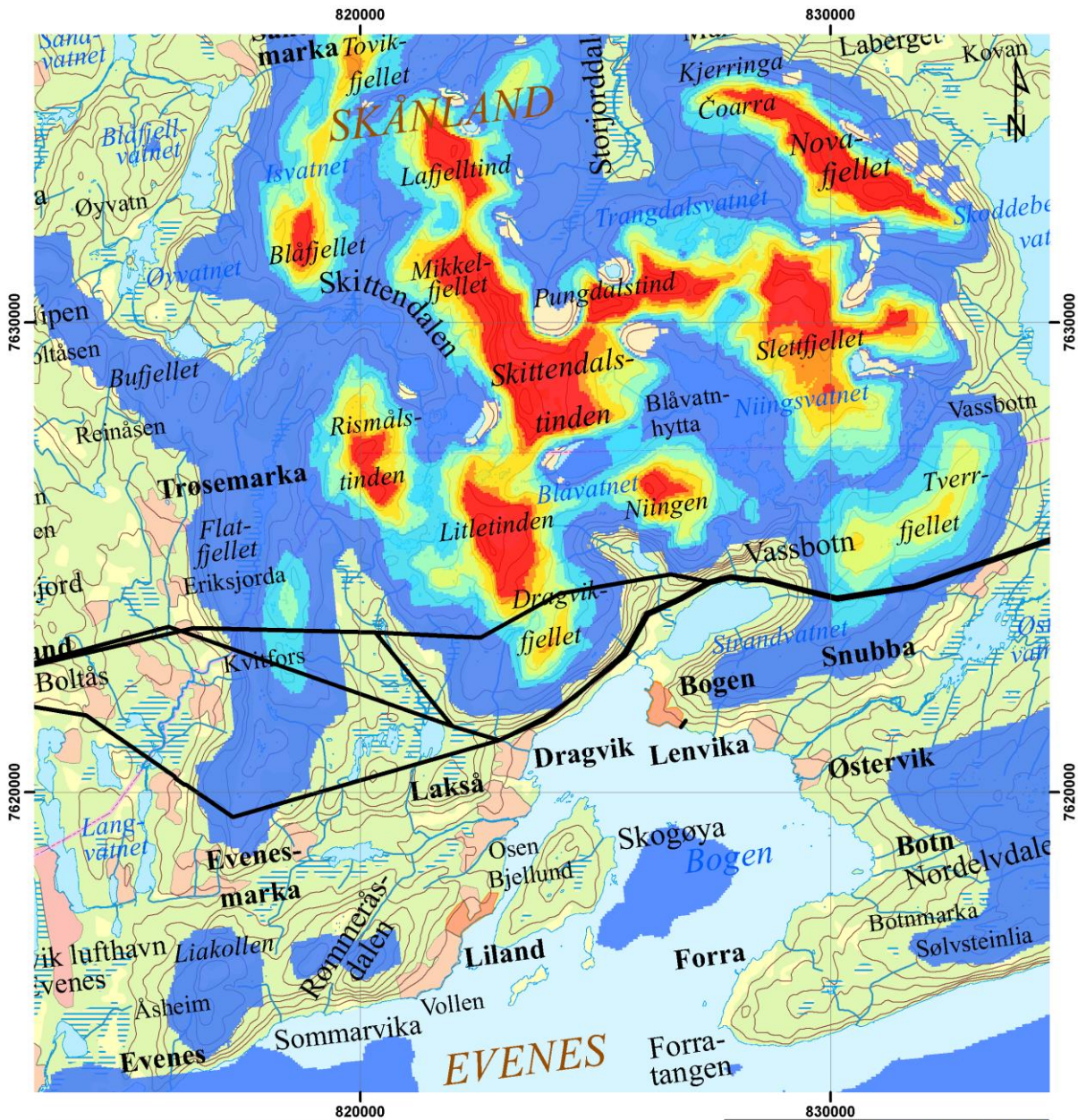


Kvandal - Kanstadbotn			
Figure/Drawing Title: Isingsepisode 06. - 24. jan 2000			
File Name: Kvandal_Kanstadbotn.mxd	Rev: Rev 1		
By:ECI	Date:22/08/2016	Checked: BEN	Date:22/08/2016
Scale: 1:357 716	Paper Size: A4		
Datum: WGS84	Projection: UTM33		



