

DNMI

DET NORSKE METEOROLOGISKE INSTITUTT

klima

SUNDZYRJA
EKSTREME VINDFORHOLD

KNUT HARSTVEIT
RAPPORT NR.35 94 KLIMA



DNMI-RAPPORT

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

ISBN

RAPPORT NR.

35/94 KLIMA

DATO

23.09.94

TITTEL

**SUNDØYBRUA
EKSTREME VINDFORHOLD**

UTARBEIDET AV

Knut Harstveit

OPPDRAGSGIVER

Statens vegvesen - Nordland

OPPDRAGSNR.

SAMMENDRAG

Data fra en del måneder i vintersesongene 1989 - 1993 av middelvindmålinger fra Sundhammeren er koblet mot langtidsdata fra Bodø lufthavn, som er funnet å være den beste referansestasjonen.

Overføring til korttidsmidler og oppsett av vindprofiler er gjort ved inspeksjon av vindgrafen, samt bruk av erfaring og målinger andre steder. Det er også foretatt en befaring og en samtale med lokal kjentmann for å bedre forståelsen av vindforholdene i området.

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

UNDERSKRIFT

Knut Harstveit

Knut Harstveit
SAKSBEHANDLER

Lori Haland
for **Bjørn Aune**
FAGSJEF

SAMMENDRAG

Vindmålinger fra Sundhammeren vintersesongene 1989/90 - 1992/93, samt data fra referansestasjonene Bodø lufthavn og Sandnessjøen lufthavn er benyttet. Sundhammeren ligger 80 m høyere enn fjorden og det måles i 5 m høyde over hammeren.

Målingene fra Sundhammeren gir midlere vindhastighet ned til oppløsning på ca. 1t. Dessuten registreres midlere vindretning og variasjoner av vindretningen over kortere tidsrom, hvilket kan brukes til å gi et grovestimat om turbulensintensiteten. Ved hjelp av dette grovestimatet og generelle metoder kan man få estimater av 10 min middelvind og 3 s vindkast, gitt som maksimalverdier.

Bodø lufthavn er valgt som referansestasjon sør for området. Dens styrke er dens lange datarekke, dens gode datakvalitet og den frie eksponering, den svakhet er dens lange avstand til Sundøya. Sandnessjøen lufthavn er forsøkt benyttet som referansestasjon, men dette falt ikke heldig ut. Til tross for nær beliggenhet til Sundøya er lokal innflytelse fra Sju søstre stor og varierende. Dertil kommer innflytelse fra nærliggende ås rett øst for plassen. Værstasjonen på Nord-Solvær har bare skjønnsmessig observasjon av vinden 3 ganger pr. døgn. Den er bare tatt med under diskusjonen av en del interessante og typiske situasjoner.

Resultatene viser at det kan blåser vesentlig sterkere på Sundhammeren enn i Bodø. Sørvestlig til vestlige vindkast kan bli 10 % høyere og nordvestlige vindkast 50% høyere enn i Bodø.

Sørøstlig vind er i særklasse sterkest på stedet. Vindkastene på Sundhammeren kan gå opp i det dobbelte av det som registreres på Bodø lufthavn.

Årsaken til den meget sterke sørøstvinden er trolig følgende: Sørøstvind som passerer fjellrekken i sørlige del av Nordland er ofte stabil, dvs. det er kald luft langs bakken og/eller varm luft i høyden. Slik vind vil alltid akselerere nedover le-siden som følge av kontinuitet- og energibetingelser. Den akselererte luftstrømmen treffer fjellet Stortova, også nå i stabil tilstand, og en ekstra akselerasjon på le-siden av dette fjellet inntreffer. Denne vinden treffer lett Sundhammeren og Dragsvik området.

Stortova er svært bratt og har en form som gjør at lufta kan strømme over fjellet og også rundt via Vefsnfjorden og Sundet. Derved kan det også opptre 3-dimensjonal virvelavløsning på le-siden av dette fjellet. Dette kan øke vindstyrken på Sundhammeren ytterligere og også gi vindregimer av svært turbulent karakter. Det ser foreløpig ut til at de største vindhastighetene inntreffer ved luftstrøm i relativt moderat turbulent tilstand, med jevn vindretning. Woefflemåleren er imidlertid utilstrekkelig til å foreta en nøye analyse av den turbulente tilstanden.

Når luftstrømmen er i moderat turbulensfase med jevn sørøstlig lokalretning, skjer en ekstra akselerasjon over Sundhammeren. Slik akselerasjon må også forventes ved brutraseen, og en har derfor gått ut fra at vindforholdene ved vindmåleren på Sundhammeren representerer forholdene i samme høyde over havet, dvs. 85 m over sundet. Ut fra den turbulens som synes være tilstede, har en så dannet profiler ned mot vannflaten. Slike antagelser er beheftet ved en

del usikkerhet. Da en kommer fram til svært store vindhastigheter, vil en påplussning for usikkerhet gi usannsynlige høye verdier. En slik påplussning anbefales derfor ikke.

Vedlagte tabell viser vindprofiler ved de 2 forskjellige vindregimene som kan gi ekstremt sterk vind ved Sundhammeren. Her er U middelvinden over 10 minutter og Ug vindkast over 3-5 sekunder. Gf er kastfaktoren (U_g/U) og Iu turbulensintensiteten i horisontalvindens retning. Vindverdiene er gitt med 10, 50 og 100 - års returperiode 10 - 85 m over sjøflaten. Tallene er vurdert som de mest sannsynlige estimater.

Vindfelt fra sørøst (lokalt 130-150°)								
	10-ÅRS VIND		50-ÅRS VIND		100-ÅRS VIND			
Z (m)	U (m/s)	U _g (m/s)	U (m/s)	U _g (m/s)	U (m/s)	U _g (m/s)	Gf=U _g /U	Iu=(Gf-1)/2.6
10	29.7	52.9	33.5	59.7	35.1	62.6	1.78	0.30
20	33.7	56.7	38.0	64.0	39.8	67.1	1.69	0.26
30	36.2	59.1	40.9	66.7	42.8	69.9	1.63	0.24
40	38.1	60.8	43.0	68.6	45.1	71.9	1.59	0.23
50	39.7	62.2	44.8	70.2	47.0	73.5	1.57	0.22
60	41.0	63.3	46.3	71.5	48.5	74.9	1.54	0.21
70	42.2	64.3	47.6	72.6	49.9	76.1	1.52	0.20
85	43.7	65.6	49.3	74.0	51.7	77.6	1.50	0.19

1. INNLEDNING

Bakgrunnen for denne rapporten er en forespørsel fra Statens Vegvesen, Nordland. Man er der i gang med prosjektering av bru over Sundet mellom Dagsvika og Sundøya på østsida av Sju søstre ved Sandnessjøen.

