

DNMI DET NORSKE METEOROLOGISKE INSTITUTT

# *klima*

**RAFTSUNDET BRU - LOFAST  
EKSTREME VINDFORHOLD**

**KNUT HARSTVEIT  
RAPPORT NR. 09/94 KLIMA**



# DNMI-RAPPORT

DET NORSKE METEOROLOGISKE INSTITUTT

POSTBOKS 43 BLINDERN 0313 OSLO 3

TELEFON: 22 96 30 00

ISBN

RAPPORT NR.

09/94 KLIMA

DATO

21.03.94

TITTEL

## RAFTSUNDET BRU - LOFAST EKSTREME VINDFORHOLD

UTARBEIDET AV

**Knut Harstveit**

OPPDRAGSGIVER

**Statens vegvesen - Nordland**

OPPDRAGSNR.

SAMMENDRAG

Data fra desember 1992 til mars 1993 av middelvindmålinger fra Gunnarbåten i Raftsundet er koblet mot langtidsdata fra Bodø lufthavn og Stokmarknes - Skagen.

Overføring til korttidsmidler er gjort ved inspeksjon av vindgrafene, befaring og intervjuer i Raftsundet, samt bruk av erfaring og målinger fra andre steder med tilsvarende vindforhold.

Det er gitt estimater for 10, 50 og 100 års verdier av 3-5 s vindkast og 10 min middelvind 10-50 m over vannflaten.

UNDERSKRIFT

*Knut Harstveit*  
.....

**Knut Harstveit**

SAKSBEHANDLER

*Bjørn Aune*  
.....

**Bjørn Aune**

FAGSJEF

## SAMMENDRAG

Vindmålinger fra Gunnarbåten i tiden desember 1992 - mars 1993, samt data fra referansestasjonene Bodø lufthavn og Stokmarknes lufthavn - Skagen er benyttet. Målingene fra Gunnarbåten gir grunnlag for lokal vindretningsrespons på storstilte vindfelt. Dessuten fåes 1t midler av vindhastighet, og en viss idé om turbulensforholdene. Målestedet for Gunnarbåten representerer forholdene ute i sundet ved brutraseen. Svakheten ved målingene er at en er henvist til generelle metoder for å regne om 1t midler til kortidsmidler, en operasjon som medfører en del usikkerhet i resultatene.

Bodø lufthavn er valgt som referansestasjon sør for området. Dens styrke er dens lange datarekke gode datakvalitet og den frie eksponering mot SV-NV, den svakhete er dens lange avstand til Raftsundet. Skagen er benyttet som referansestasjon nord for Raftsundet. Avstanden til Skagen er kort, men datakvaliteten er noe vekslende på grunn av brudd i serien og datarekken er kortere. Dessuten er det større lokal innflytelse fra fjellene ved vindfelt fra SV og NV. Alt i alt vurderes de 2 referansestasjonene likt, og resultatet som fåes ved sammenligning mot hver av stasjonene midles til slutt.

Resultatene viser at det er en del avvik mellom lokalvinden på stedet og det storstilte vindfeltet. Den sterkeste middelvinden på stedet kommer ved vindfelt fra sørvest. Lokalt vris denne ned i fjorden i form av en sør til sørøstlig vind. Ved Gunnarbåten er denne jevn og relativt lite turbulent. Ved vindfelt fra vest kommer vinden i kast mot Gunnarbåten. Lokal vindretning kan da skifte over hele kompassrosen. Turbulensen er svært høy. Det er vanskelig å estimere vindkastene nøyaktig ved denne vindretningen, men observasjoner av middelvinden og grafens gang sammenlignet med målinger fra tilsvarende terreng med samme middelvind og vindretningsforløp tyder på at kastene kan bli sterkere ved vind fra denne retningen enn ved den jevne vinden ved sørvestlige vindfelt.

Vedlagte tabell viser vindprofiler ved de 2 forskjellige vindregimene som kan gi ekstremt sterk vind ved Gunnarbåten. Her er U 10 min middelvind og Ug 3-5 s vindkast. Gf er kastfaktoren ( $Ug/U$ ) og Iu turbulensintensiteten i horisontalvindens retning. Vindverdiene er gitt med 10, 50 og 100 - års returperiode 10 - 50 m over sjøflaten. Tallene er vurdert som de mest sannsynlige estimater. Ønskes et konservativt anslag, anbefales 10% økning av samtlige vindverdier og 25% økning i Iu-verdiene.

