

Forsvarsbygg

► **Novik - Sundsfjord**

Gildeskål kommune, Nordland

Klimalaster for 22 kV ledning

Oppdragsnr.: **52102905** Dokumentnr.: **KVT/2021/R053/MEH** Versjon: **J02** Dato: **2021-05-07**



Oppdragsgiver: Forsvarsbygg
Oppdragsgivers kontaktperson: Morten Langvik (Forsvarsbygg) og Silje Lundehaug (Multiconsult)
Rådgiver: Norconsult AS, Tærudgata 16, NO-2004 Lillestrøm
Oppdragsleder: Maria Enger Hoem
Fagansvarlig: Bjørn Egil Nygaard

J02	2021-05-07	Lagt til tabeller med middelvind.	Maria Enger Hoem	Bjørn Egil Nygaard	Finn Kåre Nyhammer
J01	2021-04-23	Endelig rapport.	Maria Enger Hoem	Bjørn Egil Nygaard	Lars Tallhaug
Versjon	Dato	Beskrivelse	Utarbeidet	Fagkontrollert	Godkjent

Dette dokumentet er utarbeidet av Norconsult AS som del av det oppdraget som dokumentet omhandler. Norconsult har ikke noe ansvar overfor tredjepart som eventuelt måtte benytte dette dokumentet.

► Sammendrag

Rapporten gir en vurdering av vind- og islaster for en 22 kV kraftledning fra Novik til Sundsfjord i Gildeskål kommune, Nordland. Analysen er basert på meteorologiske modeller, norsk vindlaststandard (NS-EN 1991-1-4) samt kvalitative vurderinger basert på erfaringer.

Traseen fremføres i varierende terreng, med høyeste punkt på ca. 500 moh. Både våt snø og skyising er undersøkt, men analysen indikerer at våtsnø gir de høyeste lastene for alle delstrekninger. Hele området er svært nedbørsrikt og islastene kan potensielt bli svært høye enkelte steder. Traseen for 22 kV Novik – Sundsfjord er imidlertid lagt relativt gunstig i terrenget, og unngår dermed de høyeste islastene.

Dimensjonerende vind- og islaster er oppsummert i Tabell 1-1 med 50-års returverdi for vind- og islaster.

For delstrekning 1-3 er vindlastene justert noe opp som følge av mulig kastforsterkning bak bratt terreng ved vind fra sør, sørvest og vest. For delstrekning 4 er vinden redusert som følge av lokal skjerming, mens for delstrekning 6 er vinden økt som følge av forsterkning over ryggen (speed-up).

Terrengformasjoner og variasjoner i overflatetype gjør at estimert 50-års vindkast vil variere noe langs traseen.

Tabell 1-1: Klimalaster for 22 kV kraftledning Novik - Sundsfjord. Vind- og islaster har 50-års returperiode, og er gitt i 10 m høyde over bakken. Alle islaster er av typen våtsnø.

Delstrekning	Islast (kg/m)	Vindkast, maksimal (m/s)	Vindkast, normalkomponent (m/s)	Middelvind, maksimal (m/s)	Middelvind, normalkomponent (m/s)
1	7	48	42	30	27
2	5	46	40	27	24
3	7	46	40	27	25
4	4	38	35	23	20
5	7	44	38	29	28
6	10	50	42	36	30
7	8	48	37	32	25
8	7	43	36	29	24

► Innhold

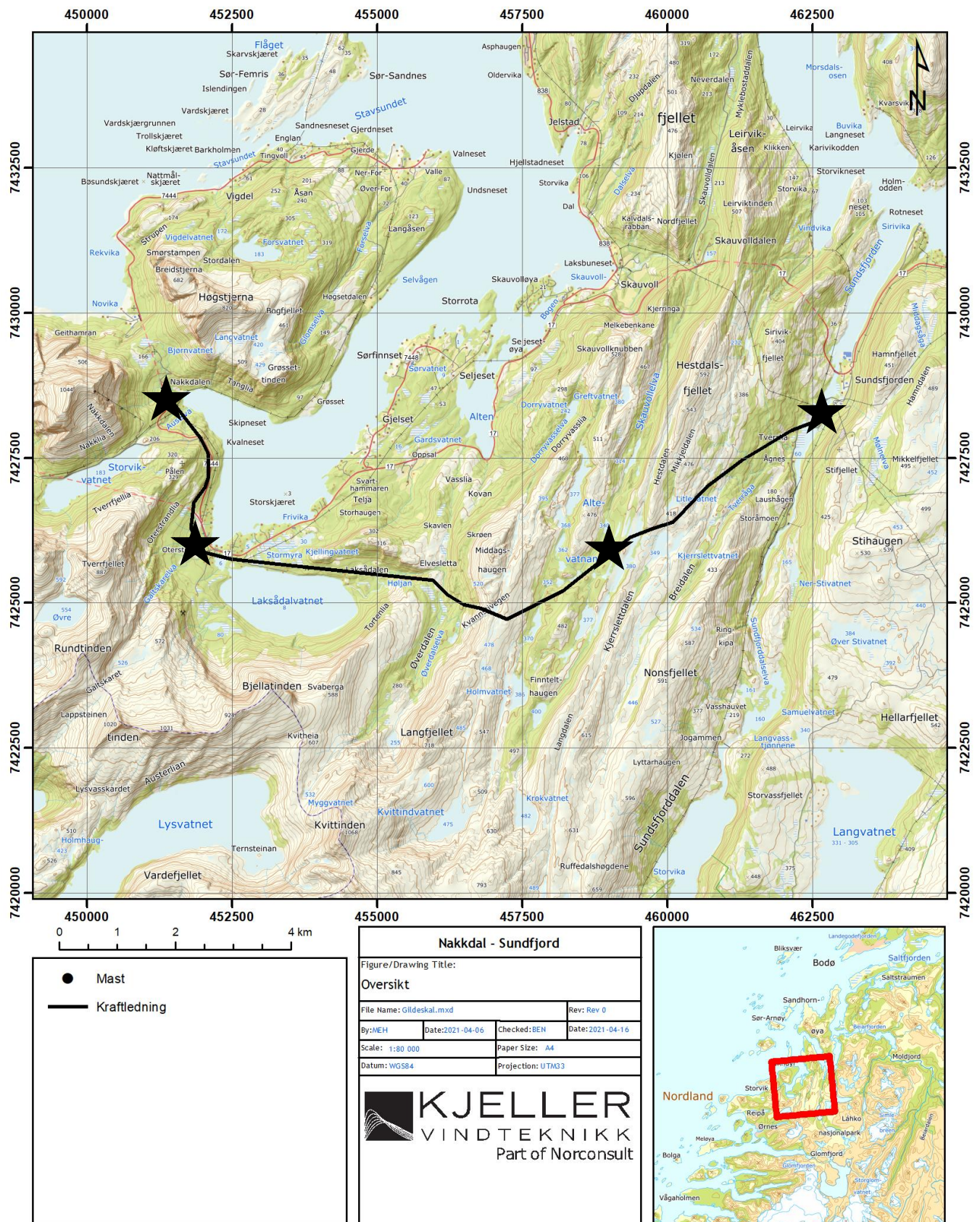
1	Datagrunnlag og metodikk	4
1.1	Ledningstrasé	4
1.2	Data	6
1.3	Isberegning	6
1.3.1	Våtsnø	6
1.4	Vindberegninger	7
1.5	Ekstremverdiberegninger	7
1.5.1	Ising	7
1.5.2	Vind	7
2	Beregning av klimalaster	8
2.1	Islaster (våt snø)	9
2.2	Vindlaster	10
2.3	Dimensjonerende klimalaster	12
Vedlegg A: Beskrivelse av WRF-modellen og isingsberegningene		i

