

Rambøll AS

# ► Nerlandsøybrua - Møre og Romsdal fylkeskommune

Ekstremvindberegninger

Oppdragsnr.: 5209684 Dokumentnr.: KVT/2021/R004/BB Versjon: J01 Dato: 2021-01-19



**Oppdragsgiver:** Rambøll AS  
**Oppdragsgivers kontaktperson:** Arne Øyvind Kolstrøm  
**Rådgiver:** Kjeller Vindteknikk, Tærudgata 16, NO-2004 Lillestrøm  
**Oppdragsleder:** Brian Riget Broe  
**Fagansvarlig:** Hálfván Ágústsson  
**Andre medarbeidere:** Amund Søvdde Haslerud

J01	2021-01-19	Til kunde.	Brian Riget Broe	Hálfván Ágústsson	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

Returverdier for 10-minutters middelvind i 10 m og 25 m høyde er beregnet for Nerlandsøybrua, basert på vinddata fra både finskala og grovskala meteorologimodeller. Modellen er tidligere bekreftet til å gjenspeile bra returverdier ved Vigra flyplass. Analysen beregner returverdier ved å benytte Gumbel-Lieblein-metodikk og skaleringer, og disse fordeles på åtte sektorer ved hjelp av sektorkoeffisienter, og er gitt i Tabell S-1 og Tabell S-2 10-minutters middelvind og for 3-sekunders vindkast. Tilhørende turbulensintensitet ( $I_u$ ) og vindeksponent,  $\alpha$  ( $V_{10min}$ ) og  $\alpha$  ( $V_{3s}$ ), også gitt i Tabell S-1 og Tabell S-2.

Returverdier for 10-minutters middelvind er vurdert mot beregninger fra vindstandarden, hvor verdiene fra modellen er lavere end verdiene fra den norske standard. Dette skyldes hovedsakelig at standarden tar ikke høyde for skjerming fra terrenget fra de fleste retningene. Det anbefales at verdiene fra modell benyttes, da terrenget er bedre representert. 10-minutters returverdien for øst er lav og anses for noe usikker da den sektorvise inndelingen kan gi usikkerheter for sektorer med lav hyppighet og svak vind, hvis terrenget ikke er korrekt presentert.

Tabell S-1: Ekstremvind med 10-, 50- og 100-års returperiode av 10-minutters middelvind,  $V_{10min}$ , og 3-sekunders vindkast,  $V_{3s}$ , turbulensintensitet,  $I_u$ , og vindeksponent,  $\alpha$ , for 10 m over fjorden for Nerlandsøybrua.

Retur-periode	Sektor							
	N	NØ	Ø	SØ	S	SV	V	NV
$V_{10min}$ [m/s], 10 år	20,3	20,0	11,5	13,5	26,9	29,1	18,4	15,1
$V_{10min}$ [m/s], 50 år	22,3	22,0	12,6	14,9	29,5	31,9	20,2	16,5
$V_{10min}$ [m/s], 100 år	23,1	22,7	13,0	15,4	30,6	33,1	21,0	17,1
$\alpha$ ( $V_{10min}$ )	0,11	0,08	0,23	0,24	0,15	0,10	0,13	0,22
$I_u$	0,17	0,17	0,40	0,35	0,22	0,15	0,24	0,28
$V_{3s}$ [m/s], 10 år	30,2	29,6	22,3	25,0	42,7	41,8	30,2	26,0
$V_{3s}$ [m/s], 50 år	33,2	32,5	24,6	27,5	46,9	46,0	33,2	28,6
$V_{3s}$ [m/s], 100 år	34,4	33,7	25,4	28,5	48,6	47,6	34,4	29,7
$\alpha$ ( $V_{3s}$ )	0,06	0,04	0,11	0,13	0,09	0,07	0,07	0,12

Tabell S-2: Ekstremvind med 10-, 50- og 100-års returperiode av 10-minutters middelvind,  $V_{10min}$ , og 3-sekunders vindkast,  $V_{3s}$ , turbulensintensitet,  $I_u$ , og vindprofilfaktorer,  $\alpha$ , for 25 m over fjorden for Nerlandsøybrua.

Retur-periode	Sektor							
	N	NØ	Ø	SØ	S	SV	V	NV
$V_{10min}$ [m/s], 10 år	22,4	21,5	14,1	16,8	30,8	32,0	20,8	18,4
$V_{10min}$ [m/s], 50 år	24,6	23,6	15,5	18,5	33,9	35,1	22,8	20,3
$V_{10min}$ [m/s], 100 år	25,5	24,4	16,1	19,1	35,1	36,4	23,7	21,0
$\alpha$ ( $V_{10min}$ )	0,11	0,08	0,23	0,24	0,15	0,10	0,13	0,22
$I_u$	0,15	0,15	0,29	0,26	0,18	0,14	0,20	0,21
$V_{3s}$ [m/s], 10 år	32,0	30,7	24,7	28,2	46,5	44,8	32,2	29,1
$V_{3s}$ [m/s], 50 år	35,2	33,7	27,2	31,0	51,1	49,2	35,4	32,0
$V_{3s}$ [m/s], 100 år	36,4	34,9	28,1	32,1	52,9	50,9	36,7	33,1
$\alpha$ ( $V_{3s}$ )	0,06	0,04	0,11	0,13	0,09	0,07	0,07	0,12

