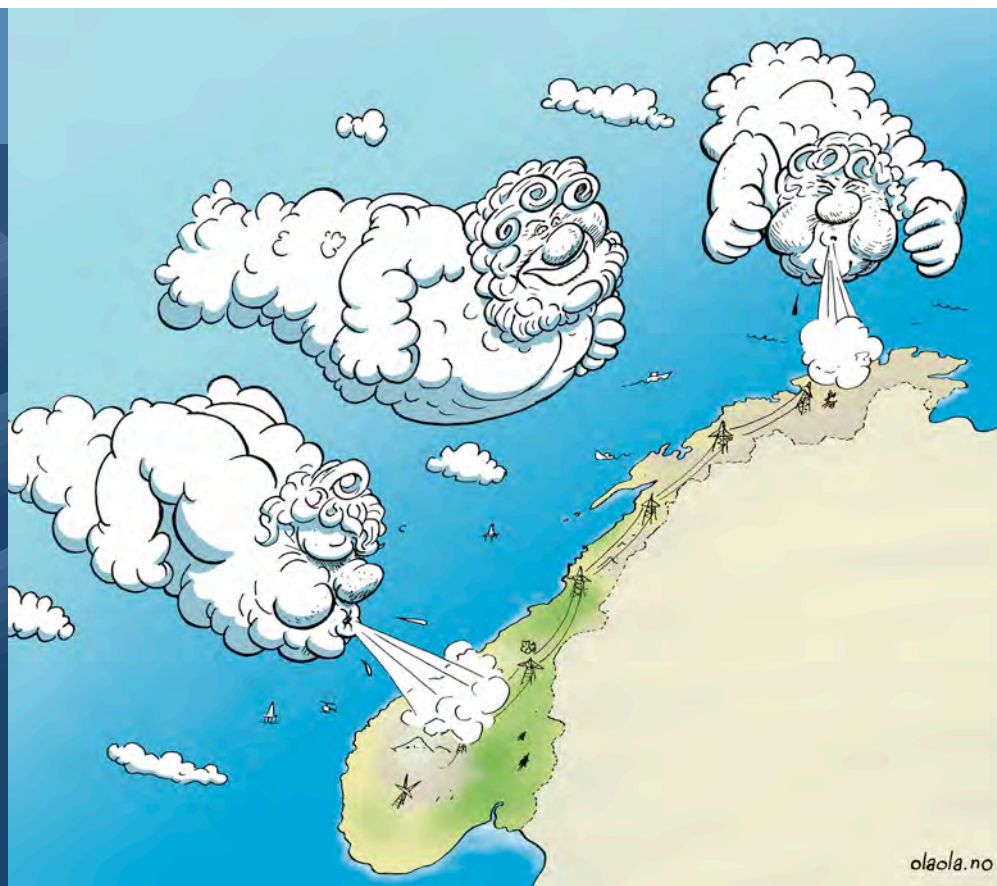




Vinden som blåste i fjor

Hvor sterk var Dagmar?

41
2012



R
A
P
P
O
R
T

Vinden som blåste i fjor

Hvor sterk var Dagmar?

Rapport nr. 41-12

Vinden som blåste i fjor

- Hvor sterk var Dagmar?

Utgitt av: Norges vassdrags- og energidirektorat
Redaktør: Roger Steen, NVE
Forfatter: Kjeller vindteknikk AS v/Knut Harstveit et. al.
ISSN: 1501-2832
ISBN: 978-82-410-0829-0

Trykk: NVEs hustrykkeri
Opplag: 300
Forsidefoto: Illustrasjon: Ola H. Hegdal, NVE alle rettigheter

Sammendrag: Ekstremværet Dagmar rammet Norge hardt 1. juledag og natt til 2. juledag 2011. I overkant av 1 million personer var uten strømforsyning i mer enn time grunnet uværet. Mange steder blåste det godt over orkan styrke, og det førte til et meget høyt antall feil på alle nivåer i nettet. Kraftforsyningen er bygd for å motstå en og del naturkrefter. Derfor er det formålstjenlig å få kjennskap til hvor sterk vinden var og om dette er et uvær som er sjeldent eller vi må påregne skjer statistisk sett relativt ofte. Kjeller vindteknikk har i denne studien på oppdrag av NVE gjort beregninger på maksimale vindstyrker og kast på 10 utvalgte steder i Norge

Emneord: Dagmar, orkan, storm, kraftforsyningsberedskap, klima, forsyningssikkerhet, sterk vind, gjentaksintervall, Nyttårsorkan

Norges vassdrags- og energidirektorat
Middelthunsgate 29
Postboks 5091 Majorstua
0301 OSLO

Telefon: 22 95 95 95
Telefaks: 22 95 90 00
Internett: www.nve.no

November 2012

Forord

Ekstremværet Dagmar rammet Norge hardt 1. juledag og natt til 2. juledag 2011. Verst rammet var fylkene Sogn og Fjordane og Møre og Romsdal. Men også de fleste selskapene i Hedmark og Oppland, nordlige deler av Hordaland, størsteparten av Trøndelag, nordlige deler av Oslo, Akershus og Buskerud (særlig Ringerike), samt Telemark og Vestfold ble rammet i vesentlig grad. Mange steder blåste det godt over orkan styrke, og det førte til et meget høyt antall feil på alle nivåer i kraftforsyningsnettet.

Umiddelbart ble et meget stort antall kunder berørt av strømbrudd. Mye skyldtes trefall over linjene, men også store ledninger i sentral- og regionalnettet falt ut på grunn av kortslutninger og annen påvirkning av uværet.

Hovedårsaken til strømbruddene – og at de ble så langvarige – skyldtes at nettet samlet sett ikke tålte påkjenningen fra ekstremværet. Gjenopprettingen av alle skadene etter uværet ble forsinket i starten på grunn av sterk vind, svært mange feil og mørke og det faktum at mange veger også var stengte. Se nærmere beskrivelser i NVE rapport 3:2012”

I rapporten *”Vinden som blåste i fjor – Hvor sterk var Dagmar?”* beskrives det nærmere hvor kraftig uværet Dagmar var, på ulike steder i Norge. Kjeller vindteknikk fikk i oppdrag fra NVE å beregne middelvind, vindkast og gjentaksintervall på ti steder med store stormskader i Sør-Norge. Hensikten med rapporten er å dokumentere for ettertiden hva dette uværet faktisk representerte i forhold til andre historiske uvær.

Det er et mål at slik kunnskap tas med i selskapenes videre arbeid med å forebygge og begrense skadevirkningene av tilsvarende hendelser i fremtiden.

Oslo, november 2012

Arthur Gjengstø
seksjonssjef
beredskapsseksjonen

Roger Steen
teamleder øvelser og beredskap
beredskapsseksjonen

Sammendrag

Dagmar kom inn til kysten av nordlige del av Vestlandet om ettermiddagen den 25.12.2011 og medførte at sterk sørvestlig vind blåste inn over områdene. Vinden dreide etter hvert mer over på vest og blåste også sterkt på Østlandet, spesielt fra Oslo, Drammen og nordover. Stormen genererte en god del skader på viktig infrastruktur generelt. Dette gjaldt også for kraftforsyningen. Skadene skyldtes vinden direkte, men også indirekte på grunn av at ulike fremmedlegemer blåste inn i nettet. Skog som kom i berøring med nettet var en av de viktigste årsakene til avbrudd i strømforsyningen. Rundt 1,2 millioner personer ble med kortere eller lengre varighet berørt av avbrudd i strømforsyningen. I tillegg ble mange også berørt av problemer innen kommunikasjonsområdet, IT-området, samferdsel m.v. Spesielt utsatt var de i samfunnet som hadde lav egenberedskap når det kom til å takle strømbrudd.

I etterkant av uvær som Dagmar vil det alltid være spekulasjoner rundt hvor sterk akkurat dette uværet er sammenlignet med andre stormer. Spesielt i forhold til gjentakintervall. Av den grunn valgte NVE å engasjere Kjeller Vindteknikk AS i en studie for å beregne gjentakintervall på 10 valgte geografiske punkter, som alle på en eller annen måte var eksponert i forhold til stormen.

Oppdraget Kjeller vindteknikk fikk var å beregne middelvind, vindkast og gjentakintervall på 10 steder med stormskader i Sør-Norge. Disse stedene er

1. Hønefoss (Buskerud)
2. Sørkedalen (Oslo)
3. Elverum, (Hedmark)
4. Skarnes Sør Odal, (Hedmark)
5. Eidsvåg (Møre og Romsdal)
6. Harøy, Sandøy kommune (Møre og Romsdal)
7. Volda (Møre og Romsdal)
8. Årdalstangen (Sogn og Fjordane)
9. Byrkjelo (Sogn og Fjordane)
10. Voss (Hordaland)

Hensikt

Hensikten med en slik studie er flere:

- Kraftforsyningsnettet skal bygges robust for blant annet å kunne motstå påregnelige vindlaster. Med bakgrunn i dette vil det være et viktig underlag i en hver form for risikovurdering å kunne kjenne hvilke laster man må ta høyde for i ulike deler av landet. Denne vindstudien viser en måte å fremskaffe slike data på.
- Selv med et robust nett er det viktig å forstå at de samme naturlastene også indirekte vil kunne påvirke nettet, blant annet ved å skade skog.
- Vise hvilke gjentakintervall slike stormer kan operere med. Med bakgrunn i slik kunnskap vil man lettere kunne innkalkulere slike hendelser i risikovurderinger.

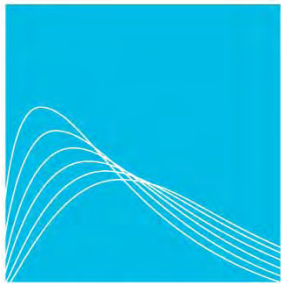
Oppsummering

Kjeller vindteknikk trekker frem i sin rapport at det spesiell med Dagmar var at vindretningen fra Sør-Vest/Vest bidro til skadeomfanget. Det er ikke ofte at man opplever kraftige vindkast fra denne retningen, dermed vil skogen som står nært inn til nettet også bli mindre robust i forhold til slike vindretninger. Men det som er viktig å fange opp er at

denne vindstudien viser kort oppsummert, at gjentakintervallet for en slik storm vil spenne fra hvert 40. år til hvert 100. år for de nevnte geografiske områdene. Tilsvarende vind uavhengig av vindretning må påregnes hvert 10. til 40. år for de samme områdene.

Til sammenligning hadde Nyttårsorkanen fra januar 1992 et gjentakintervall på ca 200 år (kilde: www.met.no).

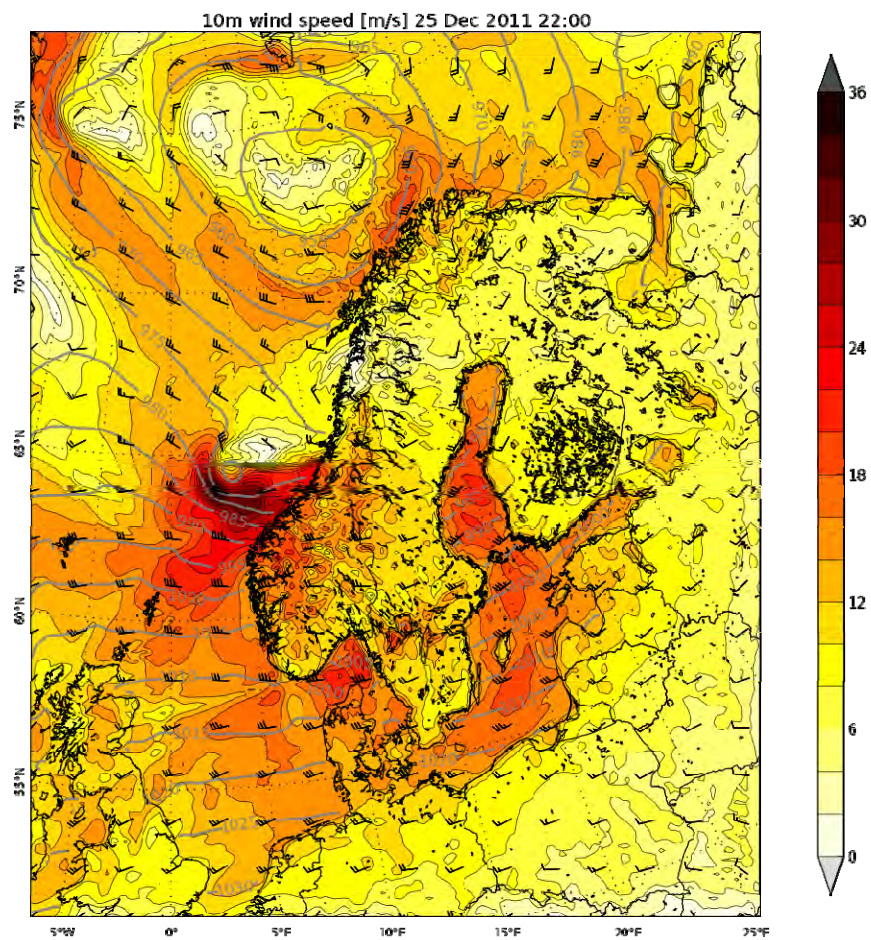
Som konklusjon kan man trekke frem at vindforhold tilsvarende som Dagmar må man påregne å møte med jevne mellomrom.