1 Datagrunnlag og metodikk

1.1 Ledningstrasé

Trasé for eksisterende 22 kV kraftledning fra Novik til Sundsfjord, som vist i oversiktskart i Figur 1-1, ligger i Gildeskål kommune i Nordland, og skal oppgraderes. Traseen ligger i varierende terrenghøyde hvor høyeste punkt er ca. 500 moh. ved Jakob-Persvatnan. Omkringliggende terreng er karakterisert av kupert topografi bestående hovedsakelig av skog og fjellområder.

Området hvor traseen er plassert er et område med relativt mye nedbør og hvor store deler av denne nedbøren faller som snø, særlig i høyden. Kartlagene over nedbør tilgjengelig på senorge.no viser at det er mellom 2000 og 3000 mm nedbør for området i et normalår. Modelldatasettet som benyttes i denne rapporten gir tilsvarende mengder med nedbør, men løser opp lokale variasjoner i større grad.



Figur 1-1: Oversiktskart over kraftledning Novik –Sundsfjord. Stjernene markerer modellpunktene benyttet i beregningene. Fra vest til øst: Nakkdalen, Oterstranda, Jakob-Persvatnan og Sundsfjord.

1.2 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 A. Modelldataene er fordelt i et horisontalt gitter med oppløsning på 3 km x 3 km og tidsoppløsning på én time for perioden 2002 – 2019. Denne simuleringen benevnes WRF3km. Modelldata er hentet ut for representative punkter i områdene nær traseen. Dette datasettet er under utarbeidelse og per nå er 17 år tilgjengelig. I tidligere klimaalastanalyser er det benyttet datasett med lengde på 40 år, men tross kortere tidsserie vurderes det nye datasettet som bedre på grunn av høyere romlig oppløsning samt en rekke forbedringer i den nye modellen.

Data fra en WRF simulering med en høyere horisontal oppløsning (1 km x 1km, heretter WRF1km) er tilgjengelig kun for 1 år (2005). Disse dataene er benyttet til å korrigere de lengre tidsseriene med 3 km oppløsning for å få vindhastighet og retning til å bli mer realistisk i forhold til terrenget i området. Det er hentet ut data i 10 m høyde over bakken. Modelldata er hentet ut for representative punkter nær transformatorstasjonen. Metodikken som benyttes for å korrigere vinddata mot WRF1km er beskrevet i Liléo et al. (2013).

1.3 Isberegning

1.3.1 Våtsnø

Våtsnø forekommer ved snøfall ved temperaturer like over frysepunktet. I slike tilfeller vil snøflakene inneholde en viss mengde flytende vann, noe som gjør dem klebrige (kram snø) og får dem lett til å feste seg på en luftledning. Isingsraten øker med økt vindhastighet. For en horisontal ledning er det vinden på tvers av ledningen som er avgjørende.

Akkumulasjon av våtsnø 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 overstiger 1.5°C. I tillegg vil isen på ledningen reduseres som følge av sublimasjon (isfordampning) i tilfeller med relativ luftfuktighet mindre enn 100%.

Siden våtsnø kun forekommer under helt spesielle værforhold vil det på tross av en lang tidsserie (17 år) være relativt få episoder å basere ekstremverdiregningen på. For å øke det statistiske grunnlaget er det utført beregninger med en ensemblemetodikk som består av en rekke modellkjøringer for samme modellpunkt der temperaturen blir endret med verdier varierende mellom -2 og 2 °C. For hver modellberegning for kortspenn endres temperaturen med 0.1°C, noe som resulterer i 40 modellkjøringer for hvert modellpunkt. Videre estimeres en 50-års våtsnølast for hver av de 40 modellkjøringene. Dimensjonerende våtsnølast for kortspenn baseres på medianen i denne fordelingen. Spredningen i fordelingen gir et bilde av usikkerheten, samt variasjonen med terreng høyden i området.