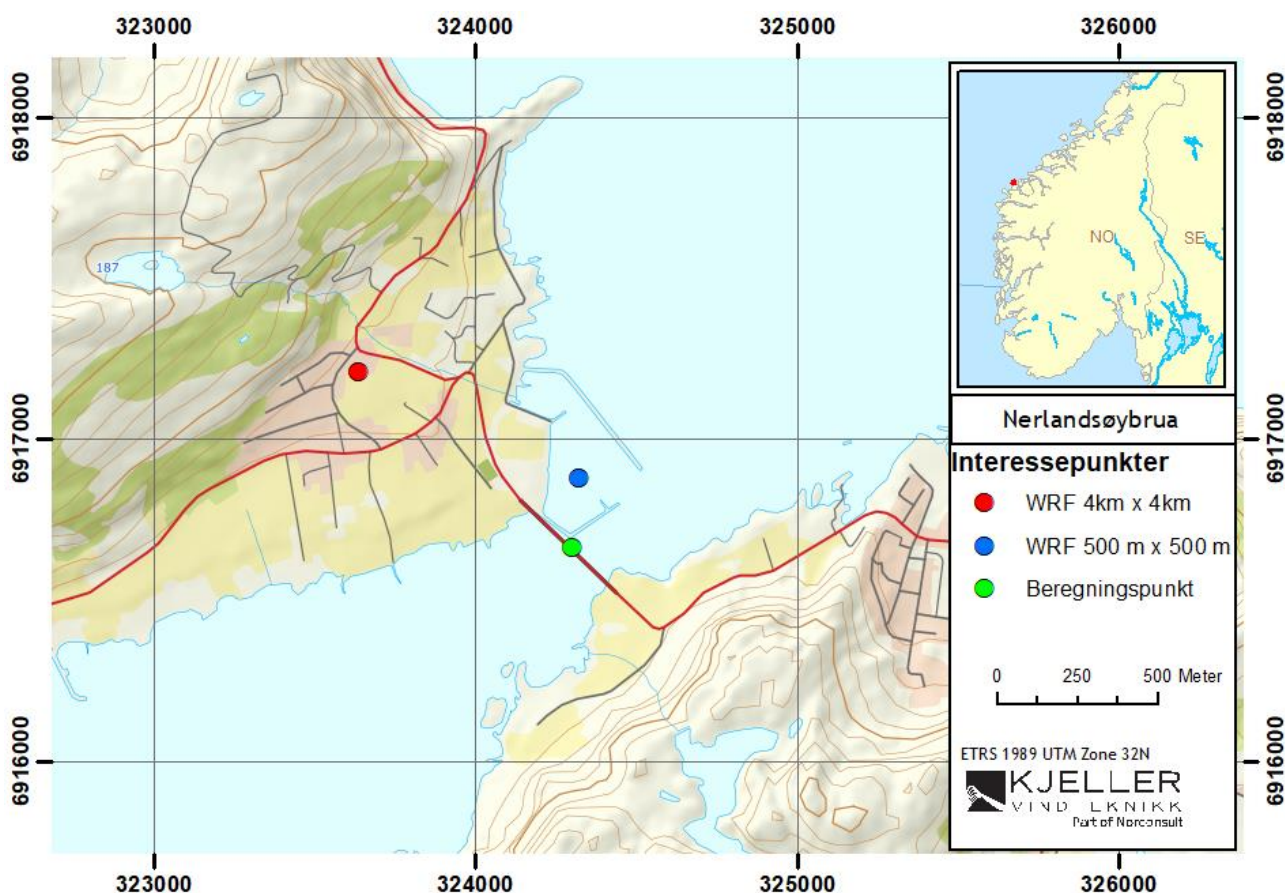
## ► Innhold

<b>1</b>	<b>Bakgrunn</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Metode</b>	<b>6</b>
2.1	Kvantilregresjon – langtidskorrigerings av data	7
2.2	Beregning av ekstrem vindhastighet	7
2.3	Beregning av ekstremt vindkast	7
2.4	Beregning av vindeksponent	8
2.5	Beregning av sektorvise ekstremer	8
<b>3</b>	<b>Resultater</b>	<b>9</b>
3.1	Returverdier fra WRF500m	9
3.2	Returverdier basert på langtidskorrigererte tidsserier	9
3.3	Sektorfordeling av returverdier	10
3.3.1	<i>Sektorfordeling fra de sterkeste stormene</i>	10
3.3.2	<i>Sektorvise returverdier</i>	10
3.3.3	<i>Sektorfordeling av vindkastfaktorer</i>	11
3.3.4	<i>Sektorvise returverdier av vindkast</i>	11
3.4	Turbulensintensitet og vindeksponent	11
3.5	Returverdier basert på vindstandarden og tidligere analyser	12
<b>4</b>	<b>Referanser</b>	<b>13</b>
<b>Vedlegg A</b>	<b>Description of WRF</b>	<b>14</b>

# 1 Bakgrunn

I forbindelse med prosjektering av ny Nerlandsøybrua skal det beregnes returverdier for middelvind (10 minutter) og vindkast (3-sekunder), for returperioder på 10, 50 og 100 år. Det skal også beregnes retningsvise returverdier for åtte sektorer. Analysen er basert på data fra en finskala værvarslingsmodell med horisontal oppløsning på 500 m x 500 m og dekker perioden 2007 – 2020. Disse dataene benyttes i dette arbeidet, sammen med et mer grovskala (4 km x 4 km) modelldatasett som dekker ~40 år.