KJELLER
VINDTEKNIKK

Vindhastigheter og returtider under Dagmar

Report number: KVT/KH/2012/R050



| | |
|---|---------------------------------------|
| Rapportnummer KVT/KH/2012/050 | Dato 01.06.2012 |
| Rapporttittel: Vindhastigheter og returtider under Dagmar | Klassifisering Begrenset til kunde |
| Kunde Norges vassdrags- og energidirektorat | Utgave nummer. 1 |
| Kundens referanse Roger Steen | Antall sider 26 |
| | Status Endelig versjon |

Sammendrag

Det er kjørt en WRF modell med 4 km x 4 km oppløsning for Norge for 12 år og data er tatt ut for 10 oppgitte skadesteder og 6 flyplasser. Dette har sammen med observasjoner på flyplassene gitt grunnlag for å beregne returtider for stormen Dagmar 25. - 26.12.2011. For selve stormen er det også kjørt WRF modell med skala 1.7 km x 1.7 km hvilket gir grunnlag for å estimere reell vindhastighet på stedet. Vurdering av ruheten på stedet gir så grunnlag for å estimere vindkast. Det spesielle ved stormen er at vindretningen fra SV til V hadde 50 til 100 års returperiode i skadeområdene, hvilket har ført til store skader for steder som ligger eksponert for slik vindretning. I indre strøk på Vestlandet er det en rekke risikosoner der slik vind passerer bratt fjellterreng med mulighet for nedslag av sterk vind. Det er i rapporten pekt på slike risikosoner som ligger nær vurderingsstedene. Resultater utenom dette finnes i tabellen under. I tabellen vises koordinater (N, E), vindretning (DD), maksimum 10 min middelvind (U_{x10min}) og vindkast (U_{3sek}), samt returperioder uavhengig av vindretning (T) og T_{SV-V} for sørvest til vest.

| | Sted | N[°] | E[°] | DD[°] | U_{x10min} | U_{3sek} | T | T_{SV-V} |
|-----|--------------|--------|--------|-------|--------------|------------|-------|------------|
| 1 | Hønefoss | 60.180 | 10.233 | 258 | 13.8 m/s | 26.3 m/s | 25 år | 100 år |
| 2 | Sørkedalen | 60.013 | 10.628 | 264 | 19.0 m/s | 33.0 m/s | 25 år | 100 år |
| 3 | Elverum | 60.870 | 11.564 | 273 | 16.0 m/s | 30.5 m/s | 25 år | 100 år |
| 4 | Skarnes | 60.250 | 11.704 | 273 | 18.8 m/s | 32.6 m/s | 25 år | 100 år |
| 5 | Eidsvåg | 62.776 | 8.069 | 238 | 26.2 m/s | 45.4 m/s | 25 år | 100 år |
| 6 | Harøy | 62.740 | 6.455 | 242 | 35.2 m/s | 50.0 m/s | 40 år | 75 år |
| 7a | Volda | 62.141 | 6.067 | 249 | 21.1 m/s | 36.5 m/s | 40 år | 75 år |
| 7b | Volda | 62.143 | 6.032 | 262 | 21.9 m/s | 37.9 m/s | 40 år | 75 år |
| 8 | Årdalstangen | 61.235 | 7.718 | 246 | 18.5 m/s | 35.2 m/s | 10 år | 40 år |
| 9 | Byrkjelo | 61.730 | 6.488 | 268 | 18.0 m/s | 31.1 m/s | 10 år | 40 år |
| 10a | Voss | 60.619 | 6.396 | 262 | 23.1 m/s | 35.3 m/s | 10 år | 40 år |
| 10b | Voss | 60.633 | 6.432 | 238 | 15.9 m/s | 30.2 m/s | 10 år | 40 år |

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 eksemplar | Kommentar | Distribusjon |
|---------|------------|------------------|-----------------|--------------|
| Endelig | 01.06.2012 | | Originalversjon | Elektronisk |

| | Navn | Dato | Signatur |
|----------------|--|------------|--|
| Utført av | Knut Harstveit Reiar Kravik Rolv E. Bredesen | 1.6.2012 | <i>Knut Harstveit</i> <i>Rolv E. Bredesen</i> |
| Kontrollert av | Øyvind Byrkjedal | 01.06.2012 | <i>Øyvind Byrkjedal</i> |
| Godkjent av | Lars Tallhaug | 1/6-2012 | <i>Lars Tallhaug</i> |

Innhold

| | | |
|---|--|----|
| 1 | INNLEDNING | 3 |
| 2 | INNGANGSDATA | 5 |
| | 2.1 WRF DATA | 5 |
| | 2.2 METEOROLOGISKE STASJONER | 8 |
| 3 | METODIKK | 9 |
| | 3.1 EKSTREMVIND BEREGNINGER | 9 |
| 4 | SAMMENLIGNINGER OG RESULTATER | 10 |
| | 4.1 RESULTAT FRA EKSTREMVINDBEREGNINGER | 10 |
| | 4.2 MODELLERING AV DAGMAR | 14 |
| | 4.3 OPPSKALERING AV MODELLRESULTATENE FRA DAGMAR | 18 |
| | 4.4 BEREGNING AV RETURTIDER FOR DAGMAR | 19 |
| | 4.5 BEREGNING AV VINDHASTIGHETER FOR DAGMAR | 20 |
| 5 | SAMMENDRAG | 24 |
| 6 | REFERANSER | 26 |

1 Innledning

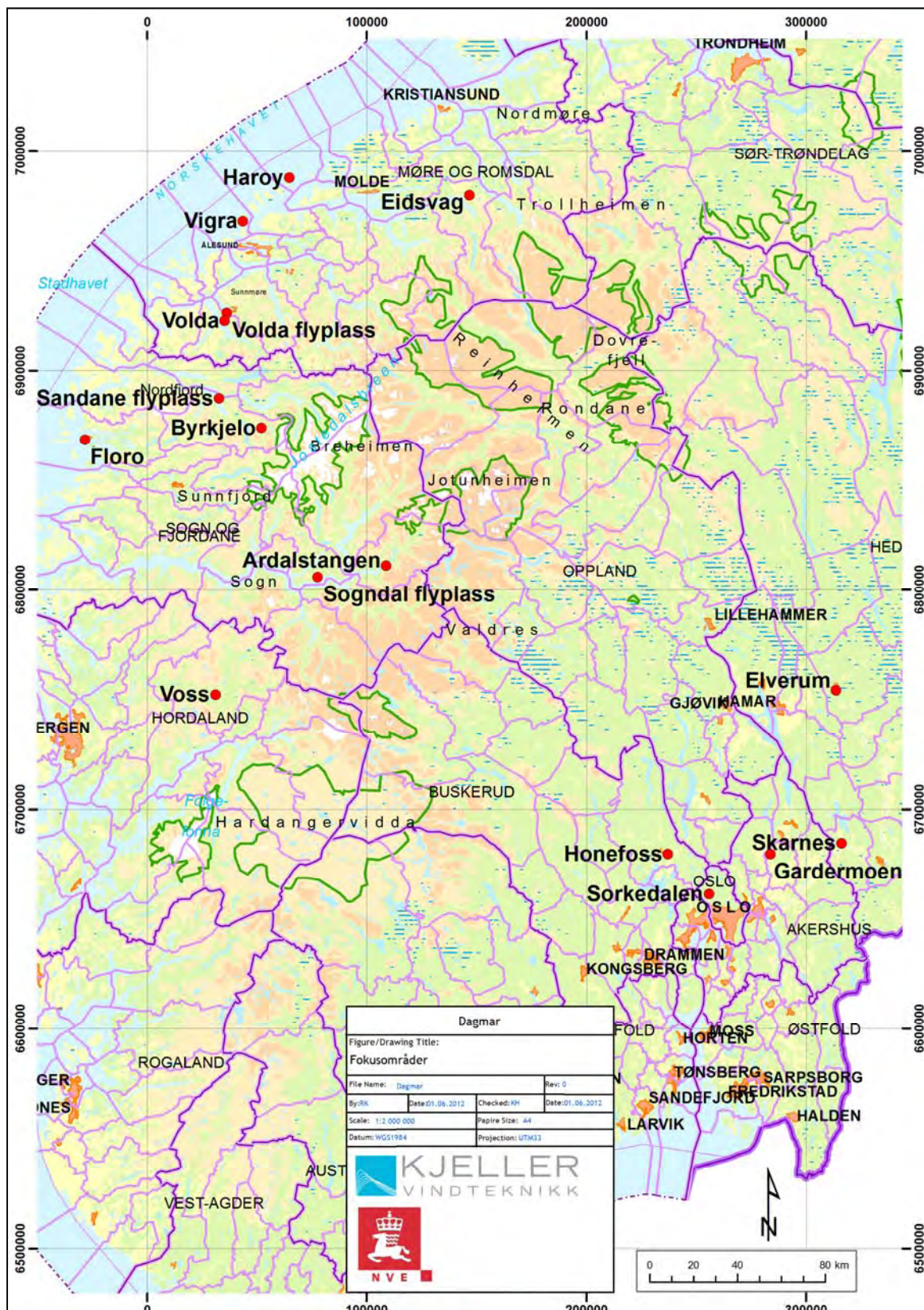
Stormen Dagmar kom inn til kysten av nordlige del av Vestlandet om ettermiddagen den 25.12.2011 og medførte at sterk sørvestlig vind blåste inn over områdene. Vinden dreide etter hvert mer over på vest og blåste etter hvert også sterkt på Østlandet, spesielt fra Oslo - Drammen og nordover. På Vigra flyplass ble det registrert 32 m/s med kast på 44 m/s og på Gardermoen 20 m/s med kast på 31 m/s. Dette viser at det var sterk storm til orkan på Møre kysten og sterk kuling enkelte steder på Østlandet. Det var stedvis meget sterk vind i indre strøk av Vestlandet, med 43 m/s som vindkast på Sandane lufthavn. Det ble store skader på skog og ledningsnett under stormen.

Det er på oppdrag fra Norges vassdrags- og energidirektorat beregnet vindhastighet og returtid for stormen Dagmar 25. -26 desember 2011. Oppdraget har gått ut på å estimere disse parametrene på 10 steder med store stormskader i Sør - Norge. Stedene er

1. Hønefoss (Buskerud)
2. Sørkedalen (Oslo)
3. Elverum, (Hedmark)
4. Skarnes Sør Odal, (Hedmark)
5. Eidsvåg (Møre og Romsdal)
6. Harøy, Sandøy kommune (Møre og Romsdal)
7. Volda (Møre og Romsdal)
8. Årdalstangen (Sogn og Fjordane)
9. Byrkjelo (Sogn og Fjordane)
10. Voss (Hordaland)

Det er benyttet data fra mesoskalamodellen WRF og fra meteorologiske stasjoner på flyplasser for å beregne ekstremvinder og sammenligne resultatene fra modellen mot målinger for å kunne si noe om resultatene i områder uten målinger.

En oversikt over stedene av interesse er vist i Figur 1-1.



Figur 1-1 Punkter (rødt) der det er beregnet vindhastighet og returtider for vind i forbindelse med Dagmar.

2 Inngangsdata

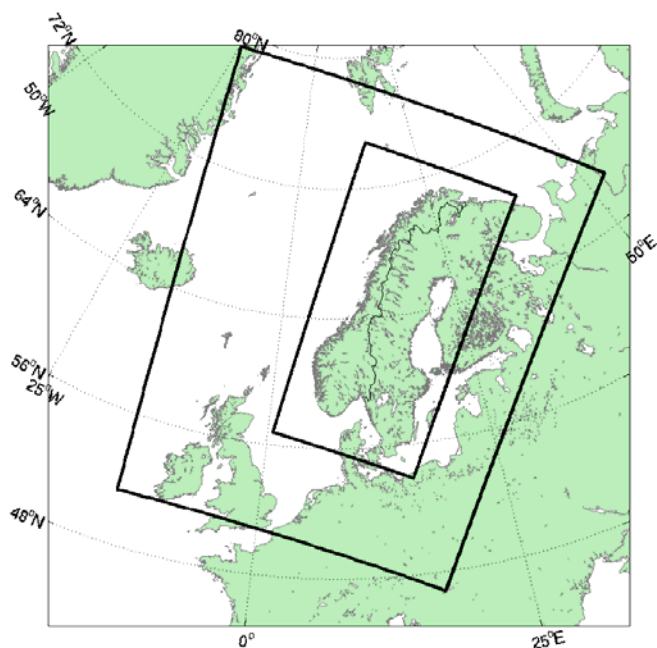
2.1 WRF data

Weather Research and Forecast (WRF) modellen er en mesoskala numerisk værvarslings modell som benyttes både for værvarsling og til forskningsformål. En beskrivelse av modellen finnes på siden <http://www.wrfmodel.org/>.

Versjon 3.2.1 er benyttet for denne analysen og er beskrevet i (Skamarock, et al. 2008). Øvrig informasjon angående modellens oppbygging, numeriske rutiner og fysiske detaljer er beskrevet i for eksempel (Klemp, Skamarock and Dudhia 2000) og (Michalakes, et al. 2001). Utvikling av modellen gjøres i hovedsak av ulike forsknings- og akademiske organisasjoner i USA. Modellen har et økende antall brukere, dette kan skyldes at modellen også er tilgjengelig for brukere utenfor det akademiske miljøet.

De viktigste inngangsparametrene til modellen er geografiske og meteorologiske. De geografiske dataene er fra National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). Disse dataene inkluderer topografi og albedo. Vegetasjon og overflatedata er hentet fra N50 kartgrunnlaget. Disse parametrene er spesielt viktig for vindhastighetene i beregningslagene nærmest bakken. Meteorologiske data brukes som grensebetingelser. Globale meteorologiske data med oppløsning på 1° og seks timer er gitt fra National Centers for Environmental Protection (NCEP). Data fra NCEP tar utgangspunkt i Final Global Data Assimilation System (FNL). Det globale meteorologiske datasettet består av mange observasjoner, både fra værstasjoner på bakkenivå, vertikal profil målinger basert på radiosonder, luftfartøy og satellitter. Alle observasjonene samles i en modell og man oppnår da et godt bilde av situasjonen i atmosfæren fire ganger per døgn. Ytterligere informasjon angående datasettet finnes på siden <http://wwwt.emc.ncep.noaa.gov/gmb/para/parabout.html>. Ruhetsdata har vært oppdatert ved bruk av N50 data. Oppsettet for simuleringen som dekker Norge og Sverige har en horisontal oppløsning på 4km x 4km og er vist i Figur 2-1.

Det er tatt ut vinddata for de 4 nærmeste gridpunktene fra WRF i 10 m høyde over modellterrenget for punktene vist i Figur 2-1, og posisjonen til disse punktene er gitt i Tabell 2-1. Siden modellterrenget er avrundet på 4 km skala er det i bratt terreng stort sett høyere enn virkelig terreng for steder som ligger i dalfører, men kan være lavere for steder som ligger på øyer i sjøen. WRF-dataene dekker perioden 1.1.2000 - 30.4.2012.