I noen tilfeller kan tørr snø dannes på kraftledningen dersom kraftledningen allerede er dekket av et lag med is (våtsnø). Slike tilfeller er typisk koblet til perioder med synkende temperaturer og lave vindhastigheter (<5 m/s) etter perioder med våtsnø ising. Dette fenomenet er derfor mest fremtredende i områder med skog og områder med generelt lave vindhastigheter nærme bakken. Beregningene av tørr snø er basert på de følgende antagelsene:

- Kraftledningen er allerede dekket av et lag med våtsnø.
- Den generelle vindhastigheten er lavere enn 5 m/s.

Tørr snø faller enklere av kraftledningen enn våtsnø. Snøfallenes sannsynlighet øker med vindhastigheten.

1.4 Vindberegninger

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 terrengetyper. Basert på referansevinden, høyden over bakken og terrengetype (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-minutts middelvind er dataene korrigert med en faktor på 1.05, basert på erfaring og tidligere sammenlikning av modell- og måledata. 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. For normale spenn (med tilnærmet konstant høyde over bakken) må vindanalysen tolkes som en punktanalyse som er representativ for hele spennet.

1.5 Ekstremverdiberegninger

1.5.1 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 95 persentilen brukt som grense. I enkelte tilpasninger er terskelen justert noe manuelt for å optimalisere den teoretiske kurven.

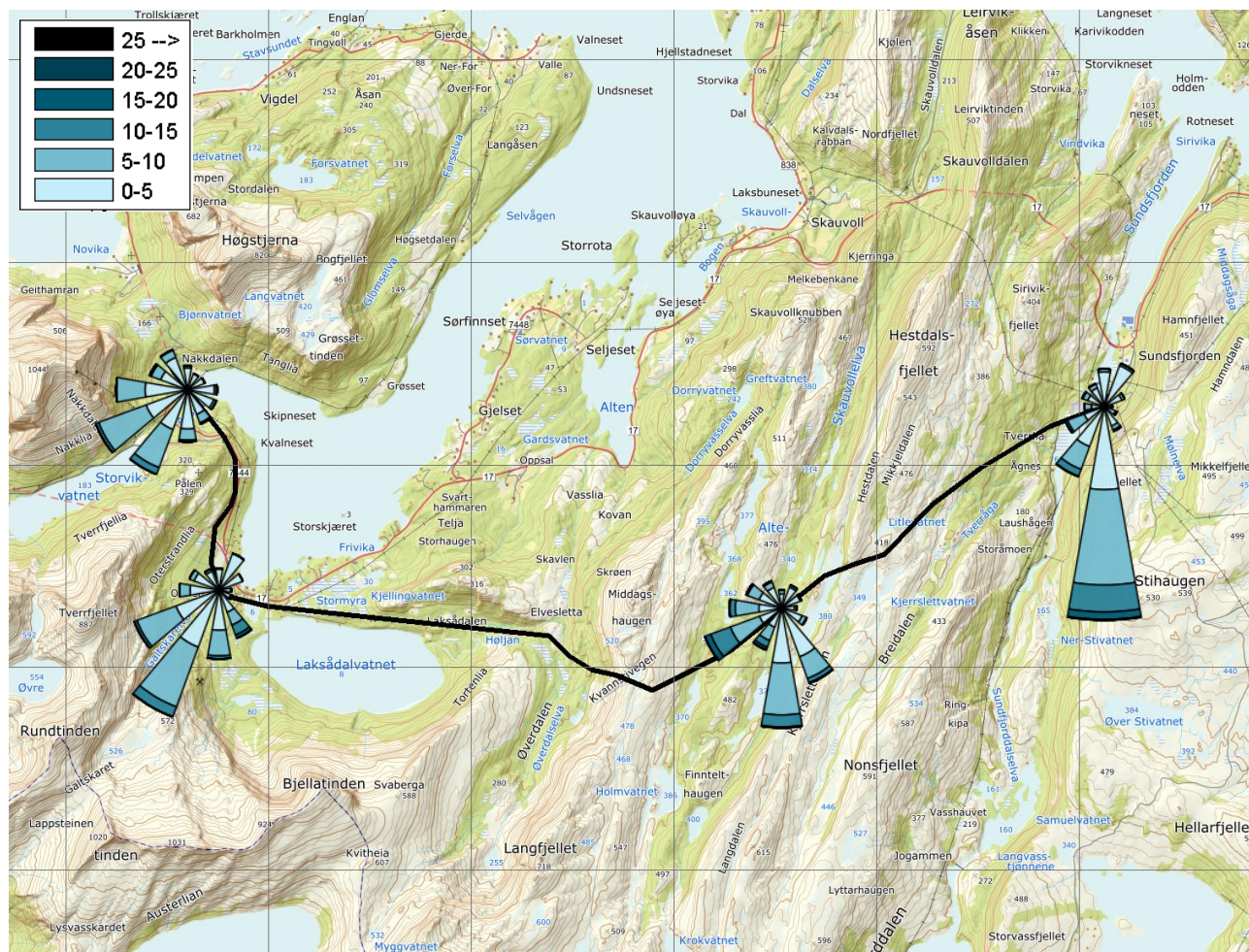
Siden våtsnø opptrer svært sjeldent er det knyttet relativt stor usikkerhet til beregning av 50-års returverdier, selv med en 17 års dataserie. Å gjøre 40 uavhengige våtsnøberegninger for et modellpunkt ved å justere temperaturen innenfor små intervaller, slik beskrevet under kapittel 2.4.1, bidrar til å redusere usikkerheten i ekstremverdiestimaterne.

