

DNMI

DET NORSKE METEOROLOGISKE INSTITUTT

klima

**STOLMASUNDET BRU
VINDFORHOLD**

KNUT HARSTVEIT
ALV SUNDE

RAPPORT NR. 08/96 KLIMA



DNMI-RAPPORT

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

ISBN 0805-9918

RAPPORT NR.

08/96 KLIMA

DATO

12.02.96

TITTEL

STOLMASUNDET BRU VINDFORHOLD

UTARBEIDET AV

Knut Harstveit og Alv Sunde

OPPDRAKSGIVER

Statens vegvesen - Nordland

OPPDRAKSNR.

SAMMENDRAG

Data fra Hellisøy fyr er analysert og ekstremverdier med 2, 10, 50 og 100 års returperiode er funnet for 8 sektorer for 10 min middelvind.

Overføring til Stolmasundet er gjort ved kartstudier og befaring. Hellisøy fyr synes å ha forholdsvis representative data, men særlig vind er vurdert noe sterkere ved brua.

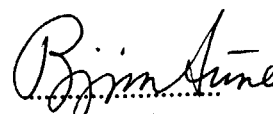
Det er gitt ekstremvindestimer av 10 min middelvind, 1 min middelvind og 3-5 s vindkast på Stolmasundet for 45 m høyde over fjorden. Det er også gitt estimer for turbulensintensitet og kastfaktor, samt formler for overføring til andre høyder.

Det er også laget en frekvenstabell for vindhastigheter og retninger på Stolmasundet ut fra sammenligning med data fra Hellisøy.

UNDERSKRIFT



Knut Harstveit
SAKSBEHANDLER



Bjørn Aune
FAGSJEF

SAMMENDRAG

Værstasjonen Hellisøy fyr er analysert og danner hovedgrunnlaget for estimeringen av ekstremvindforhold ved Stolmasundet bru.

Resultatene er gitt i tabellen under. Tabellen viser sektorfordelte ekstremverdier med returperioder på 2, 10, 50 og 100 år av 10 min middelvind, 1 min middelvind og 3-5 s vindkast, samt turbulensintensiteter, I_u . For vind på tvers av brua anbefales bruk av sektoruavhengig verdi (ALLE).

$U_{10\text{min}}$	N	NØ	Ø	SØ	S	SV	V	NV	ALLE
2 ÅR	26	19	15	23	31	23	22	26	31
10 ÅR	29	22	17	26	35	25	25	29	35
50 ÅR	32	24	19	29	38	28	27	32	38
100 ÅR	33	25	19	30	39	29	28	33	40
$n(>45\text{m})$	0.13	0.13	0.18	0.18	0.13	0.18	0.18	0.18	0.13
$n(<45\text{m})$	0.13	0.13	0.40	0.25	0.13	0.25	0.40	0.25	0.13
$U_{1\text{min}}$	N	NØ	Ø	SØ	S	SV	V	NV	ALLE
2 ÅR	29	22	18	27	35	26	26	31	35
10 ÅR	33	25	20	31	39	30	29	34	39
50 ÅR	36	27	22	34	43	32	32	38	43
100 ÅR	37	28	23	35	44	34	33	39	45
$n(>45\text{m})$	0.11	0.11	0.15	0.15	0.11	0.15	0.15	0.15	0.11
$n(<45\text{m})$	0.11	0.11	0.32	0.21	0.11	0.21	0.32	0.21	0.11
$U_{3-5\text{s}}$	N	NØ	Ø	SØ	S	SV	V	NV	ALLE
2 ÅR	34	25	21	33	40	32	31	37	41
10 ÅR	38	28	24	37	45	35	35	41	45
50 ÅR	41	31	26	40	49	39	38	45	50
100 ÅR	43	32	27	42	51	40	39	47	52
$n(>45\text{m})$	0.09	0.09	0.13	0.13	0.09	0.13	0.13	0.13	0.09
$n(<45\text{m})$	0.09	0.09	0.25	0.18	0.09	0.18	0.25	0.18	0.09
I_u	N	NØ	Ø	SØ	S	SV	V	NV	ALLE
$I_u(45\text{m})$	0.12	0.12	0.15	0.15	0.12	0.15	0.15	0.15	0.12
$n(>45\text{m})$	-0.13	-0.13	-0.18	-0.18	-0.13	-0.18	-0.18	-0.18	-0.13
$n(<45\text{m})$	-0.13	-0.13	-0.40	-0.25	-0.13	-0.25	-0.40	-0.25	-0.13

