



DNMI

Det norske meteorologiske institutt

RAPPORT NO. 04/00

KLIMA

Kåkern bru Analyse av vindmålinger

Knut Harstveit



DNMI-RAPPORT

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

ISBN 0805-9918

RAPPORT NR.

04/00 KLIMA

DATO

24.01.00

TITTEL

Kåkern bru Analyse av vindmålinger

UTARBEIDET AV

Knut Harstveit

OPPDRA GSGIVER

Statens Vegvesen - Nordland vegkontor

OPPDRA GSNR.

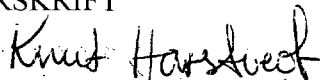
SAMMENDRAG

Ut fra målinger fra 27.12.97 - 01.09.99 ved Kåkernsundet, sammenligninger med data fra Bodø Skrova og Røst, samt langtidsdata fra Bodø, er det angitt ekstremvinddata og turbulensparametre ved den planlagte Kåkern bru.

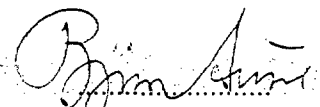
Ekstremvindverdier er gitt for 10, 50 og 100 års returperiode. Longitudinal turbulensintensitet, kastfaktorer og høydefordeling er også angitt.

Den sterkeste vinden ved brua kommer i sektor sørøst til sør, sterke vindkast forekommer også fra sørvest.

UNDERSKRIFT



Knut Harstveit
SAKSBEHANDLER



Bjørn Aune
FAGSJEF

SAMMENDRAG

Vindmålinger ved gamle Kåkern bru, 23.12.1997 – 01.09.99, er sammenlignet med data fra Bodø lufthavn, Skrova fyr og 2 stasjoner på Røst.

Målingene fra Kåkern er utført med en Woeffle vindvevskriver som gir midlere vindhastighet med oppløsning på ca. 1t. Registreringene gir også midlere vindretning, samt retningsvariasjoner over korte tidsrom, hvilket kan brukes til å gi et grovestimat av turbulensintensiteten.

Bodø lufthavn er valgt som referansestasjon, mens de øvrige stasjonene er benyttet til å se på rimeligheten i resultatet, samt være med på etablering av forholdstallet mellom maksimum av 10 min middelvind og 1 t middelvind ved stormepisoder.

Vind fra sør og sørøst er den sterkeste på stedet, men sterke vindkast fra sørvest kan også forekomme. Stedet er også eksponert for vind gjennom sundet fra nordvest til nord, mens vind på tvers av fjorden i nordøstlig, østlig eller vestlig sektor ikke blir sterk. De største vindhastighetene inntreffer ved luftstrøm i relativt moderat turbulent tilstand, med jevn vindretning. Vindmålingene er vurdert som representative for forholdene i sundet på den planlagte, nye brua, 23 m over sjøen.

Ekstremvindverdier er gitt for 10, 50 og 100 års returperiode. Longitudinal turbulensintensitet, kastfaktorer og høydefordeling er også angitt. Tabellen gir en oversikt over resultatene i 10 m nivå, samt brunivå, 23 m over fjorden. Rapporten inneholder også data for andre høyder, samt anvisning for omregning.

	N	NØ	Ø	SØ	S	SV	V	NV
U_{10min} [m/s], 10 år, 10m	23.6	10.3	8.6	30.9	30.9	21.7	10.3	22.5
U_{10min} [m/s], 50 år, 10m	26.2	11.4	9.5	34.2	34.2	24.1	11.4	25.0
U_{10min} [m/s], 100 år, 10m	27.1	11.9	9.9	35.5	35.5	25.0	11.9	25.9
U_{3-5s} [m/s], 10 år, 10m	33.0	20.6	21.5	43.2	43.2	43.5	25.8	31.5
U_{3-5s} [m/s], 50 år, 10m	36.6	22.9	23.9	47.9	47.9	48.2	28.6	35.0
U_{3-5s} [m/s], 100 år, 10m	38.0	23.8	24.8	49.8	49.8	50.1	29.7	36.3
I_u	0.16	0.40	0.60	0.16	0.16	0.40	0.60	0.16
U_{10min} [m/s], 10 år, 23m	26.3	13.2	11.0	34.4	34.4	24.6	13.2	25.1
U_{10min} [m/s], 50 år, 23m	29.1	14.7	12.2	38.2	38.2	27.3	14.7	27.8
U_{10min} [m/s], 100 år, 23m	30.2	15.3	12.7	39.6	39.6	28.4	15.3	28.9
U_{3-5s} [m/s], 10 år, 23m	35.7	23.6	23.9	46.7	46.7	46.3	28.7	34.1
U_{3-5s} [m/s], 50 år, 23m	39.6	26.1	26.6	51.9	51.9	51.4	31.9	37.8
U_{3-5s} [m/s], 100 år, 23m	41.1	27.1	27.6	53.8	53.8	53.4	33.1	39.3
I_u	0.14	0.31	0.47	0.14	0.14	0.35	0.47	0.14
$n(U_{10min})$	0.13	0.30	0.30	0.13	0.13	0.15	0.30	0.13
$n(U_{3-5s})$	0.10	0.17	0.14	0.10	0.10	0.08	0.14	0.10

1. Innledning

Bakgrunnen for denne rapporten er en forespørsel fra Statens Vegvesen, Nordland. Ved Vegdirektoratet er man i gang med prosjektering av ny bru over Kåkernsundet mellom Flakstadøya og Moskenesøya i Lofoten. Dette prosjektet har ligget på is en stund. Det ble levert en rapport 26.10.94 (1) basert på data fra Leknes lufthavn og vurdering av terrengforholdene ved Kåkern bru og Leknes. I tida 23.12.97 til 01.09.99 ble det utført vindmålinger på stedet, og Statens Vegvesen ønsker oppdatert informasjon som følge av målingene.

