

DNMI

DET NORSKE METEOROLOGISKE INSTITUTT

klima

HARDANGERBRUA

VINDMÅLINGER 11.11.88 - 01.09.90

KNUT HARSVEIT

RAPPORT NR. 31/90



DNMI - RAPPORT

DET NORSKE METEOROLOGISKE INSTITUTT
POSTBOKS 43 BLINDERN 0313 OSLO 3
TELEFON : (02) 60 50 90

ISBN

RAPPORT NR.

31/90 KLIMA

DATO

17.10.1990

TITTEL

HARDANGERBRUA

VINDMÅLINGER 11.11.88 - 01.09.90

UTARBEIDET AV

KNUT HARSTVEIT

OPPDRAGSGIVER

STATENS VEGVESEN - HORDALAND
VEGDIREKTORATET - BRUAVDELINGEN

OPPDRAGSNR.

SAMMENDRAG

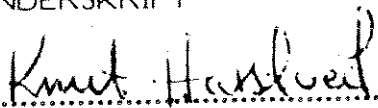
Rapporten beskriver målinger fra en vindmålestasjon på Buneset i Hardanger. Masten er 45 m høy og det måles i tre nivåer.

I rapporten er det gitt frekvenstabeller over målte vindhastigheter. Det er også gitt verdier av målte turbulensintensiteter, vindprofiler langs målemasten, samt temperaturprofiler ved sterk vind.

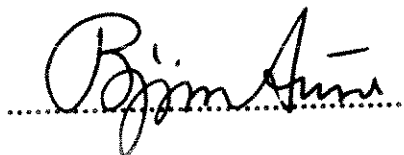
En har sammenlignet data fra måleperioden mellom Bu, Utsira og Hellisøy fyr. Ved å benytte langtidsstatistikk fra de to fyrstasjonene har en beregnet ekstremverdier med returperioder fra 2 til 100 år for Bu-stasjonen.

Det er gitt en vurdering av representativiteten for måleserien i tid og rom.

UNDERSKRIFT



Knut Harstveit
SAKSBEHANDLER



Bjørn Aune
FAGSJEF

INNHOLDSFORTEGNELSE

1. INNLEDNING.	2
2. STED OG TOPOGRAFI.	3
3. DATAINNSAMLING.	7
3.1. Stasjonsbeskrivelse.	7
3.2. Måleprosedyre.	7
3.3. Datalagring.	7
3.4. Datakvalitet og regularitet.	8
4. RESULTATER OG TOLKNING AV DATA.	9
4.1. Middelvind i 45 m's nivå.	9
4.2. Vindprofiler i målemasten.	13
4.3. Turbulens og gustfaktorer.	17
4.4. Sammenligning med andre stasjoner ved sterk vind.	28
4.5. Beregning av ekstremverdier.	34
4.6. Vindklima. Vurdering av måleperiodens representativitet.	38
4.7. Vurdering av målepunktets representativitet for brua.	40
4.8. Fysiske årsaker til sterk vind. Temperaturprofiler.	41
5. FORSLAG TIL VIDERE UNDERSØKELSER.	46
6. REFERANSELISTE.	47
APPENDIKS 1.	48
A.1. Beregning av ekstremvind på en stasjon med kort rekke utfra sammenligning med en referansestasjon.	48
APPENDIKS 2.	52
A.2. Beregning av ekstremvind i vilkårlig sektor ut fra kjennskap til ekstremvind i delsektorer.	52

S A M M E N D R A G

Vi har foretatt målinger av middelvind, gustfaktorer, turbulensintensiteter og lufttemperatur i en 45 m høy mast på Buneset ved Eidfjorden i Hardanger. Det ble målt i 10, 30 og 45 meter mastehøyde. Masten står på et 120 m høyt platå som stikker ut i fjorden i form av et nes. Området rundt masten er skogbevokst.

Frekvensverdier av registrert 10 min. middelvind i 45 m's nivå på Bu i Hardanger, fordelt i intervaller på 3 m/s og 30° for perioden 11.11.88 - 01.09.90 er gitt i tabellen nedenfor. Vi ser at vinden er kanalisert i fjordens hovedretninger.