Figur 2-1 Simuleringsområdene til WRF modellen med 4km oppløsning i innerste domene og 16 km i ytterste domene. Data som er brukt i analysen er hentet fra det innerste domenet.

Tabell 2-1 Oversikt over de fire nærmeste gridpunkt til 16 lokaliteter i Sør Norge fra WRF.

| Sted | Stasjonsnummer | Lengdegrad[°] | Breddegrad[°] | Høyde over havet [m] for modellterreng |
|-------------------------|----------------|---------------|---------------|--|
| Sandane flyplass | 6010 | 6.092 | 61.817 | 125 |
| | 6011 | 6.100 | 61.852 | 217 |
| | 6012 | 6.167 | 61.813 | 200 |
| | 6013 | 6.175 | 61.849 | 359 |
| Volda flyplass | 6020 | 6.097 | 62.177 | 205 |
| | 6021 | 6.021 | 62.180 | 85 |
| | 6022 | 6.089 | 62.141 | 140 |
| | 6023 | 6.105 | 62.212 | 378 |
| Sogndal flyplass | 6030 | 7.133 | 61.149 | 302 |
| | 6031 | 7.142 | 61.185 | 404 |
| | 6032 | 7.207 | 61.145 | 181 |
| | 6033 | 7.060 | 61.154 | 416 |
| Voss | 6040 | 6.415 | 60.618 | 296 |
| | 6041 | 6.423 | 60.653 | 332 |
| | 6042 | 6.343 | 60.621 | 348 |
| | 6043 | 6.487 | 60.614 | 367 |
| Årdalstangen | 6050 | 7.675 | 61.223 | 553 |
| | 6051 | 7.685 | 61.258 | 590 |
| | 6052 | 7.748 | 61.218 | 1058 |
| | 6053 | 7.758 | 61.254 | 745 |
| Byrkjelo | 6060 | 6.526 | 61.723 | 601 |
| | 6061 | 6.451 | 61.727 | 499 |
| | 6062 | 6.534 | 61.758 | 641 |
| | 6063 | 6.459 | 61.762 | 506 |

| | | | | |
|----------------------------|------|--------|---------|-----|
| Hønefoss | 6070 | 10.272 | 60.158 | 119 |
| | 6071 | 10.202 | 60.165 | 132 |
| | 6072 | 10.285 | 60.193 | 160 |
| | 6073 | 10.215 | 60.200 | 158 |
| Sørkedalen | 6080 | 10.583 | 60.022 | 327 |
| | 6081 | 10.653 | 60.015 | 330 |
| | 6082 | 10.640 | 59.980 | 271 |
| | 6083 | 10.570 | 59.987 | 286 |
| Elverum | 6090 | 11.578 | 60.866 | 225 |
| | 6091 | 11.593 | 60.901 | 229 |
| | 6092 | 11.507 | 60.873 | 236 |
| | 6093 | 11.521 | 60.908 | 216 |
| Skarnes | 7010 | 11.685 | 60.239 | 186 |
| | 7011 | 11.699 | 60.274 | 171 |
| | 7012 | 11.615 | 60.246 | 197 |
| | 7013 | 11.629 | 60.281 | 224 |
| Harøy | 7020 | 6.473 | 62.770 | 3 |
| | 7021 | 6.464 | 62.735 | 5 |
| | 7022 | 6.395 | 62.774 | 1 |
| | 7023 | 6.386 | 62.739 | 2 |
| Eidsvåg | 7030 | 8.058 | 62.786 | 243 |
| | 7031 | 8.047 | 62.751 | 215 |
| | 7032 | 8.136 | 62.781 | 338 |
| | 7033 | 8.125 | 62.746 | 486 |
| Ørsta - Volda | 7040 | 6.089 | 62.141 | 140 |
| | 7041 | 6.013 | 62.145 | 55 |
| | 7042 | 6.081 | 62.105 | 156 |
| | 7043 | 6.097 | 62.177 | 205 |
| Gardermoen flyplass | 7050 | 11.082 | 60.191 | 181 |
| | 7051 | 11.152 | 60.183 | 202 |
| | 7052 | 11.096 | 60.226 | 193 |
| | 7053 | 11.166 | 60.2189 | 207 |
| Vigra flyplass | 7060 | 6.103 | 62.536 | 0 |
| | 7061 | 6.111 | 62.572 | 5 |
| | 7062 | 6.025 | 62.540 | 1 |
| | 7063 | 6.033 | 62.576 | 1 |
| Florø flyplass | 7070 | 5.059 | 61.578 | 7 |
| | 7071 | 4.985 | 61.581 | 3 |
| | 7072 | 5.053 | 61.543 | 0 |
| | 7073 | 4.978 | 61.546 | 3 |

2.2 Meteorologiske stasjoner

Det er tatt ut vinddata fra 6 meteorologiske stasjoner lokalisert på ulike flyplasser i Sør Norge. Disse meteorologiske stasjonene er Gardermoen, Vigra, Florø, Ørsta - Volda, Sandane og Sogndal. Årlig maksimumsverdi i 10-min middel er tatt ut for alle stasjonene. Det er stor forskjell i lengde på tidsseriene fra de ulike stasjonene, der noen stasjoner (Gardermoen, Vigra, Florø) har gode dataserier fra ca. 1960 eller 1970, mens andre stasjoner bare har lett tilgjengelige dataserier siden slutten av 1990-tallet. Det har også vært en endring i anemometer og målerutiner i de meteorologiske stasjonene innenfor de benyttede dataperiodene, men disse mulige inhomogenitetene har relativt liten betydning ved beregning av ekstremvindhastigheter, da variasjonen i årlig ekstremvind er stor og usikkerheter knyttet til dette vil dominere i analysen.

Tabell 2-2 Meteorologiske stasjoner og lengde på måleserier

| Stasjon | Lengde på serie |
|---------------|-------------------|
| Gardermoen | 1959/60-2011/2012 |
| Vigra | 1959/60-2011/2012 |
| Florø | 1971/72-2011/2012 |
| Ørsta - Volda | 1997/98-2011/2012 |
| Sandane | 1997/98-2011/2012 |
| Sogndal | 1998/99-2011/2012 |

3 Metodikk

3.1 Ekstremvindberegninger

Vinddata for analysene av ekstremvind er årlige maksimumsverdier for 10-minutters middelværdi hver time for de ulike WRF punktene og meteorologiske stasjonene gitt i kapittel 2.

Vindhastigheten på en stasjon fordeles etter en Weibullfordeling, gitt ved

$$W(k; C) = kC^{-k}U^{k-1}e^{-\left(\frac{U}{C}\right)^k} \quad (3-1)$$

Her er W sannsynlighetstettheten og U vindhastigheten. For høye verdier av U vil eksponentialleddet dominere og $W \rightarrow 0$. C kalles skalaparameteren og avgjør nivået på vindhastigheten, mens k kalles formparameteren og avgjør hvor lang fordelingen er i halen i forhold til middelvinden. For fyrstasjoner ligger typisk $k=2$, mens innlandsstasjoner kan ha lav middelvind, men være lengre i halen fordi bare sporadiske stormtilfeller slår til, det vil si k lavere enn 2.

Ved Gumbelanalyse som benyttes for ekstremvindanalyser (Gumbel, 1958) legges det til grunn at halen til vindfordelingen kan skrives som:

$$p(X > X_0) = 1 - p(X \leq X_0) = 1 - F(X) = 1 - e^{-e^{-a(X-b)}} = 1 - e^{-e^{-\gamma}} \quad (3-2)$$

Her er p sannsynligheten for at en størrelse, X , i et enkelt år skal overstige en gitt verdi, X_0 . $F(X)$ er da den delen av frekvensfordelingen som ligger under X_0 . Den har form av en dobbelt eksponentiell funksjon med to parametre, a og b som bestemmer fordelingen. Datamaterialet er en serie med årlige maksimalverdier og parametrene bestemmes ut fra tilpasning til den teoretiske fordelingen. Det er flere måter å gjøre dette på, bl.a. en grafisk metode, momentmetoden, minste kvadraters metode, sannsynlighetsmaksimeringsmetoden og Liebleins metode (Lieblein, 1974). Liebleins metode er av mange sett på som den beste, idet observasjonene vektet slik at kurven får størst vekt der den kan bestemmes best. Liebleins metode er mindre følsom for "Outliers", som kan være feilregistreringer eller svært sjeldne begivenheter som tilfeldigvis har forekommet i tidsserien. KVT har utviklet programvare som utfører Gumbelanalysen etter Liebleins metode.

I denne rapporten er Liebleins metode benyttet. I tillegg er det benyttet en parameter som tar hensyn til konvergens av halen. Ved $k=2.0$ anbefales $X=U^2$ i likning 3-2, og dette benyttes på fyrstasjoner og offshore stasjoner. For alle stasjoner med unntak av to (Florø og Vigra) har vi valgt $k=1$. For Vigra og Florø er k valgt til 2. Resultatet av Gumbelanalysen viser sannsynlighet for årlig overskridelse, p , og tilsvarende returperiode, $T=1/p$. Disse resultatene vil bli sammenlignet med verdier fra Dagmar for å bestemme returperioden til Dagmar.

4 Sammenligninger og resultater

4.1 Resultat fra ekstremvindberegninger

Det er beregnet ekstremvind for alle WRF punkt og meteorologiske stasjoner gitt i kapittel 2.

Tabell 4-1 Beregnet ekstremvindhastighet [m/s] med returtid 2 til 100 år for WRF - 4 km datasett (stnr 6050 - 7073, dataserie 2000/01 - 2011/12) på 5 flyplasser og 10 vurderingssteder. På flyplassene er også angitt ekstremvindhastighet for 10 min middelvind, U_{10} og 3 sek vindkast, U_g fra vindmåleserier på stedet.

Gardermoen flyplass

| T[år]/Stasjonsnummer | 2 | 5 | 10 | 20 | 25 | 50 | 100 |
|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 7050 | 12.7 | 14.4 | 15.6 | 16.6 | 17.0 | 18.0 | 19.1 |
| 7051 | 12.4 | 14.0 | 15.0 | 16.0 | 16.3 | 17.3 | 18.3 |
| 7052 | 12.0 | 13.9 | 15.2 | 16.4 | 16.8 | 18.0 | 19.2 |
| 7053 | 11.7 | 13.3 | 14.3 | 15.3 | 15.6 | 16.6 | 17.6 |
| U10_obs. 59/60-11/12 | 16.0 | 18.4 | 20.0 | 21.6 | 22.1 | 23.6 | 25.2 |
| Ug_obs. 59/60-11/12 | 22.3 | 25.4 | 27.4 | 29.4 | 30.0 | 32.0 | 33.9 |

Vigra flyplass

| T[år]/Stasjonsnummer | 2 | 5 | 10 | 20 | 25 | 50 | 100 |
|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 7060 | 24.9 | 28.3 | 30.6 | 32.7 | 33.4 | 35.5 | 37.6 |
| 7061 | 25.1 | 28.4 | 30.6 | 32.7 | 33.4 | 35.4 | 37.4 |
| 7062 | 24.9 | 27.9 | 29.9 | 31.7 | 32.3 | 34.2 | 36.0 |
| 7063 | 25.0 | 27.6 | 29.4 | 31.1 | 31.6 | 33.2 | 34.9 |
| U10_obs. 59/60-11/12 | 22.1 | 25.4 | 27.5 | 29.6 | 30.2 | 32.2 | 34.2 |
| Ug_obs. 59/60-11/12 | 32.3 | 36.7 | 39.5 | 42.3 | 43.2 | 45.9 | 48.6 |

Florø flyplass

| T[år]/Stasjonsnummer | 2 | 5 | 10 | 20 | 25 | 50 | 100 |
|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 7070 | 22.9 | 25.4 | 27.1 | 28.7 | 29.2 | 30.7 | 32.3 |
| 7071 | 23.0 | 25.1 | 26.5 | 27.8 | 28.2 | 29.5 | 30.8 |
| 7072 | 23.5 | 26.1 | 27.9 | 29.5 | 30.0 | 31.7 | 33.3 |
| 7073 | 23.3 | 25.3 | 26.6 | 27.9 | 28.3 | 29.5 | 30.8 |
| U10_obs. 71/72-11/12 | 22.4 | 24.5 | 26.0 | 27.3 | 27.7 | 29.1 | 30.4 |
| Ug_obs. 71/72-11/12 | 30.2 | 33.3 | 35.4 | 37.3 | 38.0 | 39.9 | 41.8 |

Voss

| T[år]/Stasjonsnummer | 2 | 5 | 10 | 20 | 25 | 50 | 100 |
|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 6040 | 14.4 | 15.5 | 16.2 | 16.8 | 17.0 | 17.7 | 18.3 |
| 6041 | 13.6 | 15.6 | 16.9 | 18.1 | 18.5 | 19.8 | 21.0 |
| 6042 | 15.2 | 16.9 | 18.1 | 19.2 | 19.5 | 20.6 | 21.7 |
| 6043 | 14.9 | 16.4 | 17.3 | 18.2 | 18.5 | 19.4 | 20.3 |

Årdalstangen

| T[år]/Stasjonsnummer | 2 | 5 | 10 | 20 | 25 | 50 | 100 |
|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 6050 | 18.6 | 20.6 | 21.9 | 23.1 | 23.5 | 24.7 | 25.9 |
| 6051 | 12.7 | 13.9 | 14.7 | 15.5 | 15.7 | 16.5 | 17.2 |
| 6052 | 24.1 | 26.3 | 27.7 | 29.1 | 29.5 | 30.9 | 32.3 |
| 6053 | 19.2 | 21.1 | 22.3 | 23.5 | 23.8 | 25.0 | 26.1 |

Byrkjelo

| T[år]/Stasjonsnummer | 2 | 5 | 10 | 20 | 25 | 50 | 100 |
|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 6060 | 20.2 | 21.8 | 22.9 | 24.0 | 24.3 | 25.3 | 26.4 |
| 6061 | 18.4 | 19.7 | 20.5 | 21.3 | 21.6 | 22.4 | 23.2 |
| 6062 | 23.4 | 24.9 | 25.9 | 26.9 | 27.2 | 28.2 | 29.1 |
| 6063 | 20.0 | 21.7 | 22.9 | 24.1 | 24.4 | 25.5 | 26.7 |