**Statnett**





Kvandal - Kanstadbotn

Figure/Drawing Title:  
Isingsepisode 06. - 24. jan 2000

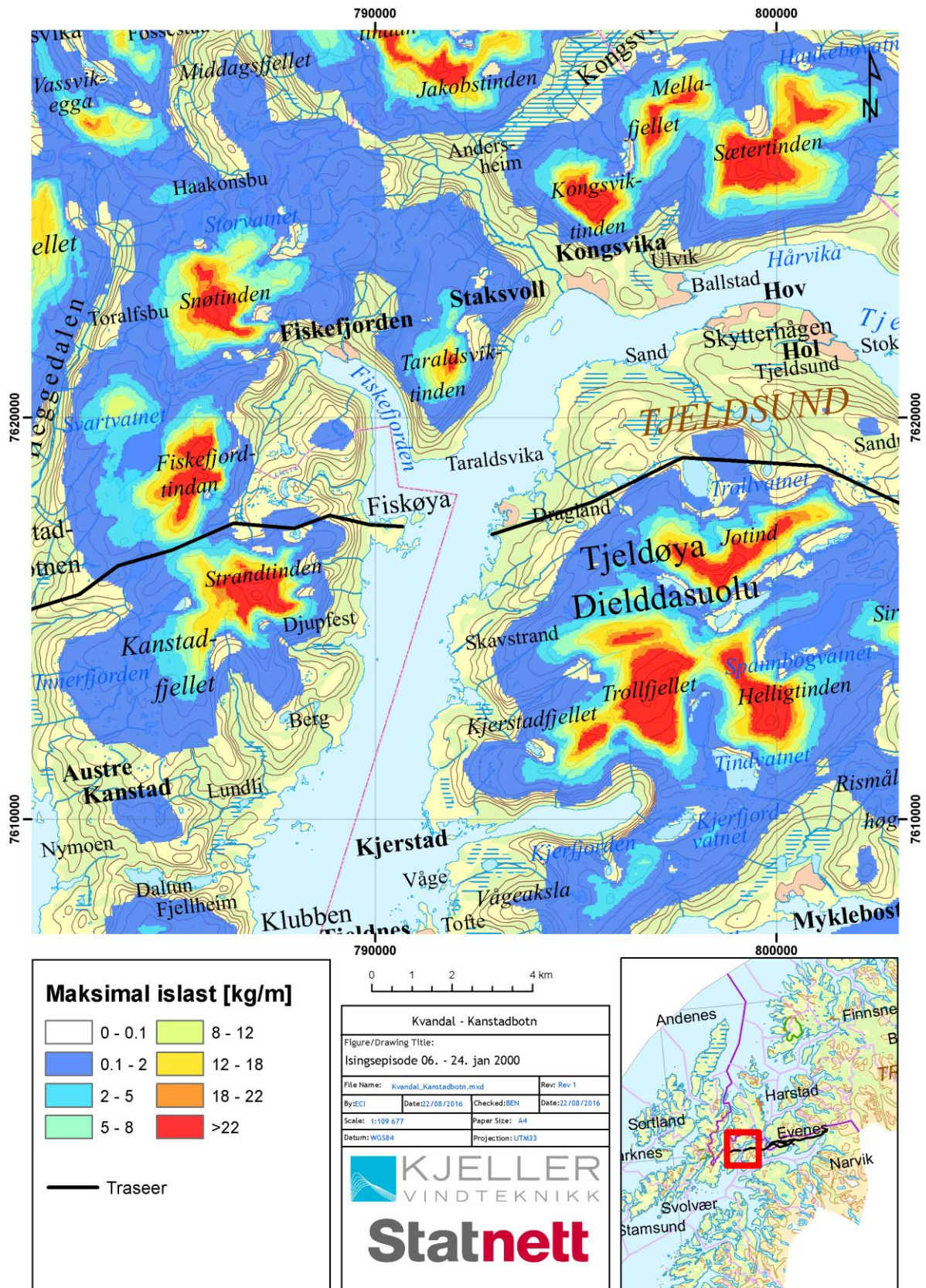
File Name: Kvandal_Kanstadbotn.mxd	Rev: Rev 1		
By: ECI	Date: 22/08/2016	Checked: BEN	Date: 22/08/2016
Scale: 1:109 677	Paper Size: A4	Datum: WGS84	
Projection: UTM33			