DD	0- 3m/s	3- 6m/s	6- 9m/s	9- 12m/s	12- 15m/s	15- 18m/s	18- 21m/s	21- 24m/s	24- 27m/s	27- 30m/s	≥ 30m/s	SUM
360	2.2	.7	.01	.00								2.4
30	1.5	.4	.5	.2	.1	.05	.01					2.8
60	6.7	4.2	2.1	1.4	.8	.4	.1	.00				15.7
90	9.9	13.7	1.4	.7	.6	.3	.1	.03	.01			26.8
120	1.9	.5	.2	.1	.03	.02	.00	.01	.00			2.8
150	.7	.1	.03	.02	.01	.01						.9
180	.7	.2	.1	.03	.00							1.0
210	2.0	4.5	5.3	2.3	.9	.4	.2	.1	.01			15.6
240	6.1	7.3	3.8	3.0	2.0	1.1	.5	.3	.1	.03	.02	24.2
270	2.9	.9	.4	.3	.1	.04	.01	.00				4.6
300	1.1	.5	.4	.1	.01							2.0
330	.7	.1	.04	.02	.00							.8
STILL	.4											.4
SUM	36.9	32.6	14.2	8.1	4.5	2.2	.9	.4	.1	.03	.02	

Heyeste målte verdi av 10 min. middelvind fra vest var 34.4 m/s og fra øst 26.3 m/s. Heyeste 3 sek. vindkast var 49.7 m/s.

En sammenligning med langtidsstatistikk for nærliggende stasjoner viser at denne måleperioden hadde atypisk mye og sterk vestlig vind og lite sterk østlig vind.

Vinden er sterkt bremsert av skogen i 10 m's nivå, vindhastigheten i 45 m's nivå er 40 - 70 % høyere enn i 10 m's nivå for de hyppigste vindretningene.

Typiske verdier av longitudinal turbulensintensitet i 45 m's nivå ved sterk vind i fjordens retninger er 0.14, men verdier på over 0.20 kan forekomme. I 10 m's nivå er vinden vesentlig mer turbulent, typiske verdier er 0.30.

Beregninger av friksjonshastigheter viser at forholdene over Buneset er inhomogene, noe som særlig skyldes at vinden blåser fra fjorden og innover et skogdekket platå. Det har da dannet seg et lokalt grenselag i de nederste 10 - 20 m, og over dette nivået er det typiske blandingslag. Effekten av skogen synes å nå opp over mastetoppen (45 m).

Ekstremerverdier av middelvind og vindkast (m/s) med 2, 10, 50 og 100 års returperiode for Bu i Hardanger er gitt i tabellen nedenfor. Verdiene er framkommet ved sammenligning av en 2 års måleserie på Bu med data fra fyrstasjonene Helligøy og Utsira og koblet til lange rekker ved hjelp av data fra fyrstasjonene.

		ØSTLIG VIND	VESTLIG VIND	VILKARLIG SEKTOR
2	10 min	26.5	29.3	31
	A 1 min	31.5	34.3	36
	R 3 sek	38.8	39.6	42
10	10 min	33.8	34.6	36
	A 1 min	39.0	40.1	42
	R 3 sek	45.9	48.1	50
50	10 min	37.7	38.5	40
	A 1 min	43.2	44.3	46
	R 3 sek	49.0	54.7	55
100	10 min	40.3	40.8	43
	A 1 min	46.1	46.9	49
	R 3 sek	51.1	57.9	58

Ekstremerverdiene for Bu (45m) er høyere enn på Utsira (10m). Dette var ikke ventet på forhånd. Årsaken til den sterke vinden skyldes topografiske effekter og forsterkning over og rundt Buneseet.

Det anbefales at ekstremerverdiene fra 45 m's masteheide (168 m over fjorden) benyttes også som ekstremerverdier for bruspenet, 50 m over fjorden utenfor neset. Dette fordi en hjerneeffekt ved neset kan føre til sterk vind langt ned mot fjordflaten.

Det anbefales vindtunnelforsøk for å studere forskjeller i vindhastigheter mellom målemasten og bruspenet.