1.5.2 Vind

De korrigerte dataseriene er framkommet gjennom en kvantilregresjon mellom vinden i WRF1km og WRF3km, 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. Siden tidsseriene fra modellen har lengde på 17 år er det gjort en ekstra kvalitetskontroll av 50-års verdiene for vindkast ved å sammenlikne med tilsvarende beregninger med et annet datasett med lengde på 40 år.

2 Beregning av klimalaster

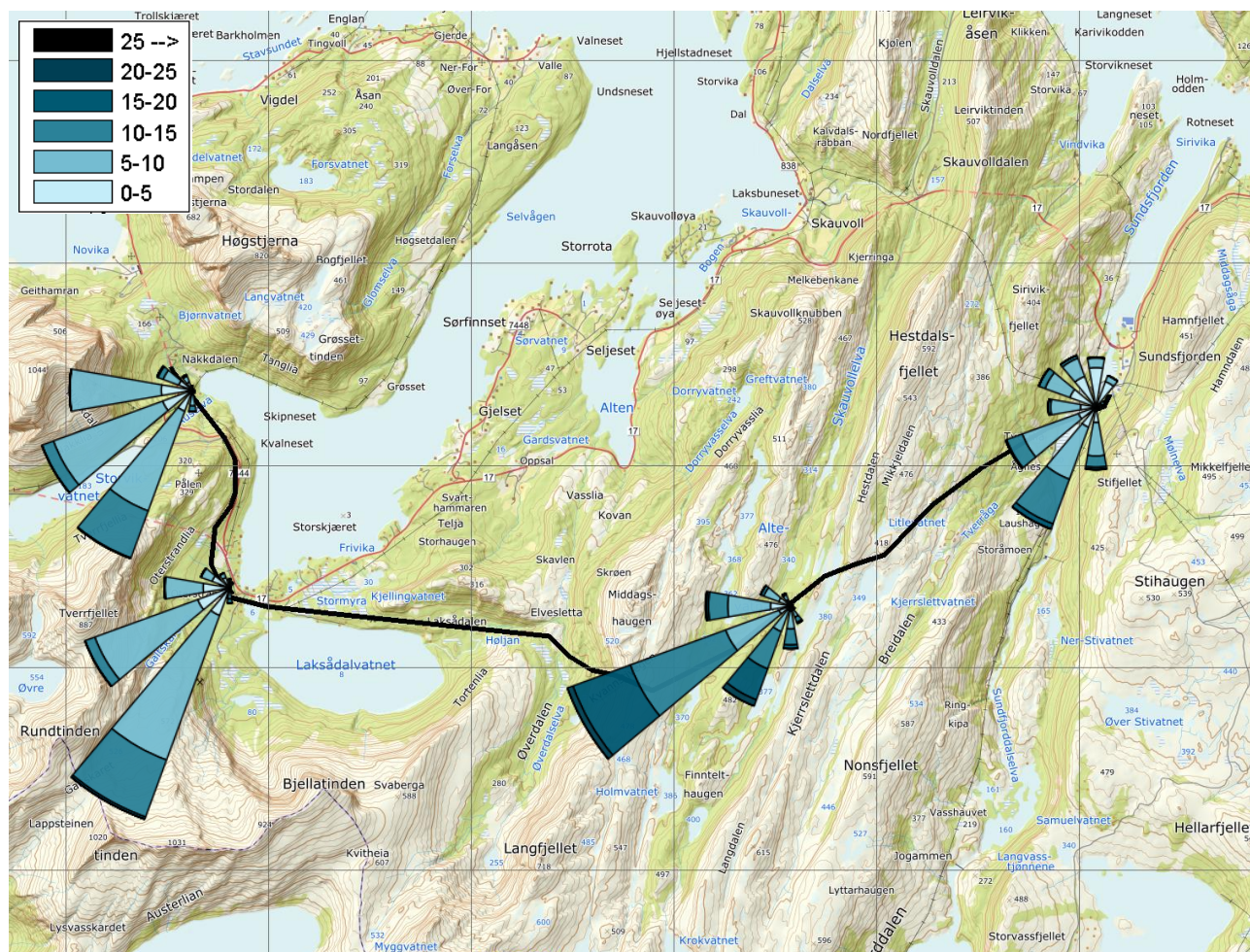
Figur 2-1 viser beregnet vindrose i 10 m over bakken for representative punkter langs traseen. Vindrosene er basert på WRF3km (vindkorrigert mot WRF1km) og gjelder for perioden 2002 – 2019. Fremtredende vindretninger langs ledningen er hovedsakelig vestlig, sørvestlig, sørlig og sørøstlig, men nordøstlige vinder er også representert. De kraftigste vindene kommer hovedsakelig fra sørvestlig, sørlig og sørøstlig retning for alle punkter, og i tillegg fra nordvestlig retning for Nakkdalen. Sundsfjord får de sterkeste vindene hovedsakelig fra sør. Variasjonen i vindrosene indikerer tydelig terrengstyring lokalt.



Figur 2-1: Beregnet vindrose for perioden 2002 – 2019. Vindrosen er beregnet i 10 m over gjennomsnittlig terrenghøyde og er basert på WRF3km data vindkorrigert mot WRF1km. Fargekoden på vindrosen viser vindhastighet som 10 min middelvind (m/s). Lengden på hver sektorstolpe indikerer andelen av tiden med vind fra gitt retning. Fra vest til øst: Nakkdalen, Oterstranda, Jakob-Persvatnan og Sundsfjord.