Tabellen med vindfelt fra sørvest gjelder lokal vindretning fra sør til sørøst og må alltid benyttes ved vind inn mot brua på tvers av denne. Tabellen for vindfelt fra vest gjelder imidlertid alle vindretninger, og skal også benyttes for vind på tvers mot brua dersom verdiene er høyere ved bruk av denne tabellen. Dette gjelder feks. 3-5 s vindkast. Merk at turbulensintensitet og 10 min. middelvind er nøye koblet innen hver enkelt tabell og ikke skal krysskobles. I et slikt tilfelle er det den samlede last som først skal beregnes og deretter skal den største lastverdien fra de to tabellene brukes.

## Vindfelt fra sørvest (lokal vindretning fra sør og sørøst)

Z (m)	10-ÅRS VIND		50-ÅRS VIND		100-ÅRS VIND		Gf=	Iu=
	U (m/s)	Ug (m/s)	U (m/s)	Ug (m/s)	U (m/s)	Ug (m/s)	Ug/U	(Gf-1)/2.6
10	26.6	39.9	30.0	45.0	31.4	47.2	1.50	0.19
20	30.1	42.7	34.0	48.2	35.6	50.5	1.42	0.16
30	32.4	44.5	36.6	50.2	38.3	52.6	1.37	0.14
40	34.1	45.8	38.5	51.7	40.4	54.2	1.34	0.13
50	35.5	46.8	40.1	52.9	42.0	55.4	1.32	0.12

## Vindfelt fra vest (lokal vindretning udefinert)

Z (m)	10-ÅRS VIND		50-ÅRS VIND		100-ÅRS VIND		Gf=	Iu=
	U (m/s)	Ug (m/s)	U (m/s)	Ug (m/s)	U (m/s)	Ug (m/s)	Ug/U	(Gf-1)/2.6
10	18.6	42.5	21.0	48.0	22.0	50.3	2.29	0.49
20	22.9	45.6	25.9	51.4	27.1	53.9	1.99	0.38
30	25.9	47.5	29.2	53.6	30.6	56.1	1.83	0.32
40	28.2	48.9	31.8	55.1	33.4	57.8	1.73	0.28
50	30.2	50.0	34.0	56.4	35.7	59.1	1.66	0.25

## 1. INNLEDNING

Bakgrunnen for denne rapporten er en forespørsel fra Statens Vegvesen, Vegdirektoratet. Man er der i gang med prosjektering av bru over Raftsundet som vil knytte forbindelse mellom Hinnøya og Austvågøya. Brua vil være en del av den framtidige vegutløsning til Lofoten.

## 2. STED OG TOPOGRAFI

Bruområdet ligger på grensen mellom Lofoten og Vesterålen i nordlige del av Nordland fylke. Området ligger i sørlige del av Hadsel kommune, ca. 15 km sørøst for kommunesenteret i Stokmarknes, og ca. 65 km sørvest for byen Harstad.

Området er en del av øysystemet Lofoten - Vesterålen - Hinnøya, et område preget av stup-bratte fjell, samt fjorder og daler som river opp landskapet. Det er lite av sammenhengende høyfjellsplatåer i området, men fjellene går opp i over 1000 moh.

