

DNMI

DET NORSKE METEOROLOGISKE INSTITUTT

klima

**KÅKERN BRU
EKSTREME VINDFORHOLD**

**KNUT HARSTVEIT
RAPPORT NR.41/94 KLIMA**



DNMI-RAPPORT

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

ISBN

RAPPORT NR.

41/94 KLIMA

DATO

26.10.94

TITTEL

KÅKERN BRU EKSTREME VINDFORHOLD

UTARBEIDET AV

Knut Harstveit

OPPDRAGSGIVER

Statens vegvesen - Nordland

OPPDRAGSNR.

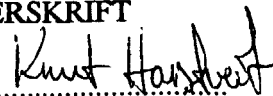
SAMMENDRAG

Data fra 1972 til 1993 fra Leknes fyr er analysert og ekstremverdier med 10, 50 og 100 års returperiode er funnet for 8 sektorer for 3-5 s vindkast og 10 min middelvind.

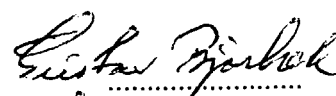
Overføring fra Leknes til Kåkern er gjort ved kartstudier. De to stedene synes å ha forholdsvis like vindforhold, men sørlig vind er sterkest ved Kåkern og vestlig til nornordvestlig vind er sterkest på Leknes.

Det er gitt ekstremvindestimer på Kåkern for 10 og 23 m høyde over fjorden. Det er også gitt estimer for turbulensintensitet og kastfaktor.

UNDERSKRIFT



Knut Harstveit
SAKSBEHANDLER



Bjørn Aune
FAGSJEF

SAMMENDRAG

Værstasjonen Leknes flyplass er analysert i denne rapporten og danner hovedgrunnlaget for estimeringen av ekstremvindforhold ved Kåkern bru.

Leknes har beregnet ekstremverdi med 50 års returperiode på 51.3 m/s for 3-5 s vindkast og 34.0 m/s for 10 min middelvind. Ved beregningene er det benyttet en dataserie på 21 år (1972 - 93).

På Leknes kommer den sterkeste vinden fra vest til vestnordvest (270 - 290°), mens den sterkeste vinden ved Kåkern bru kommer fra sør. Forholdene er ellers ikke mye forskjellige på de to stedene, men det kan bli litt sterkere middelvind på Kåkern og litt sterkere vindkast på Leknes. Forskjellene antas ligge på ca. 5%. Usikkerheten i estimatene er trolig $\pm 10\%$ eller mindre.

Tabellen viser estimerte ekstremverdier av vindhastigheter (m/s) med 10 min. (U) og 3-5 sek. (Ug) midlingstider ved Kåkern bru. Tabellen inneholder også estimater for kastfaktorer og longitudinale turbulensintensiteter og er gitt for 2 nivåer over fjordflaten. Verdiene i tabellen er gitt med 1 desimal av beregningsmessige årsaker. Dette gjenspeiler ikke nøyaktigheten i tallene. Usikkerheten i estimatene ligger trolig i området $\pm 5\%$ til $\pm 10\%$.

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	29.6	41.8	34.0	48.0	35.9	50.6	1.41	0.16
23	33.0	45.0	37.9	51.7	40.0	54.6	1.37	0.14

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 Kåkersundet mellom Flakstadøya og Moskenesøya i Lofoten.