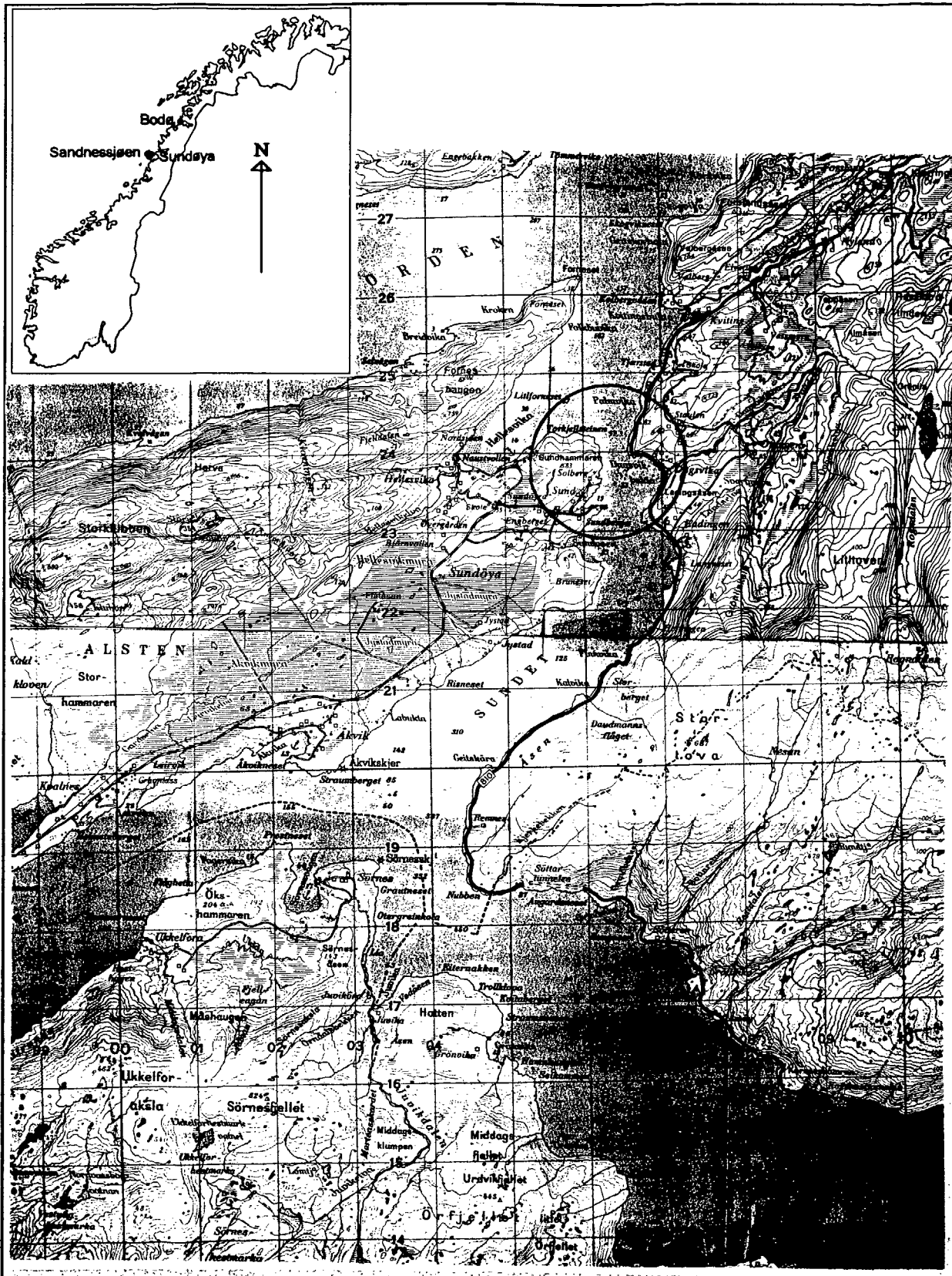
2. STED OG TOPOGRAFI

Bruområdet ligger på i Helgeland, Nordland fylke. Området ligger i sørvestre del av Leirfjord kommune og ca. 15 km øst for Sandnessjøen.

Vestre del av Sundet ligger på øya Alsten, samme øy som fjellpartiet Sju søstre. Disse fjellene går opp i over 1000 moh, men fjellpartiet er lavere i retning av Sundøya. Øst og sør for Sundet ligger det fjellområder på 500 - 800 moh (Villtoven, Stortova, Sørnesfjellet mm.). Nord for Sundet ligger Lifjellet, 600 - 800 moh.

Sundet løper litt krokete fra Vefsnfjorden i sørvest til Leirfjorden i nord. Ca. 3 km sør for bruområdet ligger en meget bratt skråning opp mot den 687 m høye Stortova. Denne fjellsiden vender mot nordvest. Fjellpartiet har form av en tå som stikker ut i Vefsnfjorden - Sundet.

Lokalt er Sundet 350 m ved aktuell brutrasé. På østsiden stikker det ut et nes, Dagsvikåsen, se Figur 1. Denne faller som en rygg ned mot sjøen. I avstand 50 m fra nesets spiss er terrenghøyden 25 m. På vestsiden ligger Sundhammeren som har et høydepunkt på 80 moh, 100 m fra nesets ytterpunkt. Fra sørøst og nord-nordvest skrår det bratt, men ikke stupbratt, opp mot Sundhammeren. Mot sørvest er hammeren mer flat. Begge nesene er dekket av kortvokst bjørkeskog.



Figur 1.
Kart over Sundøyområdet i målestokk 1 : 75.000.