Et oversiktskart er gitt i Figur 1-1, der også analyserte modellpunkter er vist.



Figur 1-1: Oversiktskart over området og plassering av modellpunkter benyttet i analysen, samt punktet hvor analysene gjelder.

## 2 Metode

Der finnes ingen representative målinger av vind ved brustedet og derfor beregnes ekstremverdier av vind basert på modellert vind fra værvarslingsmodellen Weather Research and Forecasting model (WRF, beskrevet i Vedlegg A). Grunnlaget for beregningene hentes fra to simuleringer, som vist i Tabell 2-1.

Tabell 2-1: Oversikt over simuleringene som er benyttet.

Simulering	Horisontal oppløsning	Nederste modellag	Simuleringsperiode
WRF500m	500 m x 500 m	12 m / 37 m / 62 m	01.01.2007 – 24.03.2020
WRF4km	4 km x 4 km	18 m / 58 m / 113 m / 193 m	01.01.1979 – 31.05.2020

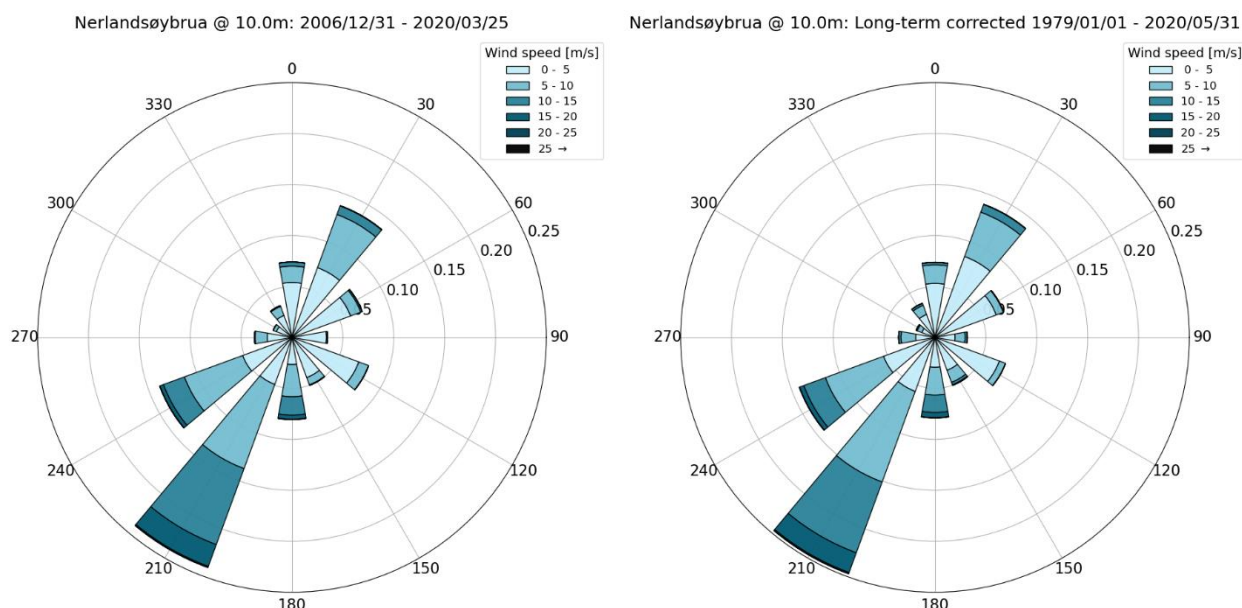
Data hentes også ut i 10 m høyde, hvor det ekstrapoleres fra 12 m ved å benytte vindprofilen bestemt av vinden i 12 m og 37 m høyde. Høydeprofilen i 12 m og 27 m benyttes også til å interpolere til 25 m. Den ekstrapolerte tidsserien i 10 m høyde vil være basis for ekstremanalysen. Det antas ved ekstrapolasjonen at vindprofilen er eksponentielt:

$$U_2 = U_1 \left( \frac{z_2}{z_1} \right)^\alpha \quad \text{Ligning 1}$$

Her er  $U_2$  vindhastighet i høyde  $z_2$ ,  $U_1$  vindhastighet i høyde  $z_1$ , og  $\alpha$  er profilmotoren.

For et å estimere 100-års returverdier med pålitelighet så antas det vanlig at det trengs en tidsserie på 40 år. Det er derfor ønskelig å langtidskorrigere WRF500m slik at den dekker perioden til WRF4km, men bevarer allikevel de lokale vindforholdene som WRF500m fanger godt.

Vindroser for WRF500m og for WRF500m langtidskorrigert med WRF4km er vist i Figur 2-1, og viser at vind fra sørvest og nordøst er hyppigst, og at vind fra øst og nordvestlig sektor er svært sjelden



Figur 2-1: Vindroser for de valgte WRF-datasett, WRF500m til venstre og langtidskorrigert WRF500m til høyre.