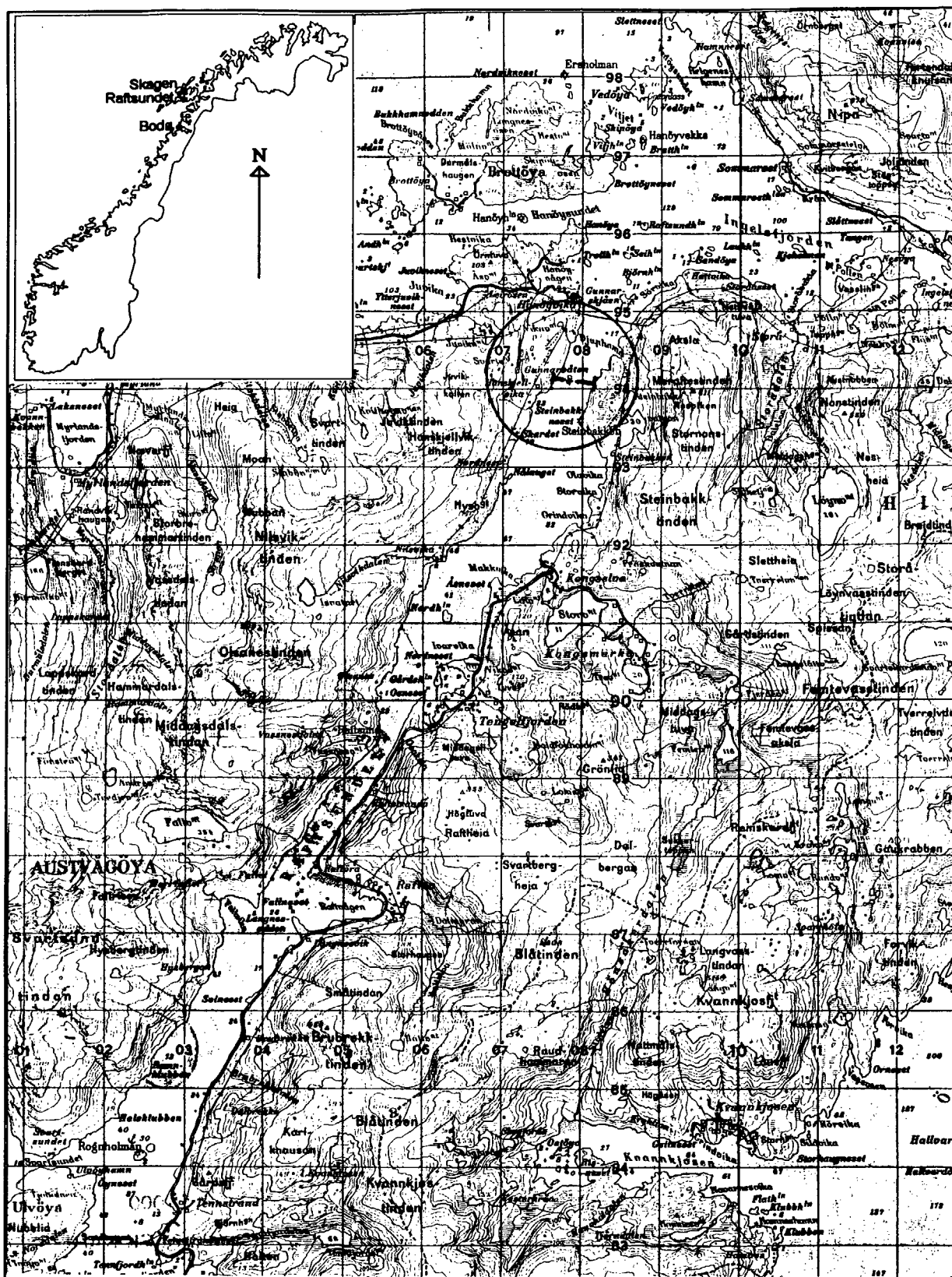
Store, åpne fjorder finnes vest til nord for området (Vesterålsfjorden med forlengelse til Hadsselfjorden), samt et stykke sør for området (Vestfjorden). Mellom disse fjordbassengene skjærer det av flere trange fjordarmer, som til dels er gjennomløpende. Raftsundet er en slik fjord. Den forbinder Vestfjorden og Hadsselfjorden og skiller Hinnøya og Austvågøya.

Raftsundet defineres her som sundet mellom Hanøyvika i nord og Ulvøya i sør. Sundet er 15 km langt og 500 m bredt. Mellom Raften og Tengelfjorden er sundet bare 250 m bredt, her går en kraftig tidevannstrøm. Denne delen av Raftsundet kalles ofte for Trangsundet. Trangsundet er 3 km langt.

Raftsundet er orientert sørvest - nordøst (210 - 030°). På vestsiden er fjellene svært bratte og skarpkantete. Svartsundtindan (1050 moh) ligger i sørvest, Middagstindan (936 moh) og Olsanetinden (999 moh) ligger vest for Trangsundet, og Nilsviktinden (838 moh) og Hanskjellviktinden (704 moh) ligger vest for nordlige del av sundet.

På østsiden er skråningen noe slakkere, og fjellene noe lavere (6-700 moh). Her finnes også små botndaler (Tengelfjorden, Raften, Tennfjorden).

Selve brua skal krysse Raftsundet i nordlige del, ca. 1.5 km sønnenfor munningen av sundet. Fjellpartiet fra Nilsviktinden til Hanskjellviktinden faller av som enden av en rygg over Juvikkollen (394 moh) ned mot Hanskjellvika/Juvika vest for brutrassèen.



