

DNMI

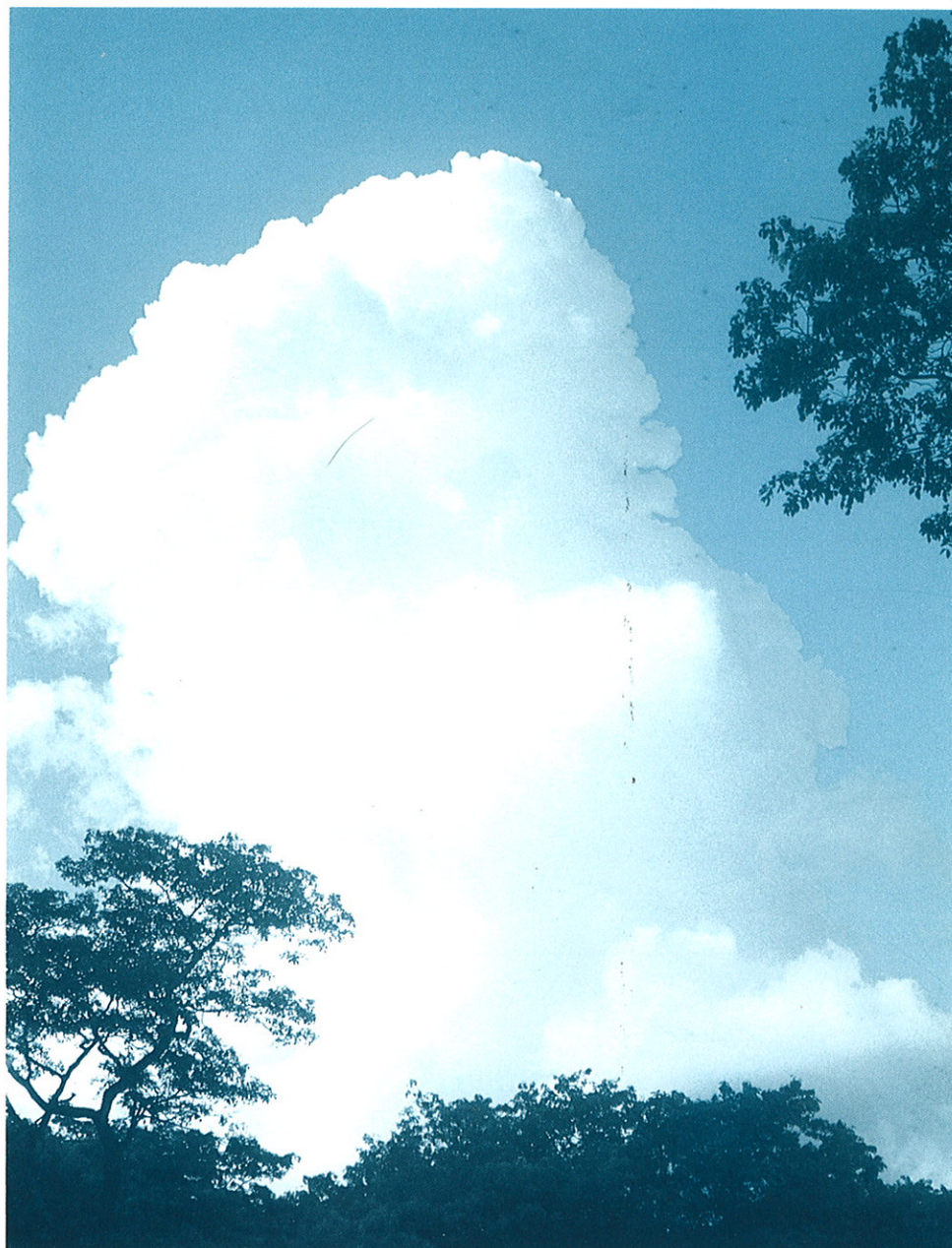
DET NORSKE METEOROLOGISKE INSTITUTT

klima

**FEDAFJORDEN BRU
EKSTREME VINDFORHOLD**

KNUT HARSTVEIT

RAPPORT NR.11/95 KLIMA



DNMI-RAPPORT

DET NORSKE METEOROLOGISKE INSTITUTT
POSTBOKS 43 BLINDERN 0313 OSLO 3
TELEFON: 22 96 30 00

ISBN

RAPPORT NR.