2.1 Islaster (våt snø)

Figur 2-2 viser vindroser basert på tidspunkter med isingsintensitet høyere enn 0.01 kg/m pr. time. Dette gir et bilde av ved hvilke vindretninger og vindhastigheter våtsnøakkumulasjon vil forekomme for de ulike områdene langs traseen. Modellen indikerer at ising som følge av våt snø typisk forekommer ved vind fra vest, sørvest og sør, og også nordlige retninger for punktet ved Sundsfjord. Det er relativt lite ising ved vindretninger fra øst og sørøst for alle punktene.



Figur 2-2: Beregnet vindrose for tidspunkter med isingsintensitet høyere enn 0.01 kg/m pr. time. Vindrosen er basert på WRF3km-data korrigert mot WRF1km. Fargekoden på vindrosen viser vindhastighet som 10 min middelvind (m/s). Lengden på hver sektorstolpe indikerer andelen av tiden med vind fra gitt retning. Fra vest til øst: Nakkdalen, Oterstranda, Jakob-Persvatnan og Sundsfjord.

Ekstremverdier av akkumulerte islaster fra våtsnø er beregnet ved bruk av POT metoden som beskrevet i 1.5.1 og korrigert med medianverdien beregnet gjennom ensemblemetoden beskrevet i 1.3.1. Våtsnølastene med ulike returperioder er gitt for representative ledningsretninger for tre av modellpunktene samt en retningsuavhengig verdi i Tabell 2-1 til Tabell 2-3. Beregningene er gjort for alle punktene, men det er kun resultater fra tre punkter som er vist i tabellene i rapporten. Verdiene gjelder for liner med diameter på 21.6 mm for høyden 10 m over bakken. Siden modellresultatene er basert på WRF1km data vil det være lokale terrengeffekter som ikke er godt nok oppløst i modellen. Lokale skjermings og kanaliseringseffekter i vindfeltet vil påvirke våtsnølastene vesentlig enkelte steder. Dette vurderes kvalitativt, og er drøftet videre i seksjon 2.3.

Tabell 2-1: Beregnede returverdier for islast fra våtsnø (kg/m) på en horisontal ledning orientert i ulike retninger. Det er også gitt en maksimal, retningsuavhengig verdi. Verdiene gjelder for liner med diameter på 21.6 mm i høyden 10 m over bakken.

Lineretning	Returverdier for våtsnø (kg/m) for Nakkdalen					
	2 år	3 år	5 år	10 år	25 år	50 år
N – S (0°)	2.1	2.6	3.3	4.5	6.8	9.2
NØ – SV (45°)	1.4	1.6	1.9	2.4	3.2	3.8
Ø – V (90°)	1.3	1.6	2.3	3.6	6.6	10.7
SØ – NV (135°)	2.3	2.8	3.5	4.6	6.6	8.5
Retningsuavhengig	3.2	3.8	4.6	6.0	8.2	10.4

Tabell 2-2: Beregnede returverdier for islast fra våtsnø (kg/m) på en horisontal ledning orientert i ulike retninger. Det er også gitt en maksimal, retningsuavhengig verdi. Verdiene gjelder for liner med diameter på 21.6 mm i høyden 10 m over bakken.

Lineretning	Returverdier for våtsnø (kg/m) for Jakob-Persvatnan					
	2 år	3 år	5 år	10 år	25 år	50 år
N – S (0°)	8.1	9.6	11.6	14.7	19.3	23.4
NØ – SV (45°)	4.4	5.1	6.0	7.3	9.2	10.7
Ø – V (90°)	3.4	3.9	4.4	5.2	6.1	6.9
SØ – NV (135°)	7.7	9.2	11.2	14.4	19.5	24.2
Retningsuavhengig	11.0	12.7	14.9	18.0	22.3	25.7

Tabell 2-3: Beregnede returverdier for islast fra våtsnø (kg/m) på en horisontal ledning orientert i ulike retninger. Det er også gitt en maksimal, retningsuavhengig verdi. Verdiene gjelder for liner med diameter på 21.6 mm i høyden 10 m over bakken.

Lineretning	Returverdier for våtsnø (kg/m) for Sundsfjord					
	2 år	3 år	5 år	10 år	25 år	50 år
N – S (0°)	3.1	3.6	4.0	4.7	5.4	5.9
NØ – SV (45°)	2.5	3.0	3.6	4.6	6.1	7.5
Ø – V (90°)	3.2	3.9	4.8	6.5	9.3	12.1
SØ – NV (135°)	3.9	4.5	5.3	6.5	8.2	9.6
Retningsuavhengig	6.0	6.9	8.0	9.6	11.8	13.5

2.2 Vindlaster

Ekstremverdier for vindkast basert på standard NS-EN 1991-1-4 er beregnet for 10 m høyde over bakken. Kraftledningen Novik – Sundsfjord ligger i Gildeskål kommune. Referansevindhastigheten (10-min middelvind i 10 m høyde, terrengkategori 2) gitt i NS-EN 1991-1-4 for Gildeskål kommune er 29 m/s. Ut fra referanseverdien kan man ved hjelp av metodene og formelverket gitt i NS-EN 1991-1-4 beregne 50-års vindkast i en gitt høyde ved bruk av den lokale terrengruheten.