1. INNLEDNING.

DNMI er engasjert av Vegdirektoratet for å foreta vindmålinger på Bu i Hardanger i forbindelse med planlegging av Hardangerbrua. Denne brua skal erstatte ferjetrafikken over Bruravik-Brianes i indre del av Hardangerfjorden. Brua er planlagt som hengebru. Den får et spenn på 1250 m, en fri høyde over fjorden på 50 m, og brutårn på 180 m's høyde. Den blir med dette Norges desidert lengste hengebru.

Mye av dimensjoneringen av slike lange hengebru ligger på den vindtekniske siden. Det er derfor meget nødvendig med solid kjennskap til vindforholdene i området, slik som ekstremverdier av middelvind og vindkast, turbulensforhold og frekvensspektra.

Arbeidet med programmering, tilrettelegging og montering av vindstasjonen foregikk i tiden fra juni til november 1988. Stasjonen kom i drift pr. 11. november.

Det er viktig i slike store prosjekter når klimaforhold er av avgjørende betydning for dimensjonering eller besluttsomhet, at alle målinger kommer i gang i god tid før anleggstiden skal starte. I følge planen skal anleggsarbeidet starte i 1995 dersom endelig byggesignal blir gitt. DNMI vil med dette gi Vegdirektoratet honner for å bringe vindmålingene inn i bildet på et så tidlig tidspunkt som det er gjort i dette tilfellet. Dette gir mulighet for å få et godt datagrunnlag for videre planleggingsarbeid.

Denne rapporten inneholder måleresultater fra perioden 11.11.-88 til 01.09.90. Vi har valgt å presentere resultater og bearbeiding av data fremfor å utgi tykke datarapporter. Involverte kan imidlertid få utlevert grunnlagsdata fra DNMI ved henvendelser. Andre interesserte vil kunne få slike data i samråd med oppdragsgiver. Data vil fortrinnsvis bli utlevert på data-disketter.

Rapporten tar for seg vindklimaebeskrivelse på Buneset, slik som middelvind, vindprofiler, kastforhold, turbulens og sammenhengen mellom kastforhold og turbulens. Det presenteres frekvenstabeller som inndeles etter hastighet og retningsintervaller, samt en årstidinddeling. Det blir også foretatt en evaluering av måleperiodens representativitet.

Det blir også foretatt en analyse av sammenhengen mellom prosjektmålestasjonen og faste værstasjoner med lange rekker på frittliggende fyrstasjoner. Med dette som utgangspunkt blir det presentert ekstremvindforhold på Buneset. En kort vurdering av årsaksforhold og representativitet for brutraséen blir også gitt.

I appendiks 1 og 2 blir det gitt en mer detaljert fremstilling av et par av metodene som er benyttet.

2. STED OG TOPOGRAFI.

Området ligger i indre Hardanger i Hordaland fylke, vest for Hardangervidda. Denne delen av Hordaland består vesentlig av fjell og vidder, 1000 - 1500 m o.h.. Bare enkelte daler og fjorder skjærer seg ned i dette landskapet. Den mest markante nedskjæringen er Hardangerfjorden med sine fjordarmer, se Fig. 2.1.

Hardangerfjorden er grovt sett rettet nordøst - sørvest. Vi kan dele den i to hoveddeler, ytre del utenfor Utne og indre del, innenfor Utne.

Ved inngangen til indre del av fjorden, forgrener fjorden seg i en en smal arm mot nordøst, Granvinfjorden, gjør en krell rundt fjellet Oksen, og forgrener seg i Eidfjorden og Serfjorden.

Serfjorden leper i sørsørvestlig retning mot Odda. Eidfjorden er i ytre del rettet nordøst - sørvest. I indre del er den rettet øst - vest. I knekkpunktet, på Bu, er fjorden på sitt smalste, se Fig.2.2. Dette er naturlig nok stedet der brua er planlagt.

Ca. 4 km øst for Bu deler fjorden seg og en fjordarm, Osafjorden, leper inn mot nordøst.

Fjordsidene ved Eidfjorden er meget bratte og går opp i 1000 - 1500 m's høyde. De nederste 600 m er stort sett bevokst med lauvskog, men partier med furuskog, plantet granskog og noe dyrket mark finnes i blant, vesentlig i de nederste nivåene.