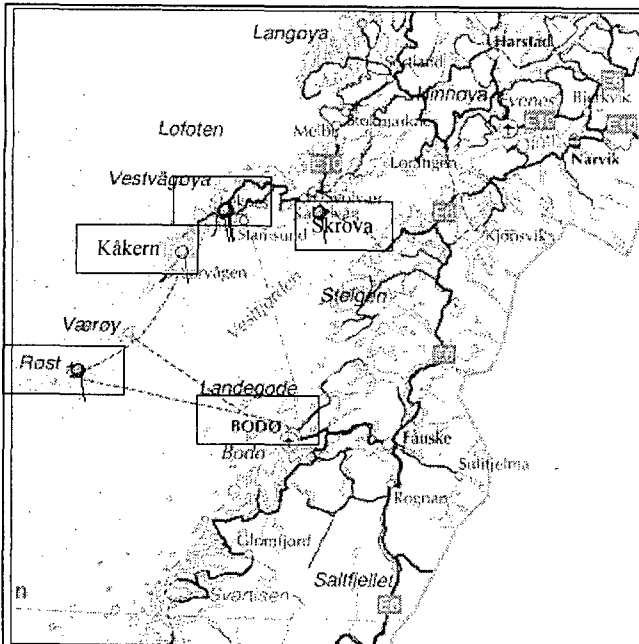
2. Sted og topografi

Bruområdet ligger i ytre Lofoten og skiller de to ytterste av de store øyene i Lofoten, Flakstadøya og Moskenesøya. Øysystemet strekker seg ut i Norskehavet fra nordøst mot sørvest. Bredden på denne "øy-kjeden" omkring brustedet er typisk på skala 10 km.

Øyene består av stupbratte fjell og daler, fjorder og innsjøer. Fjelltoppene når opp i 300 - 1000 moh. Selve Kåkernsundet har noe mindre markerte omgivelser. Sundet er 150 m på det smaleste. Sundstraumen ligger 2.5 km mot nord og har omtrent samme bredde. Mellom disse sundene er fjorden typisk 500 m bred. Nord og sør for sundene skilles øyene ellers av farvann som er opptil 1 - 2 km bredt.

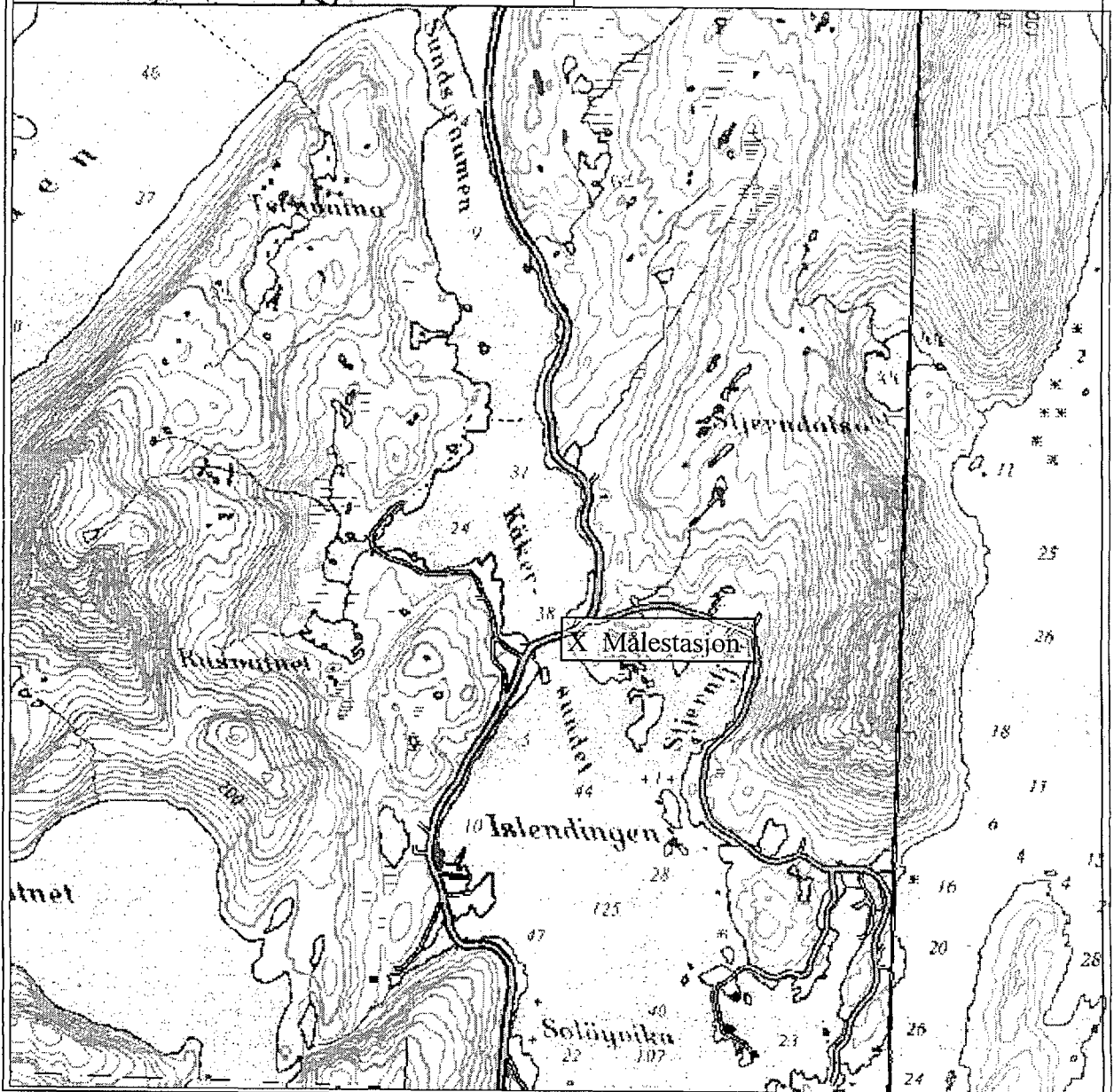
Sundstraumen - Kåkernsundet løper nord - sør ($350 - 170^\circ$). På begge sider av sundet er det lavtliggende gras- og myrbevokste heiområder med sporadisk bjørkeskog, 0 - 200 moh. Dette lavtliggende området danner sammen med fjorden nord og sør for sundet, en større kanalsone mellom øyene. Kanalsonen løper nord - sør ($360 - 180^\circ$) og har en bredde på 2 til 3 km. Fjellene på begge sider løper ujevnt opp i 400 - 700 moh. (Sundmannen - Blåfjellkammen - Nesfjellet - Volandstinden i øst, Solbjørn - Fjøsadalstinden - Narvtinden - Måltinden - Torsfjordtinden - Middagstinden - Ytresandheia i vest. Sundmannen, 1-2 km mot øst, er en 432 m høy fjellrygg, 1.5 km bred og svært bratt og smal.

Gamle Kåkern bru forbinder 2 nes med 20 - 30 m høye koller. Nye Kåkern bru blir liggende omtrent på samme sted. Avstanden mellom nesene er 150 m. Nesene dekker et området på 200 - 300 m langs sundet. Dette er flere hundre meter bredt på begge sider av brutraseen. Særlig ser vi en hurtig utvidelse mot sør, der sundet går over i en slags fjordpoll, Islendingen, med bredde på ca. 1 km.