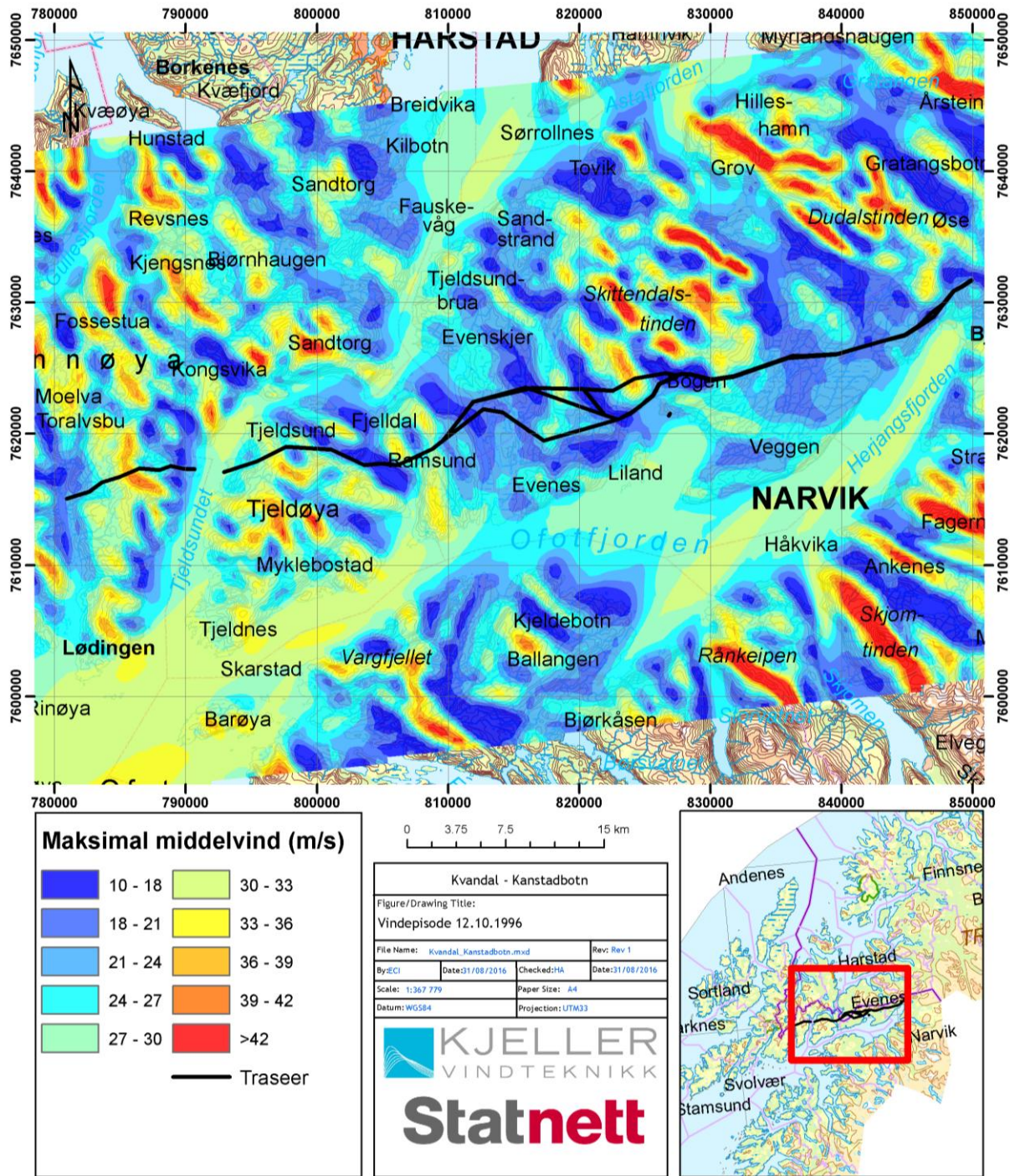
**Statnett**



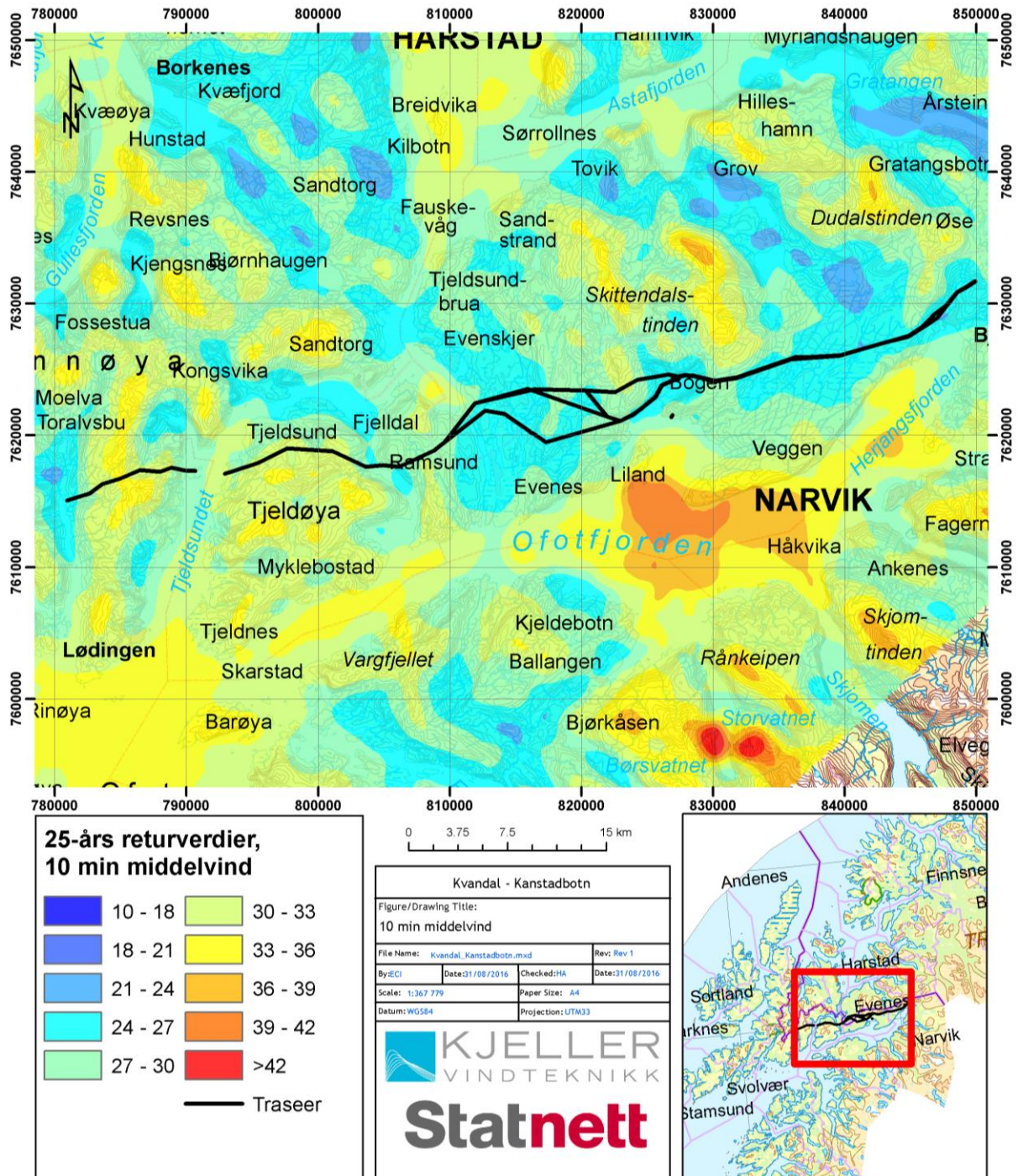




Figur A-1: Simulert maksimal akkumulert islast (kg/m) på et referanseobjekt i ca 17 m høyde over bakken for perioden 06. - 24. jan 2000, for hele traseen (øverst) og for to utsnitt (midten og nederst).



Figur A-2: Simulert maksimal middelvind (m/s) under stormen 12.10.1996.



Figur A-3: Kart over 25-års returverdier for ekstrem 10-min middelvind, basert på WRF4km data vindkorrigert mot WRF1km data. Den store oransje flekken i Ofotfjorden skyldes feil i datagrunnlaget.

# Vedlegg B: 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)<sup>3</sup>. Details about the modelling structure, numerical routines and physical packages available can be found in for example Klemp et al. (2000)<sup>4</sup> and Michalakes et al. (2001)<sup>5</sup>. The development of the WRF-model is supported by a strong scientific and administrative community in U.S.A. The number of users is large and it is growing rapidly at an international level. In addition, the code is freely accessible for the public.

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