3. VINDFORHOLDENE I OMRÅDET

3.1 Oppsummering fra en befarings i området

14-15.09.94 ble det foretatt en befarings i området. Området langs Rv. 78 fra Utnes langs Vefsnfjorden, rundt Stortova, langs Sundet til Dagsvika og over til Kviting ble befart fra bil. Nærområdene ved Sundet og Dagsvika ble befart til fots. Det ble også samtalt med lokale innbyggere ved Dagsvikbukta. Det kom egentlig lite nytt fram ved befaringsen, men inntrykk via kart og data ble befestet. Det ble også tatt en tur over til Ørnfloget, tidl. målestasjon for Helgelandsbrua, samt Sandessjøen lufthavn.

Ved Dagsvika ble det samtalt med Knut Aass-Jakobsen og Stein Fergestad fra firma Aass-Jakobsen om var i ferd med å montere vindmålere i ny mast. Dagfinn Andersen fra Nordland Vegkontor med bosted på Sundøya ble intervjuet på telefon etter befaringsen. Ut fra observasjoner på fjorden i sterk sørøstvind, mente han at vinden er sterkere på Sundøysida enn på Dagsviksida, men at dette ikke utelukker at vinden er sterk i høyden over neset på Dagsviksiden. Videre mente han at vinden avtar både utover mot Leirfjorden og innover Sundet sør for ferjeleiet ved Sundberget. Han benyttet uttrykket: "Vinden slår ned fra Tova ved Sundhammeren". Andersen mente videre at vinden er mer ujevn sørover i Sundet, men at den fortsatt hovedsakelig er sørøstlig. Han hadde observert virvler både sørover i Sundet og ute mellom Dagsvika og Kvitneset. På sistnevnte sted hadde en liten båt med påhengsmotor blitt løftet opp fra sjøen i en slik virvel. Slike virvler er ikke observert ved brutraseen. Andersen mente videre at vinden blir svakere og mer ujevn når den dreier på øst. Sterke kast vil dog forekomme.

Forholdene ved Sundhammeren er studert ved hjelp av papirregistrering fra Woeffle vindvegs skriver for en del høst og vintermånedene i perioden 1989 - 1993.

3.2 Bruk av data fra Sundhammeren. Eksempler på vindepisoder

På den ca. 80 m høye Sundhammeren har det vært montert en 4 - 5 m høy vindmålemast med Woeffle vindvegs skriver i toppen. En kan da regne med at vindmålerens (skålkors/værhane) høyde over bakken var 5 m.

Woeffle vindvegs skriver består av et skålkorsanemometer og en værhane. Skolkorsets tilbake-lagte distanse skrives ned på et papir som blir trukket av et urverk. Værhanens bevegelser blir tilsvarende overført til papiret.

Tidligere undersøkelser med denne type utstyr har vist at det er gunstig å lese av timesmidler av vindfart, mens det ikke kan anbefales å trekke ut 10 min midler direkte. Dette skyldes ujevnheter eller andre forstyrrelser i urverket, som gjør at det blir en "hakkete" kurve. Forsøk

på midling over få minutter kan derfor ende i feilaktige opplysninger om svært sterk vind.

Vindretningen kan avleses ved midling av en mer "dempet øyeblikksverdi".

Instrumentet gir ingen direkte opplysninger om vindkast. Det er imidlertid mulig å få en idé om størrelsen av turbulensintensiteten ved å studere forløpet av retningsgrafen. Horisontal turbulensintensitet er gitt som en longitudinal, I_u og en transversal del, I_v . I_u er definert som standardavviket av vindfarten i middelvindens retning, σ_u , dividert på middelvindfarten, U . I_v er definert som standardavviket på tvers av middelvinden, σ_v , dividert på U . Disse er godt korrelert så sant man ikke er meget nær ujevnheter (masteskygge, hushjørner, tak o.l.). Nær bakken er vanligvis $\sigma_u = 1.25 \cdot \sigma_v$. Tykkelsen av retningsgrafen gir da en klar pekepinn på om vi har høy eller lav turbulensintensitet. Dersom en stor tykkelse går over i tydelige retningsvariasjoner, har vi å gjøre med virvler av stor dimensjon. Det blir da vanskelig å skille endringer i middelvind fra store turbulensintensiteter.

Samtidige studier av grafen fra Sundhammaren sammen med data fra tilsvarende skriver på Ørnfloget på nordsiden av Leirfjorden, 9 km nordøst for Sundhammeren, tidligere kvalitetsvurdert i forbindelse med undersøkelsene om Helgelandbrua (1) tyder på at vindregistreringene ikke har systematiske målefeil. Tabell 1 - 4 viser hvorledes vinden blåser på Sundhammaren ved sterke vindfelt.

Tabell 1 viser en situasjon med sørøstlig vindfelt. Værstasjonene Bodø lufthavn og Nord-Solvær viser begge en vedvarende jevn og forholdsvis sterk sørøstvind den 29.01. til 31.01.90 med middelvind i kulingområdet, 12 - 17 m/s. Data fra Sandnessjøen lufthavn viser lave verdier av middelvind, og skiftende vindretning. Vindkastene er imidlertid sterke på denne stasjonen med maksimalkast i episoden på 38 m/s og typisk 2.5 til 3.5 ganger middelvinden for hver time. På Sundhammeren ser vi at flere typer strømning er mulig. Fra kl. 18-24 den 29.01 var det svært urolig vind med skiftende retning, dog med sørøst som foretrukken retning. Middelvinden var lav, 5-8 m/s, men vinden må ha vært meget turbulent og vindkasthastigheten ventelig opptil 3 ganger middelvindhastigheten. Kl. 07 - 12 den 30.01 var vinden fortsatt skiftende og turbulent. Imidlertid var foretrukken retning nå nordvest til nordøst. Dette er motsatt av det uforstyrrede vindfeltet og viser at Sundhammeren nå befinner seg i resirkulasjonssonen bak Stortova. Begge disse periodene har trolig turbulensfase 3, dvs. ca $I_u = 50\%$.

I perioden kl. 18 - 22 den 30.01. er vinden på Sundhammeren betydelig jevnere, og middelvinden sterkere. Fortsatt er imidlertid retningssporet bredt med enkelte sporadiske utslag. Vi er fortsatt nær resirkulasjonssonen, middelvinden er noe redusert, turbulens trolig i fase 2 (30%). Etter kl 22. den 30.01. ser vi at en meget sterk og jevn middelvind slår ned på Sundhammeren. Retningen er 130 - 140°, hvilket er typisk retning ved sterk middelvind fra sørøst. Turbulensintensiteten ligger trolig i fase 1 (19%).