Hønefoss

| T[år]/Stasjonsnummer | 2 | 5 | 10 | 20 | 25 | 50 | 100 |
|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 6070 | 11.6 | 12.9 | 13.7 | 14.6 | 14.8 | 15.6 | 16.4 |
| 6071 | 11.1 | 12.6 | 13.7 | 14.6 | 14.9 | 15.9 | 16.8 |
| 6072 | 11.3 | 12.6 | 13.5 | 14.4 | 14.6 | 15.5 | 16.3 |
| 6073 | 10.9 | 12.4 | 13.3 | 14.2 | 14.5 | 15.4 | 16.3 |

Sørkedalen

| T[år]/Stasjonsnummer | 2 | 5 | 10 | 20 | 25 | 50 | 100 |
|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 6080 | 12.8 | 15.2 | 16.8 | 18.4 | 18.8 | 20.3 | 21.8 |
| 6081 | 12.4 | 14.3 | 15.5 | 16.7 | 17.1 | 18.3 | 19.4 |
| 6082 | 12.0 | 13.9 | 15.1 | 16.3 | 16.7 | 17.9 | 19.1 |
| 6083 | 12.7 | 15.0 | 16.5 | 17.9 | 18.4 | 19.8 | 21.2 |

Elverum

| T[år]/Stasjonsnummer | 2 | 5 | 10 | 20 | 25 | 50 | 100 |
|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 6090 | 11.4 | 13.0 | 14.1 | 15.1 | 15.5 | 16.5 | 17.4 |
| 6091 | 11.6 | 13.0 | 14.0 | 14.8 | 15.1 | 16.0 | 16.9 |
| 6092 | 11.6 | 13.1 | 14.2 | 15.2 | 15.5 | 16.5 | 17.4 |
| 6093 | 11.8 | 13.7 | 15.0 | 16.2 | 16.6 | 17.8 | 19.0 |

Skarnes

| T[år]/Stasjonsnummer | 2 | 5 | 10 | 20 | 25 | 50 | 100 |
|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 7010 | 11.5 | 13.0 | 14.0 | 15.0 | 15.3 | 16.2 | 17.1 |
| 7011 | 11.3 | 12.7 | 13.6 | 14.5 | 14.8 | 15.6 | 16.5 |
| 7012 | 12.1 | 13.9 | 15.1 | 16.3 | 16.6 | 17.7 | 18.8 |
| 7013 | 11.7 | 13.2 | 14.2 | 15.2 | 15.5 | 16.5 | 17.4 |

Harøy

| T[år]/Stasjonsnummer | 2 | 5 | 10 | 20 | 25 | 50 | 100 |
|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 7020 | 24.6 | 27.1 | 28.8 | 30.4 | 30.9 | 32.5 | 34.0 |
| 7021 | 24.5 | 26.1 | 27.3 | 28.3 | 28.7 | 29.7 | 30.7 |
| 7022 | 24.7 | 27.1 | 28.7 | 30.2 | 30.7 | 32.2 | 33.7 |
| 7023 | 24.8 | 27.4 | 29.1 | 30.7 | 31.2 | 32.8 | 34.4 |

Eidsvåg

| T[år]/Stasjonsnummer | 2 | 5 | 10 | 20 | 25 | 50 | 100 |
|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 7030 | 16.4 | 17.6 | 18.3 | 19.1 | 19.3 | 20.0 | 20.8 |
| 7031 | 16.9 | 18.1 | 18.9 | 19.7 | 19.9 | 20.7 | 21.4 |
| 7032 | 19.1 | 20.5 | 21.5 | 22.4 | 22.7 | 23.6 | 24.4 |
| 7033 | 20.5 | 22.4 | 23.7 | 24.9 | 25.3 | 26.5 | 27.6 |

Volda

| T[år]/Stasjonsnummer | 2 | 5 | 10 | 20 | 25 | 50 | 100 |
|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 7040 | 15.7 | 17.6 | 18.9 | 20.1 | 20.5 | 21.7 | 22.9 |
| 7041 | 19.5 | 22.1 | 23.8 | 25.4 | 25.9 | 27.5 | 29.1 |
| 7042 | 20.3 | 22.7 | 24.3 | 25.8 | 26.3 | 27.7 | 29.2 |
| 7043 | 14.6 | 15.8 | 16.7 | 17.5 | 17.8 | 18.5 | 19.3 |

Sandane flyplass

| T[år]/Stasjonsnummer | 2 | 5 | 10 | 20 | 25 | 50 | 100 |
|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 6010 | 16.2 | 18.4 | 19.9 | 21.3 | 21.8 | 23.2 | 24.6 |
| 6011 | 19.4 | 22.0 | 23.6 | 25.3 | 25.8 | 27.3 | 28.9 |
| 6012 | 15.5 | 17.0 | 18.1 | 19.0 | 19.4 | 20.3 | 21.3 |
| 6013 | 16.1 | 18.2 | 19.6 | 21.0 | 21.4 | 22.7 | 24.0 |
| U10_obs. 97/98-11/12 | 16.3 | 19.0 | 20.9 | 22.6 | 23.2 | 24.9 | 26.6 |
| Ug_obs. 97/98-11/12 | 32.8 | 35.7 | 38.5 | 39.3 | 42.0 | 44.7 | 32.8 |

Volda flyplass

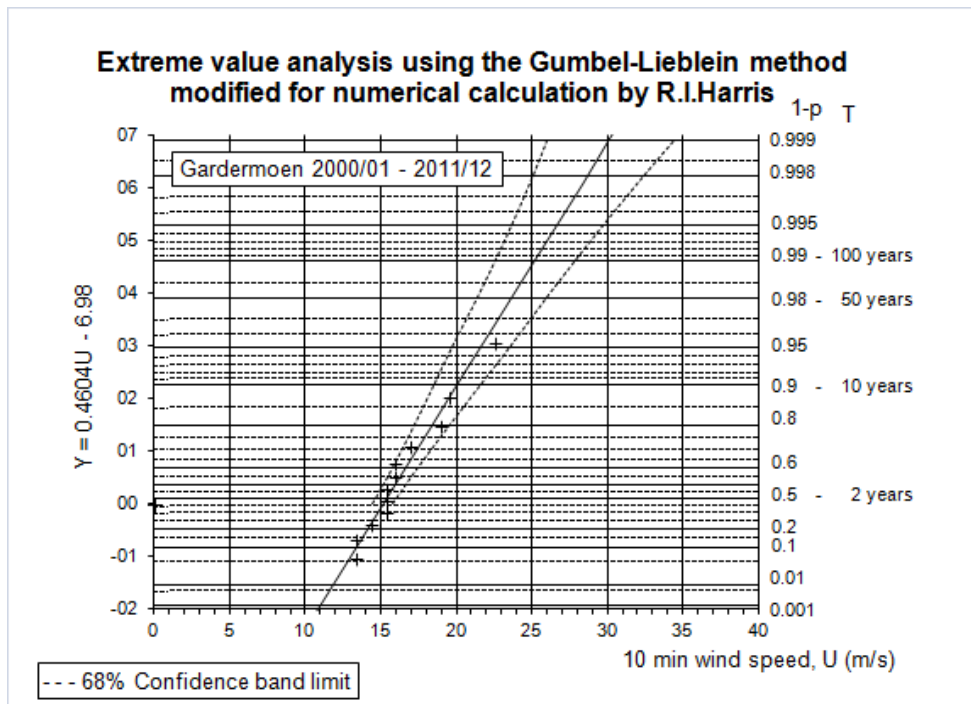
| T[år]/Stasjonsnummer | 2 | 5 | 10 | 20 | 25 | 50 | 100 |
|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 6020 | 14.6 | 15.8 | 16.7 | 17.5 | 17.8 | 18.5 | 19.3 |
| 6021 | 15.5 | 16.9 | 17.9 | 18.9 | 19.2 | 20.1 | 21.0 |
| 6022 | 15.7 | 17.6 | 18.9 | 20.1 | 20.5 | 21.7 | 22.9 |
| 6023 | 16.7 | 18.7 | 20.1 | 21.4 | 21.9 | 23.1 | 24.4 |
| U10_obs. 97/98-11/12 | 15.3 | 19.3 | 21.9 | 24.5 | 25.3 | 27.7 | 30.2 |
| Ug_obs. 97/98-11/12 | 29.1 | 31.2 | 33.2 | 33.9 | 35.8 | 37.8 | 29.1 |

Sogndal flyplass

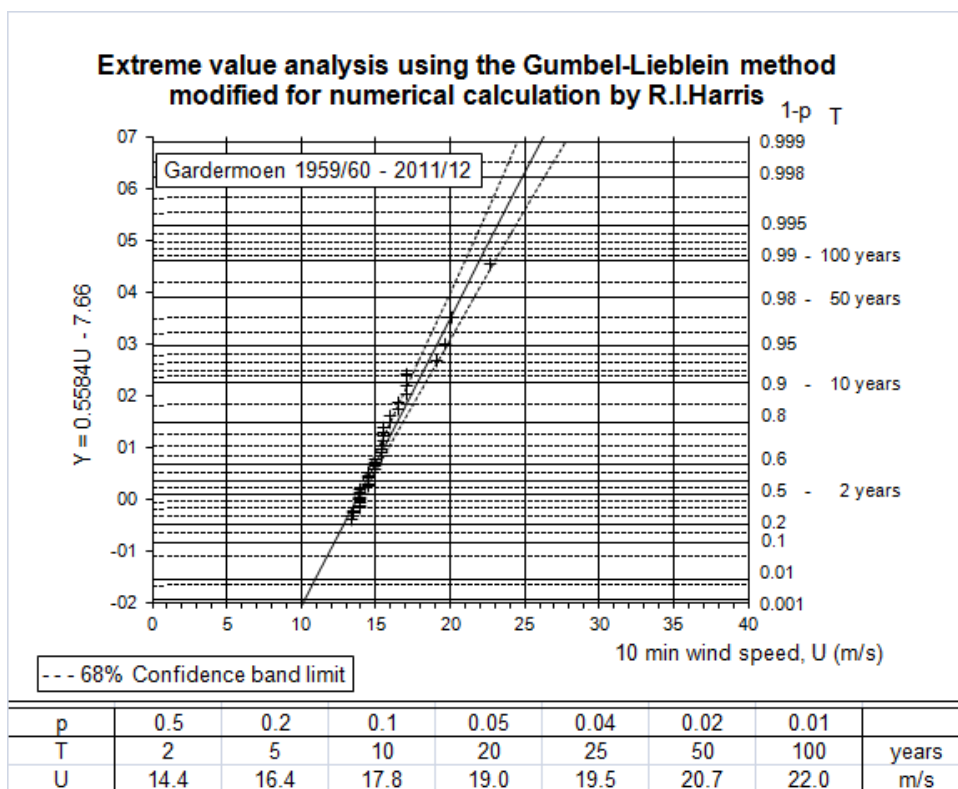
| T[år]/Stasjonsnummer | 2 | 5 | 10 | 20 | 25 | 50 | 100 |
|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 6030 | 15.2 | 16.6 | 17.6 | 18.5 | 18.8 | 19.8 | 20.7 |
| 6031 | 13.8 | 15.8 | 17.1 | 18.4 | 18.8 | 20.0 | 21.3 |
| 6032 | 18.4 | 20.6 | 22.0 | 23.3 | 23.7 | 25.0 | 26.3 |
| 6033 | 14.6 | 16.1 | 17.1 | 18.1 | 18.4 | 19.3 | 20.2 |
| U10_obs. 98/99-11/12 | 17.4 | 20.4 | 22.3 | 24.2 | 24.8 | 26.7 | 28.5 |
| Ug_obs. 98/99-11/12 | 29.9 | 32.9 | 35.8 | 36.7 | 39.5 | 42.3 | 29.9 |

Tabellen viser beregnede ekstremvindverdier fra flyplassdataene og WRF-seriene. Ekstremvinden fra WRF - serien vil være mer lik 1 time maksimalverdi og representerer et utjevnet terreng for hvert av de fire punktene rundt senterpunktene. Flyplassverdiene er fra en 10 m målemast plassert nær rullebanen. Det er beregnet ekstremverdi for 10 min middelvind og 10 minutters vindkast på disse stedene. Gardermoen, Vigra og Florø har dataserier på ca 50 år og har derfor mindre usikkerhet i ekstremverdiene enn øvrige flyplassene. I tillegg ligger de også forholdsvis åpent i terrenget og er derfor forholdsvis områderepresentative.

For å illustrere usikkerheten ved å benytte korte serier (12 år) i ekstremverdi analysen kan vi ta ut data fra siste 12 års periode for en stasjon med lang rekke og gjøre ekstremanalyse også for denne serien. Figur 4-1 og 4-2 viser ekstremvindanalysen for siste 12 års periode og hele langtidspannen fra 1959/60 til 2011/12 for Gardermoen. Estimert 50-års verdi ved kort periode er 23.6 m/s og for lang periode 20.7 m/s. Konfidenslinjen spriker tydelig for den korte perioden hvilket viser at dette resultatet er usikkert. Sammen med skalaproblemene betyr dette at vi ikke bør overtolke Tabell 4-1, men heller benytte resultatene statistisk. Det er således ikke vært mulig å gi realistiske ekstremverdier med 50 års returperiode for enkeltpunkter. Dette kan også sees ved å studere tabellen, der selv et flatt område som Harøy gir tilnærmet identiske 2-års verdier, mens beregnede 50 års verdier spriker med 10%.