Tabell 2-4 viser de beregnede verdiene for tre ulike terrengkategorier. Terrengkategori 1 tilsvarer ruhetslengde på 0.01 m, og representerer glatte fjellpartier eller områder direkte nedstrøms av disse. Terrengkategori 2 tilsvarer en ruhetslengde på 0.05 m, og representerer områder med lav vegetasjon som busker og små trær, mens terrengkategori 3 representerer skogkledde områder med ruhetslengde 0.3 m. Merk at disse beregningene forutsetter et homogent og flatt terreng. Området rundt ledningen er derimot kupert og overflatetypen varierer mellom skog og bart fjell.

Tabell 2-4: Beregnede 50-års middelvindhastigheter og vindkast i 10 m høyde over bakken basert på metodene og formelverket gitt i NS-EN 1991-1-4. Verdiene er beregnet for tre ulike terrengkategorier, og er basert på aktuell referanseverdi (29 m/s).

	50-års middelvind (m/s)	50-års vindkast (m/s)
Terrengkategori 1	33.8	48.0
Terrengkategori 2	29.0	44.2
Terrengkategori 3	21.8	37.7

Tabell 2-5 til Tabell 2-7 viser estimerte returverdier for vindkast basert på modelldata 10 m over underlaget for tre modellpunkt, beregnet ved bruk av Gumbel-Lieblein metoden som er nevnt i Kapittel 1.5.2. Modellresultatene er sammenliknbare med verdiene basert på standarden gitt terrengkategori 1 og 2 for vindkast.

Retningsuavhengige 50-års verdier for vindkast er beregnet til mellom 43.1 og 48.0 m/s (10 m over bakken) for alle modellpunktene.

Det varierende terrenget omkring og i traseen, særlig i den vestlige halvdelen kompliserer vindfeltet, og det vil være både forsterknings- og skjermingseffekter som hverken kan gjengis med modelldataene eller formelverket i vindstandard. Siden det heller ikke foreligger lokale vindmålinger gjøres det en kvalitativ justering av ekstremvindene for å forsøke å ivareta lokale effekter.

Tabell 2-5: Beregnede returverdier for vindkast (m/s) i 10 m høyde over bakken for representativ ledningsretning. Det er også gitt en maksimal, retningsuavhengig verdi. Resultatene er beregnet fra WRF3km-data korrigert mot WRF1km.

Lineretning	Returverdier for vindkast (m/s) for Nakkdalen					
	2 år	3 år	5 år	10 år	25 år	50 år
N – S (0°)	22.2	23.7	25.3	27.2	29.4	30.9
NØ – SV (45°)	23.5	25.2	27.0	29.1	31.6	33.3
Ø – V (90°)	29.1	32.3	35.6	39.3	43.6	46.5
SØ – NV (135°)	27.5	30.4	33.3	36.6	40.4	43.0
Retningsuavhengig	31.2	34.3	37.4	41.0	45.1	48.0

Tabell 2-6: Beregnede returverdier for vindkast (m/s) i 10 m høyde over bakken for representativ ledningsretning. Det er også gitt en maksimal, retningsuavhengig verdi. Resultatene er beregnet fra WRF3km-data korrigert mot WRF1km.

Lineretning	Returverdier for vindkast (m/s) for Jakob-Persvatnan					
	2 år	3 år	5 år	10 år	25 år	50 år
N – S (0°)	32.6	34.3	36.0	38.1	40.5	42.3
NØ – SV (45°)	29.7	32.2	34.8	37.8	41.3	43.7
Ø – V (90°)	30.5	32.1	33.7	35.6	38.0	39.6
SØ – NV (135°)	38.8	40.2	41.7	43.5	45.7	47.2
Retningsuavhengig	39.4	40.9	42.4	44.2	46.4	48.0

Tabell 2-7: Beregnede returverdier for vindkast (m/s) i 10 m høyde over bakken for representativ ledningsretning. Det er også gitt en maksimal, retningsuavhengig verdi. Resultatene er beregnet fra WRF3km-data korrigert mot WRF1km.

Lineretning	Returverdier for vindkast (m/s) for Sundsfjord					
	2 år	3 år	5 år	10 år	25 år	50 år
N – S (0°)	18.8	19.8	20.8	22.0	23.4	24.4
NØ – SV (45°)	27.5	29.4	31.3	33.6	36.3	38.2
Ø – V (90°)	30.9	32.9	34.9	37.3	40.2	42.2
SØ – NV (135°)	28.1	29.6	31.2	33.0	35.2	36.8
Retningsuavhengig	32.0	34.0	36.0	38.3	41.2	43.1

Tabell 2-8: Beregnede returverdier for middelvind (m/s) i 10 m høyde over bakken for representativ ledningsretning. Det er også gitt en maksimal, retningsuavhengig verdi. Resultatene er beregnet fra WRF3km-data korrigert mot WRF1km.

Lineretning	Returverdier for middelvind (m/s) for Nakkdalen					
	2 år	3 år	5 år	10 år	25 år	50 år
N – S (0°)	14.0	15.0	16.0	17.1	18.5	19.5
NØ – SV (45°)	14.8	15.9	17.0	18.4	19.9	21.0
Ø – V (90°)	18.3	20.4	22.4	24.8	27.4	29.3
SØ – NV (135°)	17.3	19.1	21.0	23.0	25.4	27.1
Retningsuavhengig	19.7	21.6	23.6	25.8	28.4	30.2

Tabell 2-9: Beregnede returverdier for middelvind (m/s) i 10 m høyde over bakken for representativ ledningsretning. Det er også gitt en maksimal, retningsuavhengig verdi. Resultatene er beregnet fra WRF3km-data korrigert mot WRF1km.