Tabell 2 viser episoden med 1t middelvind på 36 m/s på Sundhammeren. Grafen viser at episoden varte i flere timer, med meget stø vindretning omkring sørøst (130°) og med moderat turbulens (fase 1, $I_u = 0.19$). Tabellen illustrerer tydelig at vinden på Sundhammeren er svært mye sterkere enn i Bodø og på kysten utenfor Sundhammeren (Nord-Solvær). Begge disse stasjonene viser vind i området liten til sterk kuling (13 - 19 m/s), vindretningen var også på

disse stasjonene sørøstlig. Vinden på Sandnessjøen lufthavn var også betydelig svakere enn på Sundhammeren. Middelvinden var svakere enn i Bodø, men vinden var mer ujevn med en del sterke kast, opp til 31 m/s. Dette er dog svakere enn middelvinden på Sundhammeren over mange timer!

Situasjonen i Tabell 3 er ganske typisk ved sørvestlige vindfelt. Vinden på Sundhammeren er omtrent like sterk som på flyplassene Bodø og Sandnessjøen. Merk at det var 23 m/s i Bodø kl. 05 den 02.12., og 20 m/s i Sandnessjøen kl 01 den 03.12. Episodemaksimumet lå altså litt forskjellig i tid på de ulike stedene.

Ved vindfelt fra nordvest (Tabell 4) er vinden på Sundhammeren en god del sterkere enn både Bodø, Nord-Solvær og Sandnessjøen. Vinden er noe turbulent på Sundhammeren. Grafen viser at vinden blir jevnere når vinden ligger mer rett på nord (kl.24 - 01, kl. 07 - 08). Nordvestlig vind blir noe forsterket over østkanten av Sju søstre, og treffer Sundhammeren i en noe turbulent fase.

3.3 Fysiske årsaker til sterk og varierende sørøstvind.

Fysisk årsak til den ekstremt sterke sørøstvinden ligger i flere forhold.

1. Kysten av Nord-Trøndelag og Nordland opp til Narvik er utsatt for sterk sørøstlig vind som blåser over fjellene fra Sverige. Slik luft har ofte stabil skjiktning, dvs. at dersom lufta i høyere luftlag blir transportert ned til bakken, vil lufttemperaturen ved bakken øke. Når luft med nøytral sjiktning skal passere en fjellkjede, presses lufta sammen over toppen og vinden øker der. Når stabil luft passerer en fjellkjede, vil denne maksimalsonen forskyves nedover le-siden. Oppvarmet luft med høy vindhastighet blir resultatet. Luftpassasjen får form av en bølgebevegelse.

Vinden kan tidvis opptre som varm fönvind, men vinterstid er lufta likevel ofte så kald i utgangspunktet, slik at den kan ha temperaturer på -5 til -10°C, ekstremt ned til -20°C på kysten av Nordland. Utstrømningen er noe ujevn fordi fjellrekken er ujevn, visse kanalsoner kan bli foretrukket. Sørlig del av Nordland har en rekke slike kanalsoner. Vinden kalles populært for utfallsvind. Det er imidlertid ikke en vind som faller av egen tyngde, slik kaldluftssig nedover skråninger og dalbunner vil gjøre. En kan mer snakke om en energetisk omfordeling av den vinden som blåser over fjellet. I Nordland mangler ofte sterk landvind i indre fjordstrøk (feks. Mosjøen, Mo i Rana), mens bølgeeffekten maksimeres lenger ute og gir risikosoner der.

2. Når luftstrømmen passerer bratt terreng (30° eller mer), vil strømmen kunne "forlate" åskammen og suge opp luft fra lavere sjikt. Det dannes le-virvler. Tilbakestrømning på bakken nær fjellskråningen vil kunne forekomme. Dersom fjellene er ujevne, gjerne med asymmetrier, slik at vinden passerer forskjellig over og rundt fjellet, er risikoen særlig stor. Virvlene vil da bli langstrakte i horisontalplanet og sterk høydevind roterer i korketrekker ned mot bakken. Effekten kan sees ved alle vindretninger, men forutsetter sterk vind i høyden. Nær fjellskrenten på le-siden kan sug på lufta ofte føre til virvler med vertikal akse. Disse kan sees som vannvirvler, snøvirvler, støvvirvler etc. De vil kunne være alt fra små uskyldige rotasjoner til

Tabell 1 Timesverdier av vindhastighet og vindretning på Sundhammeren (Su), Bodø (B) og Sandnessjøen lufthavn (Sa), samt verdier kl.07, 13 og 19 på Nord-Solvær (Ns) ved en episode med sørøstlig vindfelt. Vindregistrering på Sundhammeren er vist på innfelt figur.

KL.	U[m/s]				D(°)				Sundhammeren	
	Ns	B	Sa	Su	Ns	B	Sa	Su	Woeffle vindregistrering	
31.01.90 01	17	7	27		130	Vr.120	140			
31.01.90 00	16	9	26		120	Vr.120	140			
30.01.90 23	14	8	24		120	110	130			23
30.01.90 22	12	8	14		120	120	130			22
30.01.90 21	15	8	13		120	Vr.100	130			21
30.01.90 20	14	9	16		120	90	130			20
30.01.90 19	15	16	6	17	SØ	120	Vr.090	130		19
30.01.90 13	15	16	5	13	SØ	120	Vr.	Vr.130		13
30.01.90 12	16	9	6		120	Vr.010	Vr.			12
30.01.90 11	17	10	5		120	Vr.060	Vr.			11
30.01.90 10	17	7	5		120	Vr.	Vr.030			10
30.01.90 09	16	8	6		130	Vr.	Vr.330			9
30.01.90 08	15	6	6		130	Vr.	Vr.360			8
30.01.90 07	12	15	7	6	SØ	120	Vr.90	Vr.		7
30.01.90 01	12	2	5		120	Vr.90	Vr.300			1
30.01.90 00	12	3	6		120	Vr.	Vr.			0
29.01.90 23	12	3	8		120	Vr.	Vr.110			23
29.01.90 22	11	4	7		120	Vr.	Vr.130			22
29.01.90 21	11	8	6		110	Vr.100	Vr.130			21
29.01.90 20	10	8	9		110	Vr.100	Vr.130			20
29.01.90 19	12	11	7	6	SØ	120	Vr.100	Vr.		19

Tabell 2

Timesverdier av vindhastighet og vindretning på Sundhammeren (Su), Bodø (B) og Sandnessjøen lufthavn (Sa), samt verdier kl.13 og 19 på Nord-Solvær (Ns) ved maksimal registrert timesmiddel på Sundhammeren. Vindfelt sørøstlig. Vindregistrering på Sundhammeren er vist på innfelt figur.