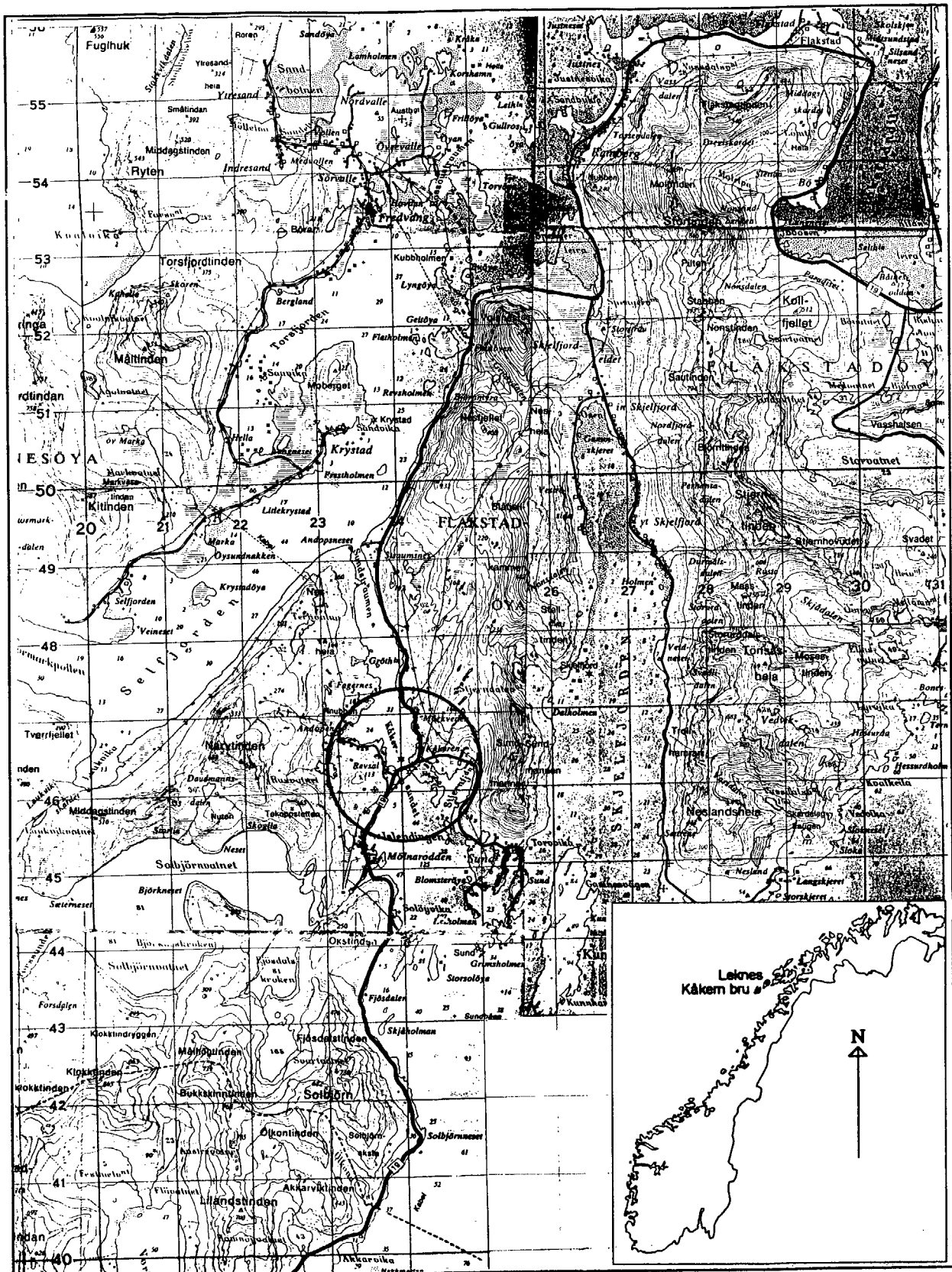
2. Sted og topografi

Bruområdet ligger i ytre Lofoten og skiller de to ytterste av de store øyene i Lofoten, Flakstadøya og Moskenesøya. Øsystemet 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 Kåkersundet 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 skiller øyene ellers av farvann som er opptil 1 - 2 km bredt.

Sundstraumen - Kåkersundet løper nord - sør (350 -170°). 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°) og har en bredde på 2 til 3 km. Fjellene på begge sider løper ujevnt opp i 400 - 700 moh. (Sundmannen - Blåfjellkammen - Nesfjellet - Vollandstinden 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 i målestokk 1 : 75.000. Plassering av Kåkerne og Leknes på nasjonal skala.