Figur 1
Kart over Kåkerneområdet
og plassering av Kåkerne,
Bodø, Røst, Skrova fyr og
Leknes på regional skala.

Kilde: Statens kartverk:
"Opplev Norge".



3. Vindmålinger

3.1 Woeffle vindvegskriver

Vindmåleren er montert nær brohodet til den nye brua, på sørøstsiden av Kåkernsundet ved overgang til Islendingen. Måleren er montert 30 moh, og målemasta er 6 m høy. Det er en Woeffle vindvegskriver. Vindmåleren består av et skålkorsanemometer og en værhanne. Skolkorsets tilbaketagte 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 (2, 3) 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.

3.2 Datainnsamling fra Kåkern

Det er samlet inn data fra perioden 23.12.97 til 01.09.99. Med brudd i periodene 24.01.98 – 28.01.98, 31.01.98-27.02.98, 23.09.98-27.09.98 og 03.04.99-08.04.99 er datadekningen ca. 89%. Registreringene foreligger bare på papir og det er en tung prosess å digitalisere dataene. Vi har derfor begrenset oss til å ta ut den høyeste timesverdien med tilhørende retning i hver stormepisode, når denne timesverdien overstiger ca. 16 m/s, dvs. fra ca. sterk kuling og oppover dersom vi omregner til 10 min middelvind. Det er sterkest vind fra sørlig kant, lite vind på tvers av fjorden og sterk vind også fra nordvest – nord. Her har vi tatt med vind også ned i stiv kuling området, timesmidler fra ca. 13 m/s og oppover.

Tabell 1 viser en kronologisk liste over episoder med sterk vind som er funnet ut fra disse kriteriene. Vinden ved Kåkern blir sterkest når den kommer inn i en sektor omkring sørøst – sør (S-SØ; 140-180°). Den kan også bli sterk fra nordnordvest – nord (NNV-N; 330-360°) og sporadisk omkring sørvest (SV; 220 – 240°). I tabell 2 er vinden fordelt i disse tre sektorgruppene og sortert etter hvor sterk den er. Andre vindretninger gir ikke sterk vind.

Tabell 1.*Kronologisk liste over episoder med sterk vind ved Kåkern bru.*

År	Mnd	Dag	Time	$U_{11,max}(m/s)$	DD (°)	Sektor
1997	12	29	16	16.8	150	SØ
1998	1	1	11	20.6	140	SØ
1998	1	2	14	17.7	150	SØ
1998	1	10	12	17.7	140	SØ
1998	1	19	9	20.6	350	N
1998	1	20	12	20.6	170	S
1998	1	21	22	26.3	160	S
1998	3	8	14	16.0	150	SØ
1998	3	11	18	18.0	160	S
1998	3	13	8	24.9	140	SØ
1998	3	17	22	20.6	160	S
1998	3	19	24	21.1	330	NV
1998	3	25	24	19.2	170	S
1998	3	28	4	18.9	170	S
1998	9	28	10	18.6	140	SØ
1998	10	14	9	20.9	160	S
1998	10	23	8	17.9	150	SØ
1998	10	27	22	18.4	140	SØ
1998	11	9	17	16.8	160	S
1998	11	21	10	25.9	170	S
1998	11	25	12	18.0	160	S
1998	11	27	12	18.0	170	S
1998	11	30	1	17.1	160	S
1998	12	1	13	17.3	220	SV
1998	12	10	8	19.8	160	S
1998	12	14	19	18.9	170	S
1998	12	15	18	20.0	170	S
1998	12	26	22	17.7	170	S
1999	1	16	8	23.0	140	SØ
1999	1	17	22	17.0	160	S
1999	1	18	13	22.4	160	S
1999	1	30	12	22.8	160	S
1999	2	11	15	16.5	170	S
1999	2	13	18	14.8	240	SV
1999	2	15	13	16.8	150	SØ
1999	2	16	22	12.5	330	NV
1999	2	20	19	16.8	140	SØ
1999	2	26	7	17.3	150	SØ
1999	2	28	15	16.8	160	S
1999	3	16	4	24.7	160	S
1999	3	16	8	17.4	220	SV
1999	3	21	18	18.3	180	S
1999	4	17	6	21.2	160	S
1999	4	28	16	16.5	330	NV
1999	6	18	20	21.8	150	SØ
1999	6	22	8	17.1	340	NV

Tabell 2. Liste over episoder med sterk vind ved Kåkern bru, sortert etter fart innenfor sørlig og nordlig sektorgruppe.

År	Mnd	Dag	Time	$U_{lt,max}(m/s)$	DD (°)	Sektor
1998	1	21	22	26.3	160	S
1998	11	21	10	25.9	170	S
1998	3	13	8	24.9	140	SØ
1999	3	16	4	24.7	160	S
1999	1	16	8	23.0	140	SØ
1999	1	30	12	22.8	160	S
1999	1	18	13	22.4	160	S
1999	6	18	20	21.8	150	SØ
1999	4	17	6	21.2	160	S
1998	10	14	9	20.9	160	S
1998	1	1	11	20.6	140	SØ
1998	3	17	22	20.6	160	S
1998	1	20	12	20.6	170	S
1998	12	15	18	20.0	170	S
1998	12	10	8	19.8	160	S
1998	3	25	24	19.2	170	S
1998	3	28	4	18.9	170	S
1998	12	14	19	18.9	170	S
1998	9	28	10	18.6	140	SØ
1998	10	27	22	18.4	140	SØ
1999	3	21	18	18.3	180	S
1998	3	11	18	18.0	160	S
1998	11	25	12	18.0	160	S
1998	11	27	12	18.0	170	S
1998	10	23	8	17.9	150	SØ
1998	1	10	12	17.7	140	SØ
1998	1	2	14	17.7	150	SØ
1998	12	26	22	17.7	170	S
1999	2	26	7	17.3	150	SØ
1998	11	30	1	17.1	160	S
1999	1	17	22	17.0	160	S
1999	2	20	19	16.8	140	SØ
1997	12	29	16	16.8	150	SØ
1999	2	15	13	16.8	150	SØ
1998	11	9	17	16.8	160	S
1999	2	28	15	16.8	160	S
1999	2	11	15	16.5	170	S
1998	3	8	14	16.0	150	SØ
1999	3	16	8	17.4	220	SV
1998	12	1	13	17.3	220	SV
1999	2	13	18	14.8	240	SV
1998	3	19	24	21.1	330	NV
1998	1	19	9	20.6	350	N
1999	6	22	8	17.1	340	NV
1999	4	28	16	16.5	330	NV
1999	2	16	22	12.5	330	NV