KL.	U[m/s]				D(°)				Sundhammeren	
	Ns	B	Sa	Su	Ns	B	Sa	Su	Woeffle vindregistrering	
18.12.89 21		13	8	23		130	Vr.080	130	21	
18.12.89 20		12	11	30		130	100	130	20	
18.12.89 19	15	13	12	31	SØ	130	100	130	19	
18.12.89 18		14	11	35		130	Vr.090	130	18	
18.12.89 17		14	12	36		130	100	130	17	
18.12.89 16		16	13	35		130	100	130	16	
18.12.89 15		14	11	36		130	110	130	15	
18.12.89 14		14	12	34		130	110	130	14	
18.12.89 13	19	15	13	30	SØ	130	110	130	13	
18.12.89 12		13	14	33		110	100	130	12	
18.12.89 11		12	12	31		100	100	130	11	
18.12.89 10		11	9	28		100	Vr.090	130	10	

Vr.: Variabel vindretning

Tabell 3

Timesverdier av vindhastighet og vindretning på Sundhammeren (Su), Bodø (B) og Sandnessjøen lufthavn (Sa), samt verdier kl.13 og 19 på Nord-Solvær (Ns) ved en episode med sterk sørvestlig til vestlig vind. Vindregistrering på Sundhammeren er vist på innfelt figur.

KL.	U[m/s]				D(°)				Sundhammeren	
	Ns	B	Sa	Su	Ns	B	Sa	Su	Woeffle vindregistrering	
02.12.89 19	15	15	16	13	V	240	230	230		
02.12.89 18		14	16	16		240	230	240		
02.12.89 17		13	16	20		250	230	240		
02.12.89 16		14	16	20		250	230	240		
02.12.89 15		14	15	21		250	230	240		
02.12.89 14		15	15	20		250	230	240		
02.12.89 13	15	16	16	20	V	250	230	240		
02.12.89 12		17	15	18		240	230	240		
02.12.89 11		18	16	16		240	230	230		
02.12.89 10		20	16	14		240	230	240		
02.12.89 09		22				230				

Tabell 4

Timesverdier av vindhastighet og vindretning på Sundhammeren (Su), Bodø (B) og Sandnessjøen lufthavn (Sa), samt verdier kl.07 på Nord-Solvær (Ns) ved en episode med sterk nordvestlig til nordlig vind. Vindregistrering på Sundhammeren er vist på innfelt figur.

KL.	U[m/s]				D(°)				Sundhammeren Woeffle vindregistrering
	Ns	B	Sa	Su	Ns	B	Sa	Su	
04.12.89 09		10	12	15		320	350	330	
04.12.89 08		11	12	16		300	340	340	
04.12.89 07	15	13	12	17	N	310	340	340	
04.12.89 06		13	14	18		310	340	330	
04.12.89 05		11	14	20		320	330	320	
04.12.89 04		9	13	19		320	320	320	
04.12.89 03		8	12	17		330	330	320	
04.12.89 02		9	8	11		320	330	330	
04.12.89 01		10	8	11		330	360	340	

kraftige virvler som kan dra opp gjenstander, ødelegge hus osv. Slike lokale fjell kan være Stortova - Villtoven (Sundhammeren) og fjellpartiet Sjus østre m. forlengelse (Sandessjøen - Helgelandsbrua).

3. Den lange fjellbølgen nevnt under 1. gir et stabilt sjikt med sterk og konsentrert middelvind. Strømmen som treffer lokale fjell slik som beskrevet under 2. kan altså ha stabil sjiktning. Derved kan sammensatte fjellbølgemønstre opptre. Disse virker sammen med 3-dimensjonal virvelavløsning. Luftstrømmens karakteristikk og fjellenes geometri bestemmer vilken effekt som dominerer. Variasjoner i oppstrøms vindretning, vindfart og stabilitet kan derfor gi forskjellige strømningsmønstre og responsen ved Sundøya vil variere. Både enkle og komplekse bølgebevegelser fra fjellene ned mot Sundhammeren samt 3 - dimensjonale korrekkertrekervirvler med store variasjoner må antas mulige. Derved opptrer vinden vekselvis som sterk middelvind og sterkt skiftende vind med høy turbulens og med vindretning både inn mot fjellet og ut fra fjellet. Videre kan forskjellen til nærliggende steder bli stor og varierende. Det er derfor viktig at alle sammenligninger gjøres mellom hele datasett (som dekker de samme situasjonene) og ikke fra storm til storm.

4. Sundhammaren har lokal akselerasjon over toppen. Slik akselerasjon finnes trolig langs hele brutrasseen, på grunn av at det lokalt er ganske smalt, men er trolig noe større nær Sundhammeren enn på Dragsviksiden. Effekten er den klassiske hjørneeffekt, også kalt Ventouri-effekt, eller Bernoulli-effekt.

3.4. Ekstremvindhøgninger. Overføringskoeffisienter.

For å beregne ekstremverdier med korte midlingstider ut fra datarekken på Sundhammeren er det nødvendig med en 2-trinns omregning av data.

Timesmidlene må først omregnes til 3 - 5 s vindkast og 10 min middelvind. Dette er en operasjon som medfører stor usikkerhet. Vi har valgt å benytte omregningsfaktorer på 1.1 (N, NØ, SØ (vanlig ved sterk SØ - vind), S, SV og V - felt,), 1.15 (NV, samt noen tilfelle av moderat SØ-felt) og 1.3 (SØ-felt i sterk turbulent fase der lokal vindretning er udefinert) for omregning fra 1t middel til 10 min middelvind og 1.65, 2.0 og 3.0 fra 1t middel til 3 - 5 s vindkast.