Selve Bunaset, (Fig.2.2 - 2.3) er et platå på 110 - 130 m o.h. som stikker ut på sørsiden av Eidfjorden. Neset strekker seg ca. 2 km i øst - vest retning langs fjorden og er 500 - 800 m bredt. Kanten fra 120 m o.h. og ned mot fjorden er meget bratt. Fjellsiden stiger raskt opp i 1000 m o.h. (Bunuten) fra sørsiden av platået. Midt på platået er det en liten rygg på 140 m o.h..

Platået og skråningen ned mot fjorden er bevokst med furuskog, men tre - høyden er lav, 5 - 10 m. Helt innerst på platået, mest i stigningen fra 120 til 300m, finnes et felt med plantet gran. Ellers er deler av platået, særlig på vest- og sørsiden, dyrket mark. Det er spredt bosetning på neset, med 10 - 15 gårdsbruk. Husene er stort sett samlet på en øst - vest linje langt inne på platået.

Målemasten er plassert 123 m o.h., helt ytterst på platået, se Fig. 2.1 - 2.3. Masten er 45 m høy og er montert på en lokal forhøyning i terrenget. Rundt masten er det furuskog, 5 - 10 m høy. På grunn av forhøyningen når trærne bare 2 - 3 m opp langs masten.

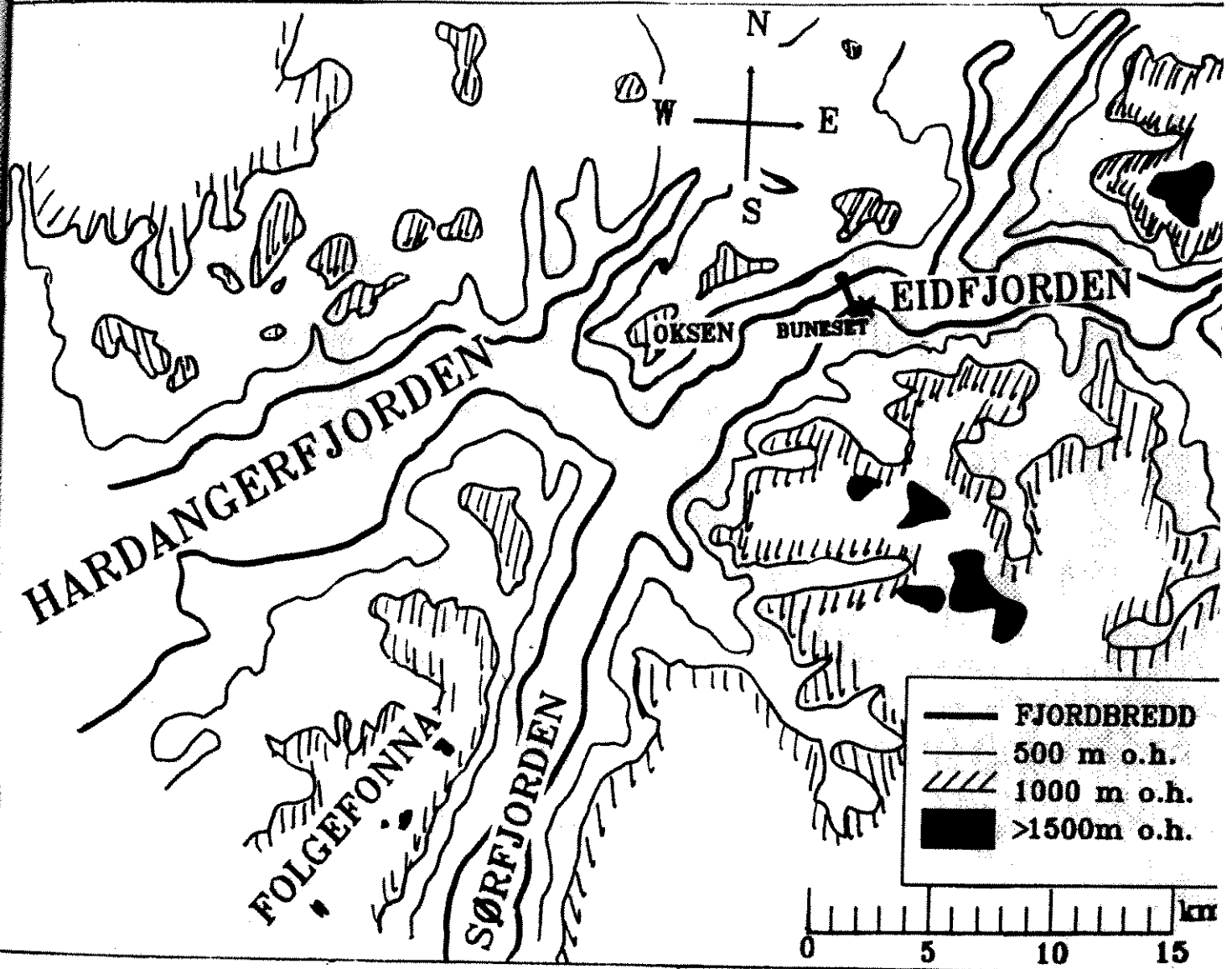


Fig. 2.1. Oversikt over topografien i indre del av Hardangerfjorden.