## 2.1 Kvantilregresjon – langtidskorrigerer av data

Ved beregning av ekstremvindstatistikk kreves en lang, kontinuerlig dataserie. Dataserien fra 1979 – 2020 fra WRF4km for området er derfor nedskalert til en langtidskorrigert eller såkalt syntetisk 500 m dataserie ved hjelp av kvantilregresjon, beskrevet som U & N metodikk i (Liléo, et al., 2013). Metodikken utnytter sammenhengen i felles dataperiode og det er derfor viktig med nok data for å få en god tilpasning.

Denne metodikken er konsistent på den måten at både fordelingen av hastighet og retning på den langtidskorrigerede tidsserien av WRF500m vil være lik opprinnelig WRF500m dataserie i felles dataperiode, selv om timingen kan være noe forskjellig. Nøyaktigheten av timingen avhenger av korrelasjonen mellom de to dataseriene.

I dette arbeidet langtidskorrigeres vind fra WRF500m i både 10 m og 25 m høyde.

## 2.2 Beregning av ekstrem vindhastighet

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

$$P(X > X_0) = 1 - P(X \leq X_0) = 1 - F(X) = 1 - e^{-e^{-a(X-b)}} = 1 - e^{-e^{-y}} \quad \text{Ligning 2}$$

Her er  $P$  sannsynligheten for at en størrelse  $X$  i et enkelt år skal overstige en gitt verdi  $X_0$ .  $F(X)$  er da frekvensfordelingen for verdiene som ligger under  $X_0$ . Den har form av en dobbelt eksponentiell funksjon med to parametere,  $a$  og  $b$  som bestemmer fordelingen. Datamaterialet er en serie med årlige maksimalverdier fra september til august, og parameterne bestemmes ut fra tilpasning til den teoretiske fordelingen. I denne rapporten er Liebleins metode (Lieblein, 1974) (Harris, 1996) benyttet til denne parameteroptimaliseringen og input data er de langtidskorrigerede vind-dataene fra WRF500m.

For vindhastighet ( $U$ ) benyttes vanligvis  $X = U^2$  som input til Gumbel-metoden (Harris, 1996) (Palutikof, et al., 1999). Dette er en vanlig antakelse når vindfordelingen er Rayleigh-fordelt, det vil si når Weibullformfaktoren er 2. For skjermede områder kan det være mer hensiktsmessig med  $X = U$  som input. Ved å benytte  $X = U^2$  vil Gumbel-plottet gi en konkav kurve istedenfor en lineær kurve.

I dette arbeidet skal ekstremvinden beregnes 10 m og 25 m over havet. Analysen kan dermed gjøres direkte på de ekstrapolerte dataene i 10 m og de interpolerte dataene i 25 m.

## 2.3 Beregning av ekstremt vindkast

For vindkast beregnes en effektiv ruhet for hvert tidssteg, basert på det aktuelle vindprofilen. På denne måten kan det estimeres en kastfaktor fra modellen ved å benytte Ligning 3 og Ligning 4. Denne kastfaktoren er noe usikker på grunn av modellens oppløsning.

Turbulensintensiteten anslås fra bakkeruhet  $z_0$  og vindforsterkningskoeffisienten  $c_0(z)$ :

$$I_v = \frac{k}{c_0(z) \log\left(\frac{z}{z_0}\right)} \quad \text{Ligning 3}$$

Vindkastfaktor  $f_{kast}$  er en faktor for å konvertere 10-minutters middelvind til 3-sekunders vindkast, gitt som:

$$f_{kast} = \sqrt{1 + 7I_v} \quad \text{Ligning 4}$$

Dette betyr at dersom det er forsterkning av middelvinden på grunn av terrenget, vil kastfaktoren reduseres.

For overgang fra 10-minutters ekstremvind ( $V_{10\text{-min}}$ ) til vindkast med varighet 3 sekunder,  $V_{3s}$ , kan vi bruke formelen:

$$V_{3s}(z) = V_{10\text{min}}(z) \sqrt{1 + 7 \cdot I_v(z)} \quad \text{Ligning 5}$$

## 2.4 Beregning av vindeksponent

Beregning av  $\alpha$  i vindeksponentformelen (Ligning 6) er gjort ut fra beregnede verdier av hastighet i 10 m og i høyden 25 m.

$$\frac{U(25m)}{U(10m)} = \left(\frac{25m}{10m}\right)^\alpha \quad \text{Ligning 6}$$

## 2.5 Beregning av sektorvise ekstremer

Selve ekstremvindanalysen gjøres på de årlige sterkeste stormene og har ingen informasjon om vindretning. En kan tenke seg at en Gumbel-analyse kan gjøres sektor for sektor, men selv om simuleringsperioden er lang, er det ikke gitt at en Gumbel-analyse for enkeltsektorer vil være god. Dette er fordi noen sektorer vil kunne ha mer data enn i andre sektorer, og dermed kan det være få stormer eller få tilfeller av sterk nok vind i enkelte sektorer.