11/95 KLIMA

DATO

27.01.95

TITTEL

**FEDAFJORDEN BRU
EKSTREME VINDFORHOLD**

UTARBEIDET AV

Knut Harstveit

OPPDRAGSGIVER

Statens vegvesen - Vest-Agder

OPPDRAGSNR.

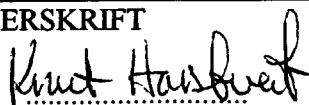
SAMMENDRAG

Data fra 21 år fra Lista fyr er benyttet i undersøkelsen.

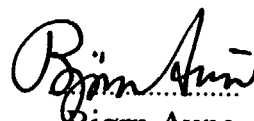
Overføring til aktuelle brutraséer ved Kvina verft i Fedafjorden er gjort utfra skjønnsmessig vurdering.

Det er gitt estimater for ekstremverdier av 3-5 s vindkast, 1 min og 10 min middelvind med 10, 50 og 100 års returperiode, samt longitudinal turbulensintensitet.

UNDERSKRIFT



Knut Harstveit
SAKSBEHANDLER



Bjørn Aune
FAGSJEF

S A M M E N D R A G

Værstasjonen Lista flyplass er analysert i denne rapporten og danner hovedgrunnlaget for estimeringen av ekstremvindforholdene i Fedafjorden ved planlagt bru nær Kvina verft.

På Lista fyr er det beregnet ekstremverdi med 50 års returperiode på 46.9 m/s for 3-5 s vindkast og 33.0 m/s for 10 min middelvind. Ved beregningene er det benyttet en dataserie på 21 år. På Lista kommer den sterkeste vinden omkring vest. I sørvestlig sektor er middelvinden redusert til 87 % og 3-5 s vindkast til 83 % av totalekstremen, mens det i nordøstlig sektor er reduksjon til 61-66 %.

Den sterkeste vinden ved brustedet i Fedafjorden kommer fra sørvest og nordøst. Forholdene er omtrent de samme som ved sørvestlig vind på Lista fyr, men det er antatt litt sterkere vindkast (+5 %) og litt svakere middelvind (-5 %) ved brustedet.

Tabellene viser estimerte ekstremverdier av vindhastigheter (m/s) med varighet 3-5 s, 1 min og 10 min samt longitudinal turbulensintensitet, I_u ved aktuelle brutraséer nær Kvina verft. Verdiene i tabellene er gitt med 1 desimal av beregningsmessige årsaker. Dette gjenspeiler ikke nøyaktigheten i tallene. Usikkerheten i estimatene ligger trolig i området $\pm 10\%$ (vind langs fjorden) og $\pm 20\%$ (vind på tvers av fjorden). Tabellene er felles for begge bruspenn.

Vind langs fjorden, dvs. på tvers av brutrasé, høyde 10 m.

Returperiode	Vindparameter, V			
	3-5 s vindkast	1 min middel	10 min middel	I_u
10 år	35.3 m/s	28.7 m/s	23.4 m/s	0.21
50 år	40.7 m/s	33.3 m/s	27.3 m/s	0.20
100 år	43.4 m/s	35.5 m/s	29.0 m/s	0.20
n	0.10	0.12	0.15	-0.15

Vind på tvers fjorden, dvs. på langs av brutrasé, høyde 10 m.

Returperiode	Vindparameter, V			
	3-5 s vindkast	1 min middel	10 min middel	I_u
10 år	20.5 m/s	14.9 m/s	10.2 m/s	0.41
50 år	23.7 m/s	17.3 m/s	11.9 m/s	0.41
100 år	25.1 m/s	18.3 m/s	12.6 m/s	0.41
n	0.20	0.24	0.30	-0.30

Tabellene gir verdier for 10 m høyde over fjordflaten. For vindparameter, V, i vilkårlig høyde, Z, opp til 150 m kan følgende omregningsformel benyttes:

$$V(Z) = V(10m) \cdot \left(\frac{Z}{10m} \right)^n$$

1. Innledning

Bakgrunnen for denne rapporten er en forespørsel fra Statens Vegvesen, Vest-Agder. Ved Vegdirektoratet er man i gang med prosjektering av bru over Fedafjorden i forbindelse med oppjustering av veistandarden på E-18 i området.