3. Vindforholdene i området.

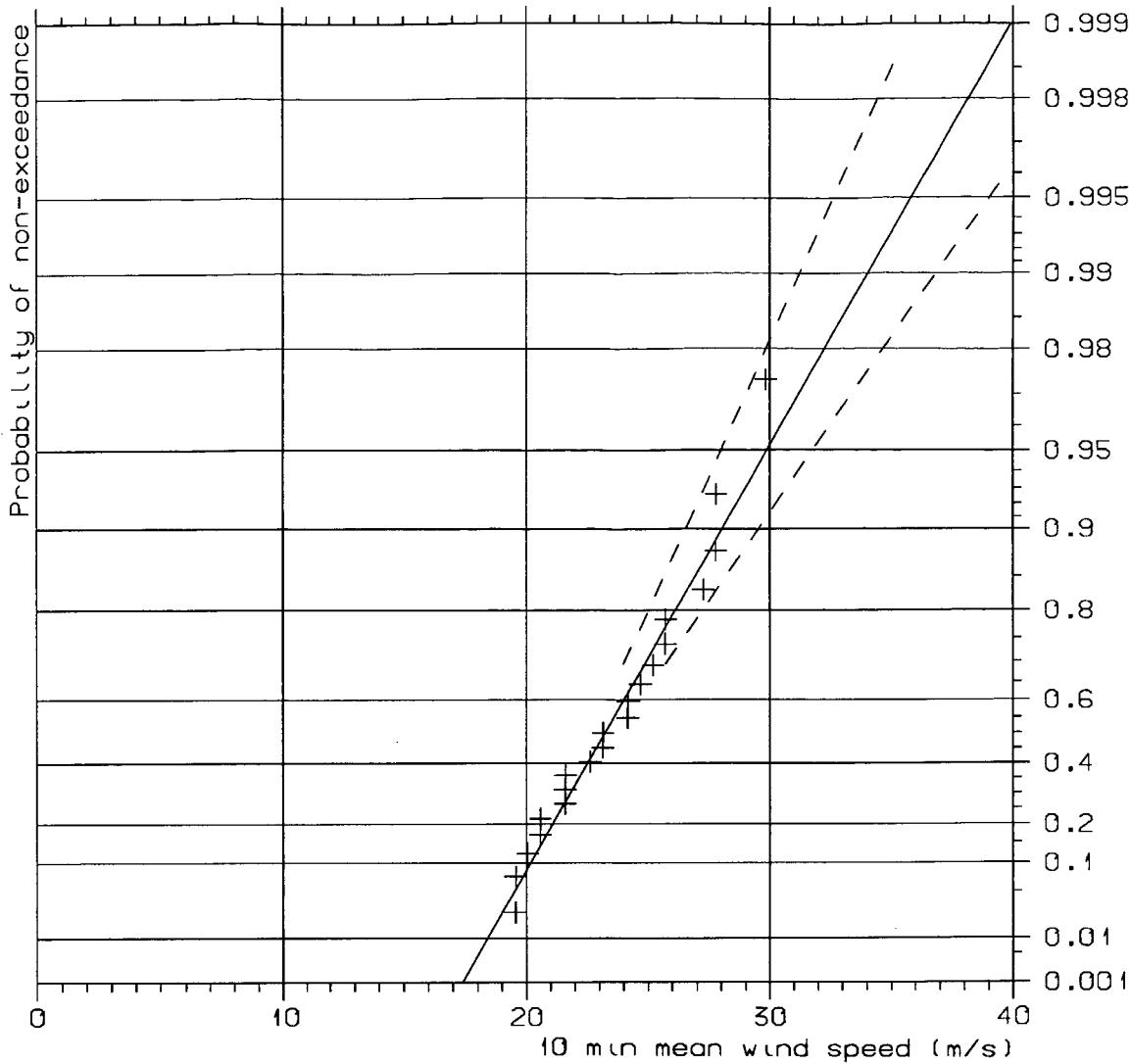
En må forvente at nordlige og sørlige vinder har stor hastighet gjennom kanalsonen. Sørlige vinder kommer dessuten inn mot Kåkersundet uten særlig mye friksjonsbremsing. På grunn av de lave åsene omkring sundet, blir sterke vindkast og turbulens generert i fjellene ved sørvestlig - nordvestlig vind dempet mot brua. Sørøstlig vind vil kunne gi en del turbulens og lokal vindforsterkning over og rundt Sundmannen. Dette kan slå direkte ned mot bruområdet. Sterke sørøstlige vindfelt er imidlertid relativt sjelden i området.

3.1 Data fra Leknes

Nærmeste sted med gode vindregistreringsdata er Leknes flyplass. Den ligger vest på Vestvågøya, ca. 24 km nordøst for Kåkern.