Tabellverdiene gjelder 45m over sjøen. For overgang til andre høyder (10 - 100 m) skal høydeformelen under benyttes, der n-eksponentene er angitt i tabellen.

$$\frac{U(z)}{U(45\text{m})} = \left(\frac{z}{45\text{m}}\right)^n$$

sammendrag s-2

Ved bruk av data fra Hellisøy fyr, Weibul tilpasning og antatte overføringkoeffisienter er det laget en frekvenstabell for Stolmasundet bru. Tabellen under gjelder årstidfordeling, i tabell 5 (kap.3.2) kan også finnes sesongfordelinger. Tabellen gir prosentvis sannsynlig av vindhastighet i intervaller på 3 m/s og 30°.

ÅR	0.00 -2.99	3.00 -5.99	6.00 -8.99	9.00 -11.99	12.00 -14.99	15.00 -17.99	18.00 -20.99	21.00 -23.99	24.00 -26.99	27.00 -29.99	30.00 -32.99	≥ 33.00	SUM
N 360	1.0	3.2	4.2	3.4	1.8	0.7	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.6
30	0.7	1.9	1.6	0.6	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.9
60	0.7	1.3	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.2
Ø 90	1.1	2.3	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.9
120	1.7	3.7	1.6	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.2
150	1.7	3.8	3.7	2.3	0.9	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.8
S 180	0.5	1.8	3.1	3.6	3.3	2.4	1.4	0.6	0.2	0.1	0.0	0.0	16.9
210	0.6	2.1	3.0	2.6	1.7	0.8	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	11.3
240	1.0	2.0	2.2	1.6	0.8	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.8
V 270	0.8	1.7	1.6	1.1	0.5	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.0
300	0.7	1.3	1.0	0.6	0.3	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.2
330	1.0	2.6	2.1	1.1	0.5	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.6
STILLE	0.7												0.7
SUM	12.2	27.7	24.7	17.1	10.0	5.0	2.2	0.8	0.3	0.1	0.0	0.0	