2. Sted og topografi

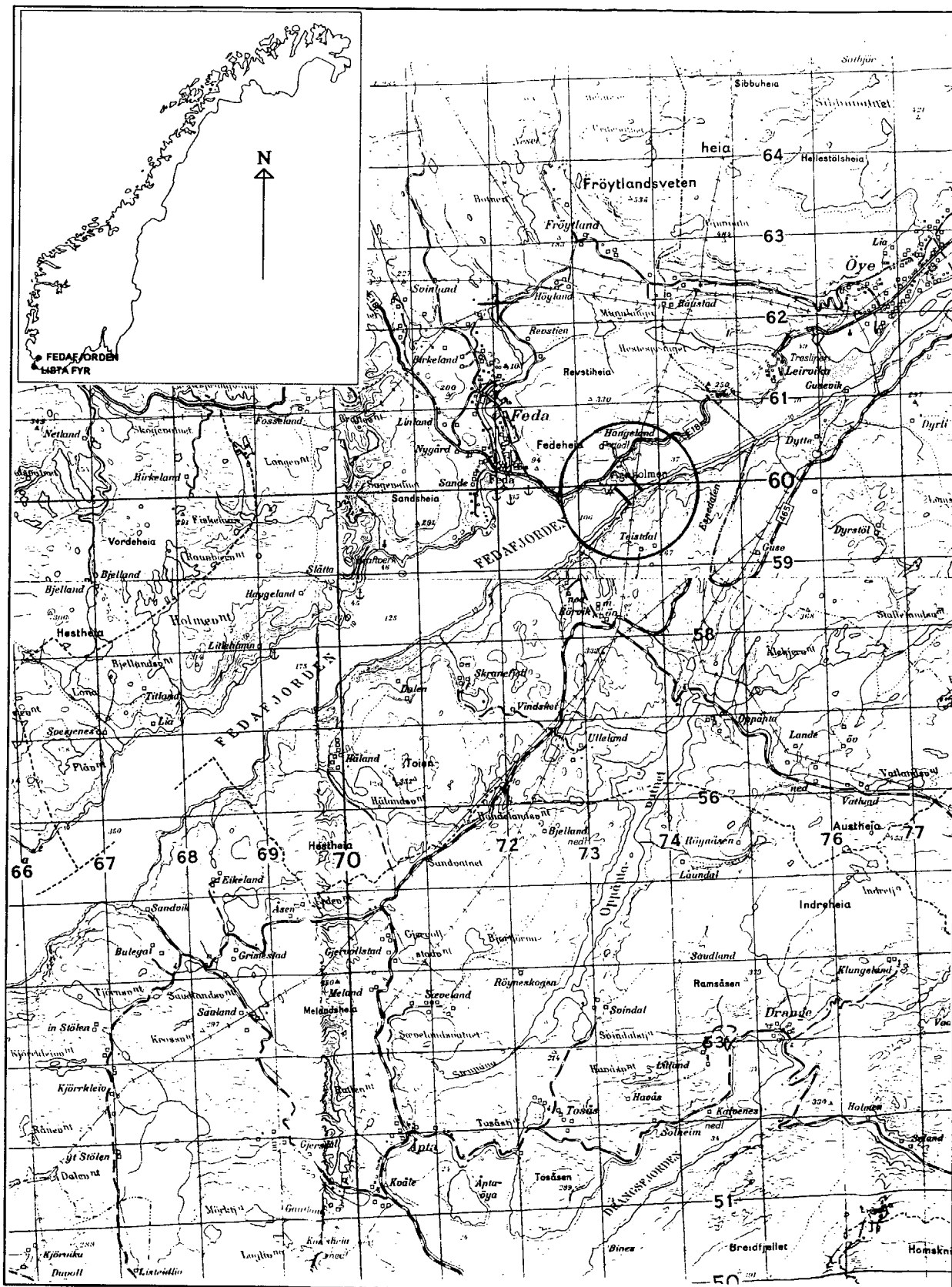
Bruområdet ligger i Kvinesdal kommune i Vest-Agder. Dette området består av åser og daler 0 - 500 moh. Mot nord stiger terrenget gradvis og når etter hvert opp i høyfjellet. Terrenget stiger også noe mot nordvest og nordøst.