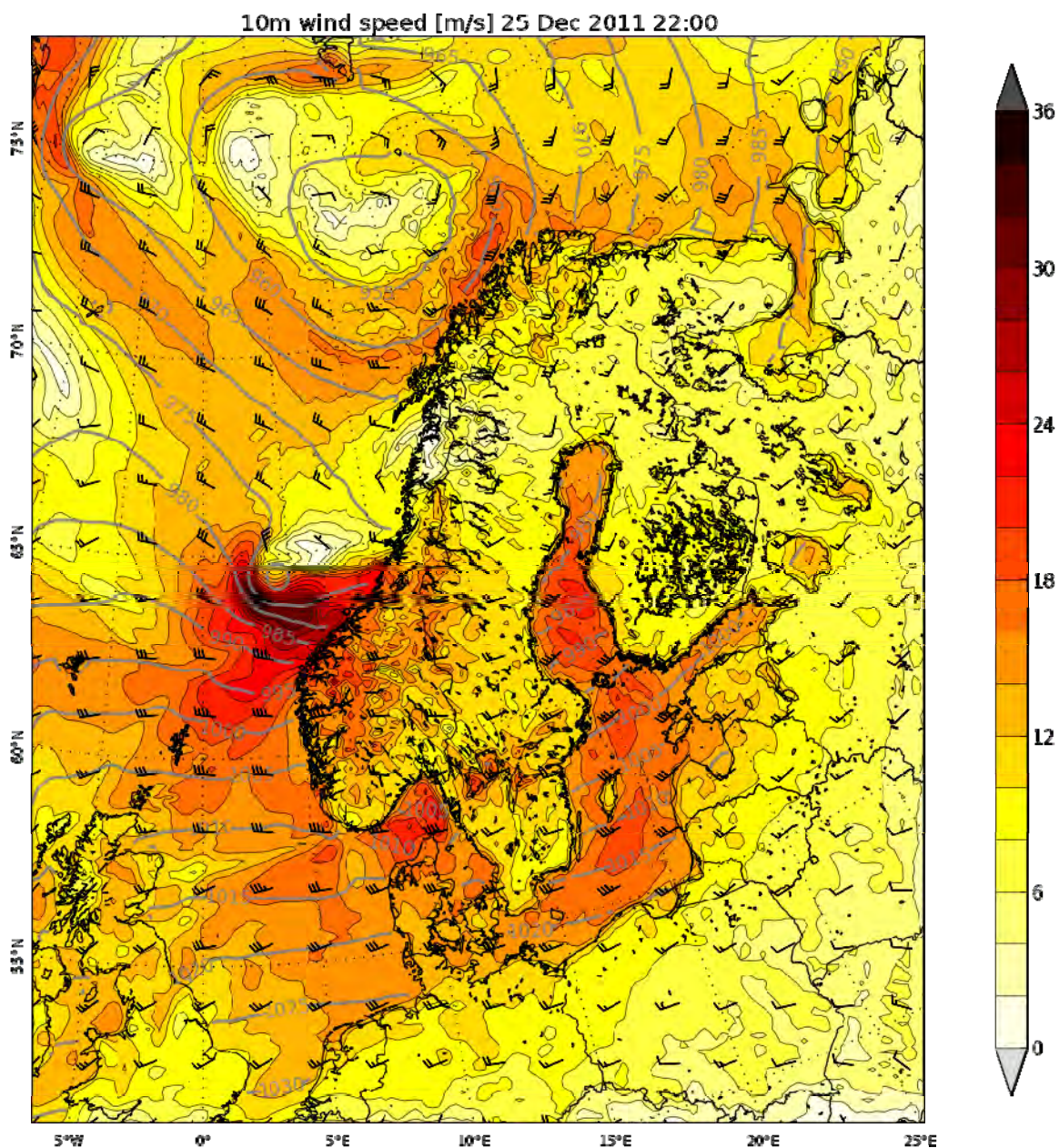
Figur 4-1 Ekstremvindanalyse av observasjonsdata fra Gardermoen for perioden 2000/01 - 2011/12



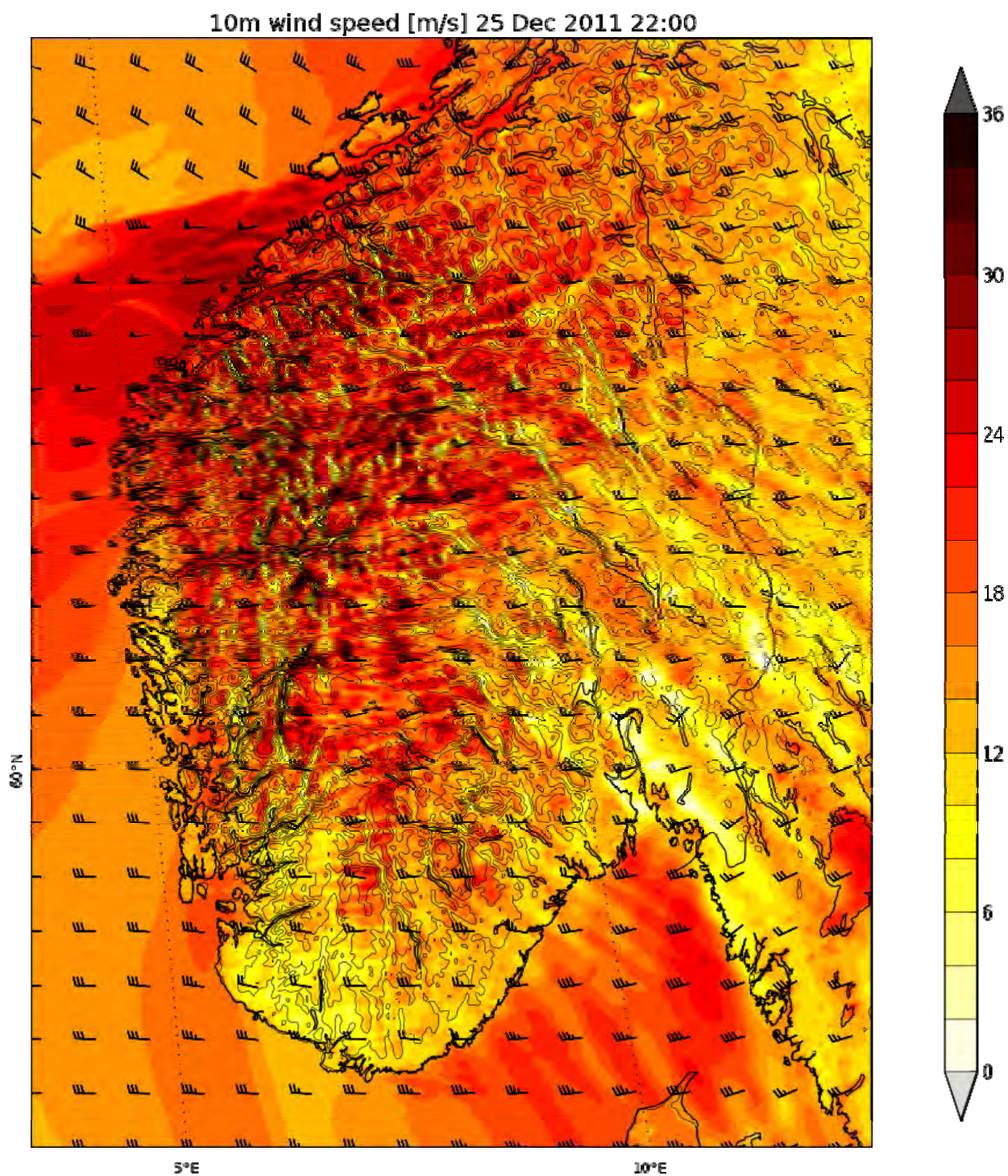
Figur 4-2 Ekstremvindanalyse av observasjonsdata fra Gardermoen for perioden 1959/60 - 2011/12

4.2 Modellering av Dagmar

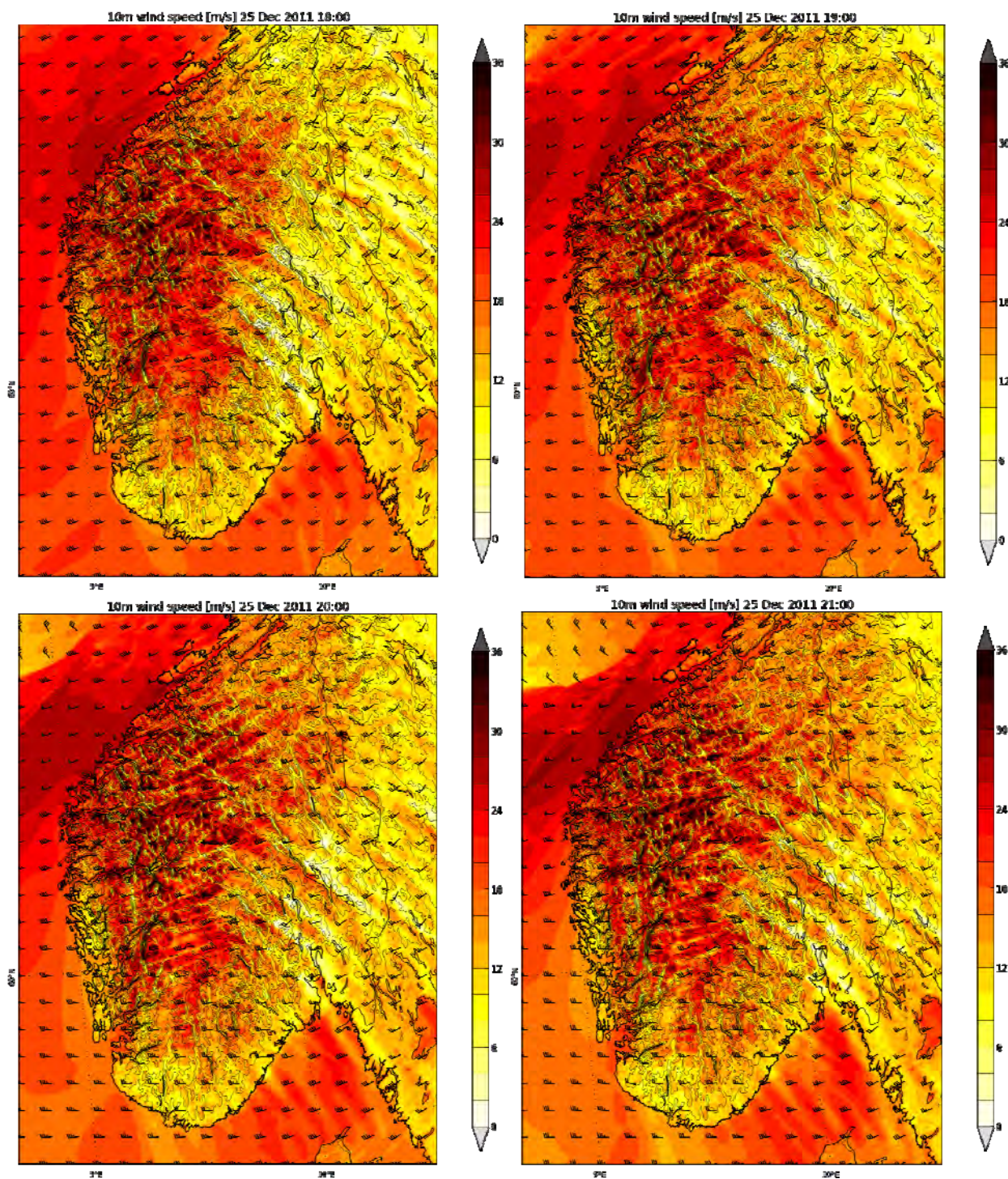
Det er vel kjent at WRF modellerer vinden godt statistisk sett og at en sammenligning mellom korte perioder og lange perioder gir konstante forholdstall for vindparametre innenfor samme modelluttak. Men når den korte perioden kun omfatter en enkeltepisode kan det bli noe variasjon. Stormen Dagmar er modellert med 4km oppløsning med NCEP - FNL data. Kjøringen gir et meget godt bilde av stormen. Figur 4-3 viser stormen kl. 22 UTC. Kartet viser vindhastighet på fargeskala og vindhastigheter med sentrert vindpil med 5 m/s pr hele strek på fjæra. Her ser vi at det var et intenst lavtrykk utenfor Mørekysten og et stramt vestlig vind på sørsida, til dels sørvestlig i Møre og Romsdal. Den sterke vinden strømmet over Langfjella til Østlandet.



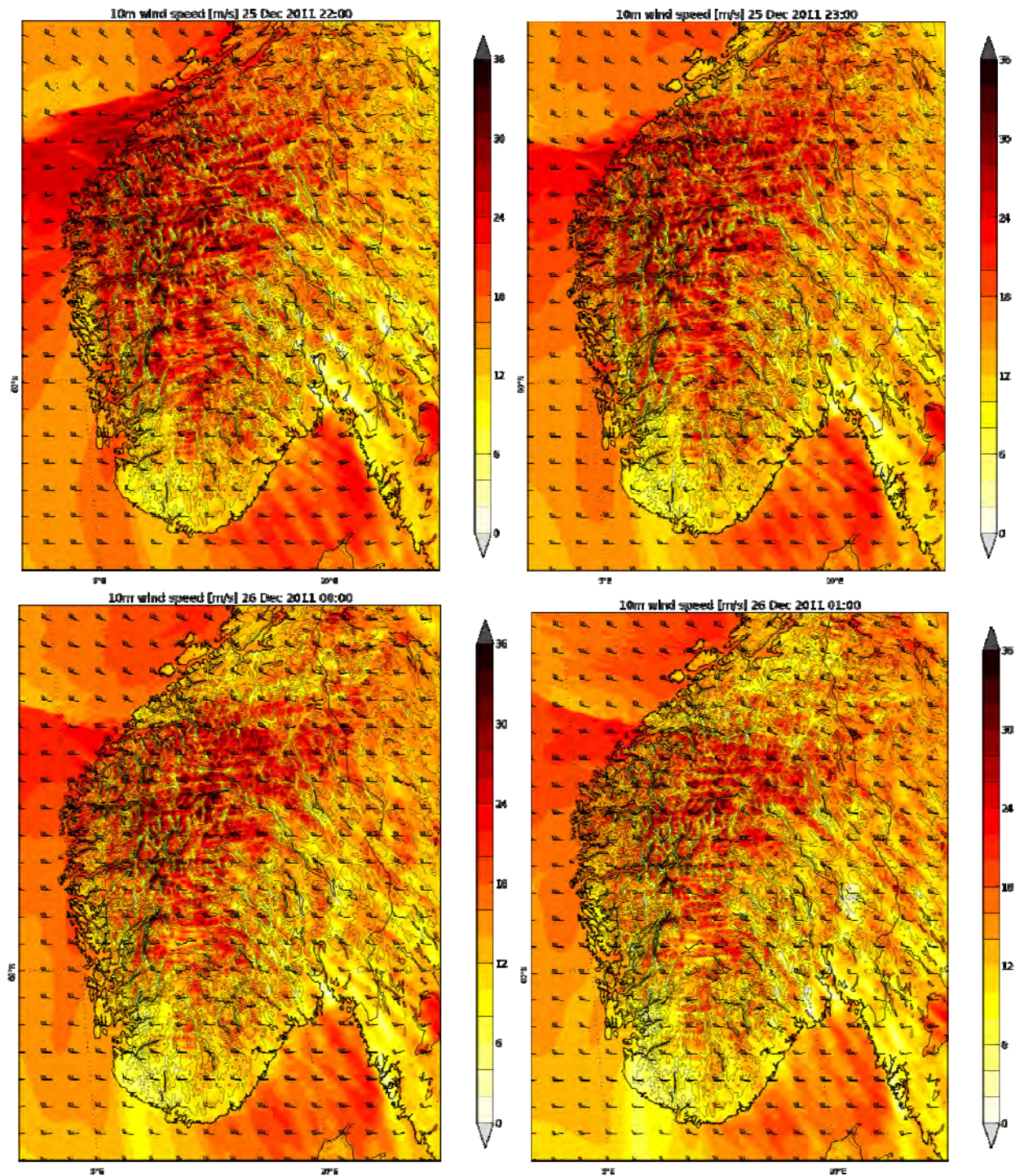
Figur 4-3 Vindhastighet [m/s] og trykkfelt [hpa] under Dagmar, 25.12.2011 kl.22 UTC modellert ved WRF 4 km modell med NCEP - FNL data som input på randen