Lineretning	Returverdier for middelvind (m/s) for Jakob-Persvatnan					
	2 år	3 år	5 år	10 år	25 år	50 år
N – S (0°)	20.6	21.6	22.7	24.0	25.5	26.6
NØ – SV (45°)	18.7	20.3	21.9	23.8	26.0	27.6
Ø – V (90°)	19.2	20.2	21.2	22.5	23.9	25.0
SØ – NV (135°)	24.5	25.3	26.3	27.4	28.8	29.8
Retningsuavhengig	24.8	25.7	26.7	27.9	29.3	30.3

Tabell 2-10: Beregnede returverdier for middelvind (m/s) i 10 m høyde over bakken for representativ ledningsretning. Det er også gitt en maksimal, retningsuavhengig verdi. Resultatene er beregnet fra WRF3km-data korrigert mot WRF1km.

Lineretning	Returverdier for middelvind (m/s) for Sundsfjord					
	2 år	3 år	5 år	10 år	25 år	50 år
N – S (0°)	11.8	12.4	13.1	13.8	14.7	15.4
NØ – SV (45°)	17.3	18.5	19.7	21.2	22.9	24.1
Ø – V (90°)	19.5	20.7	22.0	23.5	25.3	26.6
SØ – NV (135°)	17.7	18.6	19.6	20.8	22.2	23.2
Retningsuavhengig	20.2	21.4	22.7	24.1	25.9	27.2

2.3 Dimensjonerende klimalaster

Is- og vindlaster er gitt med 50-års returperiode og er beregnet i 10 m over bakken. Klimalastene er bestemt med utgangspunkt i resultatene fra kapittel 2 i denne rapporten. Modellresultatene er vektlagt til fordel for verdier basert på vindstandarden, der det er identifisert et avvik knyttet til lokale forhold. Men også modellen mangler en del av terreffeftene. Det er derfor gjort en erfaringsbasert justering av lastene for hvert av delstrekningene ved å vurdere de lokale terrengformasjonene og hvilke effekter disse eventuelt gir på lastene.

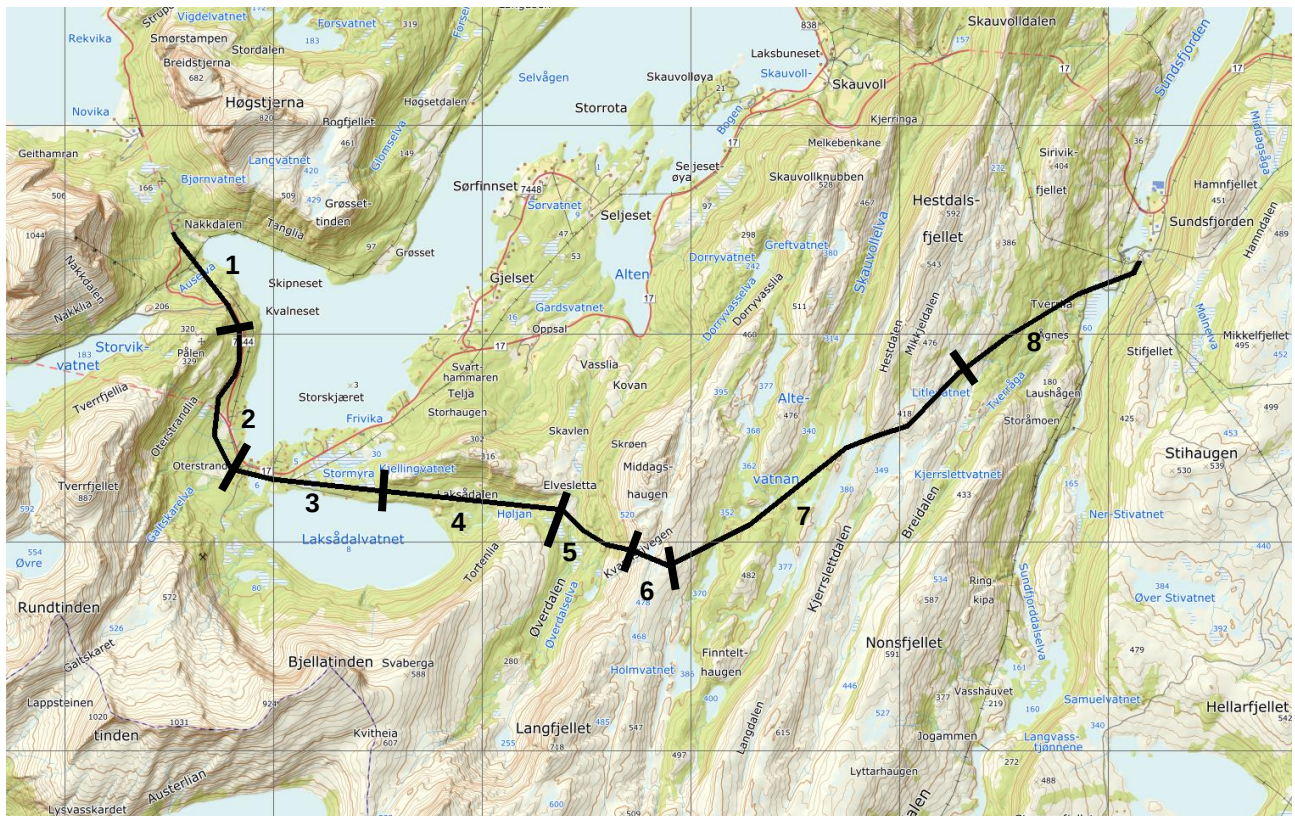
For delstrekning 1-3 er vindlastene justert noe opp som følge av mulig kastforsterkning bak bratt terreng ved vind fra sør, sørvest og vest. For delstrekning 4 er vinden redusert som følge av lokal skjerming, mens for delstrekning 6 er vinden økt som følge av forsterkning over ryggen (speed-up).