3.3 Referansestasjoner

Data fra Leknes lufthavn ble benyttet ved vurderingen av vindforholdene på Kåkern i en tidligere rapport (1). Leknes ble benyttet fordi stasjonen ligger nær Kåkern. For Leknes er det imidlertid ikke kontinuerlige målinger gjennom perioden med data fra Kåkern, og data foreligger kun på registreringspapir. Bodø er en mer velegnet referansestasjon som har hatt kontinuerlige målinger i prosjektperioden. For Bodø har vi en datarekke fra 1953/54 til 1994/95. Denne er også forlenget til 1997/98 uten at resultatet er endret. Bodø ligger et stykke unna Kåkern, men dette spiller mindre rolle når det finnes samtidige data over en periode på 1 til 2 år. For tidsrommet som dekker prosjektperioden har Bodø følgende data for hver time: 10 min middelvind, maksimalverdi for 10 min middelvind, samt høyeste 3 sek vindkast, alt med tilhørende retning, alle data er elektronisk avsøkt og sendt til databasen ved DNMI.

Vindmåleren ligger åpent til i 10 m høyde på Bodø flyplass: Plassen er godt eksponert for sørøstlig vind, dog er denne vinden ofte dreiet øst på grunn av fjorden. Ulempen er at Bodø er at vindfelt omkring 160 – 180° blir noe hindret av fjellmassivene sør for fjorden, i regelen er slik vind noe dempet og dreiet øst til sørøst. Vind fra sørsørvest til nordvest kommer fritt inn, mens det er tydelig skjerming for vind fra nord til nordøst.

Sammenligningen mot Bodø er først gjort ved å lese av vindretningen i Bodø ved alle episodene med sterk vind fra Kåkern. Sammenligningen viser at når vinden kommer i 140-180° ved Kåkern, er vinden i Bodø østlig til sørsørvestlig (Ø-SSV; 090 – 210°). Når det sporadisk er sterk vind omkring sørvest på Kåkern (220 – 240°), er vinden i Bodø fra samme sektor. Når vinden kommer fra nordnordvest – nord (330 – 360°) på Kåkern, kommer den fra nordvest – nord i Bodø (NV-N; 300 – 360°). Ut fra denne sammenligningen ser vi at det er vanskelig å skille sør og sørøstvind. Vindfelt omkring sørsørvest kan gi forskjellig utslag på begge stasjoner.

Selve analysen gjøres derfor best ved å sortere på maksimalvind uavhengig av retning. Datautplukket fra Bodø gjøres som på Kåkern, men her tas høyeste 10 min middelvind ut i stedet. Ved sammenligningen fjernes alle observasjoner som ikke finnes på begge stasjoner. Selve sorteringen må gjøres uavhengig for hver stasjon fordi avstanden gjør at forskjellige stormer kan variere i intensitet mellom de to stedene.

På Skrova fyr finnes det instrumentelle data som dekker hele prosjektperioden, men som bare har en historisk rekke på ca. 4 år. Stasjonen kan derfor ikke brukes som referansestasjon. Skrova er ikke godt eksponert fra sørøst fordi det da blåser på tvers av en smalere fjord. Vinden dreier lett østnordøst og sørsørvest. Stasjonen er likevel nyttig som kontrollstasjon for beregninger mot Bodø.

Den beste referansestasjonen ville helt klart ha vært Røst, men perioden med representative data derfra er ikke lang nok. Dessverre var den gamle værstasjonen av observasjonsmessige årsaker plassert inne i en vik mellom knauser og hus, slik at den ikke har god lokaleksponering. I mai 1998 ble den flyttet til et meget godt representativt område i nærheten av flyplassen, og data samles inn automatisk etter omtrent samme prinsipp som Bodø,

målehøyden er 10 m. På selve flyplassen finnes det også målinger, datarekken går tilbake til 1986. Fra mars 1998 innsamles data kontinuerlig etter samme prinsipp. Måleren står i 6 m høyde inne på selve plassen.

Tabell 3.

Kronologisk liste over episoder med sterk vind på Bodø lufthavn.

Ar	Mnd	Dag	Time	U _{10min,max} (m/s)	U _{3s} (m/s)	DD (°)	Sektor
1998	1	2	3	17.6	22.4	110	Ø
1998	1	10	4	17.1	22.2	100	Ø
1998	1	19	20	14.1	19.0	320	NV
1998	1	22	9	17.8	24.2	220	SV
1998	1	22	19	18.4	24.0	260	V
1998	3	8	23	16.4	20.0	300	NV
1998	3	11	10	18.3	22.8	100	Ø
1998	3	16	4	21.3	25.6	260	V
1998	3	19	13	24.7	29.4	270	V
1998	3	19	23	17.8	22.2	310	NV
1998	3	20	2	13.9	19.2	320	NV
1998	3	27	1	16.1	22.4	140	SØ
1998	5	19	14	14.6	18.0	310	NV
1998	8	18	1	16.4	21.6	110	Ø
1998	9	20	22	17.9	29.0	230	SV
1998	9	23	17	16.4	21.2	290	V
1998	10	9	0	15.2	19.2	280	V
1998	10	24	8	17.2	24.0	250	V
1998	10	25	14	17.8	23.1	110	Ø
1998	10	26	7	17.6	24.6	110	Ø
1998	11	9	21	16.2	20.4	90	Ø
1998	11	22	17	16.9	22.6	220	SV
1998	12	1	11	23.7	31.9	230	SV
1998	12	1	14	21.3	31.0	250	V
1998	12	15	6	19.2	24.2	210	SV
1998	12	16	4	18.6	24.6	280	V
1998	12	17	22	20.3	27.2	230	SV
1998	12	23	19	16.5	21.0	100	Ø
1998	12	25	11	19.8	24.6	110	Ø
1999	1	16	7	21.8	27.4	110	Ø
1999	1	18	14	16.2	21.6	220	SV
1999	1	24	2	18.4	24.0	100	Ø
1999	2	4	9	16.2	21.6	110	Ø
1999	2	14	3	22.9	28.8	220	SV
1999	2	19	12	18.6	23.8	100	Ø
1999	2	28	15	16.9	21.6	110	Ø
1999	3	16	6	18.5	24.2	220	SV
1999	4	15	6	16.7	22.0	100	Ø
1999	8	24	18	17.4	23.1	230	SV

Tabell 4.