**Figur 1.**  
 Kart over Raftsundet i målestokk 1 : 75.000. Plassering av Raftsundet, Bodø og Skagen på nasjonal skala.

Brua skal krysse Gunnarbåten, en liten holme ute i sundet. Sundet er 500 m bredt ved brutrassèen. Mot øst og østsørøst ligger en fjellrygg, Meraftestinden-Stembakktinden, 600 - 630 moh. Mot sør og sørsørøst ligger en botndal, eller egentlig 2 botndaler adskilt av en mindre rygg, Tengelfjorden og Kongsmarka.

Det er spredt bjørkeskog i nedre del av liene rundt fjorden. Bosetningen er svært spredt med sporadiske bolighus, naust og gårdsbruk.

### 3. VINDFORHOLDENE I OMRÅDET

#### 3.1 Oppsummering fra en befaring i området

Den 29.10.93 ble området besøkt i forbindelse med en generell undersøkelse om vindforholdene i Hadsel kommune. Raftsundet ble besøkt med båt inn fra Hadsselfjorden, forbi Gunnarbåten og inn til Tengelfjorden. Derfra ble det reist med bil gjennom Trangsundet til Raften og Langnesvik. Returen gikk samme vei tilbake.

På denne turen ble det intervjuet folk fra Trangsundet, Raften og Langnesvik. Generelt kom det fram at området er meget utsatt for sterke vindkast fra fjellet, som gjør nesten årvisse skader et eller annet sted i Raftsundet. Det er vanlig å forankre hus til fjell eller større steiner ved hjelp av wire eller kjettinger. Også særlig feste av huskonstruksjon til grunnmur er benyttet.

Vinteren 1992/93 hadde vært særlig stormfull. Det var rapportert om 8 større bygningsskader på strekningen Hanskjellvika - Langnesvik. Skadene oppstår vesentlig ved sørvestlig og vestlig vind på kysten. I sørlige del av Raftsundet kommer vinden ofte som SV eller V, men i skarpe kast. I Trangsundet suges derimot lufta inn mot fjellryggen på Austvågøya, i form av en østlig eller sørøstlig lokal vind. Kastene kan bli svært sterke. I Tengelfjorden synes slik vind å være dempet, her er forholdene verst ved nordvestlig vind på kysten.

Flere steder observeres det virvler i fjorden som suger opp vannsøyler som kan gå 50-100 m til værs.

Det ser ut til at det ikke er god nok gjennomløpning av fjordkanalen til at en jevn og sterk vind langs fjordens retning blir satt opp ved hovedvindretning langs fjordens retning. Årsaken er de bratte fjellsidene og den smale fjorden. Dette fører til betydelig sidefriksjon og sterk motstand mot luftbevegelsen.

Ved vind på tvers eller på skrå (SV-V-NV) slår derimot vinden ned som sterke vindkast med tildels sterk avbøyning i forhold til hovedfeltet. Områder med betydelig sug finnes langs hele Raftsundet i slike situasjoner.

Forholdene ved Gunnarbåten er studert ved hjelp av papirregistrering fra Woeffle vindvegskriver for perioden desember 1992 -februar 1993.

### 3.2 Bruk av data. Eksempler på vindepisoder

På den ca. 2 m høye holmen, Gunnarbåten, har det vært montert en 10 m høy vindmålemast.

Woeffle vindvegskriver består av et skålkorsanemometer og en værhanne. Skolkorsets tilbakelegte 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,  $\sigma_u$ , dividert på middelvindfarten,  $U$ .  $I_v$  er definert som standardavviket på tvers av middelvinden,  $\sigma_v$ , 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 Gunnarbåten og vindregistreringer fra flyplassene i Stokmarknes (Skagen) og Bodø tyder på at vindregistreringene på Gunnarbåten er korrekte. Materialet viser også at det er store lokale variasjoner for enkelte retninger. Tabell 1 - 4 viser hvorledes vinden blåser i Raftsundet ved sterke vindfelt.

Situasjonen i Tabell 1 er ganske typisk ved sørvestlige vindfelt. Vinden på flyplassene er da i området 200-230°. Ved Gunnarbåten blåser slik vind fra sørsørøst (150-180°, typisk 160°). Vinden kan bli sterk, men ser ikke ut til å være mer turbulent enn det som er vanlig i fjordstrøk. Under slike forhold ligger typisk turbulensintensitet,  $I_u$ , omkring 0.2. Vindretningen er den omtrent den samme, eller noe mindre østlig dreiet, som det som observeres lenger sør i Raftsundet, men der kommer den mer i kast.