Fedafjorden løper nordøst - sørvest (050 - 230°). Fjorden er 20 - 25 km lang. I ytre del er fjordbredden ca. 2 km, i midtre del mellom Sandvik og Feda er den ca. 1 km, og ca. 500 m mellom Feda og elven Kvina. Fjordbreddene er stort sett bratte fjellskråninger som når opp i 300 moh. Langs elven Kvina fortsetter et 1 - 2 km bredt dalføre inn forbi Kvinesdal sentrum.

Selve bruområdet ligger således i en 500 m bred passasje i en 1 - 2 km bred terrengkanal. Brua er planlagt ved Kvina verft nær Sangholmen. Her er fjordkanalen 400 m bred, mens selve bruspenet blir 300 m pga. utstikkende nes.

3. Vindforholdene i området.

En må forvente at vind omkring øst (nordøst til sørøst) og vest (sørvest til nordvest) vil få store hastigheter rundt sørlige del av Langfjella, mens rent sørlige og spesielt nordlige vinder vil bli bremsset. Av disse vindretningene vil nordøst og sørvest i tillegg få en kanalforsterkning gjennom Fedafjorden, særlig ved bruområdet. Øvrige vindretninger vil bremses ved bruområdet fordi de ikke lett trenger ned i fjorden.



Figur 1.
Kart over området i målestokk 1 : 75.000. Plassering av Fedafjorden og Lista fyr på nasjonal skala.

3.1 Data fra Lista

Nærmeste sted med gode vindregistreringsdata er Lista fyr. Denne vindstasjonen ligger sørvest på halvøya Lista. Det er åpent hav mot sektor sørøst - sør - sørvest - vest - nordvest (120 - 320°). Vind fra disse retninger er derfor representativ for vinden i en viss høyde over Feda. For vind i sektor nord - nordøst - øst (330 - 100°) ligger fyret innenfor en landvindsektor, og er i mindre grad representativ. Spesielt mot sektor nordøst - øst (030 - 100°), er fyret skjermet av høyereliggende terreng på selve Lista og vil vise mindre vind enn steder som ligger mer åpent til mot nordøst. Selve fyret ligger på en svak forhøyning nær sjøen, 13 moh. Terrenget er lavt og flatt de nærmeste 2 - 5 km.

Lista fyr har vindregistreringer fra 1923. Data foreligger på diagrampapir og det er en tidkrevende jobb å overføre data til EDB - format. Høyeste verdi av 10 min. middelvind og 3-5 s vindkast innenfor hver av sektorene N, NØ, Ø, SØ, S, SV, V og NV er allerede lest av fra perioden fra 1982/83 - 91/92 (middelvind og vindkast). Høyeste middelvindverdi uansett sektor foreligger for perioden 1982/83 - 93/94 og høyeste vindkast uansett sektor for perioden 1964/65 - 72/73 + 1982/83 - 93/94. Mer fullstendig avlesning av datarekkene er igang i forbindelse med et generelt ekstremvindprosjekt, men dette er ikke ferdig. Det er imidlertid ikke ventet at resultatet blir vesentlig forskjellig, og med de usikkerheter som ligger i estimering av overføring til Fedafjorden, kan en være rimelig tilfreds med datarekken slik den nå foreligger.

Datarekken for 3-5 s vindkast på 21 år er kjørt ut i et standard ekstremverdi program etter Gumbel (1). Dette gir ut ekstremverdier med vilkårlig returperiode, her valgt til 10, 50 og 100 år. Dette er også gjort for de 12 årene 1982/83 - 93/94, både for vindkast og middelvind. På denne måten er middelvindrekken "forlenget" fra 12 til 21 år, hvilket øker sikkerheten i estimatene. De ferdige estimatene av ekstrem vindhastighet med 50 års returperiode er 33.0 (middelvind) og 46.8 m/s (vindkast). Øvrige returperioder er gitt i tabell 1.

Tabell 1 viser fordeling på 8 hovedretninger, hver på 1/8 av kompassets 360°, $N=360^{\circ}\pm 22.5^{\circ}$, $NØ=45^{\circ}\pm 22.5$ osv. Middell av de 5 høyeste U(3-5s) og U(10min) er gitt sammen med middel av de 5 høyeste uansett sektor. Retningskoeffisienter er gitt som kvotienter mellom retningsmaksima og totalmaksima.