Liste over episoder med sterk vind fra Bodø lufthavn, sortert etter vindfart.

År	Mnd	Dag	Time	U _{10min,max} (m/s)	U _{3s} (m/s)	DD (°)	Sektor
1998	3	19	13	24.7	29.4	270	V
1998	12	1	11	23.7	31.9	230	SV
1999	2	14	3	22.9	28.8	220	SV
1999	1	16	7	21.8	27.4	110	Ø
1998	3	16	4	21.3	25.6	260	V
1998	12	17	22	20.3	27.2	230	SV
1998	12	25	11	19.8	24.6	110	Ø
1998	12	15	6	19.2	24.2	210	SV
1998	12	16	4	18.6	24.6	280	V
1999	2	19	12	18.6	23.8	100	Ø
1999	3	16	6	18.5	24.2	220	SV
1998	1	22	19	18.4	24.0	260	V
1999	1	24	2	18.4	24.0	100	Ø
1998	3	11	10	18.3	22.8	100	Ø
1998	9	20	22	17.9	29.0	230	SV
1998	1	22	9	17.8	24.2	220	SV
1998	3	19	23	17.8	22.2	310	NV
1998	10	25	14	17.8	23.1	110	Ø
1998	1	2	3	17.6	22.4	110	Ø
1998	10	26	7	17.6	24.6	110	Ø
1999	8	24	18	17.4	23.1	230	SV
1998	10	24	8	17.2	24.0	250	V
1998	1	10	4	17.1	22.2	100	Ø
1998	11	22	17	16.9	22.6	220	SV
1999	2	28	15	16.9	21.6	110	Ø
1999	4	15	6	16.7	22.0	100	Ø
1998	12	23	19	16.5	21.0	100	Ø
1998	3	8	23	16.4	20.0	300	NV
1998	8	18	1	16.4	21.6	110	Ø
1998	9	23	17	16.4	21.2	290	V
1998	11	9	21	16.2	20.4	90	Ø
1999	1	18	14	16.2	21.6	220	SV
1999	2	4	9	16.2	21.6	110	Ø
1998	3	27	1	16.1	22.4	140	SØ
1998	10	9	0	15.2	19.2	280	V
1999	1	30	12	15.2	20.0	220	SV
1998	5	19	14	14.6	18.0	310	NV
1998	1	19	20	14.1	19.0	320	NV
1998	3	20	2	13.9	19.2	320	NV

Tabell 5.

Liste over episoder med sterk vind fra Skrova fyr, sortert etter vindfart.

År	Mnd	Dag	Time	$U_{10min,max}(m/s)$	$U_{3s}(m/s)$	DD (°)	Sektor
1999	2	14	8	25.3	31.6	193	S
1998	12	1	14	24.7	32.9	262	V
1999	3	16	6	23.4	30.8	190	S
1998	12	1	9	22.9	29.6	193	S
1998	12	14	2	22.3	28.3	188	S
1998	1	22	5	21.9	28.1	198	S
1998	11	21	15	21.2	27.2	192	S
1998	3	16	23	20.5	25.4	191	S
1999	2	4	22	20.4	27.1	66	NØ
1998	3	12	2	20.3	23.1	222	SV
1998	10	30	17	20.2	27.6	69	Ø
1999	4	16	17	19.4	24.8	191	S
1999	1	30	15	19.3	23.4	192	S
1998	12	7	10	19.2	23.5	192	S

Tabell 6.

Liste over episoder med sterk vind fra Røst værstasjon, sortert etter vindfart.

År	Mnd	Dag	Time	$U_{10min,max}(m/s)$	$U_{3s}(m/s)$	DD (°)	Sektor
1998	12	1	14	22.5	29.6	256	V
1999	3	16	4	21.5	27.9	189	S
1999	2	14	5	21.3	28.8	215	SV
1998	12	20	16	20.4	26.3	358	N
1999	1	30	13	19.6	25.5	197	S
1998	11	30	21	18.5	24.9	214	SV
1998	12	17	21	18.0	23.1	237	SV
1999	2	15	19	18.0	22.7	236	SV
1998	11	21	8	17.9	23.6	189	S
1999	3	16	9	17.7	20.6	232	SV
1998	12	16	3	17.4	21.7	291	V
1999	1	16	10	17.2	21.5	158	S
1999	2	16	6	16.8	21.4	350	N
1998	12	4	9	16.7	23.0	326	NV

Tabell 7.

Liste over episoder med sterk vind fra Røst lufthavn(6m), sortert etter vindfart.

År	Mnd	Dag	Time	$U_{10min,max}(m/s)$	$U_{3s}(m/s)$	DD (°)	Sektor
1998	12	1	12	26.6	33.8	258	V
1999	2	14	8	22.9	30.0	220	SV
1999	3	16	3	22.8	29.6	195	S
1998	12	20	15	21.2	27.6	27	NØ
1998	12	16	3	19.9	26.0	303	NV
1998	11	30	21	19.8	28.6	217	SV
1998	11	21	8	19.7	26.5	192	S
1998	12	17	20	18.6	26.6	248	V
1999	1	18	12	18.2	23.6	207	SV
1998	12	4	9	17.9	23.8	346	N
1999	1	16	7	17.9	22.1	154	SØ
1999	3	30	21	17.4	21.7	215	SV
1999	6	18	19	17.4	23.3	200	S
1998	5	19	10	17.1	21.0	354	N
1999	1	30	13	17.0	22.1	241	SV
1998	12	13	22	16.8	23.6	228	SV
1998	10	14	5	16.7	22.3	179	S
1998	10	26	0	16.6	21.3	106	Ø
1998	12	7	2	16.6	22.0	196	S
1998	10	24	6	16.4	20.5	245	V
1999	2	5	3	16.3	19.4	59	NØ
1998	12	10	8	16.2	22.3	206	SV

Skrova fyr, Røst og Røst lufthavn har alle nok data til å etablere innbyrdes overføringskoeffisienter og koeffisienter mot Kåkern og Bodø. På Røst gir sammenligning mellom de to målerne god kvalitetskontroll, og stedets åpne karakter gjør det mulig å vurdere om resultatet er rimelig. Dette skyldes at vi kjenner ekstremvindforholdene på fritt hav i dette området gjennom analyser av værkart for perioden 1955-97. Ved beregning av ekstremvind for Skrova og Røst følges samme prosedyre som for Kåkern.