Ved vindfelt fra vest (240-280°) kommer vinden svært ujevnt inn mot Gunnarbåten. Vindretningen skifter mye, men ved sterk vind omkring 270° er det en tendens til at vinden har lokal vindretning på SV eller V (se Tabell 2). Middelvinden er betydelig redusert i forhold til flyplassene. En må regne med at kastene på Gunnarbåten kan bli høye, og at turbulensintensiteten er svært høy. Ut fra tilsvarende forhold andre steder der målinger eksisterer, kan vi ha  $I_u = 0.5$ . Usikkerheten ved dette estimatet er stort.



Vindfelt fra nordvest til nord (290-360°) kommer fra nordvest til nordøst mot Gunnarbåten. Tabell 3 viser en situasjon som førte til en vindskade på handelslaget på kaia i Tengelfjorden. Denne skaden inntraff ca. kl. 01. Vindregistreringen på Gunnarbåten viser imidlertid at middelvindens fart er dempet til 2/3 av vindfarten på flyplassene. Turbulensintensiteten er høyere enn ved sørvestlige vindfelt, men ikke så høy som ved vestlig vind.  $I_u=0.3$  kan være et passende estimat. Fra kap. 3.3 har vi at vindkastene kan ha vært oppe i 20-25 m/s. Dette er betydelig mindre enn det som må ha vært i Tengelfjorden. Studier av kartet viser da også at nordvestlig vind kan skrus som en korketrekker mot Tengelfjorden, mens Gunnarbåten ligger utenfor en slik mulighet.

**Tabell 1**

*Timesverdier av vindhastighet og vindretning på Gunnarbåten i Raftsundet (G), Bodø (B) og Stokmarknes-Skagen (S) ved en episode med sørvestlig vindfelt. Vindregistrering på Gunnarbåten er vist på innfelt figur.*

KL.	U[m/s]			D(°)			Gunnarbåten Woeffle vindregistrering
	B	S	G	B	S	G	
05.01.93 04	17	15	17	220	220	170	
05.01.93 03	18	17	21	220	220	170	
05.01.93 02	16	20	19	210	220	160	
05.01.93 01	13	17	18	210	220	160	
05.01.93 00	14	18	17	210	220	160	
04.01.93 23	12	17	16	210	220	160	
04.01.93 22	10	19	16	200	220	160	
04.01.93 21	9	19	19	200	220	160	
04.01.93 20	x	16	18	x	210	160	

x: Ute av drift

**Tabell 2**

Timesverdier av vindhastighet og vindretning på Gunnarbåten i Raftsundet (G), Bodø (B) og Stokmarknes-Skagen (S) ved en episode med vestlig vindfelt. Vindregistrering på Gunnarbåten er vist på innfelt figur.

KL.	U[m/s]			D(°)			Gunnarbåten Woeffle vindregistrering
	B	S	G	B	S	G	
01.02.93 20	11	17	9	250	290	Vr. 060	
01.02.93 19	14	17	10	260	290	Vr. 070	
01.02.93 18	16	x	12	270	x	Vr. 060	
01.02.93 17	20	x	12	270	x	Vr.	
01.02.93 16	19	x	12	270	x	Vr.	
01.02.93 15	19	x	14	260	x	Vr. 240	
01.02.93 14	20	x	13	260	x	Vr. 240	
01.02.93 13	20	26	14	260	280	Vr. 260	
01.02.93 12	21	25	10	250	280	Vr. 270	
01.02.93 11	18	20	6	240	270	Vr.	
01.02.93 10	18	20	5	240	270	Vr.	
01.02.93 09	17	16	5	240	270	Vr.	
01.02.93 08	17	15	4	240	270	Vr.	
01.02.93 07	18	19	4	240	260	Vr.	
01.02.93 06	18	21	5	240	260	Vr.	

x: Ute av drift Vr.: Variabel vindretning

**Tabell 3**

Timesverdier av vindhastighet og vindretning på Gunnarbåten i Raftsundet (G), Bodø (B) og Stokmarknes-Skagen (S) ved en episode med nordvestlig vindfelt. Vindregistrering på Gunnarbåten er vist på innfelt figur.

KL.	U[m/s]			D(°)			Gunnarbåten Woeffle vindregistrering
	B	S	G	B	S	G	
17.01.93 03	11	11	7	310	310	340	
17.01.93 02	12	11	9	290	310	350	
17.01.93 01	13	14	12	300	310	330	
17.01.93 00	14	16	11	290	310	330	
16.01.93 23	16	17	12	290	310	330	
16.01.93 22	17	19	12	290	300	350	

**Tabell 4**

Timesverdier av vindhastighet og vindretning på Gunnarbåten i Raftsundet (G), Bodø (B) og Stokmarknes-Skagen (S) ved en episode med sørøstlig vindfelt. Vindregistrering på Gunnarbåten er vist på innfelt figur.