Leknes har vindregistreringer fra juni 1972. Perioden fram til august 1993 er bearbeidet. For hvert døgn i perioden er det tatt ut høyeste verdi av 10 minutters middelvind, $U(10min)$ og høyeste vindkastverdi over 3 til 5 sekunder, $U(3-5s)$. Retningen for maksimalhastighetene er tatt med. For å begrense datamengden er bare døgn med $U(10min) > 19$ knop (>9.5 m/s) eller $U(3-5s) > 29$ knop (>14.6 m/s) tatt med.

Ut fra disse data har vi først valgt ut en rekke med høyeste verdi for hvert av de 21 årene, både for $U(10min)$ og $U(3-5s)$, uavhengig av retning. Disse er kjørt ut i et standard ekstremverdiprogram etter Gumbel (1). Figur 2 viser at middelvinden er godt fordelt etter gumbelfordelingen (dobbel eksponential fordelt). Vindkastene (Figur 3) passer noe dårligere idet noen punkter faller utenfor kontrollkurven. Diagrammene viser imidlertid samme stigningsforhold, dvs. samme forhold mellom lav og høy returperiode for de 2 parametrene. Vi finner derfor fordelingen troverdig. Vindhastigheten, $U(T)$ for enhver ønskelig returperiode, T kan leses av fra diagrammene, da Y-aksen viser sannsynlighet, P for årlig ikke - overtredelse av korresponderende verdi på X-aksen og $T=1/(1-P)$. (P bør ligge i intervallet 0.5 - 0.99, dvs $2 \text{ år} \leq T \leq 100 \text{ år}$.)



MODEL DISTRIBUTION:

GUMBEL parameters:

Scale 2.550
Location 22.304

Estimated using:
Max. Likelihood Method

ESTIMATED EXTREMES:

RETURN PERIOD	VALUE
- years -	- m/s -
3.0	24.6
10.	28.0
50.	32.3
100.	34.0

Sampling period for maxima:
365 days

OBSERVED DISTRIBUTION:

Mean value 23.64
Std. deviation 2.91
Skewness 0.36

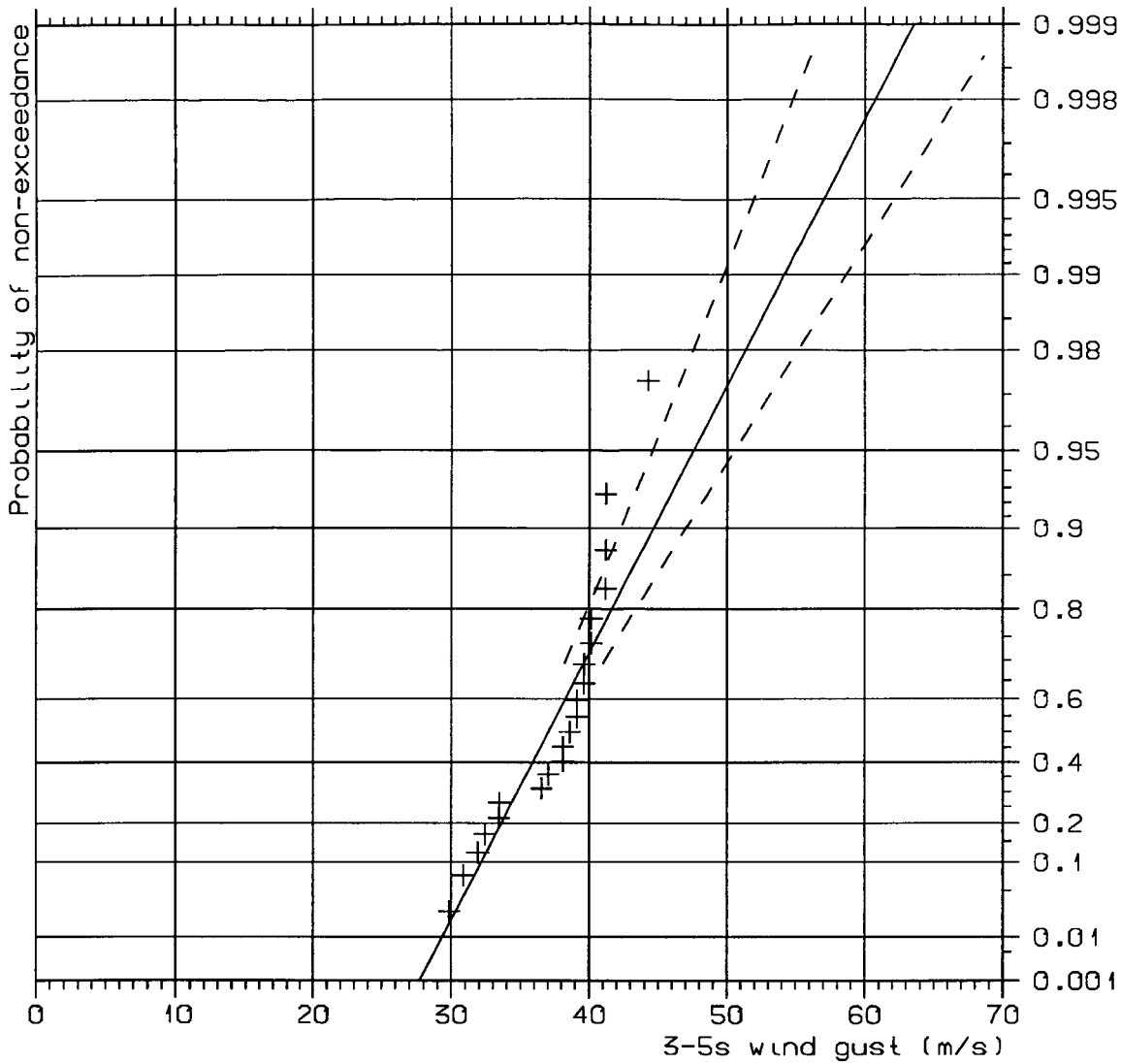
GENERAL INFORMATION:

No. of data : 21
68 % Conf. limit : - - -

LEKNES 1972/73 - 1992/93
Yearly extremes
DNMI - KLIMAAVDELINGEN

FIGURE

2



MODEL DISTRIBUTION:

GUMBEL parameters:

Scale 4.054

Location 35.532

Estimated using:

Max. Likelihood Method

ESTIMATED EXTREMES:

RETURN PERIOD	VALUE
- years -	- m/s -
3.0	39.2
10.	44.7
50.	51.3
100.	54.2

Sampling period for maxima:
365 days

OBSERVED DISTRIBUTION:

Mean value 37.41

Std. deviation 3.84

Skewness -0.49

GENERAL INFORMATION:

No. of data : 21

68 % Conf. limit : - - -

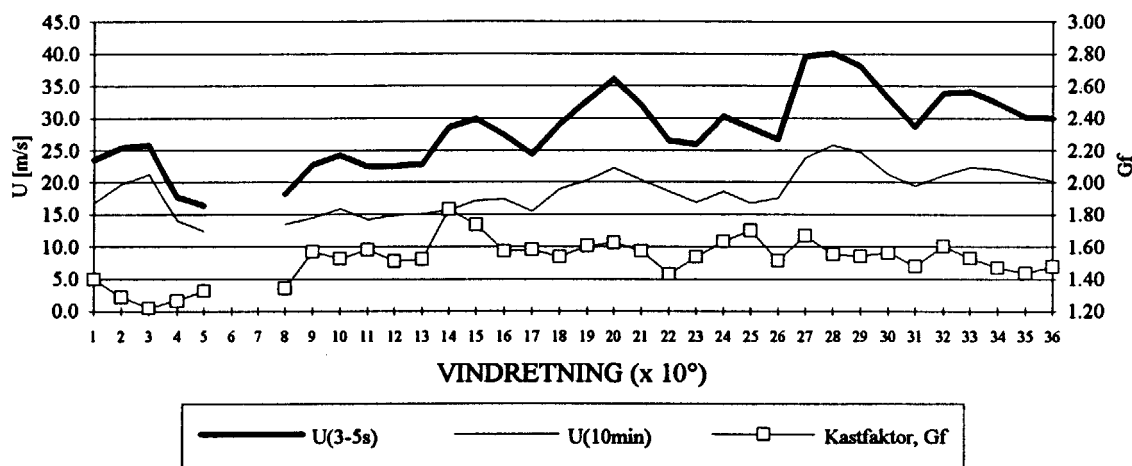
LEKNES 1972/73 - 1992/93
Yearly extremes
DNMI - KLIMAAVDELINGEN