For å anslå den sektorielle fordelingen benytter Kjeller Vindteknikk derfor vanligvis en analyse av uavhengige stormer. I denne metoden finner en middelet av de fem sterkeste stormene i hver sektor, samt middelet av de fem sterkeste stormene totalt, og lager sektorkoeffisienter av forholdet mellom dem. Det kreves vanligvis at det er minst fire dager mellom hver storm, slik at samme storm ikke telles flere ganger. Merk at samme storm likevel kan gi bidrag i ulike sektorer.

De sterkeste stormene vurderes fra WRF500m direkte, ikke fra langtidskorrigerede data. Dette gir sektorkoeffisienter for sektor  $i$ :

$$s_i = \frac{\sum_{j=1}^n S_{ij}}{\sum_{j=1}^n S_{omni,j}} \quad \text{Ligning 7}$$

der  $S_i$  er de  $n$  sterkeste stormene for sektor  $i$ , og  $S_{omni}$  er de  $n$  sterkeste retningsuavhengige (omni) stormene. Som nevnt er en vanlig antakelse  $n = 5$ , som vil benyttes her.

Sektorvise ekstremer  $V_i$  av den beregnede ekstremvinden  $V$  finnes da som:

$$V_i = s_i \cdot V \quad \text{Ligning 8}$$



### 3 Resultater

#### 3.1 Returverdier fra WRF500m

Årsmaksima kan hentes direkte ut fra tidsseriene i WRF4km og WRF500m, og benyttes som input til Gumbel-Lieblein-analysen. Årsmaksima hentes ut fra separate vind-år, som gjelder fra 1. september til 31. august. En ordinær årstidsinndeling vil gi større sannsynlighet for at samme storm gir års-ekstremer i 2 påfølgende år. Merk at Lieblein-metodikk gir størst vekt på ekstremene der det er mange av dem. Kurven kan derfor gi inntrykk av dårlig tilpasning ved ekstreme stormer; her ser det ut som om metodikken overestimerer høye returverdier. Merk at WRF – modellering kan ha en tendens til å underestimere vind i ekstreme stormer. Disse får dermed mindre vekt, og resultatet er forventet å bedre passe virkeligheten.

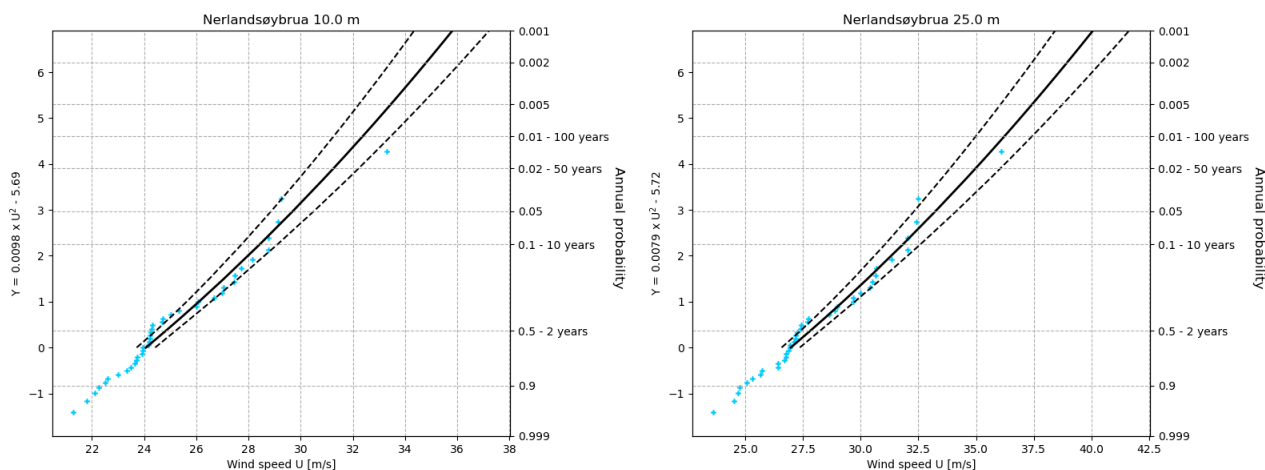
Siden den modellerte vinden representerer timesverdier, er vindhastighetene skalert opp med 8 % for å representere 10-minutters middel. Dette er basert på tidligere prosjekter hvor modell er sammenlignet med målinger.

#### 3.2 Returverdier basert på langtidskorrigerte tidsserier

Vi benytter den langtidskorrigerte serien fra WRF500m. Den endelige Gumbel-Lieblein-analysen er vist i Figur 3-1 for 10 m og 25 m og i Tabell 3-1.

Tabell 3-1: Returverdier i 10 m og 25 m høyde.

Høyde	10 år	50 år	100 år
10 m	29,2	32,1	33,3
25 m	32,7	36,0	37,3



Figur 3-1: Gumbel-Lieblein-analyse av den langtidskorrigerte WRF500m-serien for 10 m (venstre) og 25 m (høyre).

### 3.3 Sektorfordeling av returverdier

For å finne de sektorielle returverdiene så er det benyttet en sektorvis skalering av de retningsuavhengige returverdiene, basert på stormer i de ulike sektorene.