KL.	U[m/s]			D(°)			Gunnarbåten Woeffle vindregistrering
	B	S	G	B	S	G	
16.01.93 03	15	11	14	100	130	150	
16.01.93 02	13	11	14	120	120	140	
16.01.93 01	13	12	13	130	120	150	
16.01.93 00	14	11	10	130	120	140	
15.01.93 23	17	11	11	110	120	140	
15.01.93 22	20	9	11	110	120	150	
15.01.93 21	19	5	9	110	100	130	

Sterke vindfelt fra nordøst har ikke forekommet i måleperioden. Slike vindfelt er regionalt skjermet i området.

Ved vindfelt fra øst, sørøst og sør kommer vinden på Gunnarbåten også i sektoren sør til øst. Slik vind er mer turbulent her enn på flyplassene (Tabell 4), og er en del redusert i hastighet. Studier av grafen på Gunnarbåten alene kan ofte føre til problemer med å identifisere vindfeltet som et sørvestlig eller et sørøstlig felt. Sterke vindfelt fra sørøst er imidlertid noe mer dreiet sørøst (130-150° mot 150-180°) og gir samtidig mer turbulent vind på Gunnarbåten, enn sterke vindfelt fra sørvest. Figur 4 viser en slik situasjon, antatt turbulensintensitet er her 0.3. Middelhastigheten er noe lavere enn i Bodø og noe høyere enn på Skagen. Skagen ligger skjermet for denne vindsektoren.

### 3.3 Ekstremvindhøgninger

For å beregne ekstremverdier med korte midlingstider ut fra datarekken på Gunnarbåten i Raftsundet 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 (SV-felt), 1.15 (SØ-felt og NV-felt) og 1.3 (V-felt) 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. Dette samsvarer med et turbulensbilde som kommer fram på Gunnarbåten ved SV-felt (lokalvind 160°). 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 og Sandane lufthavn. Vi velger derfor 2.3 som omregningsfaktor når vindretningsbildet viser at retningsvariasjoner over hele kompassrosen forekommer.

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 (1). Vi får  $I_u(\text{SV}) = 0.19$ ,  $I_u(\text{SØ}, \text{NV}) = 0.29$ ,  $I_u(\text{V}) = 0.50$ .

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 Stokmarknes lufthavn - Skagen har begge utregnede 50-årsverdier for vindkast. Bodø har meget lang rekke, 1953-1993, men noe kortere rekke, 1969-92 for retningsinndelte årsektremer. På begge stasjoner er det avlest stormepisoder fra 1987-1993. Det eksisterer data fra 1971 på Skagen, men datarekken er ikke fullt ut kontinuerlig pga. helgestegninger av flyplassen. Dette har feks. vært et problem i jule- og nyttårshelgene, en tid med lang stengningstid, særlig i 70-årene, og mye vind. Vi har derfor valgt en metode der Skagen data er hektet på Bodø data, for derved å utnytte den lange rekken fra Bodø. Bruk av statistiske metoder har gitt 50-årsverdier av 3-5 s vindkast på 44 m/s for Bodø og 48.3 m/s for Skagen (2).

Bruk av Bodø som referansestasjon har altså fordel ved en lengre rekke. Selv om denne er innbakt i rekken for Skagen, kommer det til en usikkerhet ved denne korreksjonen. Fordelen ved Bodø er også den fri beliggenhet ved vindfelt fra sørvest til nordvest. Ulempen er avstanden mellom Raftsundet og Bodø som særlig kan slå ut når vi bare har en datarekke på 3 måneder.

Bruk av Skagen som referansestasjon har fordel ved den korte avstanden mellom stasjonene, mens ulempen er lokal påvirkning på Skagen pga. fjellene sør og nord for stedet, samt den større usikkerheten ved langtidsstatistik. Vi vurderer stasjonene som likevektige for vårt formål og midler resultatet vi får ved bruk av de 2 referansestasjonene. Fordelen ved dette er at vi bruker en referansestasjon nord for Raftsundet og en sør for sundet, slik at skjeve variasjoner i vindfeltet i de 3 mnd. i forhold til en langtidsrekke kan fanges opp.

Data fra Gunnarbåten, G er innsamlet og avlest for ca. 3 mnd. vinteren 1992/93. På 2 nærliggende referansestasjoner, r (Bodø og Skagen) er det lest av data fra samme periode.