## Input Data

The most important input data are geographical- and meteorological data. The geographical data is from the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). The data includes topography, surface data, albedo and vegetation. These parameters have high influence for the wind speed in the layers close to the ground. For the entire domain except for Sweden and Norway, the model uses land use data input from NOAA. The land use data for Sweden is retrieved from the Geografiska Sverigedata (GSD)-Land Cover which is classified in accordance with the European Union's CORINE Land Cover mapping project<sup>6</sup>. For Norway, the model input uses the N50 land use data provided by the Norwegian Mapping Authority<sup>7</sup>.

For the solving of the model equations, boundary conditions of the area are required. 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)<sup>8</sup> and is

---

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

<sup>4</sup> Klemp JB., Skamarock WC. and Dudhia J., 2000: Conservative split-explicit time integration methods for the compressible non-hydrostatic equations (<http://www.wrf-model.org/>)

<sup>5</sup> Michalakes J., Chen S., Dudhia J., Hart L., Klemp J., Middlecoff J., and Skamarock W., 2001: Development of a Next Generation Regional Weather Research and Forecast Model. Developments in Teracomputing: Proceedings of the Ninth ECMWF Workshop on the Use of High Performance Computing in Meteorology. Eds. Walter Zwiefhofer and Norbert Kreitz. World Scientific, Singapore.

<sup>6</sup> <http://www.eea.europa.eu/publications/COR0-landcover>

<sup>7</sup> [http://www.kartverket.no/eng/Norwegian\\_Mapping\\_Authority/](http://www.kartverket.no/eng/Norwegian_Mapping_Authority/)

<sup>8</sup> <http://www.emc.ncep.noaa.gov/gmb/para/parabout.html>

available as global data with 1 degree resolution every 6 hours. FNL is an operational assimilation model that incorporates all available observation data globally, and uses this data to create a global analysis dataset, or a snapshot of the atmosphere, four times every day. The assimilation model incorporates data from several thousand ground based observation stations, vertical profiles from radiosondes, aircrafts, and satellites.

Similar lateral boundary data is also available from the European Center for Medium range Weather Forecasting (ECMWF). The reanalysis data ERA Interim<sup>9,10</sup> is available with a spatial resolution of approximately 0.7 degrees globally. Data is available every 6 hours. The ERA interim dataset does also assimilate observational data. For weather forecasting the datasets from ECMWF is usually accepted to have higher quality compared to NCEP datasets, in particular for the European region.