Figur 4-4 Vindhastighet [m/s] under Dagmar, 25.12.2011 kl.22 UTC modellert ved WRF 1.7 km modell med NCEP - FNL data som input på randen



Figur 4-5 Vindhastighet [m/s] under Dagmar, 25.12.2011 kl.18 - 21 UTC modellert ved WRF 1.7 km modell med NCEP - FNL data som input på randen



Figur 4-6 Vindhastighet [m/s] under Dagmar, 25.12.2011 kl.22 - 26.12. kl 01 UTC modellert ved WRF 1.7 km modell med NCEP - FNL data som input på randen

Figur 4-3 viser vindstyrken både som vindpiler og i fargeskalaen hvitt - gult - rødt - sort. Bildet viser modellert vindhastighet i 10 m høyde som 1 times middelvind. Over skogsområder er vindhastigheten i 10 m høyde betydelig redusert, derfor sees et tydelig minimumsområde over Østlandet og Sverige. Typisk verdi over deler av Østlandet er 14 m/s. Vi ser også at modellert vindhastighet på havet utenfor Mørkekysten kommer opp i 30 m/s. Disse verdiene kan være litt i laveste laget. Dagmar ble også kjørt med ERA interim data (Dee et al., 2011) som inngangsdata. Også dette gav et godt bilde av stormen, men det var tilsvarende underestimert av ekstremverdiene.

For å få et bedre bilde av stormen og vindhastigheten på ulike steder i stormområdet, har vi kjørt med WRF ned i 1.7 km skala: Dette har vært mulig innenfor rimelige ressurser, mens en lengre serie ikke har vært realistisk. Det ble da kjørt for 1 døgn, 25.12.2011 kl 4 til 26.12. kl 3. for hele Sør-Norge. Figur 4-4, 4-5 og 4-6 viser resultatene av kjøringen for perioden kl. 18 til 01. Figurene viser et mer detaljert bilde enn Figur 4-3. Her ser vi at på Vestlandet er stormen sterkes i første del av perioden, mens den på Østlandet er sterkest i siste 2 - 3 timene. Selv om figurene viser et forholdsvis detaljert bilde av stormen, er det likevel forbundet med store usikkerheter å bruke figurene for å ta ut vindhastigheten på enkeltsteder ut fra disse kartene. Vi vil spesielt nevne at for WRF 4 km er vindhastigheten som ble produsert for Florø flyplass ekstra lav, bare 19.5 m/s mot 26 m/s som målt på flyplassen. Denne ligger åpent til, og det er omtrent konstante forhold for alle fire delpunktene. Hastigheten øker med 10% på denne plassen ved bruk av 1.7 km data, og i gjennomsnitt for alle beregningspunktene øker vindhastigheten med 4%. Det er likevel grunn til å merke seg at Dagmar ikke på noe sted langs kysten går over 30 m/s, hvilket tyder på en underestimert også for skala 1.7 km.

4.3 Oppskalering av modellresultatene fra Dagmar

Det kan altså se ut til at vindhastigheten under Dagmar er noe underestimert i modellen. For å se nærmere på dette gjør vi følgende antagelser: Vi antar at ekstremvinden under Dagmar som et gjennomsnitt på de seks flyplassene skal ha samme returperiode enten det benyttes observasjonsdata eller data fra 12 års WRF-serie. Ekstremene er gitt i Tabell 4-2.

Tabell 4-2 viser i første tall-kolonne forholdstallet mellom maksimalvindhastighet under Dagmar og beregnet 50 - års returperiode. For WRF er det gitt middelerdi for hvert av de 4 punktene sentrert rundt stedet. Da ser vi at vindhastigheten i snitt svarer til 78% av 50-årsverdien, hvilket omtrent svarer til en 2 - års verdi. Vindretningen for Dagmar var i alle tilfellene innenfor sektor SV til V. Benyttes 50 - års verdien i denne sektoren i nevneren, fåes 0.82, dvs at Dagmar blir en ca 5 års verdi viss vi setter krav til sektor SV - V.

Benyttes nå maksimalverdiene fra observasjonsdataene blir bildet et annet. For 10 minutters middelvind får vi 0.98 (all-sektor) og 1.04 (SV - V). For 3 sekunders gust fåes 0.96 og 1.01 for disse to parametrene. Dette betyr at observasjonsdataene viser at Dagmar har hatt en returperiode på opp mot 50 år i snitt, og opp mot 100 år dersom vi betrakter V - SV sektor alene. Dette viser tydelig at Dagmar er underestimert på 4 km WRF-kjøring, og at maksimal vindhastighet kan skaleres opp med snitt av $(0.98/0.78; 1.04/0.82) \approx 1.25$ for å kompensere for underestimeringen. Dersom vi betrakter samtlige 10 vurderingssteder får vi 0.78 som forholdstall mellom midlere maksimumsverdi under Dagmar og midlere 50 års verdi, og 0.87 ved å forholde Dagmar mot midlere beregningstall for SV - V. I sistnevnte tilfelle er altså returperioden under Dagmar litt høyere, mellom 5 og 10 år for SV - V.

Tabell 4-2 Beregnet forholdstall mellom maksimal modellert vindhastighet og 50 års vind, $U_{xD}/U_{50\text{år}}$ for de fire delpunktene rundt flyplassene. Også vist er forholdstallet når 50-års vinden er begrenset til SV - V sektor. De samme parametrene er beregnet også for observert maksimal 10 min middelvind, F_x og 3 sekunder vindkast F_g på flyplassene

| Kilde | Parameter | Sted | $U_{xD}/U_{50\text{år}}$ | $U_{xD}/U_{50\text{årSV-V}}$ |
|-------------|-----------|---------------------|--------------------------|------------------------------|
| WRF4km | U1tmax | Vigra | 0.75 | 0.81 |
| WRF4km | U1tmax | Volda | 0.84 | 0.87 |
| WRF4km | U1tmax | Florø | 0.64 | 0.69 |
| WRF4km | U1tmax | Sandane | 0.64 | 0.66 |
| WRF4km | U1tmax | Sogndal | 0.92 | 0.95 |
| WRF4km | U1tmax | Gardermoen | 0.88 | 0.91 |
| SnittWRF4km | U1tmax | Flyplasser | 0.78 | 0.82 |
| SnittWRF4km | U1tmax | 10 vurderingssteder | 0.78 | 0.87 |
| SnittWRF4km | U1tmax | 16 steder | 0.78 | 0.84 |
| Obs | F_x | Vigra | 0.99 | 1.00 |
| Obs | F_x | Ørsta -Volda | 1.04 | 1.05 |
| Obs | F_x | Florø | 0.91 | 0.94 |
| Obs | F_x | Sandane | 1.16 | 1.22 |
| Obs | F_x | Sogndal | 0.82 | 0.82 |
| Obs | F_x | Gardermoen | 0.95 | 1.22 |
| Snitt Obs | F_x | | 0.98 | 1.04 |
| Obs | F_g | Vigra | 0.96 | 0.96 |
| Obs | F_g | Ørsta-Volda | 1.07 | 1.14 |
| Obs | F_g | Florø | 0.91 | 0.97 |
| Obs | F_g | Sandane | 1.01 | 1.04 |
| Obs | F_g | Sogndal | 0.82 | 0.82 |
| Obs | F_g | Gardermoen | 0.97 | 1.14 |
| Snitt Obs | F_x | | 0.96 | 1.01 |

Dette har betydning for de steder som er mest utsatt for SV - V, da Dagmar vil oppleves som en sjeldnere begivenhet på disse stedene. Vi antar at SV-V er mest relevant og skalerer WRF 4 km opp med 20% slik at $0.84 \cdot 1.2 = 1.01$. Dette resultatet benyttes for å studere returtiden for Dagmar.

Det er også klart at Dagmar har ført til et skadebilde som er mer forenlig med en 50 års verdi enn en 2 til 5 års verdi, hvilket også støtter oppskaleringen.

4.4 Beregning av returtider for Dagmar

Det viser seg at resultatene for 12 - års serien gir usikre estimater for returtida, både fordi serien er kort og fordi terrenglattingen er stor for steder i komplisert terreng. Vi har derfor valgt å dele inn i soner for å betrakte returtida. Tabell 4-3 viser inndeling i tre soner gitt som steder på Østlandet, steder i Sogn og Fjordane inkludert Voss, samt steder i Møre og Romsdal.

Tabell 4-3 Gjennomsnittlig returperiode, T for Dagmar i tre regioner og som snitt for alle, gitt i forhold til all-sektor og i forhold til forekomst i sektor SV til V

| Område | Param. | $U_{XD}/U_{50\text{år}}$ | T_{Dagmar} | $U_{XD}/U_{50\text{årSV}_V}$ | T_{Dagmar} |
|---------------------------------|--------|--------------------------|---------------------|------------------------------|---------------------|
| WRF4km – 16x4 punkter | U1tmax | 0.93 | 15 år | 1.01 | 60 år |
| WRF4km – 5x4 punkter - Øst | U1tmax | 0.96 | 25 år | 1.05 | 100 år |
| WRF4km – 5x4 punkter – SFJ+Voss | U1tmax | 0.87 | 10 år | 0.97 | 40 år |
| WRF4km – 6x4 punkter-MogR | U1tmax | 0.97 | 40 år | 1.02 | 75 år |

Tabell 4-3 viser da returperioder beregnet for Dagmar i tre regioner etter oppskalering. Her ser vi at stormen bare har en 10 års periode på Vestlandet, mens den ligger på 25 - 40 år på Østlandet og Møre og Romsdal. Ser vi bare på SV-V sektor, derimot er den typisk 50 års verdi vest for Langfjella og 100 års verdi for sonen fra Oslo - Hønefoss - Skarnes - Elverum på Østlandet.

4.5 Beregning av vindhastigheter for Dagmar

Tabell 4-2 viser også at det er en del variasjoner innefor gjennomsnittstallene. For observasjonene ser vi at Vigra, Florø og Gardermoen har forholdsvis like returverdier med 0.9 til 1.0 av 50 års verdien, svarende til 10 til 50 års returperiode. Sogndal ligger lavere, mens Volda og Sandane ligger høyere. Felles for de tre sistnevnte er både kort datarekke og beliggenhet i komplisert topografi. Sogndal har en meget usikker beregning av langtidsvinden og Sandane har et tydelig nedslag av sterk vind fra bratt fjellterreng under Dagmar.

Data fra 1.7 km modellkjøring ble tatt ut for de samme stedene som for 4 km kjøringen, men nå med fire punkter som ligger tettere opp til vurderingsstedenes sentralposisjon og også tettere opp mot observasjonspunktene på flyplassene. Som gjennomsnitt på alle 16 x 4 beregningspunkter gikk vindhastigheten opp med 4% for 1.7 km i forhold til 4 km verdien. For Florø gikk hastigheten opp med hele 9%. Det betyr at vi tar ut 1.7 km for stedene og multipliserer opp med $1.2/1.04=1.15$.

For de 16 stedene har vi tatt ut data for det punktet som best representerer vurderingsstedet/observasjonsstedet. For Gardermoen er et av punktene sentrert meget nær vindmåleren. På Vigra tar vi gjennomsnitt av de to på sørsiden der det ene har litt mer sjøinnflytelse og det andre litt mer landinnflytelse enn vindmåleren. På Florø er det små forskjeller, men vi tar nærmeste punkt til vindmåleren. Også Sandane og Ørsta - Volda har godt representerte punkter, mens Sogndal får et punkt som ligger 100 m høyere med mer utjevnet topografi. For vurderingspunktene, har vi stort sett tatt ut punkter nærmest sentrum. Unntak kan være områder med komplisert terreng som gjør at dette punktet faller helt ulikt ut i høyde. Da ekskluderes punkt og vi går til neste. For Volda og Voss har vi tatt ut to punkter som gjelder straks utenfor bebyggelsen mot V-SV, og sentrert inne i bebyggelsen. Årdalstangen er meget vanskelig, her blir usikkerheten stor på grunn av det stupbratte og trange området.

For å beregne maksimum 10 minutters middelvind legger vi på 5% og setter $U_{10\text{minmax}} = U_{1\text{tmax}} \times 1.05$. Denne verdien er funnet for flere dataserier med kontinuerlig 10 minutters sampling. Derved fåes $1.15 \times 1.05 = 1.21$ som overgangsfaktor fra modellert maksimal 1 times middelvind, $U_{\text{WRF1tmaxD}}$ til estimert 10 min maksimalvind på stedet under Dagmar. En oversikt over beregnede verdier er gitt i Tabell 4-4.