Materialet er delt inn i 4 sektorgrupper bestemt ut fra vindretningen på referansestasjonene. De 4 gruppene er sektor Ø-S, SV, V og NV-NØ. Inndelingen skyldes de lokale forhold i Raftsundet (se kap. 3.2). Det avleses nå vindepisoder ved maksimalt vindkast på referansestasjonene og maksimal 1t middelvind for diskrete klokketimer i Raftsundet. 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.

Deretter sorteres episodene uavhengig i synkende rekkefølge innefor hver sektorgruppe. Alle episoder som ikke har data fra begge 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 Gunnarbåten må først et 5 episodemiddel av 1t middelvind transformeres til 3-5 s vindkast. Deretter dannes det overføringskoeffisienter,  $k_{rG}(s)$  mellom referansestasjonen og Gunnarbåten ved å dividere middelverdiene på hverandre. Tilsvarende omregning til 10 min middelvind på Gunnarbåten gir faktorer fra 3-5 s vindkast på referansestasjonene til 10 min middelvind i Raftsundet.

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

Referansestasjonene har utfra lang rekke fått beregnet 50 -årsverdi av 3-5 s vindkast,  $U_{50r}$ . Årsekstremene 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 årsekstremene. Uavhengig av dette, men på tilsvarende måte, er midler dannet av totalekstremene. Deretter er det dannet overføringstall fra totalekstrem til sektorgruppeekstremene ved å dividere disse midler på hverandre.

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

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

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

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

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

For å finne  $U_{50G}$  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 Gunnarbåten med referansestasjonene Bodø og Skagen der nevnte prosedyre er fulgt.

**Tabell 5**

*Sammenligning av vindforholdene på Gunnarbåten (målte timesmidler, også omregnet til 10 min middelvind og 3 - 5 s vindkast ved bruk av kastfaktorene, Gf, i tabellen) med Bodø lufthavn og Stokmarknes lufthavn - Skagen (3 - 5 s vindkast). Presentasjon av de 5 sterkeste vindverdier [m/s] i 4 vindfeltsektorer for perioden 7.12.92 - 15.3.93. Resultat av ekstremverdiregninger, alle retninger medregnet.*

Gunnarbåten		Ø-S		SV		V		NV-NØ	
	1	14.4		20.5		13.6		12.6	
	2	14.4		20.5		11.2		12.3	
	3	13.8		20.2		11.1		11.9	
	4	12.2		19.9		10.9		11.8	
	5	10.2		19.4		10.9		11.6	
	U5(1t)	13.0	Gf	20.1	Gf	11.5	Gf	12.0	Gf
	U5(10min)	15.0	1.15	22.1	1.10	15.0	1.30	13.8	1.15
	U5(3-5s)	26.0	2.00	33.2	1.65	34.6	3.00	24.1	2.00
8229 Bodø lufthavn		Ø-S		SV		V		NV-NØ	
	1	31.9		34.5		38.6		33.4	
	2	27.3		34.5		34.5		31.9	
	3	26.7		31.9		32.9		27.3	
	4	25.2		31.4		31.9		27.3	
	5	23.1		31.4		29.8		23.7	
	U5	26.8		32.7		33.5		28.7	
	Sektorandel (1969-92):	0.85		0.95		0.99		0.82	
8660 Stokmarknes lufthavn - Skagen		Ø-S		SV		V		NV-NØ	
	1	29.3		29.8		39.1		30.9	
	2	23.2		29.8		34.0		30.4	
	3	22.1		28.8		33.4		30.4	
	4	18.5		27.8		31.9		25.7	
	5	18.0		25.7		31.4		25.7	
	U5	22.2		28.4		34.0		28.6	
	Sektorandel (1987-93):	0.61		0.83		1.00		0.87	
Forholdstall		Ø-S		SV		V		NV-NØ	
G/B	U5(3-5s/3-5s)	0.97		1.01		1.03		0.84	
G/S	U5(3-5s/3-5s)	1.17		1.17		1.02		0.84	
G/B	U5(10min/3-5s)	0.56		0.68		0.45		0.48	
G/S	U5(10min/3-5s)	0.67		0.78		0.44		0.48	