Tabell 1

De 5 høyeste årsverdiene av $U(10min)$ og $U(3-5s)$ på Lista, 1982 - 1992, sektorfordelt på 8 hovedretninger (S) og midlet, sammen med forholdet, $k(S)=U(S)/U$ mellom sektorielle vindhastigheter og vind uavhengig av retning., samt retningsfordelt kastfaktor, $Gf=U(3-5s)/U(10min)$ og ekstremverdier med 10, 50 og 100 års returperiode i alle sektorer.

U(3-5s)									
	N	NØ	Ø	SØ	S	SV	V	NV	ALLE
1	22.6	26.7	35.0	36.0	38.6	34.0	41.2	38.6	41.2
2	19.5	26.2	32.4	30.3	35.0	34.0	36.0	38.1	38.6
3	19.0	26.2	30.3	28.8	31.9	31.4	35.5	37.0	38.6
4	18.5	24.7	29.3	28.3	28.8	30.9	35.0	36.0	38.1
5	18.0	24.7	29.3	27.8	26.7	30.3	34.5	33.4	37.0
Um(3-5s)	19.55	25.72	31.28	30.25	32.20	32.10	36.42	36.63	38.68
k	0.51	0.66	0.81	0.78	0.83	0.83	0.94	0.95	
U10år	20.5	26.9	32.7	31.7	33.7	33.6	38.1	38.3	40.5
U50år	23.6	31.1	37.8	36.6	39.0	38.8	44.1	44.3	46.8
U100år	25.1	33.0	40.1	38.8	41.3	41.2	46.7	47.0	49.6

U(10 min)									
	N	NØ	Ø	SØ	S	SV	V	NV	ALLE
1	16.5	18.0	21.6	27.8	27.8	24.7	27.8	28.3	28.3
2	14.4	16.5	19.5	23.1	26.2	24.7	26.2	23.7	27.8
3	13.4	16.5	19.0	22.1	23.7	23.7	24.7	23.1	27.8
4	12.9	15.9	19.0	20.6	21.6	22.1	24.2	22.6	26.2
5	12.3	15.4	19.0	20.1	21.6	22.1	24.2	22.6	24.7
Um(10min)	13.89	16.46	19.65	22.74	24.18	23.46	25.41	24.07	26.95
k	0.52	0.61	0.73	0.84	0.90	0.87	0.94	0.89	
Gf	1.41	1.56	1.59	1.33	1.33	1.37	1.43	1.52	1.44
U10år	14.6	17.3	20.6	23.9	25.4	24.6	26.7	25.3	28.3
U50år	17.0	20.2	24.1	27.8	29.6	28.7	31.1	29.5	33.0
U100år	18.0	21.4	25.5	29.5	31.4	30.5	33.0	31.3	35.0

Vinden er svakest i nordlig og nordøstlig sektor ($340 - 070^\circ$) og sterkest omkring vest. Maksimalverdien av sørvestlig middelvind ligger på 87% av den sektoruavhengige, hvilket gir ekstrem vindhastighet med 50 års returperiode til 28.7 (middelvind) og 38.8 m/s (vindkast), mens den nordøstlige ligger på 66%. Vind i sørvestlig sektor er forholdsvis jevn med kastfaktor 1.37, hvilket er omtrent det som er vanlig på en fri havflate ved sterk vind. I sektor nordvest, nordøst og øst er vinden mer ujevn som følge av terrenginnflytelse (nordøst og øst) eller bygninger (nordvest).

3.2 Overføring til Fedafjorden

Bruområdet ved Feda, nær Kvina verft, ligger eksponert for vind fra sørvest og nordøst. Vindmålingene fra Lista fyr i sørvestlig sektor vil være nær representative for Fedafjorden. For nordøstlig sektor vil Lista fyr vise vesentlig svakere vind enn Fedafjorden. Vi antar derfor at vindhastigheten som beregnes for sørvestlig sektor også kan forekomme i nordøstlig sektor ved bruområdet og benytter målingene i sørvestlig sektor på Lista som utgangspunkt for videre beregninger. Ved vind langs fjorden er det omtrent samme vindforhold for de 2 aktuelle traséene nær Kvina verft.