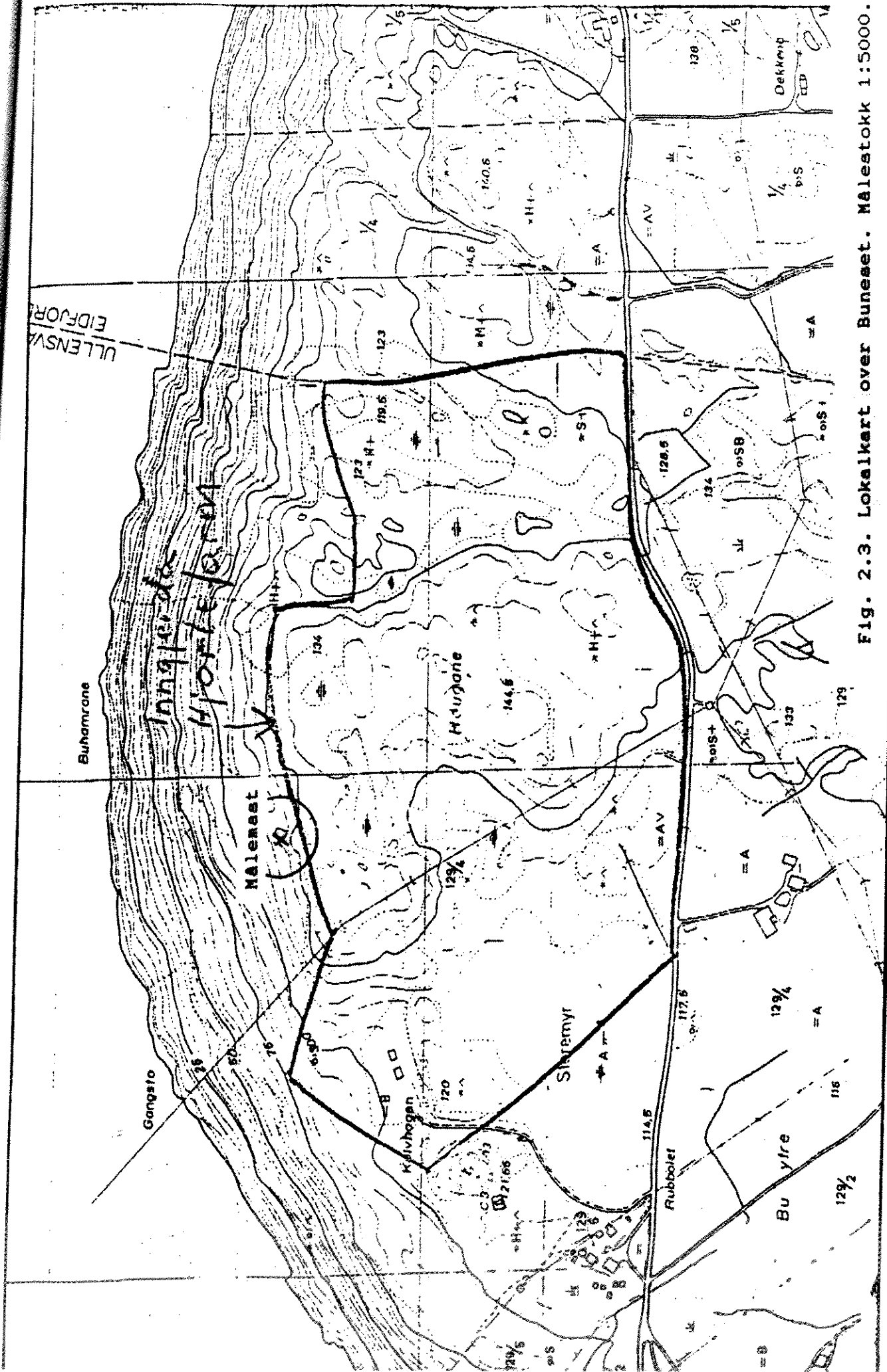


Fig. 2.3. Lokalkart over Buneset. Målestokk 1:5000.

3. DATAINNSAMLING.

3.1. Stasjonsbeskrivelse.

Det måles i tre nivåer i en 45 m høy fagverkstast. Målenivåene er 10, 30 og 45 m mastehøyde. I hvert av de tre nivåene er det plassert et Vaisala skålkorsanemometer for måling av vindhastighet og en Friedrichs vindfley for måling av vindretning. Dessuten er det i 10 og 45 m plassert en temperatursensor. Alle sensorer er laboratoriekalibrert og kalibreringskurver er innlagt på feltstasjonen. Derved kommer de meteorologiske parametrene direkte ut i meteorologiske enheter. Detaljert stasjonsbeskrivelse finnes i (1), den er nær den samme som for Askey, gitt som appendiks i (2). Foruten forskjellene i mastehøyde, er det enkelte rent tekniske forbedringer innlagt i feltstasjonen. Disse forbedringene går nær på driftsikkerhetsforhold, slik at all matematikk og måleprosedyre er den samme.

3.2. Måleprosedyre.

Alle sensorer avseses med en frekvens på 1 Hz. Etter 10 minutter beregnes i alt 27 vindparametre (9 fra hvert nivå) og 2 temperaturparametre (midlere lufttemperatur i nivå 10 og 45 m).

Vindparametrene er som følger: 10 min. middelvindhastighet, $U(10\text{min})$; vektormidlet vindretning, $\theta(10\text{min})$; longitudinal, I_u og transversal, I_v , turbulensintensitet; og gustfaktorene $GF(\tau)$ med $\tau = 1, 3, 5$ og 60 sek..