Tabell 8.

Overføringskoeffisient fra Kåkern til Bodø (K/B), Skrova (K/S),
Røst lufthavn, 6m (K/R1) og Røst værstasjon, 10m (K/R10)

	Kåkern*	K/B	K/S	K/R6	K/R10
1	26.3	1.07	1.04	1.15	0.97
2	25.9	1.08	1.04	1.15	1.02
3	24.9	1.08	1.05	1.13	1.02
4	24.7	1.09	1.06	1.12	1.03
5	23.0	1.09	1.05	1.13	1.05
6	22.8	1.10	1.05	1.14	1.05
7	22.4	1.10	1.05	1.14	1.06
8	21.8	1.10	1.05	1.14	1.06
9	21.2	1.11	1.05	1.14	1.07
10	20.9	1.11	1.05	1.14	1.07
11	20.6	1.11	1.05	1.14	1.07
12	20.6	1.11	1.05	1.13	1.07
13	20.6	1.11	1.05	1.13	1.07
14	20.0	1.11	1.05	1.13	1.07
15	19.8	1.12			1.07
16	19.2	1.12			1.07
17	18.9	1.12			1.07
18	18.9	1.11			1.07
19	18.6	1.11			1.07
20	18.4	1.11			1.07
21	18.3	1.11			1.07
22	18.0	1.11			1.06
23	18.0	1.11			
24	18.0	1.10			
25	17.9	1.10			
26	17.7	1.10			
27	17.7	1.10			
28	17.7	1.10			
29	17.4	1.10			
30	17.3	1.10			

For Bodø har vi beregnet 31.8 m/s som 50 - års verdi av 10 min. middelvind basert på 42 år med data. 50 - årsverdiene på Skrova og Røst (10m) kan beregnes til 33.3 m/s og 34.0 m/s, utfra sammenligningen mot Bodø. Basert på et arbeid som for tiden utføres for Norsk standard er havverdiene for Røstområdet 39.4 m/s, basert på analyserte værkart fra 1955-1997. Omregnet til landruhet typisk for en flyplass blir dette 30.7 m/s. Røst er helt flat, men med kort vei til sjøen. Verdien på 34 m/s antyder at effektiv ruhet ligger mellom sjø og land, hvilket synes meget fornuftig. Vi kan anslå verdien til å ligge på 33 – 35 m/s, hvilket tilsier at

estimatet har en usikkerhet på ca. 3%. Bodøverdien ligger litt høyere enn landruhet skulle tilsa, hvilket kan forklares med at vind ved SV - V ikke er fullt ut modifisert før den når vindmåleren, og styrker troen på resultatet vårt. De gode resultatene for Skrova og Røst styrker tilliten til Bodø som referansestasjon. Fra Bodø til Kåkern får vi en stabilisert overføringskoeffisient etter ca. 30 episoder på 1.10, men den varierer ikke meget om episodeantallet endres. Med overføringskoeffisient på 1.10 får vi 35.0 m/s som 1 times ekstremvind på Kåkern.

Innbyrdes overføringskoeffisient fra Røst flyplass (6m) til måleren i 10 m høyde utenfor flyplassen er 1.07. Dette svarer til det som kan ventes utfra potensformelen ved ruhet 0.01 m ($n=0.135$) og gir god indikasjon på riktige vindmålere. Samme type brukes i Bodø og på Skrova.

For Bodø, Røst (10m) og Skrova ligger det nå inne elektroniske data for 22 mnd eller mer. Ved å ta alle verdier av maksimal 10 min middelvind over 20 m/s og dividere på tilsvarende timesmiddel får vi 1.09, 1.10 og 1.11. Dette antyder at 1.10 kan benyttes som et meget sikkert estimat for overgangskoeffisient fra maksimal timesverdi til maksimal 10 min verdi i dette området, dersom topografien ikke tilsier grov turbulens. Inspeksjon av Woeffle-registreringen viser at vinden er jevn når den er sterk, hvilket gjør omregningskoeffisient på 1.10 rimelig sikker å bruke. $31.8 * 1.10 * 1.10 = 38.5$ m/s som ekstremverdi for 10 min middelvind.

Målingene er gjort 6 m over bakken på kanten av et platå med bratt skråning ned mot fjorden i hele sektoren fra sørøst gjennom sør og vest til nord. Ventelig er vinden litt forsterket i forhold til 36 m nivået ute i Isendingen, men for sørøst til øst og nordvest til nord er vindfeltet strammet til gjennom selve Kåkernsundet. Dersom disse 2 effektene er like er målingene representative for 36 m nivået i fjorden. Ved eksponent 0.13 i potensformelen (se appendiks) får vi da 35.9 m/s i 36 m nivået. Ut fra vurdering fra data for Leknes (1) fikk vi 37.9 m/s 23 m over fjorden. Forskjellen mellom disse verdiene er 5%. Det er ikke usannsynlig at vindfeltet ved sørøst til sør og nordvest til nord strammes ennå mer til ute på fjorden enn der målemasta står, og at den ekstra tilstramningen kan være på 5%. En foreslår derfor verdier som ligger nær opp til 38 m/s i bruhøyde.

Øvrige usikkerhetskilder, slik som usikkerheter ved kalibrering av vindmålerne, usikkerheter ved ekstremvindanalysen i Bodø, usikkerheter ved overføringskoeffisientene, usikkerhet ved omregning fra 1t til 10 min er allerede diskutert og ser ut til å bidra mindre.

For mer skjermede retninger (NØ, Ø og V) er variabiliteten stor og anslagene blir usikre. Her har en derfor holdt seg på en konservativ linje. Overføringskoeffisientene er dels vurdert utfra terrenget, men er alltid valgt slik at de ikke er i konflikt med målingene, dvs. det er ikke forekommet høyere vindverdier i registreringsperioden enn det som forholdet til sørlig - sørøstlig sektor tilsier. For disse sektorene er det dessuten en sterk skjerming ned mot selve fjorden. Omregningstallet fra vindmåleren til 10 m nivå svarer nå til ruhetsforhold for en sjøflate for SØ, S, NV og NV, litt fjorbreddinnvirkning på SV, og betydelig skjerming fra land for NØ, Ø og V.