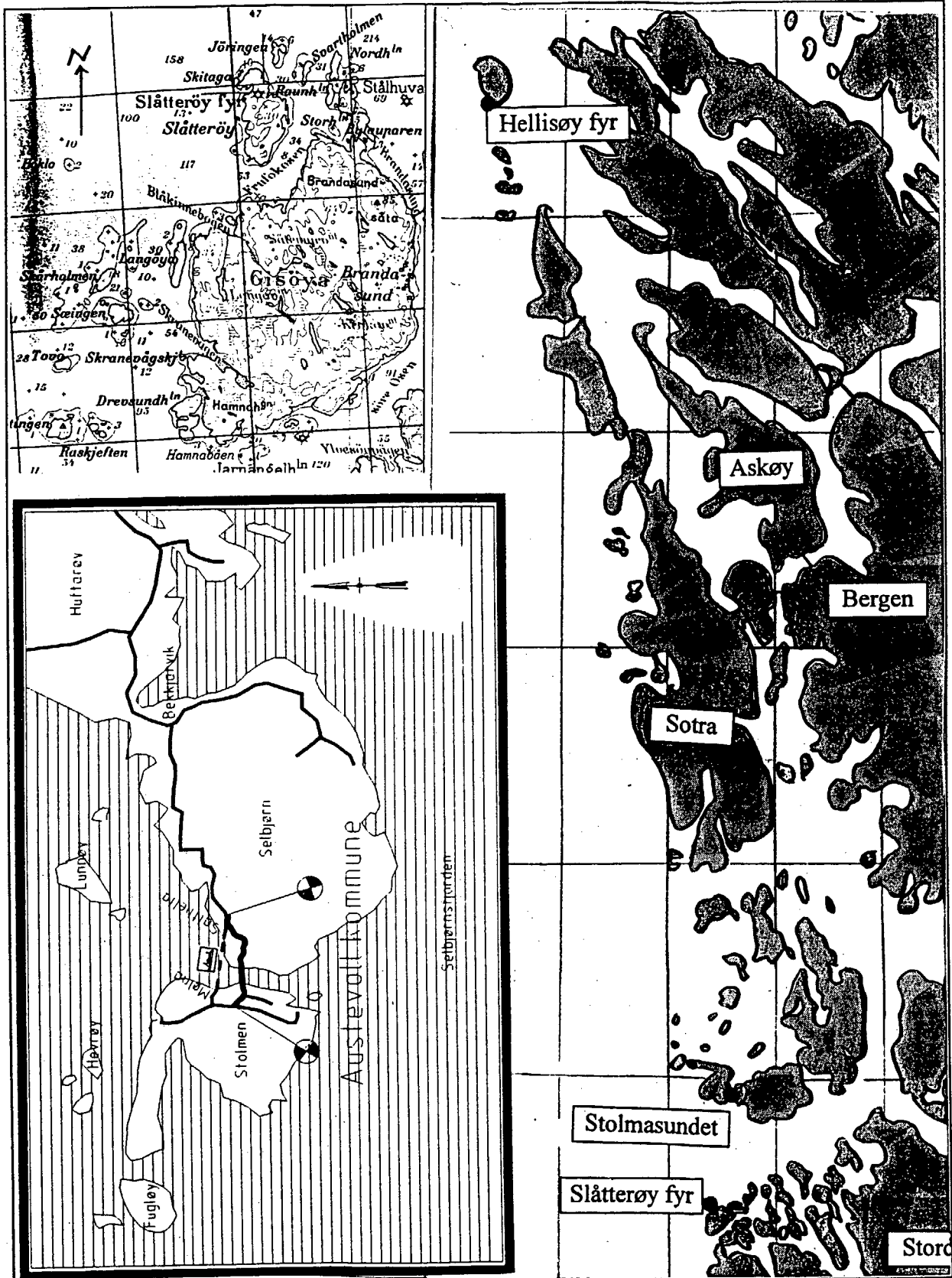
1. Innledning

Bakgrunnen for denne rapporten er en forespørsel fra Statens Vegvesen, Hordaland. Ved Vegdirektoratet er man i gang med prosjektering av ny bru over Stolmasundet i Sunnhordland.

2. Sted og topografi

Bruområdet ligger i ytre del av Sunnhordland, ca. 45 km sørsørvest for Bergen. Brua skal forbinde de to øyene Selbjørn og Stolmen i Austevoll kommune, se fig.1.

Øyene Stolmen og ytre del av Selbjørn er forholdsvis flate med høyder under 60 moh. Vegetasjonen er sparsom, slik at gras og berg dominerer. Enkelte plantede skogholt finnes. Selve sundet Sundet er 300 m bredt og løper S/SSW - N/NNE (190 - 010°). Terrenget er typisk vestlandsk kyststrøk. På østsiden av sundet (Selbjørn) stiger terrenget nokså bratt opp til ca. 40 moh. Planlagt bruhøyde er 45 m og seilingsløpet er 215 x 30 m. Bruspenet ligger nokså rett øst - vest og kommer like over terrengets høyeste punkt på begge sider.



Figur 1.
Kart over Stolmasundet, Helligsøy og Slåtterøy fyr.

3. Vindvurderinger

Stolmasundet er en innsnevring i en N - S bane som også har god gjennomløpning slik at vinden ikke stuves opp. En må derfor forvente at sterke nordlige og sørlige vinder vil få stor hastighet gjennom sundet. Spesielt gjelder dette vind fra SSW som kommer uhindret inn fra havet.

Det finnes vinddata fra Slåtterøy fyr, ca. 10 km sør for brustedet. Fra denne stasjonen foreligger det skjønnsmessige observasjoner på EDB - format fra 1957 til mars 1986 og anemogram (vindmålinger) fra april 1986. Det viser seg at stasjonen fikk et markert homogenitetsbrudd ved overgang til instrumentelle observasjoner. I årene 1971-86 var årlig prosent-sats av sterk kuling eller mer 3.1% som gjennomsnitt på Utsira og Hellisøy, i årene 1987-95: 4.8%. Dette er i overenstemmelse med det en vet fra andre steder langs kysten av Sør-Norge og også i andre land rundt Nordsjøen. På Slåtterøy gikk derimot denne prosent-satsen ned fra 2.4% til 1.1%.