FIGURE

3

For hver 10. grad er det laget midler over de 5 største av disse døgnmaksima i perioden. Dette er gjort for både 10 min middelvind og 3 - 5 s vindkast. Forholdstallet mellom disse midlene er også dannet, kastfaktoren, $G_f = U(3-5s)/U(10min)$. Figur 4 viser fordelingen av disse størrelsene med vindretningen. Vinden på Leknes er sterkest omkring vest - nordvest ($270 - 290^\circ$), men også nordnordvest ($320 - 340^\circ$) og sørsørvestlig vind ($190 - 210^\circ$) kan bli ganske sterk. Disse sektorene er relativt åpne mot havet, vestnordvestvinden er dessuten akselerert på grunn av et særegent fjell (Offersøykammen) i en kanalsone. Offersøykammen genererer turbulens og sterke vinder, men mot flyplassen avtar vanligvis turbulensen, mens middelvinden er sterk. Turbulens i flybaner nær bakken er kjent ved VNV - vind på stedet.

LEKNES LUFTHAVN, 1972 - 1993. Middell av 5 høyeste døgnmaksima av vindhastighet for hver 10. grad



Figur 4.

Ekstremvindfordeling på Leknes lufthavn.

Vinden er gjennomgående svakere i østlig halvsektor ($010 - 180^\circ$) enn i vestlig ($190 - 360^\circ$), hvilket gjenspeiler generelle forhold i Lofoten. Vinden er meget svak i østnordøstlig sektor ($040 - 080^\circ$) og et sekundært minimum finnes også omkring sørvest ($220 - 260^\circ$). Disse minima skyldes skjerming fra større fjellmassiver.

Vinden på Leknes er omtrent så jevn som en flyplassflate tilsier, der $G_f = 1.5$. Noe mer turbulens finnes omkring sørøst ($140 - 150^\circ$) med $G_f = 1.8$, mens nordnordøstlig vind ($020 - 050^\circ$) er spesielt jevn ($G_f = 1.3$), det er ikke klart hvorfor. Særlig vind ($170 - 190^\circ$) kommer rett fra havet med $G_f = 1.35$. Vinden bremses imidlertid og blir noe mer turbulent over tettbebyggelsen i Leknes, $G_f = 1.6$.

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

Tabell 1

De 5 høyeste døgnverdiene av $U(3-5s)$ og $U(10min)$ på Leknes, 1972 - 1993, sektorfordelt på 8 hovedretninger (S) og midlet. Forholdet, $k(S)=U_m(S)/U_m$ mellom sektorielle vindhastigheter og vind uavhengig av retning, samt retningsfordelt kastfaktor, $G_f=U_m(3-5s)/U_m(10min)$.

U(3-5s)									
	N	NØ	Ø	SØ	S	SV	V	NV	ALLE
1	35.0	29.8	25.7	31.9	39.1	35.0	44.2	41.2	44.2
2	35.0	27.3	25.7	30.9	38.6	34.0	41.2	38.6	41.2
3	34.5	27.3	24.7	29.8	37.0	32.4	41.2	37.0	41.2
4	33.4	27.3	24.7	29.8	35.0	32.4	40.1	36.5	41.2
5	32.9	20.1	24.2	29.8	35.0	31.9	40.1	35.0	40.1
$U_m(3-5s)$	34.16	26.34	25.00	30.46	36.94	33.13	41.36	37.66	41.57
k	0.82	0.63	0.60	0.73	0.89	0.80	1.00	0.91	

U(10 min)									
	N	NØ	Ø	SØ	S	SV	V	NV	ALLE
1	25.7	24.2	19.0	18.5	24.7	21.1	29.8	25.7	29.8
2	25.2	23.7	17.0	18.5	22.6	20.6	27.8	24.7	27.8
3	23.7	22.1	16.5	17.5	21.6	20.6	27.8	24.2	27.8
4	22.6	18.5	16.5	17.5	21.6	20.1	27.3	23.7	27.3
5	21.6	17.5	15.4	17.0	21.6	20.1	25.7	23.2	25.7
$U_m(10min)$	23.77	21.20	16.87	17.80	22.43	20.47	27.68	24.28	27.68
k	0.86	0.77	0.61	0.64	0.81	0.74	1.00	0.88	
G_f	1.44	1.24	1.48	1.71	1.65	1.62	1.49	1.55	1.50