Med hensyn på ising er kraftledningen relativt gunstig plassert i terrenget og islastene reduseres enkelte steder sammenliknet med resultatene direkte fra modellen. F.eks. i delstrekning 6 vil vinden styres på tvers av ryggen i større grad enn det modellen gjensker. Dermed vil normalkomponenten på ledningen reduseres, og dette reduserer islastene vesentlig sammenliknet med en ledning med høy normalkomponent mot vinden.

Tabell 2-11 gir dimensjonerende klimalaster for kraftledningen Novika - Sundsfjord i Gildeskål kommune, Nordland. Se oversikt over ledning og delstrekninger i Figur 2-3. For hele denne ledningen vil ising og ekstremvind kunne forekomme samtidig og det bør beregnes full kombinasjon som beskrevet i NEK:445.

Tabell 2-11: Klimalaster for 22 kV kraftledning Novik - Sundsfjord. Vind- og islaster har 50-års returperiode, og er gitt i 10 m høyde over bakken. Alle islaster er av typen våtsnø.

Delstrekning	Islast (kg/m)	Vindkast, maksimal (m/s)	Vindkast, normalkomponent (m/s)	Middelvind, maksimal (m/s)	Middelvind, normalkomponent (m/s)
1	7	48	42	30	27
2	5	46	40	27	24
3	7	46	40	27	25
4	4	38	35	23	20
5	7	44	38	29	28
6	10	50	42	36	30
7	8	48	37	32	25
8	7	43	36	29	24



Figur 2-3: Oversiktskart over kraftledning Novik – Sundsfjord med nummererte delstrekninger for laster.

Referanser

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

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

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

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

Liléo, S., Eirik Berge, Ove Undheim, Richard Klinkert, and Rolv E. Bredesen. 2013. *Long-term corection of wind measurements. State-of-the-art, guidelines and future work*. Elforsk 13:18.

Nygaard, Bjørn Egil Kringlebotn, Hálfðán Ágústsson, and Katalin Somfalvi-Tóth. 2013. *Modeling wet snow accretion on power lines: Improvements to previous methods using 50 years of observations*. Journal of Applied Meteorology and Climatology.

Vedlegg A: 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 v4.1.2 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 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 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, boundary conditions of the area are required. Such lateral boundary data is available from the National Center 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 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 Centre for Medium range Weather Forecasting (ECMWF). The reanalysis data ERA Interim^{7,8} is available with a spatial resolution of approximately 0.7 degrees globally. Data is available every 6 hours. The ERA interim dataset does also

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>

⁷ 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

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

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. Furthermore. the ECMWF have also released a new global reanalysis dataset (ERA5⁹) with higher spatial and temporal resolution compared to the ERA-Interim dataset (30 km and 3 hours. respectively).

Model Setup

The course model setup used in this analysis is shown in Figure A-1, left. The dataset is currently covering the period between September 2002 and September 2020. The model has been set up with 2 nested domains. The horizontal resolution of the inner domain is 3 km x 3 km.

The ECMWF–ERA5 dataset is used as input for the 3 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 (aerosol-aware) and the MYNN 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 steps of 90 seconds (outer domain) and 18 seconds (innermost domain). 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 A-1, right. The model has been set up with 3-step nesting down to 1 km for the finest scale domains. The ECMWF–ERA Interim dataset is used as input, and the MYJ scheme is used for boundary layer mixing.

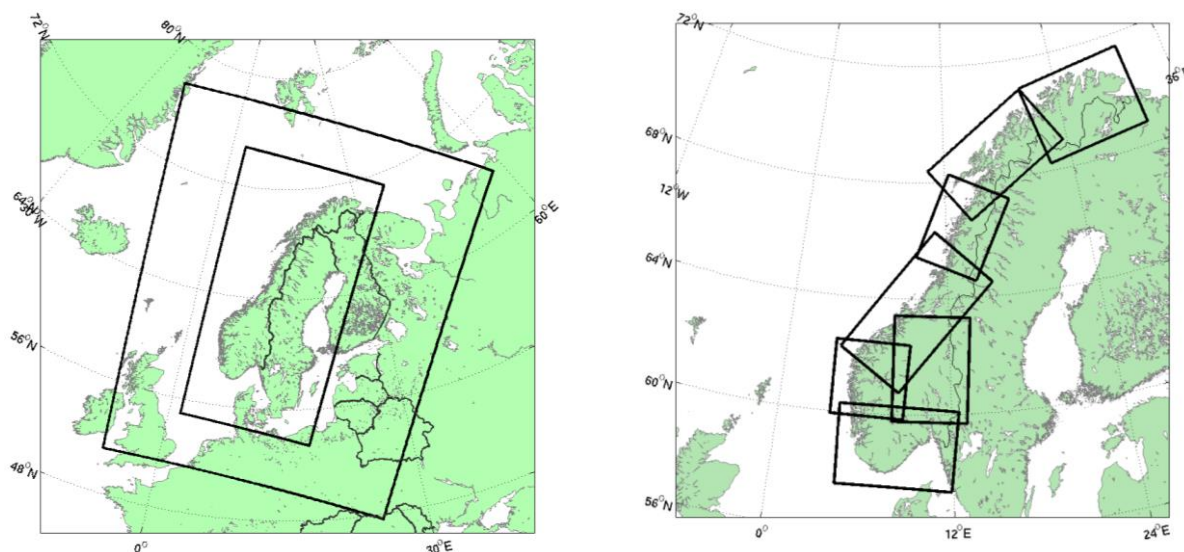


Figure A-1: Model domain set up for: Left: WRF4km simulation. Right: Available WRF1km domains.

⁹ <https://www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets/reanalysis-datasets/era5>