Forklaringen finner vi ved å analysere fyrstasjonene nøyere og huske på at vindmålerne bestemmer vinden i det punktet der anemometeret befinner seg, mens fyrvokterne i stor grad bestemmer vinden utfra virkningen den har på sjøen utenfor. På fyrstasjoner vil vinden ofte blåse rett inn mot anemometeret, og vil i de fleste sektorer ha en viss forsterkning over øyene. Vinden som måles på en 10 m høy mast, vil da ligge nærmere det som svarer til vinden i målepunktets høyde over havet, typisk 20 - 40 m. Detaljkart fra Slåtterøy fyr med vegetasjon, topografi og bygninger viser at vinden ikke har en slik akselerasjon, kanskje med unntak av en smal sektor omkring vestnordvest. I de fleste andre sektorer vil vinden i stedet gjøres turbulent og det sterkeste middelvindfeltet passerer i noe høyde over øya. Spesielt gjør dette seg gjeldende ved sørlig vind, den hyppigste vindretningen for sterk vind. Denne vinden har beveget seg over Gisøya og Slåtterøy (fig. 1), og vil være terrengbremset. På Slåtterøy vil en fyrvokter som bedømmer vinden skjønnsmessig ikke rapportere denne bremsningen fordi han betrakter havet vest for fyret.

Konklusjonen er at Slåtterøy fyr ikke har representative målinger fra perioden med instrumentelle målinger. De skjønnsmessige observasjonene synes være mer representative for vinden på sjøen utenfor, men slike observasjoner egner seg ikke til ekstremvindanalyse fordi de har for dårlig oppløsning. Bl.a. blir all vind over 32.6 m/s rapportert som orkan. Hellisøy og Utsira ligger begge i 80 - 85 km avstand fra Stolmasundet, hhv. mot nord og sør. Vi velger Hellisøy som representativ vindstasjon fordi Utsira har noe lokal innflytelse ved sørlig vind. Vind fra sør til sørsørvest kommer fritt inn både på Hellisøy og Stolmasundet. Hellisøy har gode vindmålinger fra 1981 til 1991, og ved en homogenitetsanalyse mot Utsira, Flesland og Sola, kan vi korrigere for enkelte perioder med systematiske målefeil i perioden 1962 - 81. Derved er hele perioden 1962 - 91 velegnet for ekstremvindanalyse.

3.1 Ekstremvindanalyse

Tabell 1 viser en tidligere utført ekstremvindanalyse fra Hellisøy fyr Tabell 1 viser fordeling på 8 hovedretninger, hver på 1/8 av kompassets 360°, N=360°±22.5°, NØ=45°±22.5 osv. Som tabellen viser er risikoen for sterk vind størst fra sør. Ekstremverdi av 10 min middelvind med 50 års returperiode basert på denne sektoren alene er 33.3 m/s.

Tabell 1

De 5 høyeste verdiene av $U(10min)$ på Hellisøy, 1962 - 1990, sektorfordelt på 8 hovedretninger (S) og midlet, forholdet, $k(S)=U_m(S)/U_m$ mellom sektorielle vindhastigheter og vind uavhengig av retning samt ekstremverdier med 2 til 50 års returperiode av $U(10min)$. Alle verdier er gitt i m/s.

U_{10MIN}	N	NØ	Ø	SØ	S	SV	V	NV	ALLE
1	30.3	24.3	18.2	33.4	34.0	29.3	28.5	30.3	34.0
2	28.8	21.8	16.7	28.3	30.3	27.5	26.7	29.2	33.4
3	28.5	19.0	16.7	27.5	30.0	27.3	26.7	28.3	30.3
4	27.5	16.4	15.8	27.2	29.7	26.7	26.7	27.8	30.3
5	26.7	14.4	15.4	26.0	28.3	26.1	26.0	27.5	30.0
$U_m(S)$	28.4	19.2	16.6	28.5	30.5	27.4	26.9	28.6	31.6
$k(S)$	0.90	0.61	0.53	0.90	0.97	0.87	0.85	0.91	1.00
U_{10MIN}	N	NØ	Ø	SØ	S	SV	V	NV	ALLE
2 ÅR	25.3	17.1	14.9	25.3	27.3	24.4	23.9	25.6	28.1
10 ÅR	28.3	19.2	16.6	28.3	30.5	27.3	26.7	28.6	31.4
50 ÅR	30.9	20.9	18.2	30.9	33.3	29.8	29.2	31.2	34.3
100 ÅR	32.0	21.7	18.8	32.0	34.4	30.9	30.2	32.3	35.5