Begrunnelsen er følgende:

Faktorer på 1.5, 1.75 og 2.3 fra 10 min middelvind til 3 - 5 s vindkast er hentet fra et bredt erfaringsmateriale. 1.5 er omregningsfaktor ved jevn og sterk vind i en fjord eller en vegetasjonsfri åpen flate. 1.75 er forhold som kommer fram ved noe grovere turbulens, typisk ved spredt bebyggelse. Ved høy turbulens bak fjell på grensen til resirkulasjon er typiske forhold 2.0 - 2.5. Slike forhold er funnet på Værøy, Sunndalsøra, Sandane lufthavn og Sandnessjøen lufthavn. Vi velger derfor 2.3 som omregningsfaktor når vindretningsbildet viser at retningsvariasjoner over hele kompassrosen forekommer.

Overnevnte faktorer gjelder 10 m over terreng. En vurdering av retningsgangen i grafen fra

Woeffle tyder på at disse forhold gjelder på det aktuelle målestedet.

For omregning mellom 10 min middelvind og 1t middelvind er 1.1 en vanlig faktor ved jevn vind. Denne økes til 1.15 ved noe grovere turbulens i fjellterreng. Ved meget høy turbulens og retningsvariasjoner over hele kompassrosen benyttes 1.3. Dette gir 1.65, 2.0 og 3.0 som omregningsfaktorer fra 1t middelvind til 3 - 5 s vindkast.

Vi får da samtidig et estimat for I_u ved

$$I_u = \frac{Gf_{3s} - 1}{2.6} \quad \text{lign. (1)}$$

hentet fra (2). Vi får $I_u(\text{Ø-S, SV og V}) = 0.19$, $I_u(\text{NV}) = 0.29$, $I_u(\text{N}) = 0.19$, regnet i 5 m høyde over Sundhammeren.

De omregnede måleverdiene (fra 1t middel til 10 min middel og 3 - 5 s vindkast) skal nå overføres til 50-årsverdier ved hjelp av data fra en referansestasjon. Stasjonene Bodø lufthavn og Sandnessjøen lufthavn har begge utregnede 50-årsverdier for vindkast. Bodø har meget lang rekke, 1953-1993, men noe kortere rekke, 1969-92 for retningsinndelte årsektremer. For Bodø er det avlest stormepisoder fra 1987-1993, alle sektorer. For Sandnessjøen er det i tillegg avlest episodemaksima av vindkast over 50 knop i perioden 1969 - 1986, dog bare for sektor nordøst til sør. Data fra sektor SV til N er analysert ved sammenligning mot Bodø, mens data fra sektor nordøst til sør også er analysert fritt. Bruk av statistiske metoder har gitt 50-årsverdier av 3-5 s vindkast på 44.0 m/s for Bodø og 54.4 m/s for Sandnessjøen. Begrenses det til sektor øst til sør, får vi 37.4 m/s for Bodø, mens Sandnessjøen fortsatt har 54.4 m/s, fordi maksimalverdiene der ligger i denne sektor. Landvind som er regionalt forsterket ved fjellbølger treffer fjellpartiet Sju Søstre og går over i en meget turbulent fase med sterke vindkast, men med relativt svak middelvind. Forholdene synes verst når høydevindfeltet ligger omkring øst. (Ved Helgelandsbrua, 15 km nordøst for flyplassen, dras selve middelvindfeltet ned, mens den turbulente fasen for det meste ligger nærmere fjellet. SØ-felt gir sterkest middelvind og S-felt sterkest turbulens ved brua.)

For sektor SV - N har Bodø 44.0 m/s, mens Sandnessjøen nå har 45.3 m/s. For denne sektor (i praksis forekommer maksimalverdiene her i den smalere sektor SV-V) er forholdene i Bodø og Sandnessjøen svært like. Dette er også naturlig siden slik vind kommer fritt inn fra havet begge steder.

Bruk av Bodø som referansestasjon har fordel ved en lengre rekke. Ulempen er avstanden mellom Sundhammeren og Bodø.

Bruk av Sandnessjøen som referansestasjon har fordel ved den korte avstanden mellom stasjonene. Imidlertid er den lokale påvirkning i den mest interessante sektor så stor at denne stasjonen kan ha liten verdi som referansestasjon.

Materialet er delt inn i 4 sektorgrupper bestemt ut fra vindretningen på referansestasjonene. De 4 gruppene er sektor Ø-S, SV-V, NV og N-NØ. Inndelingen skyldes de lokale forhold ved Sundhammeren (se kap. 3.2). På Sandnessjøen forekommer de høyeste NØ - vindene i Ø -

lige felt, derfor er NØ der satt sammen med sektorgruppen Ø-S. Det avleses nå vindepisoder ved maksimalt vindkast på referansestasjonene og maksimal 1t middelvind for diskrete klokke timer fra Sundhammeren. 2 episoder skal være adskilt ved enten 2 døgn, eller et tydelig skille i vindretning mellom episodene. Dette sikrer at hver enkelt storm bare kan gi én verdi pr. stasjon. Bare episoder med 1t - verdier over 15 m/s er tatt med på Sundhammeren. For Bodø og Sandnessjøen eksisterer det datasett med avleste episodemaksima som overstiger 20 knop (10.3 m/s) i middelvind eller 30 knop (15.4 m/s) i kastene.

Deretter sorteres episodene uavhengig i synkende rekkefølge innefor hver sektorgruppe. Alle episoder som ikke har data fra alle stasjonene blir automatisk strøket også på den stasjonen som da måtte ha data. Med uavhengig sortering menes at samme storm kan gi forskjellig nummerrekkefølge på stasjonene.