I tabell 9 er angitt 50 – års ekstremverdi for Bodø og overføringskoeffisient til Kåkern vindmåler (1t), overgang til maksimal 10 min middelvind, og overgang til 10 m over fjorden. Igjen er eksponentene og turbulensforholdene usikre for vind på tvers av fjorden, men den antydningen som Woeffle-måleren gir er benyttet: Dess tykkere og mer skiftende spor, dess høyere turbulens, dess større høydevariasjon. Dess mer turbulens, dess lavere middelvind. Men samtidig går relative kastverdier opp, og omregningstallene mot kortere midlingstider blir høyere. Ved sørvestlig vind er det et lite avvik her, idet slik vind må antas å ha mindre høydevariasjon enn turbulensen tilsier. Dette skyldes at turbulensen er generert av fjellene, og at vinden det siste stykket inn mot brua jevnes noe til ved strømming langs fjorden.

Tabell 9.

Beregningsskjema til bruk for av ekstremvindforhold og turbulensparametre for Kåkernbrua.

$U_{10min,Bodø}$ [m/s], 50 år	31.8							
	N	NØ	Ø	SØ	S	SV	V	NV
Overføringsfakt., Bodø - Kåkern (1t, 36 moh)	0.84	0.50	0.40	1.10	1.10	0.71	0.50	0.84
Omregning 1t - 10min	1.10	1.20	1.25	1.10	1.10	1.20	1.20	1.10
Omregning vindmåler - 10 m ved bru	0.89	0.60	0.60	0.89	0.89	0.89	0.60	0.85
U_{10min} [m/s], 50 år, 10m	26.2	11.4	9.5	34.2	34.2	24.1	11.4	25.0
$N(U_{10min})$	0.13	0.30	0.30	0.13	0.13	0.15	0.30	0.13
Gf_{3-5s} (10m)	1.4	2.0	2.5	1.4	1.4	2.0	2.5	1.4

Tabell 10a.

Ekstremvindforhold og turbulensparametre ved vindretning fra nord.

N	U_{10min} [m/s]			U_{1min} [m/s]			U_{3-5s} [m/s]			Turbulensparametre		
	10 år	50 år	100 år	10 år	50 år	100 år	10 år	50 år	100 år	I_u	Gf_{3-5s}	Gf_{1min}
10	23.6	26.2	27.1	27.9	31.0	32.1	33.0	36.6	38.0	0.16	1.40	1.18
20	25.8	28.6	29.7	30.1	33.4	34.7	35.2	39.1	40.6	0.15	1.37	1.17
23	26.3	29.1	30.2	30.6	34.0	35.2	35.7	39.6	41.1	0.14	1.36	1.17
30	27.2	30.2	31.3	31.5	35.0	36.3	36.6	40.6	42.2	0.14	1.35	1.16
40	28.2	31.3	32.5	32.6	36.1	37.5	37.6	41.8	43.4	0.13	1.33	1.15
n	0.13	0.13	0.13	0.11	0.11	0.11	0.10	0.10	0.10	0.13		

Tabell 10b.

Ekstremvindforhold og turbulensparametre ved vindretning fra nordøst.

NØ	U_{10min} [m/s]			U_{1min} [m/s]			U_{3-5s} [m/s]			Turbulensparametre		
	10 år	50 år	100 år	10 år	50 år	100 år	10 år	50 år	100 år	I_u	Gf_{3-5s}	Gf_{1min}
10	10.3	11.4	11.9	15.1	16.7	17.3	20.6	22.9	23.8	0.40	2.00	1.46
20	12.7	14.1	14.6	17.4	19.4	20.1	23.0	25.5	26.5	0.32	1.81	1.37
23	13.2	14.7	15.3	18.0	20.0	20.7	23.6	26.1	27.1	0.31	1.78	1.36
30	14.3	15.9	16.5	19.1	21.2	22.0	24.7	27.4	28.4	0.29	1.72	1.33
40	15.6	17.4	18.0	20.4	22.6	23.5	25.9	28.8	29.9	0.26	1.66	1.30
n	0.30	0.30	0.30	0.22	0.22	0.22	0.17	0.17	0.17	0.30		

Tabell 10c.*Ekstremvindforhold og turbulensparametre ved vindretning fra øst.*

Ø	U _{10min} [m/s]			U _{1min} [m/s]			U _{3-5s} [m/s]			Turbulensparametre		
	10 år	50 år	100 år	10 år	50 år	100 år	10 år	50 år	100 år	I _u	Gf _{3-5s}	Gf _{1min}
z [m]												
10	8.6	9.5	9.9	14.5	16.1	16.7	21.5	23.9	24.8	0.60	2.50	1.69
20	10.6	11.7	12.2	16.5	18.3	19.0	23.5	26.1	27.0	0.49	2.22	1.56
23	11.0	12.2	12.7	17.0	18.8	19.5	23.9	26.6	27.6	0.47	2.17	1.54
30	12.0	13.3	13.8	17.9	19.8	20.6	24.8	27.6	28.6	0.43	2.08	1.50
40	13.0	14.5	15.0	19.0	21.0	21.8	25.9	28.8	29.9	0.40	1.99	1.46
n	0.30	0.30	0.30	0.19	0.19	0.19	0.14	0.14	0.14	0.30		

Tabell 10d.*Ekstremvindforhold og turbulensparametre ved vindretning fra sør og sørøst.*

S+SØ	U _{10min} [m/s]			U _{1min} [m/s]			U _{3-5s} [m/s]			Turbulensparametre		
	10 år	50 år	100 år	10 år	50 år	100 år	10 år	50 år	100 år	I _u	Gf _{3-5s}	Gf _{1min}
z [m]												
10	30.9	34.2	35.5	36.5	40.5	42.1	43.2	47.9	49.8	0.16	1.40	1.18
20	33.8	37.5	38.9	39.4	43.8	45.4	46.1	51.2	53.1	0.15	1.37	1.17
23	34.4	38.2	39.6	40.1	44.5	46.2	46.7	51.9	53.8	0.14	1.36	1.17
30	35.6	39.5	41.0	41.3	45.8	47.5	47.9	53.2	55.2	0.14	1.35	1.16
40	36.9	41.0	42.6	42.6	47.3	49.1	49.3	54.7	56.8	0.13	1.33	1.15
n	0.13	0.13	0.13	0.11	0.11	0.11	0.10	0.10	0.10	0.13		

Tabell 10e.*Ekstremvindforhold og turbulensparametre ved vindretning fra sørvest.*