A. Sunde deltok på en befaring i Stolmasundet den 29.09.95. Ut fra diskusjoner og billedmateriale fra denne turen, samt bruk av data og kartmateriale fra fyrstasjonene og Stolmasundet, har vi kommet fram til omregningstall fra fyrstasjonsdata til Stolmasundet. Ved nordøstlig vind går vinden mer over land på Hellisøy; ved sørøstlig, sørvestlig, vestlig og nordvestlig går vinden mer over land mot bruområdet, dog er det et dalføre mot nordvest som gjør at vinden lettere passerer der enn over land ellers. Sørsørvestlig vind 190/200° kommer rett inn begge steder, men vil ventelig forsterkes med 10% gjennom selve Stolmasundet. Nordlig vind vil også få kanalforsterkning, men slik vind vil dempes regionalt fordi den har passert over øyene lenger nord (Sotra m.fl.). Det anbefales derfor ingen økning i denne sektor.

Tabell 2

Estimerte overføringskoeffisienter fra Hellisøy fyr til Stolmasundet.

N	NØ	Ø	SØ	S	SV	V	NV
1.0	1.1	1.0	0.9	1.1	0.9	0.9	1.0

Koeffisientene i tabell 2 gjelder samme høyde over havet begge steder. Bruhøyden er 45 m, mens anemometerhøyden over havet på Hellisøy fyr er 36 m. Høydeforskjellen svarer til 3% vindøkning som skal legges til de omregnede verdiene fra Hellisøy for å få vindverdier på Stolmasundet bru. Tabell 3 angir de beregnede ekstremverdier for Stolmasundet. For estimering av vindkast er det antatt en kastfaktor på 1.3 for vind som stryker langs sundet og 1.4 for vind som blåser på skrå eller på tvers av sundet. Dette svarer omtrent til kastfaktorer på fyrstasjoner for ikke-bremsede og svakt bremsede sektorer. For beregning av midler over 1 minutt benyttes lign. A.2 og A.3 i Appendiks 1. Dette gir overføringsfaktorer på 1.13 og 1.17 fra maksimal 10 minutters middelvind til 1 minutt - verdier ved de to vindregimene

Sørlig vindretning er bestemmende for sektoruavhengig (ALLE) ekstremvind. Dog er sjansen for ekstremvind svakt større ved å ta med de øvrige sektorene, slik tabellen viser. For vind normalt på brua bør sektoruavhengig vind velges fordi sektorene langs fjorden er bestemmende for denne verdien.

Vindverdiene i tabell 3 gjelder brunivå (45 m høyde over sjøen). For transformasjon til andre høyder enn 45 m gjelder med god tilnærming potensloven, lign. 1, der eksponenten n for de forskjellige varigheter og sektorer er gitt. n er valgt som typisk haveksponent for vind langs sundet og typisk flyplassruhet for vind på tvers av sundet. For vind på tvers av sundet under brunivå inntreer en ekstra skjerming fordi vinden ikke har fritt gjennomløp. n -eksponentene er skjønnsmessig hentet fra erfaringer andre steder. Beregningsapparatet må ikke brukes høyere enn ca. 100 m, da man ved store høyder kommer over grenselaget fra de lokale øyene.

For longitudinal turbulensintensitet, I_u , settes denne parameter inn for U . De varierende n -eksponentene reflekterer at middelvinden øker raskere med økende høyde enn vindkastene, at høydevariasjonen er større dess ruere terrenget er, samt at det ved vind på tvers av sundet (langs brua) er en markert skjermingssone fra brua og ned mot sjøen. Bruk av lign. 1 på I_u viser også at I_u øker mot bakken, spesielt ved skjermede forhold.

$$\frac{U(z)}{U(45m)} = \left(\frac{z}{45m}\right)^n \quad (\text{lign.1})$$

Tabell 3

Ekstremverdier av 2, 10, 50 og 100 år av 10 min middelvind, 1 min vind og 3-5 sekunders vindkast ved brubanen i Stolmasundet, 45 moh. Også gitt er verdier for longitudinal turbulensintensitet, I_u og eksponenter, n i høydeformelen, lign.1.