I analysen beregnes middel av de 5 høyeste verdier av 3-5 s vindkast fra alle stasjonene innenfor hver sektorgruppe, s. På Sundhammeren må først et 5 episodemiddel av 1t middelvind transformeres til 3-5 s vindkast. Deretter dannes det overføringskoeffisienter, $k_{rG}(s)$ mellom referansestasjonen og Sundhammeren ved å dividere middelverdiene på hverandre. Tilsvarende omregning til 10 min middelvind på Sundhammeren gir faktorer fra 3-5 s vindkast på referansestasjonene til 10 min middelvind på Sundhammeren.

$$k_{rs}(s) = \frac{U_s(s)}{U_r(s)} \quad \text{lign. (2)}$$

Referansestasjonene har utfra lang rekke fått beregnet 50 -årsverdi av 3-5 s vindkast, U_{50r} . Årsektremene for hver av de 4 sektorgruppene er avlest (plukket ut fra et større avlest materiale). For en slik sektorgruppe er det dannet et middel av de 5 høyeste årsektremene. Uavhengig av dette, men på tilsvarende måte, er midler dannet av totalektremene. Deretter er det dannet overføringstall fra totalektrem til sektorgruppeektremene ved å dividere disse midler på hverandre.

$$U_{50s}(s) = s_r(s) \cdot U_{50r} \quad \text{lign. (3)}$$

Ved nå å anta at forholdstallet mellom stasjonene i hver sektor er det samme for kort rekke som for lange rekke, har vi:

$$U_{50S}(s) = U_{50r}(s) \cdot k_{rs}(s) = s_r(s) \cdot k_{rs}(s) \cdot U_{50r} \quad \text{lign. (4)}$$

Til slutt går man gjennom en prosedyre for å beregne sektoruavhengig 50-års verdi på Sundhammeren, U_{50S} ved

$$U_{50S} = f(U_{50S}(s_1), U_{50S}(s_2), \dots) \quad \text{lign. (5)}$$

For å finne U_{50S} benyttes en iterasjonsteknikk der man gjetter på 50-årsverdien ($p=0.02$). Hver sektorgruppe får da sin delsannsynlighet. Ved å anta uavhengighet (ved korrelerte sektorer er dette en konservativ antagelse) summeres delsannsynlighetene og summen skal være 0.02.

Tabell 5 viser sammenligning av data fra Sundhammeren med referansestasjonene Bodø og Sandnessjøen der nevnte prosedyre er fulgt. Tabellen viser at overføringskoeffisientene fra Bodø (3-5 s vindkast) til Sundhammeren er beregnet til 1.98 (Ø-S), 1.10 (SV-V), 1.50 (NV) og 1.11 (N-NØ). Merk at lokal akselerasjon over Sundhammeren er noe av årsaken til de høye koeffisientene for sektor SØ og NV. Ved overføring fra 3-5s vindkast i Bodø til 10 min middelvind på Sundhammeren er tilsvarende koeffisienter beregnet til 1.32, 0.74, 0.86 og 0.74.

3.5. 50-års verdier

Tabell 5 viser store forskjeller ved bruk av de 2 referansestasjonene. Den høye verdi som beregnes ved bruk av Sandnessjøen som referansestasjon skyldes trolig følgende: Høydevindfelt fra øst til østsørøst ser ut til å gi større utslag på Sandnessjøen enn felt fra sørøst til sør. På grunn av fjellbølgeeffekten er situasjoner med disse 2 felttypene meget vanskelige å skille. Sterke østlige felt er mye sjeldnere enn sørøstlige, og i den korte sammenligningsperioden kan sterke østlige felt være underrepresentert. Da vil vi få beregnet for høy overføringskoeffisient fra Sandnessjøen til Sundhammeren. Tabell 5 viser en urealistisk høy verdi og tyder på at et slikt forhold er til stede. Dette bekreftes ved å sammenligne Bodø og Sandnessjøen i Tabell 5. Forholdstallet blir 0.78 for sammenligningsperioden, mens langtidsforholdet er 0.68. Sandnessjøen forkastes derfor som referansestasjon.

Tabell 5 viser at de høyeste overføringskoeffisientene fra Bodø til Sundhammeren ligger i sørøstlig sektor. Der blåser det sterkere som timesmiddel enn maks vindkast i Bodø. Lokalt kommer vinden på Sundhammeren fra sørøst ($130-150^\circ$) og 50-årsverdiene for 3-5s vindkast og 10 min middelvind er beregnet til 74.0 m/s og 49.3 m/s. Det er vanskelig å kvantifisere kastene når sørøstlig vind går over i turbulent fase. Men det har ikke vært registrert 1t middelvind over 14 m/s i denne fasen. Dette vil maksimalt gi overføringskoeffisient på 1.6 mellom Bodø og Sundhammeren, dvs. bare 80 % av vindkastfarten ved jevn sørøstvind. Denne fasen betraktes derfor som mindre betydningsfull ved dimensjoneringen av brua.

Tabell 5

Sammenligning av vindforholdene på Sundhammeren (målte timesmidler, også omregnet til 10 min middelvind og 3 - 5 s vindkast ved bruk av kastfaktorene, Gf, i tabellen) med Bodø lufthavn og Sandnessjøen lufthavn (3 - 5 s vindkast). Presentasjon av de 5 sterkeste vindverdier [m/s] i inntil 4 vindfeltsektorer for perioden 21.11.89 - 21.11.93. Bare episoder der registrering finnes på alle stasjoner er med. Resultat av ekstremverdberegninger, alle retninger medregnet.

Sundhammeren		Ø-S	SV-V	NV	N-NØ	
1		35.8	21.6	19.9	17.9	
2		32.9	21.2	18.8	17.4	
3		31.6	20.8	18.4	16.1	
4		29.4	19.0	18.3	15.5	
5		28.6	18.8	15.2	14.4	
U5(1t)		31.7	Gf 20.3	Gf 18.1	Gf 16.3	Gf
U5(10min)		34.8	1.10 22.3	1.10 20.8	1.15 17.9	1.10
U5(3-5s)		52.2	1.65 33.5	1.65 36.2	2.00 26.8	1.65
8229 Bodø lufthavn		Ø-S	SV-V	NV	N-NØ	
1		28.8	31.9	25.2	28.8	
2		26.7	31.9	24.7	25.7	
3		25.7	30.3	24.7	21.6	
4		25.2	28.8	23.7	20.6	
5		25.2	28.8	22.6		
U5		26.3	30.3	24.2	24.2	
Sektorandel (1969-92):		0.85	1.00	0.82	0.69	
7675 Sandnessjøen lufthavn		NØ-S				
1		38.6				
2		34.5				
3		34.5				
4		30.9				
5		30.3				
U5		33.7				
Sektorandel (1987-93):		1.00				
Forholdstall		Ø-S	SV-V	NV	N-NØ	
Su/B	U5(3-5s/3-5s)	1.98	1.10	1.50	1.11	
Su/Sa	U5(3-5s/3-5s)	1.55				
Su/B	U5(10min/3-5s)	1.32	0.74	0.86	0.74	
Su/Sa	U5(10min/3-5s)	1.03				

Resultat av ekstremverdberegninger, alle retninger medregnet

50-års verdi

8229 Bodø lufthavn (3-5s vindkast basert på lang rekke):

44.0 m/s

7675 Sandnessjøen lufthavn (3-5s vindkast basert på lang rekke):

54.4 m/s

Sundhammeren (3-5s vindkast med Bodø som ref.stasjon):

74.0 m/s

Sundhammeren (3-5s vindkast med Sandnessjøen som ref.stasjon):

84.3 m/s

Sundhammeren (10min middelvind med Bodø som ref.stasjon):

49.3 m/s

Sundhammeren (10min middelvind med Sandnessjøen som ref.stasjon):

56.0 m/s

For sektor SV-V oppnås 48.4 som 50-års verdi for 3-5 s vindkast og 32.6 m/s for 10 min middelvind. For sektor NV er tilsvarende verdier 54.1 og 31.0 m/s, for N-NØ 33.7 og 22.5 m/s.