Fra Eurocode 1 (2009) har vi følgende ligning for beregning av 3 sekunders vindkast, V_g :

$$V_g(z) = V_{10min} \cdot \sqrt{1 + 7 \cdot I_v(z)} = V_{10min} \cdot \sqrt{1 + 7 \cdot \frac{1}{\ln \frac{z}{z_0}}} \quad (4-1)$$

der turbulensintensiteten $I_v(z) = 1/\ln(z/z_0)$ gjelder i flatt og homogent landskap. Her er $z=10$ m og z_0 ruhetslengden i m. Kan vi estimere ruhetslengden får vi da et rimelig anslag over vindkastet.

På flyplassene har vi observasjon av 3 sekunders vindkast og 10 minutters middelvind under Dagmar og kan da benytte lign. 4-1 til å estimere ruhetslengden. Denne er da nyttig i videre vurderinger.

Anvender vi formelen over på observasjonen på Gardermoen får vi $Z_0=0.1$ m. Det er litt høyere enn gjennomsnitt for norske flyplasser (Harstveit og Andresen, 1994) og skyldes trolig skogspåvirkninger. På den annen side vil ruheten på steder som ligner Gardermoen, men uten den lave rullebaneruheten, få økt ruhetslengde. Ved Sørkedalen og Skarnes økes ruhetslengden til 0.3 m, idet landskapet veksler mellom småskog og landbruksjord. For Hønefoss og Elverum er innslagene av bebyggelse/skog enda større og ruhetslengden settes til 0.7 m.

På Vigra og Florø flyplasser får vi tilsvarende ca. 0.01 m som ruhetslengde, hvilket er lavere enn flyplassgjennomsnittet. Dette skyldes åpent landskap mot havet. Dette benyttes da også for WRF-dataene på disse stedene, samt også for Harøy. For Ørsta - Volda flyplass får vi 0.3 m som følge av innflytelser av terreng og skog, hvilket da også benyttes for vurderingsstedet på Volda, også utenfor tettstedet siden vinden kommer over komplisert terreng på tvers av fjorden. Vi benytter også 0.3 m for Eidsvåg i Romsdal. For Sandane flyplass får vi 0.05 m. Dette benyttes også ved beregningen på flyplassen, mens vi på Byrkjelo øker til 0.3 m som for åpent landbrukslandskap med hus og tregrupper. For Sogndal får vi igjen typisk flyplassruhet med 0.05 m. Denne anvendes på Vangsvatnet ved Voss (a2). For Voss - Tvildemoen og Årdalstangen anvendes 0.7 m da dette er snittområder med mye bebyggelse og bratt terreng eller skog.

Tabell 4-4 gir en oversikt over resultatene, det vil si estimert maksimal 10 min middelvind og 3 sekunders vindkast på de 10 oppgitte skadestedene. Vi ser at middelvinden kommer opp i 14 - 20 m/s (stiv til sterk kuling) på Østlandsstedene mens vindkastene kommer opp i ca. 30 m/s. Gardermoen er i så måte ganske representativ. På kysten av Møre og Romsdal kommer middelvinden opp i 35 m/s (Harøy), det vil si at det blåser orkan. Vindkastene kommer opp i 50 m/s. I indre deler av Nordfjord og Møre og Romsdal blåser det typisk 25 m/s (full storm) med kast på 40 m/s. Det varierer noe over og under disse verdiene avhengig av eksponeringen. Stedvis vil det ha vært sterkere vindkast enn dette bak bratt terreng, men vi mangler målinger på de mest ekstreme stedene, og det er heller ikke mulig med dagens modeller å gi gode estimater for disse. Typisk for kastforsterkningssoner er når vinden passerer høye, bratte fjellrygger eller uregelmessige formasjoner som gjør at det avløses 3 - dimensjonale virvler etter passeringen (Harstveit og Sandvik, 2001). Våtedalen og Briksdalen er gode eksempler på slike steder. Det er også mulig at det under stormer som Dagmar strømmer varm luft i høyden slik at det kan utløses fjellbølger som slår ned i trange dalfører. En kombinasjon av effektene kan også forekomme. Vi vil ikke spekulere videre i disse fenomenene, men i Tabell 4-4 er det listet opp steder som ligger i risikosoner.

I indre deler av Sogn og på Voss kom vinden opp i 16 til 24 m/s (stiv kuling til liten storm) med kast på 30 til 40 m/s. Også her er det soner med bratt terreng som trolig har gitt vindkast på over 40 m/s.

Tabell 4-4 gir også en validering av modellresultatene. Vi ser da at ved å anvende 1.7 km verdiene for best mulig representative punkter, legge på gjennomsnittlige oppskaleringsfaktorer og benytte samme kastfaktor som på flyplassene, får vi meget godt treff på de tre flyplassene som ligger i åpent terreng: Gardermoen, Vigra og Florø. Også Ørsta - Volda har brukbart treff, mens modellen ikke greier å gjenspeile den sterke vinden på Sandane flyplass. Dette er da også et sted der vinden kommer direkte over de bratte fjellene på vestsida og høydevinden slår ned på plassen. På Sogndal flyplass viser modellen sterkere vind enn observert. Denne plassen ligger på en "hylle" i fjellskråningen over Sognefjorden, og selv en 1.7 km terrengskala utjevner stedet og reduserer den lokale skjermingen.

Valideringen illustrerer også usikkerheten i beregningene. Det er særlig for Årdalstangen og Byrkjelo det er store usikkerheter i beregningene. Her varierer også vinden svært mye over korte avstander, fra steder der vindkastene kan ha gjort svært stor skade, til områder som er å regne som skjermet. Som nevnt nederst i tabellen er det steder i Nordfjord, Møre og Romsdal og til dels indre Sogn og Voss som trolig har hatt vindkast over 40 m/s, til dels over 50 m/s på de mest utsatte stedene. Bare Sandane lufthavn har målinger som indikerer noe av styrken i nedslagene. Erfaringene fra Nyttårsorkanen (Andresen og Harstveit, 1993a), målinger og erfaringer fra andre steder (Harstveit og Sandvik, 2001), er anvendt for å si litt om områder som er utsatt i nærheten av vurderingsstedene. En bedre kartlegging vil være mulig med en befaring i områdene sammen med kjentfolk. Dette ble gjort i Fræna kommune, etter Nyttårsorkanen (Andresen og Harstveit, 1993b), og i Hadsel kommune etter stormene i 1992 - 1993 (Harstveit, Andresen og Sandvik, 1994).

Tabell 4-4 viser også vindretningen under Dagmar. Den lå i samtlige punkter mellom 230 og 270 grader, dvs i sektor SV til V. Dette gjelder både skadesteder og flyplasser. For områder med bratt terreng og nedslag fra høyere luftlag, kan et imidlertid forekomme steder med svært avvikende retning lokalt. Dette kan gjelde flere av stedene listet opp nederst i Tabell 4-4.

Tabell 4-4 Beregnet maksimal 10 minutters middelvind og 3 sekunders vindkast på 10 skadesteder, sammen med beregninger og observasjoner på seks flyplasser under stormen Dagmar, 25.12.2012 kl 17 til 26.12. kl. 01 UTC. Vindretning (DD), modellert 1 km middelvind, oppskaleringsfaktor (F_1) på grunn av underestimering og overgangsfaktor til 10 min (F_2), ruhetslengde Z_0 , kastfaktor $Gf=U_{3sek}/U_{10min}$. Høyde over havet (Hoh) er middelhøyde for modellterrenget i datauttakspunktet, evt høyden for observasjonsstedet.

| Sted | Type | Kilde | N | E | Hoh | U_{M1km} | DD | F_1 | F_2 | Z_0 | Gf | U_{10min} | U_{3sek} |
|--------------------|-----------------|------------|---------------|---------------|------------|------------|------------|----------|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | | | [°] | [°] | [m] | [m/s] | [°] | | | [m] | | [m/s] | [m/s] |
| Byrkjelo | Skadested | a2_1km | 61.730 | 6.488 | 221 | 14.9 | 268 | 1.15 | 1.05 | 0.3 | 1.73 | 18.0 | 31.1 |
| Eidsvåg | Skadested | a1_1km | 62.776 | 8.069 | 109 | 21.7 | 238 | 1.15 | 1.05 | 0.3 | 1.73 | 26.2 | 45.4 |
| Elverum | Skadested | a1_1km | 60.870 | 11.564 | 199 | 13.2 | 273 | 1.15 | 1.05 | 0.7 | 1.91 | 16.0 | 30.5 |
| Harøy | Skadested | a3_1km | 62.740 | 6.455 | 13 | 29.2 | 242 | 1.15 | 1.05 | 0.01 | 1.42 | 35.2 | 50.0 |
| Hønefoss | Skadested | a4_1km | 60.180 | 10.233 | 111 | 11.4 | 258 | 1.15 | 1.05 | 0.7 | 1.91 | 13.8 | 26.3 |
| Skarnes | Skadested | a3_1km | 60.250 | 11.704 | 148 | 15.6 | 273 | 1.15 | 1.05 | 0.3 | 1.73 | 18.8 | 32.6 |
| Sørkedalen | Skadested | a1_1km | 60.013 | 10.628 | 236 | 15.8 | 264 | 1.15 | 1.05 | 0.3 | 1.73 | 19.0 | 33.0 |
| Volda indre | Skadested | a1_1km | 62.141 | 6.067 | 49 | 17.5 | 249 | 1.15 | 1.05 | 0.3 | 1.73 | 21.1 | 36.5 |
| Volda ytre | Skadested | a2_1km | 62.143 | 6.032 | 18 | 18.1 | 262 | 1.15 | 1.05 | 0.3 | 1.73 | 21.9 | 37.9 |
| Voss- Vangsv | Skadested | a2_1km | 60.619 | 6.396 | 118 | 19.2 | 262 | 1.15 | 1.05 | 0.05 | 1.52 | 23.1 | 35.3 |
| Voss-Tvildemo | Skadested | a3_1km | 60.633 | 6.432 | 156 | 13.1 | 238 | 1.15 | 1.05 | 0.7 | 1.91 | 15.9 | 30.2 |
| Årdalstangen | Skadested | a2_1km | 61.235 | 7.718 | 452 | 15.3 | 246 | 1.15 | 1.05 | 0.7 | 1.91 | 18.5 | 35.2 |
| Gardermoen | Flyplass | a4_1km | 60.213 | 11.097 | 201 | 16.2 | 263 | 1.15 | 1.05 | 0.1 | 1.59 | 19.6 | 31.1 |
| <i>Gardermoen</i> | <i>Flyplass</i> | <i>obs</i> | <i>60.211</i> | <i>11.091</i> | <i>202</i> | <i>x</i> | <i>265</i> | <i>x</i> | <i>x</i> | <i>0.1</i> | <i>1.58</i> | <i>19.6</i> | <i>30.9</i> |
| Florø | Flyplass | a1_1km | 61.574 | 5.023 | 0 | 21.3 | 244 | 1.15 | 1.05 | 0.01 | 1.42 | 25.7 | 36.5 |
| Florø | Flyplass | a2_1km | 61.590 | 5.026 | 8 | 21.2 | 244 | 1.15 | 1.05 | 0.01 | 1.42 | 25.6 | 36.3 |
| Florø | Flyplass | a3_1km | 61.575 | 4.989 | 1 | 21.5 | 244 | 1.15 | 1.05 | 0.01 | 1.42 | 25.9 | 36.8 |
| Florø | Flyplass | a4_1km | 61.572 | 5.056 | 7 | 21.3 | 243 | 1.15 | 1.05 | 0.01 | 1.42 | 25.7 | 36.4 |
| <i>Florø</i> | <i>Flyplass</i> | <i>obs</i> | <i>61.580</i> | <i>5.008</i> | <i>6</i> | <i>x</i> | <i>270</i> | <i>x</i> | <i>x</i> | <i>0.01</i> | <i>1.39</i> | <i>26.1</i> | <i>36.4</i> |
| Sandane | Flyplass | a1_1km | 61.832 | 6.100 | 55 | 16.7 | 272 | 1.15 | 1.05 | 0.05 | 1.52 | 20.1 | 30.6 |
| <i>Sandane</i> | <i>Flyplass</i> | <i>obs</i> | <i>61.830</i> | <i>6.102</i> | <i>53</i> | <i>x</i> | <i>246</i> | <i>x</i> | <i>x</i> | <i>0.05</i> | <i>1.47</i> | <i>29.0</i> | <i>42.6</i> |
| Sogndal | Flyplass | a1_1km | 61.159 | 7.125 | 586 | 21.7 | 244 | 1.15 | 1.05 | 0.05 | 1.52 | 26.2 | 39.9 |
| <i>Sogndal</i> | <i>Flyplass</i> | <i>obs</i> | <i>61.153</i> | <i>7.129</i> | <i>490</i> | <i>x</i> | <i>232</i> | <i>x</i> | <i>x</i> | <i>0.05</i> | <i>1.55</i> | <i>20.9</i> | <i>32.3</i> |
| Vigra Ø | Flyplass | a3_1km | 62.545 | 6.125 | 1 | 29.0 | 250 | 1.15 | 1.05 | 0.003 | 1.36 | 35.0 | 47.8 |
| Vigra S | Flyplass | a4_1km | 62.561 | 6.128 | 3 | 25.7 | 249 | 1.15 | 1.05 | 0.01 | 1.42 | 31.0 | 44.1 |
| <i>Vigra</i> | <i>Flyplass</i> | <i>obs</i> | <i>62.557</i> | <i>6.092</i> | <i>10</i> | <i>x</i> | <i>231</i> | <i>x</i> | <i>x</i> | <i>0.01</i> | <i>1.37</i> | <i>32.0</i> | <i>43.9</i> |
| Ørsta-Volda | Flyplass | a1_1km | 62.175 | 6.040 | 135 | 19.5 | 235 | 1.15 | 1.05 | 0.3 | 1.73 | 23.5 | 40.8 |
| <i>Ørsta-Volda</i> | <i>Flyplass</i> | <i>obs</i> | <i>62.178</i> | <i>6.064</i> | <i>74</i> | <i>x</i> | <i>231</i> | <i>x</i> | <i>x</i> | <i>0.3</i> | <i>1.75</i> | <i>21.8</i> | <i>38.2</i> |

Eksempler på områder nær de vurderte stedene der det trolig har vært nedslag av høydevind med U_{3sek} opp mot 50 m/s, enkelte steder mer:

| | |
|---------------|--|
| Byrkjelo: | Våtedalen, Myklebustdalen, Briksdalen, Breimsdalsvatnet |
| Voss: | Ringheim til Reppen |
| Volda: | Ytre Bjørkedalen - Mek, Bjørdalen, Vatnedalen, stedvis langs Dalsfjorden |
| Årdalstangen: | Soner fra Årdaltangen mot Utlatdalen, Seim |
| Eidsvåg: | Vistdal, Eresfjord |

5 Sammendrag

Det er kjørt 12 år med timedata med WRF 4 km over Norge. Omfanget av stormen Dagmar 25. - 26 desember 2011 samt trykkbildet, utviklingen og vindretningen ble modellert meget bra, men både observasjoner og skaderapporter tyder på noe underestimert av vindhastigheten. Ekstremvindanalyser av 4 km dataene tyder på 20 % underestimert, slik at vi fikk 2 til 5 års returperioder i stedet for 10 til 100 års verdier. Bruk av observasjonsdata på flyplasser i åpent landskap ble benyttet til oppskalering. Det ble da angitt regionale returperioder, men det var ikke mulig å gi et troverdig variasjonsbilde av returtidene utover dette.