U_{10MIN}	N	NØ	Ø	SØ	S	SV	V	NV	ALLE
2 ÅR	26	19	15	23	31	23	22	26	31
10 ÅR	29	22	17	26	35	25	25	29	35
50 ÅR	32	24	19	29	38	28	27	32	38
100 ÅR	33	25	19	30	39	29	28	33	40
$n(>45m)$	0.13	0.13	0.18	0.18	0.13	0.18	0.18	0.18	0.13
$n(<45m)$	0.13	0.13	0.40	0.25	0.13	0.25	0.40	0.25	0.13
U_{1min}	N	NØ	Ø	SØ	S	SV	V	NV	ALLE
2 ÅR	29	22	18	27	35	26	26	31	35
10 ÅR	33	25	20	31	39	30	29	34	39
50 ÅR	36	27	22	34	43	32	32	38	43
100 ÅR	37	28	23	35	44	34	33	39	45
$n(>45m)$	0.11	0.11	0.15	0.15	0.11	0.15	0.15	0.15	0.11
$n(<45m)$	0.11	0.11	0.32	0.21	0.11	0.21	0.32	0.21	0.11
U_{3-5s}	N	NØ	Ø	SØ	S	SV	V	NV	ALLE
2 ÅR	34	25	21	33	40	32	31	37	41
10 ÅR	38	28	24	37	45	35	35	41	45
50 ÅR	41	31	26	40	49	39	38	45	50
100 ÅR	43	32	27	42	51	40	39	47	52
$n(>45m)$	0.09	0.09	0.13	0.13	0.09	0.13	0.13	0.13	0.09
$n(<45m)$	0.09	0.09	0.25	0.18	0.09	0.18	0.25	0.18	0.09
I_u	N	NØ	Ø	SØ	S	SV	V	NV	ALLE
$I_u(45m)$	0.12	0.12	0.15	0.15	0.12	0.15	0.15	0.15	0.12
$n(>45m)$	-0.13	-0.13	-0.18	-0.18	-0.13	-0.18	-0.18	-0.18	-0.13
$n(<45m)$	-0.13	-0.13	-0.40	-0.25	-0.13	-0.25	-0.40	-0.25	-0.13

3.2 Generelt vindklima

Det generelle vindklima er beskrevet ved frekvenstabeller i bokser på 3 m/s og 30°. Årsaken til at 12 sektorer er valgt framfor 8 er at det er mer komplisert å dele data som er observert for hver 10. grad inn i 8 sektorer. Vi benytter data fra Hellisøy, 1981-91. Årsaken til at denne perioden er valgt er at Hellisøy da har gode vindmålinger uten flytting eller instrumentskifte. Ved å betrakte data fra Bergen - Florida, en stasjon med tilnærmet homogene forhold gjennom langtidperioden 1957 - 95, viser det seg at perioden 1981 - 1991 er ganske representativ for langtidperioden og derfor egner seg godt til videre analyse.

Etter samme filosofi som i kap. 3.1 kan vi sette opp en tabell for overføringskoeffisienter av vindhastigheten i de 12 sektorene fra Hellisøy til Stolmasundet. Reduksjon i vindhastigheten kan påregnes ved vind omkring øst og sørøst, samt sørvest og vest. En viss økning må påregnes der vinden blåser fritt inn langs sundet, dvs. vind i delsektorene 30 og 180°. En viss økning er også antatt i 60°, dette skyldes dels at Hellisøy er noe skjernet av terrenget nordøst for fyret i denne sektor.

Det er antatt at vindretningen er den samme på Hellisøy og Stolmasundet. Det er mulig at kanaliseringen medfører ennå litt høyere frekvenser i sektorene 30 og 180° på bekostning av 60, 150, 210°, men omfanget er uvisst og er ikke tatt hensyn til. Det vil ikke påvirke summert frekvens (siste linje for hver av deltabellene i Tabell 5).

Tabell 4

Estimerte overføringskoeffisienter fra Hellisøy fyr til Stolmasundet, 45 moh, ved 12 sektor inndeling.

360	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330
1.0	1.1	1.1	1.0	0.9	0.9	1.1	1.0	0.9	0.9	1.0	1.0

Vind fra alle sektorer på Hellisøy for vinter, vår, sommer, høst og hele året, dvs. 60 sesongsektorer, er Weibul tilpasset ved minste kvadraters metode. Tilpasningen er meget god. Siden vindhastigheten innenfor hver sektor antas endre seg jevnt (men lite), fra Hellisøy til Stolmasundet er det tilstrekkelig å multiplisere β - parameteren i Weibulfordelingen (lign.2) med overføringskoeffisientene og optimalisere fordelingen på nytt. Dette er gjort for alle 60 sesongsektorene.

$$W(U; \alpha, \beta) = 1 - e^{-\left(\frac{U}{\beta}\right)^\alpha} \quad (\text{lign.2})$$

Weibulfordelingen er i lign.2 gitt som den sannsynlige, kumulative tetthetsfordeling. For årsverdiene uansett sektor er beregnede verdier for eksempel $\alpha=1.80$ og $\beta=8.75$ på Stolmasundet. Tabell 5 viser frekvenstabellene for Stolmasundet, funnet ved ovennevnte metodikk.