Det vil være enkelte små forskjeller mellom Lista fyr og bruområdet også ved sørvestlig vind. Vinden på Lista fyr kommer rett fra havet og representerer havvinden, hvilket kastfaktoren på 1.37 indikerer. Innover Fedafjorden inntreer to mekanismer. For det første smalner fjorden og det inntreer friksjonsbremsing som følge av innvirkning fra fjellsidene. Denne virkningen reduserer vindhastigheten, spesielt middelvinden. På den annen side ligger bruområdet i en trangere passasje enn fjorden/fjordforlengelsen ellers, derved oppstår en kanaliseringseffekt (Bernoulli-effekt) som akselererer vinden ved brustedet. Som en totaleffekt kan vi regne med at vinden blir noe mer turbulent og trolig får en kastfaktor som ligger nær forholdene på en flyplassflate, dvs. $G_f=1.5$. Vi antar nå at vindkastene holder samme styrke som på Lista fyr, mens middelvinden blir noe svakere (ca. 10 %).

Da en kan regne med samme forhold ved nordøstlig vind, vil den totale ekstremvind ligge noe høyere. Generelt viser data at kombinasjonseffekten fra to jevnbyrdige sektorer gir ca. 5 % høyere ekstremvind enn en enkelt sektor. Samlet gir dette ca. 5 % økning av vindkastene og 5 % reduksjon i middelvinden, sett i forhold til ekstremvindberegninger fra sørvestlig sektor, Lista fyr. Dette gir ekstrem vindhastighet med 50 års returperiode på 27.3 (middelvind) og 40.7 m/s (vindkast). Øvrige verdier er gitt i tabell 1. Det er antatt en usikkerhet på $\pm 10\%$ i disse anslagene.

Høydeprofilen er gitt ved potensloven (lign A.3, Appendiks 1), med $n = 0.15$ for $U(10 \text{ min})$, lik forholdene ved vind langs en trang fjord. Med kastfaktor tilnærmet lik 1.5 og verdiene over, får vi (se Appendiks 1) $n=0.10$ for vindkastprofilen. Videre, $I_u(10 \text{ m}) = 0.21$, med $n=-0.15$ som eksponent i høydeprofilen. Derved kan forholdene i 10 - 150 m over sjøflaten settes opp i tabellform.

Tabell 2. Grunnverdier for ekstremvind i Fedafjorden nær Kvina verft.
Tabellen gjelder vind langs fjorden, høyde 10 m.

Returperiode	3-5 s vindkast	1 min middel	10 min middel	I_u
10 år	35.3 m/s	28.7 m/s	23.4 m/s	0.21
50 år	40.7 m/s	33.3 m/s	27.3 m/s	0.20
100 år	43.4 m/s	35.5 m/s	29.0 m/s	0.20
n	0.10	0.12	0.15	-0.15

Vind på tvers av fjorden.

Ved vindfelt i sektoren øst til sør, samt fra nord og fra vestsørvest til vest vil enten vinden bli kanalisert langs fjorden, eller svært lite vind vil blåse. Det eneste vindfelt som synes å kunne sette opp en vind av betydning langs brubanen, er vindfelt fra vestnordvest til nordvest. Slik vind vil likevel danne en vinkel på minst 20 - 30° med brua (vindretning maksimalt 290°, bruretning 310°). Vi regner konservativt pga. den store usikkerheten i disse estimatene og antar at vindretningen virkelig går langs brua.

Følgende regnestykke må oppfattes som et resonnement for å sannsynliggjøre verdier som rent følelsesmessig synes fornuftige (såkalt "educated guess"). Av beregningsmessige årsaker, samt mulighet for å angi en fornuftig høyde- og returtidsvariasjon, er det brukt 0.1 m/s som oppløsning. Reell usikkerhet ligger trolig nærmere $\pm 20\%$ ved disse anslagene, men dette er også et tall som ikke kan dokumenteres.

Vi kan anta at vestnordvest til nordvestlig vind blåser med samme styrke som på Lista, i en viss høyde over Kvina verft. 300 m synes være et fornuftig valg, siden dette er omtrentlig høyde på en del fjellmassiver. Utgangspunktet er nå vind uansett sektor på Lista. Viss vi antar at denne reduseres etter en gjennomsnittlig eksponent, $n=0.3$, reduseres 50 - årsverdien av 10 min middelvind fra 33.0 m/s til 11.9 m/s i 10 m høyde over fjorden. Samtidig øker turbulensen og vindkast trenger lettere ned i fjorden enn middelvinden. Dette gjøres i beregningene ved å benytte 0.24 og 0.20 for 1 min og 3-5 s vindkast resp. Derved oppnåes tabell 3 for vind på tvers av fjorden. Det regnes heller ikke nå med forskjeller mellom brutraséene, selv om det rent intuitivt kan synes som om forholdene er enda litt mildere ved østre trasé ved vind langs brua. Tabellen gir en reduksjonsfaktor på ca. 0.3 for 10 min middelvind og ca. 0.5 for 3-5 s vindkast i forhold til Lista fyr.