Dagmar ble også kjørt med WRF 1.7 km over Sør-Norge, men det var ikke resurser til å lage slike langtidsserier. I 1.7 km resultatene økte vindhastigheten med 5 % og vi fikk et forbedret bilde av de lokale variasjonene. Det var derfor mulig å ta ut vindhastigheter på flyplasser og på de 10 skadestedene. Ved hjelp av data fra flyplassene og lokal vurdering av ruhetslengder, ble maksimalverdier av 10 minutters middelvind og 3 sekunders vindkast estimert. Vindretningen alle steder var modellert til 230 til 270 grader (SV til V) under stormen. I tabellen vises koordinater (N, E), maksimum 10 min middelvind og vindkast, samt returperioder, T for allsektor og TSV-V for sørvest til vest.

| Sted | N [°] | E [°] | DD [°] | Ux10min [m/s] | Ug [m/s] | Returtid, allsektor | Returtid, SV-V |
|----------------|----------|----------|-----------|------------------|-------------|------------------------|-------------------|
| 1 Hønefoss | 60.180 | 10.233 | 258 | 13.8 | 26.3 | 25 år | 100 år |
| 2 Sørkedalen | 60.013 | 10.628 | 264 | 19.0 | 33.0 | 25 år | 100 år |
| 3 Elverum | 60.870 | 11.564 | 273 | 16.0 | 30.5 | 25 år | 100 år |
| 4 Skarnes | 60.250 | 11.704 | 273 | 18.8 | 32.6 | 25 år | 100 år |
| 5 Eidsvåg | 62.776 | 8.069 | 238 | 26.2 | 45.4 | 25 år | 100 år |
| 6 Harøy | 62.740 | 6.455 | 242 | 35.2 | 50.0 | 40 år | 75 år |
| 7a Volda | 62.141 | 6.067 | 249 | 21.1 | 36.5 | 40 år | 75 år |
| 7b Volda | 62.143 | 6.032 | 262 | 21.9 | 37.9 | 40 år | 75 år |
| 8 Årdalstangen | 61.235 | 7.718 | 246 | 18.5 | 35.2 | 10 år | 40 år |
| 9 Byrkjelo | 61.730 | 6.488 | 268 | 18.0 | 31.1 | 10 år | 40 år |
| 10a Voss | 60.619 | 6.396 | 262 | 23.1 | 35.3 | 10 år | 40 år |
| 10b Voss | 60.633 | 6.432 | 238 | 15.9 | 30.2 | 10 år | 40 år |

Vi ser at middelvinden kom opp i 14 - 20 m/s (stiv til sterk kuling) på Østlandsstedene mens vindkastene kom opp i ca. 30 m/s. Gardermoen er i så måte ganske representativ. På kysten av Møre og Romsdal kom middelvinden opp i 35 m/s (Harøy), det vil si at det blåste orkan. Vindkastene kom opp i 50 m/s. I indre deler av Nordfjord og Møre og Romsdal blåste det typisk 25 m/s (full storm) med kast på 40 m/s. Det varierer noe over og under disse verdiene avhengig av eksponeringen. Det er påpekt at Våtedalen, Myklebustdalen, Briksdalen og Breimsdalsvatnet nær Byrkjelo er risikoområder for nedslag av sterke vindkast under vindretninger fra SV - V. Videre er også ytre Bjørkedalen - Mek, Bjørdalen, Vatnedalen og steder langs Dalsfjorden ved Volda utsatt. I nærheten av Eidsvåg pekes det på Vistdal og Eresfjord.

I indre deler av Sogn og på Voss kom vinden opp i 16 til 24 m/s (stiv kuling til liten storm) med kast på 30 til 40 m/s. Også her er det soner med bratt terreng som trolig har gitt vindkast på over 40 m/s. Dette gjelder for eksempel strekningen Ringheim til Reppen ved Voss og soner fra Årdaltangen mot Utlatdalen og Seim i Årdalsfjorden.

Når hele vindfeltet fra 1.7 km kjøringen ble oppskalert med 15% og multiplisert med 1.05, fikk vi meget god tilpasning til observasjonsdata fra Gardermoen, Florø og Vigra flyplasser og noe mer variabel tilpasning til observasjonsdata fra flyplasser innenfor komplekst terreng på Vestlandet. Dette indikerer at usikkerheten i anslagene er størst i indre strøk på Vestlandet. Vindretningen var meget godt estimert på alle flyplassene.

6 Referanser

- Andresen, L og K. Harstveit, 1993a. Ekstremvindanalyse for Møre og Romsdal. DNMI KLIMA 07/93, pp.1-27 + vedlegg.
- Andresen, L og K. Harstveit, 1993b. Fræna kommune. Kartlegging av vindhastigheter. DNMI KLIMA 06/93, pp. 1-14 + vedlegg.
- D. P. Dee, S. M. Uppala, A. J. Simmons, P. Berrisford, P. Poli, S. Kobayashi, U. Andrae, M. A. Balmaseda, G. Balsamo, P. Bauer, P. Bechtold, A. C. M. Beljaars, L. van de Berg, J. Bidlot, N. Bormann, C. Delsol, R. Dragani, M. Fuentes, A. J. Geer, L. Haimberger, S. B. Healy, H. Hersbach, E. V. Hólm, L. Isaksen, P. Kållberg, M. Köhler, M. Matricardi, A. P. McNally, B. M. Monge-Sanz, J.-J. Morcrette, B.-K. Park, C. Peubey, P. de Rosnay, C. Tavolato, J.-N. Thépaut, F. Vitart (2011) The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, vol 137, issue 656, p553-597, April 2011 Part A.
<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/qj.828/abstract>
- EN 1991-1-4:2005+NA, 2009: Eurocode 1: Laster på konstruksjoner. Standard Norge, 2009
- Gumbel, E., 1958. Statistics of extremes. Columbia University Press, 1958.
- Harstveit, K og L. Andresen, 1994. Ekstremvindanalyse for kyststrekningen Rogaland - Finnmark. DNMI KLIMA 07/94, pp.1-81.
- Harstveit, K., L. Andresen og R. Sandvik, 1994. Lokal vindforsterkning i le av bratt terreng. Befaring av steder med vindskader i Hadsel kommune i Vesterålen. Norges Byggstandardiseringsråd, 1994, pp.1-23.
- Harstveit, K., og R. Sandvik, 2001: Behandling av topografi i ny norsk standard for vindlaster, NS-ENV 1991-2-4. DNMI KLIMA 11/01 pp.1-34.
- Klemp, J. B., W. C. Skamarock, and J. Dudhia, 2000. Conservative split-explicit time integration methods for the compressible non-hydrostatic equations. <http://www.wrf-model.org>.
- Michalakes, J., S., Dudhia, J. Chen, L. Hart, J. Klemp, J. Middlecoff, og W. Skamarock. «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. Singapore: Eds. Walter Zwiefelhofer and Norbert Kreitz. World Scientific, 2001. 269-27.
- Lieblein, J., 1974: Efficient Methods of Extreme-Value Methodology, National Bureau of Standards, NBSIR 74-602, Washington, 1974.
- Skamarock, W. C., et al. A Description of the Advanced Research WRF Version 3. Technical Note NCAR/TN-475+STR, Boulder, U.S.: NCAR, 2008

Denne serien utgis av Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE)

Utgitt i Rapportserien i 2012

- Nr. 1 Kvikkleireskred ved Esp, Byneset i Trondheim. Kari Øvrelid (20 s.)
- Nr. 2 Årsrapport for tilsyn 2011 (40 s.)
- Nr. 3 Første inntrykk etter ekstremværet Dagmar, julen 2011 (28 s.)
- Nr. 4 Energy consumption. Energy consumption in mainland Norway (59 s.)
- Nr. 5 Climate change impacts and uncertainties in flood risk management: Examples from the North Sea Region (62 s.)
- Nr. 6 Kvartalsrapport for kraftmarknaden. 4. kvartal 2011. Finn Erik Ljåstad Pettersen (red.) (86 s.)
- Nr. 7 Statistikk over nettleie i regional- og distribusjonsnett 2012. Inger Sætrang (53 s.)
- Nr. 8 Flomrisikoplan for Gaula ved Melhus. Et eksempel på en flomrisikoplan etter EUs flomdirektiv (78 s.)
- Nr. 9 Inntak Viddal – FoU-prosjekt på tilbakespyling. Sluttrapport. Jan Slaggård (31 s.)
- Nr. 10 Oversikt over vedtak og utvalgte saker. Tariffer og vilkår for overføring av kraft 2011 (15 s.)
- Nr. 11 Flomsonekart: Delprosjekt Ålen: Kjartan Orvedal, Julio Pereira
- Nr. 12 NVEs årsmelding 2011
- Nr. 13 Vannet vårt. Hydrologi i Norge 2011
- Nr. 14 Capacity building in Hydrological Services Course in Water Level recording and Data Processing at Ministry of Water and Energy 13th – 16th February 2012. Documentation (23 s.)
- Nr. 15 Landsomfattende mark- og grunnvannsnett. Drift og formidling 2011. Jonatan Haga og Per Alve Glad (40 s.)
- Nr. 16 Challenges in Flood Risk Management Planning. An example of a Flood Risk Management Plan for the Finnish-Norwegian River Tana. Eirin Annamo (59 s.)
- Nr. 17 Kvartalsrapport for kraftmarknaden. 1. kvartal 2012. Finn Erik Ljåstad Pettersen (red.)
- Nr. 18 Eksempelsamling. Risiko- og sårbarhetsanalyser for kraftforsyningen
- Nr. 19 Annual Report 2011 The Norwegian Energy Regulator
- Nr. 20 Flomberegning for Levangselva. Lars-Evan Pettersson
- Nr. 21 Driften av kraftsystemet 2011. Karstein Brekke (red.)
- Nr. 22 Annual report 2009 The cooperation between the Norwegian Agency for Development Cooperation (Norad), the Ministry of Foreign Affairs (MFA) and the Norwegian Water Resources and Energy Directorate (NVE)
- Nr. 23 Flaumsonekart. Delprosjekt Naustdal Siss-May Edvardsen, Camilla Meidell Roald
- Nr. 24 Årsrapport for utførte sikrings- og miljøtiltak 2011
- Nr. 25 Kvartalsrapport for kraftmarknaden. 2. kvartal 2012. Finn Erik Ljåstad Pettersen (red.)
- Nr. 26 Glimt fra NVEs historie. Per Einar Faugli
- Nr. 27 Glimses form the history of NVE. Per Einar Faugli
- Nr. 28 Regiontjenesten 100 år. Per Einar Faugli
- Nr. 29 Flomsonekart. Delprosjekt Vigeland. Per Ludvig Bjerke og Julio Pereira
- Nr. 30 Energibruksrapporten 2012. Energibruk i husholdningene.
- Nr. 31 Flom og stor vannføring forårsaket av ekstremværet Frida august 2012
- Nr. 32 Bioressurser i skog – kartlegging av økonomisk potensial. Even Bergseng, Tron Eid, Per Kristian Rørstad og Erik Trømborg, UMB
- Nr. 33 Naturfareprosjektet: Kvikkleireworkshop. En nasjonal satsing på sikkerhet i kvikkleireområde. Teknologidagene, Trondheim, 2012
- Nr. 34 Naturfareprosjektet: Delprosjekt Kvikkleire. Datarapport for Kvikkleireskred ved Esp i Byneset i januar 2012
- Nr. 35 Naturfareprosjektet: Delprosjekt Kvikkleire. Datarapport for Kvikkleireskred ved Esp i Byneset i januar 2012
Naturfareprosjektet: Skredvarsling, beredskap og sikring Erfaringer fra studietur til Ministry of Transportation (British Columbia) og Canadian Avalanche Center Teknologidagene, Trondheim, 2012
- Nr. 36 Tid for ny markedsdesign? Finn Erik Ljåstad Pettersen, Anne Sofie Ravndal Risnes

- Nr. 37 Flomberegning for Fagernes (012.LZ). Ingeborg Kleivane
- Nr. 38 Inventory of Norwegian glaciers
- Nr. 39 Totalavløpet fra Norges vassdrag 1900-2010. Lars-Evan Pettersson
- Nr. 40 Naturfareprosjektet: Programplan 2012-2015 for etatsprogrammet
"NATURFARE – infrastruktur, flom og skred (NIFS)"
- Nr. 41 Vinden som blåste i fjor. Hvor sterk var Dagmar?



Norges
vassdrags- og
energidirektorat

Norges vassdrags- og energidirektorat

Middelthunsgate 29
Postboks 5091 Majorstuen
0301 Oslo

Telefon: 09575
Internett: www.nve.no