Tabell 5

Prosentvis fordeling av vindhastighet [m/s] ved Stolmasundet bru, 45 m over sjøen.

	0.00	3.00	6.00	9.00	12.00	15.00	18.00	21.00	24.00	27.00	30.00	≥	
VINTER	-2.99	-5.99	-8.99	-11.99	-14.99	-17.99	-20.99	-23.99	-26.99	-29.99	-32.99	33.00	SUM
N 360	0.4	1.3	1.9	1.7	1.1	0.5	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.1
30	0.6	1.9	1.9	0.8	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.3
60	0.6	1.2	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.2
Ø 90	1.4	2.4	0.9	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.8
120	2.1	5.4	2.9	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.9
150	1.3	4.3	5.3	3.6	1.5	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	16.5
S 180	0.3	1.5	3.3	4.6	4.8	3.9	2.3	1.1	0.4	0.1	0.0	0.0	22.3
210	0.2	0.8	1.6	2.1	1.9	1.3	0.6	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	8.9
240	0.2	1.2	2.3	2.1	1.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.0
V 270	0.4	1.3	1.8	1.6	1.0	0.5	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.7
300	0.2	0.6	0.9	0.8	0.6	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.5
330	0.1	0.5	1.1	1.3	0.9	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.5
STILLE	0.3												0.3
SUM	8.0	22.5	24.1	19.2	13.0	7.5	3.6	1.5	0.5	0.1	0.0	0.0	

	0.00	3.00	6.00	9.00	12.00	15.00	18.00	21.00	24.00	27.00	30.00	≥	
VÅR	-2.99	-5.99	-8.99	-11.99	-14.99	-17.99	-20.99	-23.99	-26.99	-29.99	-32.99	33.00	SUM
N 360	1.4	4.2	5.0	3.7	1.9	0.7	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	17.0
30	0.7	2.0	1.6	0.6	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.1
60	0.6	1.4	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.3
Ø 90	1.1	2.7	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.1
120	1.8	3.6	1.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.8
150	1.8	3.5	2.8	1.4	0.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.0
S 180	0.8	2.5	3.7	3.9	3.2	2.2	1.3	0.6	0.2	0.1	0.0	0.0	18.6
210	0.9	2.9	3.7	2.9	1.6	0.6	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.8
240	1.4	2.2	1.6	0.8	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.3
V 270	0.4	1.0	1.1	0.9	0.6	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.4
300	1.0	1.2	0.8	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.6
330	1.5	3.2	2.4	1.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.3
STILLE	0.8												0.8
SUM	14.1	30.3	24.5	15.7	8.5	4.1	1.8	0.7	0.3	0.1	0.0	0.0	

Tabell 5, forts.

Prosentvis fordeling av vindhastighet [m/s] ved Stolmasundet bru, 45 m over sjøen.

	0.00	3.00	6.00	9.00	12.00	15.00	18.00	21.00	24.00	27.00	30.00	≥	
SOMMER	-2.99	-5.99	-8.99	-11.99	-14.99	-17.99	-20.99	-23.99	-26.99	-29.99	-32.99	33.00	SUM
N 360	1.3	5.0	7.1	5.8	2.9	0.9	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	23.2
30	0.6	1.5	1.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.4
60	0.8	1.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.1
Ø 90	0.7	1.1	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.1
120	0.9	1.7	0.7	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.4
150	2.4	3.3	2.3	1.2	0.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.8
S 180	0.6	2.2	3.2	3.0	1.9	0.9	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	12.1
210	1.1	3.6	4.0	2.4	0.8	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.1
240	2.0	2.8	1.9	0.9	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.1
V 270	2.0	2.6	1.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.9
300	1.4	2.4	0.9	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.8
330	2.1	5.5	3.6	0.8	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.1
STILLE	1.0												1.0
SUM	17.0	32.9	26.1	14.7	6.5	2.2	0.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	