#### 3.3.1 Sektorfordeling fra de sterkeste stormene

Sektorkoeffisienter beregnes som nevnt i Avsnitt 2.5 ved å finne de fem sterkeste stormene i hver sektor, samt retningsuavhengig. Metoden er følsom for lengden på tidsserien, siden en kort tidsserie kan gi for få stormer i visse sektorer. Hele WRF500m-datasettet (ikke langtids-korrigert) vil derfor benyttes for å beregne sektorkoeffisienter. Dette gjøres både i 10 m og 25 m høyde, som vist i Tabell 3-2.

Tabell 3-2: Sektorkoeffisienter i 10 m og 25 m høyde, basert på timesverdier fra WRF500m.

Høyde	Sektor							
	N	NØ	Ø	SØ	S	SV	V	NV
10 m	0,69	0,68	0,39	0,46	0,92	0,99	0,63	0,51
25 m	0,68	0,66	0,43	0,51	0,94	0,98	0,63	0,56

#### 3.3.2 Sektorvise returverdier

Ved å benytte sektorkoeffisientene sammen med retningsuavhengige returverdier, utledes sektorvise returverdier, gitt for 10, 50 og 100-års returverdier for 10-minutters middelvind i Tabell 3-3 - Tabell 3-5.

Tabell 3-3: Sektorvise 10-års returverdier for 10-minutters middelvind i 10 m og 25 m høyde.

Høyde	Sektor							
	N	NØ	Ø	SØ	S	SV	V	NV
10 m	20,3	20,0	11,5	13,5	26,9	29,1	18,4	15,1
25 m	22,4	21,5	14,1	16,8	30,8	32,0	20,8	18,4

Tabell 3-4: Sektorvise 50-års returverdier for 10-minutters middelvind i 10 m og 25 m høyde.

Høyde	Sektor							
	N	NØ	Ø	SØ	S	SV	V	NV
10 m	22,3	22,0	12,6	14,9	29,5	31,9	20,2	16,5
25 m	24,6	23,6	15,5	18,5	33,9	35,1	22,8	20,3

Tabell 3-5: Sektorvise 100-års returverdier for 10-minutters middelvind i 10 m og 25 m høyde.

Høyde	Sektor							
	N	NØ	Ø	SØ	S	SV	V	NV
10 m	23,1	22,7	13,0	15,4	30,6	33,1	21,0	17,1
25 m	25,5	24,4	16,1	19,1	35,1	36,4	23,7	21,0

Siden de sektorielle returverdiene representerer samme returperiode som omni-verdien, skal en statistisk vektning av sektorverdiene gi samme verdi som den retningsuavhengige returverdien.

### 3.3.3 Sektorfordeling av vindkastfaktorer

Sektorielle vindkastfaktorer er funnet som nevnt i Avsnitt 2.3 og vist nedenfor i Tabell 3-6 for 10 m og 25 m.

Tabell 3-6: Sektorvise vindkastfaktorer i 10 m og 25 m høyde.

Høyde	Sektor							
	N	NØ	Ø	SØ	S	SV	V	NV
10 m	1,49	1,48	1,95	1,85	1,59	1,44	1,64	1,73
25 m	1,43	1,43	1,75	1,68	1,51	1,4	1,55	1,58

### 3.3.4 Sektorvise returverdier av vindkast

Ved å benytte sektorvise vindkast faktorer sammen med retningsvise returverdier for 10-minutters middelverdi, utledes sektorvise returverdier, gitt for 10, 50 og 100-års returverdier for 3-sekunders vindkast i Tabell 3-7 - Tabell 3-9.

Tabell 3-7: Sektorvise 10-års returverdier for 3-sekunders vindkast i 10 m og 25 m høyde.

Høyde	Sektor							
	N	NØ	Ø	SØ	S	SV	V	NV
10 m	30,2	29,6	22,3	25,0	42,7	41,8	30,2	26,0
25 m	32,0	30,7	24,7	28,2	46,5	44,8	32,2	29,1

Tabell 3-8: Sektorvise 50-års returverdier for 3-sekunders vindkast i 10 m og 25 m høyde.

Høyde	Sektor							
	N	NØ	Ø	SØ	S	SV	V	NV
10 m	33,2	32,5	24,6	27,5	46,9	46,0	33,2	28,6
25 m	35,2	33,7	27,2	31,0	51,1	49,2	35,4	32,0

Tabell 3-9: Sektorvise 100-års returverdier for 3-sekunders vindkast i 10 m og 25 m høyde.

Høyde	Sektor							
	N	NØ	Ø	SØ	S	SV	V	NV
10 m	34,4	33,7	25,4	28,5	48,6	47,6	34,4	29,7
25 m	36,4	34,9	28,1	32,1	52,9	50,9	36,7	33,1

## 3.4 Turbulensintensitet og vindeksponent

Turbulensintensiteten er funnet for 10-min middelvind og 3-sekunders vindkast ved bruk av Ligning 4 og er gitt i Tabell 3-10. Den er uavhengig av returperioden.

Tabell 3-10: Sektorvis turbulens intensitet,  $I_u$ , i 10 m og 25 m høyde.

Høyde	Sektor							
	N	NØ	Ø	SØ	S	SV	V	NV
10 m	0,17	0,17	0,40	0,35	0,22	0,15	0,24	0,28
25 m	0,15	0,15	0,29	0,26	0,18	0,14	0,20	0,21

Vindeksponenten er uavhengig av returperiode og vist nedenfor for 10-minutters middelvind og 3-sekunders vindkast ved hjelp av Ligning 5. Noter at vindeksponenten er laget for å estimere returverdier i høyder fra 10 m og opptil noen få titalls meter over 25 m, men påliteligheten er ikke vurdert høyere oppe.