**Resultat av ekstremverdiregninger, alle retninger medregnet**

**50-års verdi**

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

**44.0 m/s**

**8660 Stokmarknes lufthavn (3-5s vindkast basert på lang rekke):**

**48.3 m/s**

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

**46.1 m/s**

**Gunnarbåten (3-5s vindkast med Stokmarknes-Skagen som ref.stasjon):**

**50.5 m/s**

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

**28.4 m/s**

**Gunnarbåten (10min middelvind med Stokmarknes-Skagen som ref.stasjon):**

**31.3 m/s**

### 3.4. 50-års verdier

Tabell 5 viser at vi får noe forskjellige 50-årsverdier avhengig av hvilken referansestasjon vi bruker. Dette gjenspeiler usikkerheter ved metoden. Vi benytter middelverdiene av (28.4,31.3) og (46.1,50.5), dvs.  $U_{10\text{min}}=30$  m/s og  $U_{3-5s}=48$  m/s. Vi ser samtidig vekk fra selve skjæret Gunnarbåten og lar dette være verdier 10 m over vannflaten.

Usikkerheten ved disse estimatene kan anslås til  $\pm 10\%$ . Dette synes være et rimelig tall både sett ut fra analyse og også ved vurdering av rimeligheten i esimatene utfra kjennskap til vindklimaet i de nordlige landsdeler.

Det vil ikke være mulig å retningsdefinere vindkastekstremer, idet den kan komme fra alle retninger lokalt, merk hvorledes vestlige felt kan gi et kaotisk vindbilde på stedet. Derimot synes 10 min middelvind å komme langs fjorden i sektor 150 - 180°.

### 3.5. Vindprofiler

Vindprofilet ved sørvestlig vindfelt (sørlig - sørsørøstlig lokal vindretning) fra  $Z=10\text{m}$  til  $Z=50\text{m}$  må 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. Ved vestlig vindfelt antas en tilsvarende vindkastøkning med høyden, mens middelvinden øker en del raskere. Vi antar 0.3 som en passende faktor, men usikkerheten er stor ved dette estimatet. Profilene er gitt som lign. (6).

$$10\text{m} \leq Z \leq 50\text{m}$$

$$U_{50\text{år}}(10\text{m}) = 30\text{m/s}$$

$$Ug_{50\text{år}}(50\text{m}) = 48\text{m/s}$$

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

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

$$10\text{m} \leq Z \leq 50\text{m}$$

$$U_{50\text{år}}(10\text{m}) = 22\text{m/s}$$

$$Ug_{50\text{år}}(10\text{m}) = 48\text{m/s}$$

$$\frac{U_2}{U_1} = \left(\frac{Z_2}{Z_1}\right)^{0.3}$$

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

lign. (6)

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



$\forall Z:$ 

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

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

lign. (7)

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

Profilene er utregnet for 5 høyder over vannflaten i Tabell 6. Vi bør her merke oss at vindprofilet ved vindfelt fra sørvest bare skal brukes ved vind på tvers av brospennet. Vindprofilet ved vindfelt fra vest må derimot brukes på alle lokale retninger. Dvs. at 100-års verdien av 3 - 5 s vindkast for vind på tvers av brospennet skal være 48 m/s, mens tilsvarende verdi for 10 min middelvind er 30 m/s. De to tilfellene forekommer ikke samtidig.

### Tabell 6

*Ekstremverdier med 10, 50 og 100 års returperiode av 10 min middelvind og 3 - 5 s vindkast på Gunnarbåten i Raftsundet. Ekstremverdiene er gitt for 5 høyder over vannflaten. Tilhørende horisontal turbulensintensitet og kastfaktor er også gitt. Alle verdier er gitt for sørvestlig vindfelt (lokal vindretning sørøst og sør) og vestlig vindfelt (udefinert lokal vindretning).*

#### Vindfelt fra sørvest (lokal vindretning fra sør og sørøst)

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	26.6	39.9	30.0	45.0	31.4	47.2	1.50	0.19
20	30.1	42.7	34.0	48.2	35.6	50.5	1.42	0.16
30	32.4	44.5	36.6	50.2	38.3	52.6	1.37	0.14
40	34.1	45.8	38.5	51.7	40.4	54.2	1.34	0.13
50	35.5	46.8	40.1	52.9	42.0	55.4	1.32	0.12

#### Vindfelt fra vest (lokal vindretning udefinert)

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	18.6	42.5	21.0	48.0	22.0	50.3	2.29	0.49
20	22.9	45.6	25.9	51.4	27.1	53.9	1.99	0.38
30	25.9	47.5	29.2	53.6	30.6	56.1	1.83	0.32
40	28.2	48.9	31.8	55.1	33.4	57.8	1.73	0.28
50	30.2	50.0	34.0	56.4	35.7	59.1	1.66	0.25

## 5. Referanseliste

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

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

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

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