	0.00	3.00	6.00	9.00	12.00	15.00	18.00	21.00	24.00	27.00	30.00	≥	
HØST	-2.99	-5.99	-8.99	-11.99	-14.99	-17.99	-20.99	-23.99	-26.99	-29.99	-32.99	33.00	SUM
N 360	0.8	2.4	3.0	2.5	1.5	0.6	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	11.1
30	1.0	2.2	1.7	0.7	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.8
60	0.8	1.2	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.3
Ø 90	1.3	3.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.7
120	1.9	4.0	1.6	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.7
150	1.4	4.1	4.6	3.1	1.3	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.8
S 180	0.2	1.0	2.1	2.9	3.1	2.5	1.6	0.8	0.3	0.1	0.0	0.0	14.5
210	0.2	1.2	2.5	3.1	2.5	1.3	0.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	11.4
240	0.3	1.7	2.9	2.8	1.6	0.6	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.0
V 270	0.5	1.9	2.4	1.5	0.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.0
300	0.4	1.1	1.3	1.0	0.6	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.7
330	0.4	1.1	1.4	1.2	0.7	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.5
STILLE	0.5												0.5
SUM	9.8	24.9	24.2	18.9	12.0	6.2	2.7	1.0	0.3	0.1	0.0	0.0	

Tabell 5, forts.

Prosentvis fordeling av vindhastighet [m/s] ved Stolmasundet bru, 45 m over sjøen.

ÅR	0.00	3.00	6.00	9.00	12.00	15.00	18.00	21.00	24.00	27.00	30.00	≥	SUM
	-2.99	-5.99	-8.99	-11.99	-14.99	-17.99	-20.99	-23.99	-26.99	-29.99	-32.99	33.00	
N 360	1.0	3.2	4.2	3.4	1.8	0.7	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.6
30	0.7	1.9	1.6	0.6	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.9
60	0.7	1.3	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.2
Ø 90	1.1	2.3	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.9
120	1.7	3.7	1.6	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.2
150	1.7	3.8	3.7	2.3	0.9	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.8
S 180	0.5	1.8	3.1	3.6	3.3	2.4	1.4	0.6	0.2	0.1	0.0	0.0	16.9
210	0.6	2.1	3.0	2.6	1.7	0.8	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	11.3
240	1.0	2.0	2.2	1.6	0.8	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.8
V 270	0.8	1.7	1.6	1.1	0.5	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.0
300	0.7	1.3	1.0	0.6	0.3	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.2
330	1.0	2.6	2.1	1.1	0.5	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.6
STILLE	0.7												0.7
SUM	12.2	27.7	24.7	17.1	10.0	5.0	2.2	0.8	0.3	0.1	0.0	0.0	

4. Referanseliste

(1). Harstveit, K.:

Askøy bro. Vindmålinger på Storebuneset 01.12.87 - 29.02.88.
Oppdragsrapport for Statens vegvesen.
DNMI KLIMA 12/88. Oslo, 1988.

(2). Harstveit, K.:

Hardangerbrua. Vindmålinger 11.11.88 - 01.09.90.
Oppdragsrapport for Statens vegvesen.
DNMI KLIMA 31/90. Oslo, 1990.

APPENDIKS 1

Turbulensintensitet.

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

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

Vi definerer turbulensintensitet som standardavvik dividert på middelvinden. Ved divisjon av lign. (A.1) med 10 min. middelvind, og innføring av kastfaktor som $Gf(t) = U_g(t)/U_{10\text{min}}$, 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 Askøybrua (2) og Hardangerbrua (3) er en kommet fram til at $k(3-5 \text{ s}) \approx 2.6$ når I_u er longitudinal turbulensintensitet (horisontal turbulensintensitet på langs av vindretningen).

For 1 min. kastfaktor er $k(1\text{min}) \approx 1.15$ en typisk verdi.

Profiler.

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

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

Ligningene gjelder to nivåer 1, og 2. n er en eksponent som øker med ruheten, eller med turbulensen. Ved fjord og havforhold kan vi anta 0.13 som estimat for eksponenten.

Ved omregning og kurvetilpasning av lign. A.1 kan vi få en tilsvarende ligning for høydeprofilen for vindkast. F.eks., for 3-5 s vindkast over hav, vil $n=0.13$ bli erstattet med $n_g=0.09$. 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.