3.2 Overføring til Kåkern

Kåkern har på mange måter en lignende beliggenhet som Leknes, med en åpen fjord mot sør. Sørlig vind har ventelig enda lettere passasje inn mot Kåkern, idet der ikke er lokal bremsing fra bebyggelse slik som på Leknes. Kanalen er dessuten gjennomløpende. Noe sterkere og jevnere vind fra sør må derfor påregnes ved Kåkern. De sterke vestlige til nordvestlige vindene på Leknes vil ventelig ikke finnes på Kåkern, særlig fordi heiene vest og nordvest for brustedet (Revsal, Knubben, Nesheia) virker skjermende på vinden. Vind fra sørøst er turbulent på Leknes, men vil ventelig være enda sterkere og mer turbulent på Kåkern pga. Sundmannen i sørøst. Sørøstlige vindfelt er dog i utgangspunktet svake i Lofotenområdet, slik at utslagene neppe blir dramatiske for Kåkern. Øvrige sektorer synes ikke å gi svært forskjellige vindforhold de 2 stedene.

For Leknes har vi 51.3 og 32.3 m/s som 50-års verdier av 3-5 s vindkast og 10 min middelvind. Disse kommer fra vestlig sektor og kastfaktoren er 1.6. Fra sørlig sektor er tilsvarende verdier 45.6 m/s og 26.2 m/s med kastfaktor 1.7. De sterke vestlige vindene på Leknes vil falle bort på Kåkern. Sørlige vinder vil bli en del sterkere på Kåkern, anslagsvis økning er fra 45.6 til 48 m/s i kastene, dvs. ca. 5%. I forhold til vestlig sektor på Leknes er det en reduksjon på ca. 5%. Med kastfaktor 1.4, dvs. litt høyere enn på havet, blir $U(10\text{min})=34$ m/s i sørlig sektor, dvs. vesentlig sterkere enn på Leknes (ca. 23%) fordi lokal bremsing her er minimal. Dette er ca. 5% mer enn for vestlig sektor på Leknes.

Vi summerer: Middelvinden i vilkårlig sektor kan bli ca. 5 % høyere ved Kåkern enn ved Leknes, mens kastene kan bli ca. 5 % høyere på Leknes enn på Kåkern. Sterkeste vind kommer fra vest på Leknes og fra sør på Kåkern. Usikkerheten er relativt små i denne antagelsen, trolig i området $\pm 5\%$ til $\pm 10\%$ når alle forhold er tatt i betraktning.

10 og 100 - årsverdi finnes etter samme forhold som på Leknes.

Høydeprofilen er gitt ved potensloven (lign A.3, Appendiks 1), med $n = 0.13$ for $U(10 \text{ min})$, lik forholdene over en havflate. Med kastfaktor tilnærmet lik 1.4 og verdiene over, får vi (se Appendiks 1) $n=0.09$ for vindkastprofilen. Videre, $I_u(10 \text{ m}) = 0.16$, med $n=-0.13$ som eksponent i høydeprofilen. Derved kan forholdene i 10 og 23 m (bronivå) settes opp i tabellform.

Tabell 2

Ekstremverdier av 10 min middelvind (U), 3 - 5 s vindkast (Ug) med 10, 50 og 100 års returperiode, samt kastfaktor, Gf og longitudinal turbulensintensitet, Iu, gitt i 10 og 23 m høyde over vannflaten for Kåkern bru.

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	29.6	41.8	34.0	48.0	35.9	50.6	1.41	0.16
23	33.0	45.0	37.9	51.7	40.0	54.6	1.37	0.14

5. Referanseliste

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

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

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

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

(3) **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 middelverdien, proporsjonalt med standardavviket, σ_u av momentanverdiene:

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

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

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

Ut fra undersøkelser vedrørende Askøybrua (2) og Hardangerbrua (3) er en kommet fram til at $k(3-5\text{ s}) \approx 2.6$ når I_u er longitudinal turbulensintensitet (horisontal turbulensintensitet på langs av vindretningen).

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

Profiler.

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

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

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 kurvetipasning 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.