Usikkerheten ved slike estimater vil ordinært bli anslått til $\pm 10\%$. Dette synes være et rimelig tall sett ut fra metodikken. Det kan likevel være et spørsmål om det er fornuftig å legge 10% til de estimater en får for sørøstlig vind for å oppnå tilstrekkelig konservative estimater. En har liten tro på de ekstremt høye verdier som da kommer fram ut fra kjennskap til slik vind andre steder.

3.6. Vindprofiler

Målingene er utført på Sundhammeren, 5 m over bakken og 85 m høyere enn sjøflaten ute i sundet. Ved vind fra sørøst eller nordvest møter vinden en skarp terrengrygg. Ryggen har oppstrømssider på ca. 20° og har form av et cosinussnitt, hvilket gir betydelig akselerasjon over toppen.

Skråningen opp til målepunktet er bevokst av lav bjørkeskog. Sørøstlig vind har blåst over denne bjørkeskogen i ca. 200 m. De nederste 10 - 20 m er derfor lokalt bremset av skogen. Dette motvirker noe av akselerasjonen nær bakken.

Selve sundet er 350 m bredt og har en terrengrygg på hver side. Fjorden er vesentlig smalere ved den planlagte brua enn utenfor dette området. Ved sørøstlig vind er dessuten effektiv bredde bare 200 m. En må derfor vente betydelig akselerasjon av vinden gjennom sundet når vindretningen er nordvestlig eller sørøstlig. **Inntil mer detaljert kunnskap foreligger, vil vi betrakte middelvindmålingene på Sundhammeren som representative for 85 m høyde over sjøflaten ute i sundet, når vindretningen kommer fra sørøst eller nordvest.**

Vindprofilet ved sørøstlig vindfelt (og nordvestlig) fra $Z=10\text{m}$ til $Z=85\text{m}$ kan antas å følge en potenskurve med $n=0.18$ for middelvind og $n=0.1$ for vindkast. Slike forhold er velkjente fra fjordstrøk med målinger. Profilet er gitt som lign. (6).

$$10\text{m} \leq Z \leq 85\text{m}$$

$$U_{50\text{år}}(85\text{m}) = 49.3\text{m/s}$$

$$Ug_{50\text{år}}(85\text{m}) = 74.0\text{m/s}$$

$$\frac{U_2}{U_1} = \left(\frac{Z_2}{Z_1} \right)^{0.18}$$

$$\frac{Ug_2}{Ug_1} = \left(\frac{Z_2}{Z_1} \right)^{0.1}$$

lign. (6)

Ved omregning fra 50 til 10 og 100 år benyttes samme faktorer som er funnet ved ekstremvindanalysen for Bodø, se lign. (7).

∀Z:

$$Iu = \frac{U_g(Z,t) - 1}{2.6}$$

$$\frac{U_{100\text{år}}}{U_{50\text{år}}} = 1.048$$

$$\frac{U_{100\text{år}}}{U_{10\text{år}}} = 1.184$$

lign. (7)

Profilene er utregnet for 5 høyder over vannflaten i Tabell 6.

Tabell 6

Ekstremverdier med 10, 50 og 100 års returperiode av 10 min middelvind og 3 - 5 s vindkast ved planlagt brutrassè ved Sundhammeren, Sundet i Leirfjord. Ekstremverdiene er gitt for 8 høyder over vannflaten. Tilhørende horisontal turbulensintensitet og kastfaktor er også gitt. Alle verdier gjelder vilkårlig vindfelt, men i praksis vil de forekomme i sørøstlig felt (130-150°).

Vindfelt fra sørøst (lokalt 130-150°)

Z (m)	10-ÅRS VIND		50-ÅRS VIND		100-ÅRS VIND		Gf=Ug/U	Iu=(Gf-1)/2.6
	U (m/s)	Ug (m/s)	U (m/s)	Ug (m/s)	U (m/s)	Ug (m/s)		
10	29.7	52.9	33.5	59.7	35.1	62.6	1.78	0.30
20	33.7	56.7	38.0	64.0	39.8	67.1	1.69	0.26
30	36.2	59.1	40.9	66.7	42.8	69.9	1.63	0.24
40	38.1	60.8	43.0	68.6	45.1	71.9	1.59	0.23
50	39.7	62.2	44.8	70.2	47.0	73.5	1.57	0.22
60	41.0	63.3	46.3	71.5	48.5	74.9	1.54	0.21
70	42.2	64.3	47.6	72.6	49.9	76.1	1.52	0.20
85	43.7	65.6	49.3	74.0	51.7	77.6	1.50	0.19

Tabell 6 viser at 50-årsverdien av 3-5 s vindkast er beregnet til 60 m/s (59.7) 10 m over fjorden. En analyse over verdier fra norske fyrstasjoner og flyplasser i utsatte strøk (3) viser at det bare er Honningsvåg lufthavn som har høyere 50 - års verdi. Stedet er derfor blant de mest værharde i hele landet.

5. Referanseliste

(1). **Lothe, A:**

Arbeidsdokument: Vindmålinger ved Helgelandsbrua.
SINTEF NHL, prosj. nr. 605042.
Trondheim, oktober 1991.

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

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

(3). **Harstveit, K og Andresen, L.:**

Ekstremvindanalyse for kyststrekningen Rogaland - Finnmark.
Oppdragsrapport for Norges byggstandardiseringsråd.
DNMI KLIMA 07/94. Oslo, mars 1994.