Tabell 3-11: Sektorvise vindeksponenter,  $\alpha$ , 10-minutters middelvind og 3-sekunders vindkast.

	Sektor							
	N	NØ	Ø	SØ	S	SV	V	NV
$\alpha (V_{10min})$	0,11	0,08	0,23	0,24	0,15	0,10	0,13	0,22
$\alpha (V_{3s})$	0,06	0,04	0,11	0,13	0,09	0,07	0,07	0,12

### 3.5 Returverdier basert på vindstandarden og tidligere analyser

Vindstandarden (EN-1991-1-4:2005+NA, 2009) angir kommuneverdier for 50-års referansevind. Denne gjelder for flatt terreng og overflateruhet på 0,05 m. Formler benyttes for å konvertere til andre ruheter og det logaritmiske profilet benyttes for å regne til andre høyder. Nerlandsøybrua ligger i Herøy kommune (30 m/s) og vi benytter her kommuneverdien for å sammenligne de beregnede returverdiene med vindstandarden.

Det er valgt å bruke en ruhet på 0,003 m for Nerlandsøybrua som tilsvarer ruhet over hav og dermed vindhastigheter på tvers av brua som også er hoved vindretning. Ingen skjermings- eller kastkoeffisienter blir brukt. Beregninger for de samme høydene som før gir 50-årsvind som gitt i Tabell 3-12.

Retningsuavhengig 50-års vind i 10 m og 25 m høyde er betydelig høyere ved bruk av standarden enn beregnet fra modell. Denne verdien fra standarden er vurdert til å gjenspeile bedre forholdene ute ved åpent hav, enn i ved de mer skjermete forholdene ved Nerlandsøybrua.

Tidligere resultater fra langtidskorrigerte WRF500m data, samt måledata fra Vigra flyplass (Kjeller Vindteknikk, 2018), viser at WRF500m gjenskaper bra vindforholdene ved flyplassen. 50-års returverdien fra målinger i 10 m er 32 m/s men 33.3 m/s fra modelldata. Returverdiene vurderes i tillegg til å kunne være ganske like ved Vigra flyplass og ved Nerlandsøybrua, som også er indikert i tidligere kartlegging av modellert ekstremvind i regionen (Kjeller Vindteknikk, 2018).

Tabell 3-12: Retningsuavhengig 50-års returverdier beregnet fra vindstandarden, for 10-minutters middelvind i 10 m og 25 m høyde, ved en ruhet på 0,003 m.

Høyde	Omni
10 m	38,0
25 m	42,3

## 4 Referanser

EN-1991-1-4:2005+NA, 2009. *Eurokode 1: Laster på konstruksjoner*, s.l.: Standard Norge.

Gumbel, E., 1958. *Statistics of extremes*. s.l.:Columbia University Press.

Harris, R., 1996. Gumbel re-visited - a new look at extreme value statistics applied to wind speeds. *Journal of Industrial Aerodynamics*, pp. Volume 59, Pages 1-22, doi: 10.1016/0167-6105(95)00029-1.

Kjeller Vindteknikk, 2018. *KVT\_105\_KH\_2018\_Sulafjorden\_Vartdalsfjorden\_vind\_strom\_bolger*, s.l.: s.n.

Klemp, J., Skamarock, W. & Dudhia, J., 2000. *Conservative split-explicit time integration methods for the compressible non-hydrostatic equations*, s.l.: <http://www.wrf-model.org/>.

Lieblein, J., 1974. *Efficient Methods of Extreme-Value Methodology*. Washington: National Bureau of Standards, NBSIR 74-602.

Liléo, S. et al., 2013. Long-term correction of wind measurements. State-of-the-art, guidelines and future work.. *Elforsk report 13:18*.

Michalakes, J. et al., 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*, s.l.: Eds. Walter Zwiefelhofer and Norbert Kreitz. World Scientific, Singapore..

Palutikof, J. P., Brabson, B. B., Lister, D. H. & Adcock, S. T., 1999. A review of methods to calculate extreme wind speeds. *Meteorol. Appl.*, pp. vol. 6, 119-132.

Skamarock, W. et al., 2008. *A Description of the Advanced Research WRF Version 3*, NCAR Technical Note NCAR/TN-475+STR, s.l.: NCAR, Boulder, June 2008.

## Vedlegg A Description of WRF

The Weather Research and Forecast (WRF) model is a state-of-the-art meso-scale numerical weather prediction system, aimed at both operational forecasting and atmospheric research needs. A description of the modelling system can be found at the home page<sup>1</sup>. The model version used in this work is v3.2.1 and v3.5.0 described in (Skamarock, et al., 2008). Details about the modelling structure, numerical routines and physical packages available can be found in for example (Klemp, et al., 2000) and (Michalakes, et al., 2001). The development of the WRF-model is supported by a strong scientific and administrative community in U.S.A. The number of users is large and it is growing rapidly. In addition, the code is accessible for the public.