SV	U _{10min} [m/s]			U _{1min} [m/s]			U _{3-5s} [m/s]			Turbulensparametre		
	10 år	50 år	100 år	10 år	50 år	100 år	10 år	50 år	100 år	I _u	Gf _{3-5s}	Gf _{1min}
z [m]												
10	21.7	24.1	25.0	31.7	35.2	36.5	43.5	48.2	50.1	0.40	2.00	1.46
20	24.1	26.8	27.8	34.1	37.8	39.3	45.8	50.9	52.8	0.36	1.90	1.41
23	24.6	27.3	28.4	34.6	38.4	39.9	46.3	51.4	53.4	0.35	1.88	1.41
30	25.6	28.4	29.5	35.6	39.5	41.0	47.3	52.5	54.5	0.34	1.85	1.39
40	26.7	29.7	30.8	36.7	40.8	42.3	48.5	53.8	55.8	0.32	1.81	1.37
n	0.15	0.15	0.15	0.11	0.11	0.11	0.08	0.08	0.08	0.15		

Tabell 10f.*Ekstremvindforhold og turbulensparametre ved vindretning fra vest.*

V	U _{10min} [m/s]			U _{1min} [m/s]			U _{3-5s} [m/s]			Turbulensparametre		
	10 år	50 år	100 år	10 år	50 år	100 år	10 år	50 år	100 år	I _u	Gf _{3-5s}	Gf _{1min}
z [m]												
10	10.3	11.4	11.9	17.4	19.3	20.1	25.8	28.6	29.7	0.60	2.50	1.69
20	12.7	14.1	14.6	19.8	22.0	22.8	28.2	31.3	32.5	0.49	2.22	1.56
23	13.2	14.7	15.3	20.4	22.6	23.5	28.7	31.9	33.1	0.47	2.17	1.54
30	14.3	15.9	16.5	21.5	23.8	24.7	29.8	33.1	34.3	0.43	2.08	1.50
40	15.6	17.4	18.0	22.8	25.3	26.2	31.1	34.5	35.8	0.40	1.99	1.46
n	0.30	0.30	0.30	0.19	0.19	0.19	0.14	0.14	0.14	0.30		

Tabell 10g.*Ekstremvindforhold og turbulensparametre ved vindretning fra nordvest*

NV	U _{10min} [m/s]			U _{1min} [m/s]			U _{3-5s} [m/s]			Turbulensparametre		
	10 år	50 år	100 år	10 år	50 år	100 år	10 år	50 år	100 år	I _u	Gf _{3-5s}	Gf _{1min}
10	22.5	25.0	25.9	26.6	29.6	30.7	31.5	35.0	36.3	0.16	1.40	1.18
20	24.6	27.3	28.4	28.8	31.9	33.1	33.6	37.3	38.7	0.15	1.37	1.17
23	25.1	27.8	28.9	29.2	32.4	33.7	34.1	37.8	39.3	0.14	1.36	1.17
30	26.0	28.8	29.9	30.1	33.4	34.7	35.0	38.8	40.3	0.14	1.35	1.16
40	26.9	29.9	31.0	31.1	34.5	35.8	35.9	39.9	41.4	0.13	1.33	1.15
n	0.13	0.13	0.13	0.11	0.11	0.11	0.10	0.10	0.10	0.13		

Tabell 11.*Ekstremvindforhold og turbulensparametre i 10 m og 23 m høyde ved Kåkern bru.*

	N	NØ	Ø	SØ	S	SV	V	NV
U _{10min} [m/s], 10 år, 10m	23.6	10.3	8.6	30.9	30.9	21.7	10.3	22.5
U _{10min} [m/s], 50 år, 10m	26.2	11.4	9.5	34.2	34.2	24.1	11.4	25.0
U _{10min} [m/s], 100 år, 10m	27.1	11.9	9.9	35.5	35.5	25.0	11.9	25.9
U _{3-5s} [m/s], 10 år, 10m	33.0	20.6	21.5	43.2	43.2	43.5	25.8	31.5
U _{3-5s} [m/s], 50 år, 10m	36.6	22.9	23.9	47.9	47.9	48.2	28.6	35.0
U _{3-5s} [m/s], 100 år, 10m	38.0	23.8	24.8	49.8	49.8	50.1	29.7	36.3
I _u	0.16	0.40	0.60	0.16	0.16	0.40	0.60	0.16
U _{10min} [m/s], 10 år, 23m	26.3	13.2	11.0	34.4	34.4	24.6	13.2	25.1
U _{10min} [m/s], 50 år, 23m	29.1	14.7	12.2	38.2	38.2	27.3	14.7	27.8
U _{10min} [m/s], 100 år, 23m	30.2	15.3	12.7	39.6	39.6	28.4	15.3	28.9
U _{3-5s} [m/s], 10 år, 23m	35.7	23.6	23.9	46.7	46.7	46.3	28.7	34.1
U _{3-5s} [m/s], 50 år, 23m	39.6	26.1	26.6	51.9	51.9	51.4	31.9	37.8
U _{3-5s} [m/s], 100 år, 23m	41.1	27.1	27.6	53.8	53.8	53.4	33.1	39.3
I _u	0.14	0.31	0.47	0.14	0.14	0.35	0.47	0.14
n(U _{10min})	0.13	0.30	0.30	0.13	0.13	0.15	0.30	0.13
n(U _{3-5s})	0.10	0.17	0.14	0.10	0.10	0.08	0.14	0.10

Vi legger merke til at den sterkeste vinden kommer fra sørøst og sør, men at den kraftige turbulensen som følger sørvestlig vind gjør at vindkastene fra sørvest også kan bli svært sterke. I (1) ble sørøstlig vind vurdert til å være turbulent. Målingene viser derimot at slik vind er jevn. Effekten fra Sundmannen har gitt en forsterkning av middelvinden ute ved brua, mens den antatt høye turbulensen nok ligger lenger øst.

5. Referanseliste

(1). Harstveit, K.:

Kåkern bru. Ekstreme vindforhold
Oppdragsrapport for Statens vegvesen.
DNMI KLIMA 41/94. Oslo, 1994.

(2). Harstveit, K.:

Raftundet bru - Lofast. Ekstreme vindforhold
Oppdragsrapport for Statens vegvesen.
DNMI KLIMA 09/94. Oslo, 1994.

(3). Harstveit, K.:

Sundøya bru. Ekstreme vindforhold
Oppdragsrapport for Statens vegvesen.
DNMI KLIMA 35/94. Oslo, 1994.

(4). Gumbel, E. J.:

Statistics of Extremes.
Columbia University Press, New York, 1958.

(5). Harstveit, K.:

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

(6). Harstveit, K.:

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

APPENDIKS

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 (5) og Hardangerbrua (6) 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:

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

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 høydeprofil 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.