Tabell 3. Grunnverdier for ekstremvind i Fedafjorden nær Kvina verft.
Tabellen gjelder vind på tvers fjorden, dvs. på langs av brutrasé, høyde 10 m.

Returperiode	3-5 s vindkast	1 min middel	10 min middel	Iu
10 år	20.5 m/s	14.9 m/s	10.2 m/s	0.41
50 år	23.7 m/s	17.3 m/s	11.9 m/s	0.41
100 år	25.1 m/s	18.3 m/s	12.6 m/s	0.41
n	0.20	0.24	0.30	-0.30

Skal vi feks. finne 10 min middelvind og Iu i 93 m høyde med 10 års returperiode på tvers av fjorden, har vi at $U_{50\text{år}}(10\text{min},93\text{m}) = U_{50\text{år}}(10\text{min},10\text{m}) \cdot (93/10)^{0.30} = 10.2 \text{ m/s} \cdot 1.95 = 19.9 \text{ m/s}$ og $Iu = 0.41/1.95 = 0.21$.

5. Referanser

(1). **Gumbel, E. J.:**

Statistics of Extremes.

Columbia University Press, New York, 1958.

(2). **Harstveit, K.:**

Full scale measurements of gust factors and turbulence intensity and their relations in hilly terrain.

Submitted to Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics.

APPENDIKS

Turbulensintensitet

Ved antagelse om normalfordelte momentanverdier av vindfart er høyeste fartsavvik med varighet t , fra middelvind, proporsjonalt med standardavviket, σ_u av momentanverdiene:

$$U_g(t) - U_{10\min} = k(t) \cdot \sigma_u \quad \text{lign. (A.1)}$$

Vi definerer turbulensintensitet som standardavvik dividert på middelvinden. Ved divisjon av lign. (A.1) med 10 min. middelvind, og innføring av kastfaktor som $Gf(t) = U_g(t)/U_{10\min}$, får vi følgende sammenheng mellom turbulensintensitet og kastfaktor:

$$Gf(t) = 1 + k(t) \cdot I_u \quad \text{lign. (A.2)}$$

Ut fra undersøkelser vedrørende 5 prosjektstasjoner (2) er en kommet fram til at $k(3s) \approx 2.44$ og $k(1\min) \approx 1.1$ når I_u er longitudinal turbulensintensitet (horisontal turbulensintensitet på langs av vindretningen).

Profiler

Ved horisontalt homogene forhold, dette gjelder feks. over en fjordflate ved vind langs fjordens retning, kan vi beskrive høydevariasjonen av middelvind, turbulensintensitet og kastfaktor ved en eksponensiell ligning:

$$\frac{U_2(10\min)}{U_1(10\min)} = \frac{Gf_1 - 1}{Gf_2 - 1} = \frac{I_{u1}}{I_{u2}} = \left(\frac{Z_2}{Z_1} \right)^n \quad \text{lign. (A.3)}$$

Ligningene gjelder to nivåer 1, og 2. n er en eksponent som øker med ruheten, eller med turbulensen. Ved sterk vind over en havflate eller en bred fjordflate kan vi anta 0.13 som estimat for eksponenten. Ved trangere fjorder med tydelig innflytelse fra fjordsidene kan vi anta $n=0.15$.

Ved omregning og kurvetilpasning av lign. A.1 kan vi få en tilsvarende ligning for høydeprofilen for vindkast. Feks., for 1 min og 3-5 s vindkast ved vind langs en trang fjord, vil $n=0.15$ bli erstattet med $n_g=0.12$ og $n_3=0.10$ hhv. Dette gir fysisk uttrykk for det velkjente faktum at vinden er svakere og mer ujevn langs bakken enn høyere oppe i lufta, og at forskjellen er større dess nærmere bakken vi kommer. Videre er det mindre forskjell på maksimum av vindkastene langs bakken og høyere oppe i lufta, enn tilsvarende for middelvind.