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

### A.1 Input Data

The most important input data are geographical data and meteorological data. The geographical data is from the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). The data includes topography, surface data, albedo and vegetation. These parameters have high influence for the wind speed in the layers close to the ground. For the entire domain except for Sweden and Norway, the model uses land use data input from NOAA. The land use data for Sweden is retrieved from the Geografiska Sverigedata (GSD)-Land Cover which is classified in accordance with the European Union's CORINE Land Cover mapping project<sup>2</sup>. For Norway, the model input uses the N50 land use data provided by the Norwegian Mapping Authority<sup>3</sup>.

For the solving of the model equations, boundary conditions of the area are required. Such lateral boundary data is available from the National Centers for Environmental Prediction (NCEP). The data originates from the Final Global Data Assimilation System (FNL)<sup>4</sup> 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<sup>5</sup>, is available with a spatial resolution of approximately 0.7 degrees globally. Data is available every 6 hours. The ERA interim dataset does also assimilate observational data. For weather forecasting the datasets from ECMWF is usually accepted to have higher quality compared to NCEP datasets, in particular for the European region.

#### A.1.1 Model Setup

The two model setups used in this analysis is shown in Figure A-1. The simulations of the Scandinavian region have been performed for 36 years covering the period 1979-2019 with a horizontal resolution of 4 km x 4 km. The model has been set up with 2 nested domains. The simulations of Sulafjorden has been set up

<sup>1</sup> <https://www.mmm.ucar.edu/weather-research-and-forecasting-model>

<sup>2</sup> <https://www.eea.europa.eu/publications/COR0-landcover>

<sup>3</sup> <https://kartverket.no>

<sup>4</sup> <https://www.emc.ncep.noaa.gov/gmb/para/parabout.html>

<sup>5</sup> <https://www.ecmwf.int>

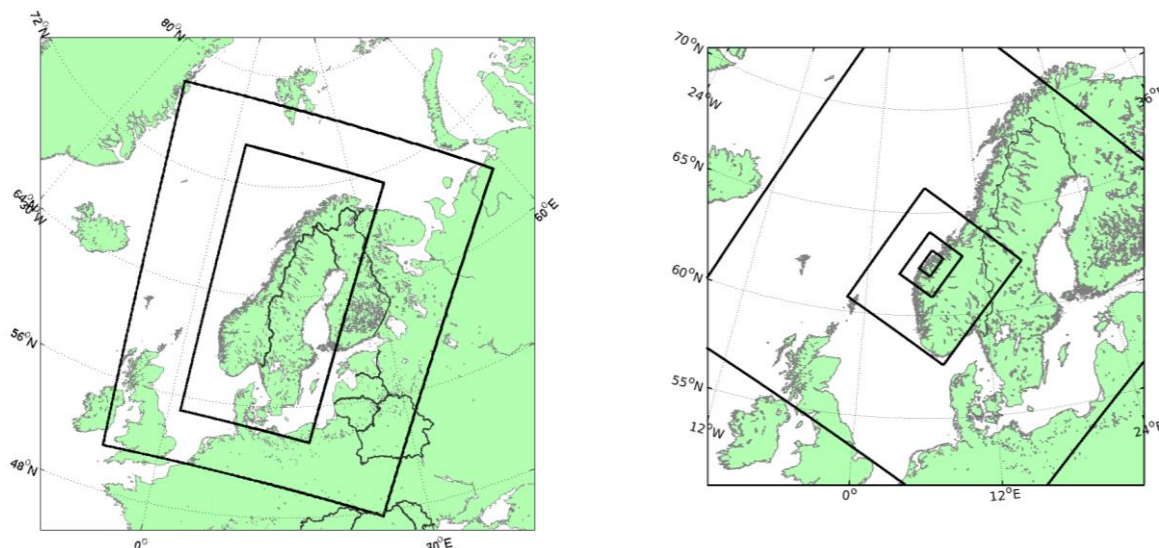
with four nested domains. The setup of the domain is shown in the Figur A-1, right. The inner domain has a horizontal resolution of 500 m x 500 m.

For both model setups the ECMWF–ERA Interim dataset is used as input. The simulations have 32 layers in the vertical with four layers in the lower 200 m. We have used the Thompson microphysics scheme and the MYJ scheme for boundary layer mixing for the 4 km x 4 km simulation. The YSU scheme is used for boundary layer mixing in the 500 m x 500 m simulations.

With the current setup, the WRF-model calculates the change in the meteorological fields for each grid-cell for a time step from 1 to 108 seconds in the different domains with increasing time step for lower horizontal resolution. In this way a realistic temporal development of the meteorological variables is achieved. Data is stored to disk every 1 hours of simulation.

Tabell A-1: Overview of the simulations.

Simulation	Domain	Period of simulation	horizontal resolution	BL mixing	Model version
KVT_SWE06_myj	d01	01.01.1979 – 31.05.2020	16 km	MYJ	3.2.1
	d02	“	4 km	“	“
KVT_Sulafjorden	d01	01.01.2007 – 24.03.2020	22.5 km	YSU	3.5.0
	d02	“	4.5 km	“	“
	d03	“	1.5 km	“	“
	d04	“	500 m	“	“



Figur A-1: Model set up for WRF simulations. Left: WRF4km, 1979-2020. Right: WRF500m, 2000-2020.