### Model Setup

The course model setup used in this analysis is shown in Figure B-1, left. The simulations of the northern European region have been performed for 37 years covering the period 1979-2016. The model has been set up with 2 nested domains. The horizontal resolution is 4 km x 4 km.

The ECMWF-ERA Interim 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 MYJ 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 model setup used in this analysis is shown in Figure B-1, right. The model has been set up with 4 nested domains. The horizontal resolution is 500 m x 500 m. The ECMWF-ERA Interim dataset is used as input, and the MYJ scheme is used for boundary layer mixing.

---

<sup>9</sup> Dee, D. P., et al. (2011), The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. *Q.J.R. Meteorol. Soc.*, 137: 553-597. doi: 10.1002/qj.828

<sup>10</sup> <http://www.ecmwf.int/research/era/do/get/era-interim>

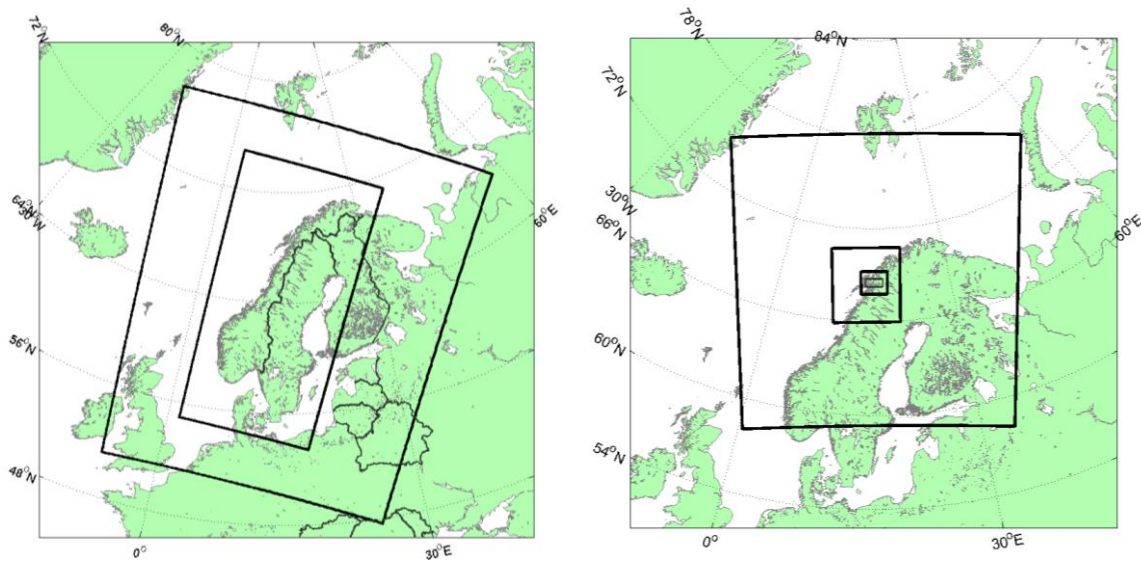


Figure B-1: Model domain set up for: Left: WRF4km simulation. Right: WRF500m.

## Ice load calculations

According to the standard ISO 12494 (ISO/TC98/SC3/WG6 2000)<sup>11</sup> icing has been calculated from

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

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  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  and  $\alpha_3$  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.<sup>12</sup> This is the scheme that gives the most accurate calculations of liquid water content<sup>13</sup> and is thus recommended for icing calculations. Uncertainties are also related to

<sup>11</sup> ISO 12494 2000: Atmospheric Icing of structures, International Standard, ISO/TC98/SC3/WG6.

<sup>12</sup> Thompson G., P.R. Field, W.D. Hall and R Rasmussen, 2006: A new bulk Microphysical Parameterization Scheme for WRF (and MM5)

<sup>13</sup> 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.

The topography at a resolution of 4 km x 4 km 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).<sup>14</sup>

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.

---

<sup>14</sup> Harstveit K, Byrkjedal Ø. and E. Berge 2009: Validation of Regional In-Cloud Icing Maps in Norway, IWAIIS, Andermatt 2009.