$GF(\tau)$ er definert som høyeste glidende middel over τ sekunder, $u_{max}(\tau)$, dividert på $U(10\text{min})$. $GF(1s)$ er da høyeste målte sekundverdi dividert på $U(10\text{min})$.

Turbulensverdien er definert som standardavviket, σ på langs (longitudinal), σ_u , eller på tvers (transversal), σ_v av midlere vindretning, dividert på $U(10\text{min})$.

En mer detaljert oversikt med definisjoner av parametrene er gitt i (1).

Data for de siste 128 10-minutters periodene (ca. 21 timer) er alltid lagret på stasjonen. Disse ringes automatisk opp 4 ganger pr. degn, og data overføres til mottakersentralen på Blindern. I tillegg kan man ringe manuelt når man måtte ønske det.

3.3. Datalagring.

Dataene på mottaker - PC gjennomgår en kort, rutinesmessig omstrukturering før de lagres på permanente filer. Slike filer dekker 1/2 måned og består av ca. 2000 linjer hver på 200 tegn. Hver linje svarer da til en 10 min. observasjon og har 29 parameterverdier.

3.4. Datakvalitet og regularitet.

Datastrømmen fra Hardanger har meget god regularitet. Det er hittil ikke vært feil på denne stasjonen. Den eneste svakheten er visse problemer med telelinjen. Det overføres data automatisk 4 ganger pr. døgn for å holde den høye regulariteten. I tillegg foregår manuell overvåking hver arbeidsdag kl. 08.00.

Det har også forekommet sporadiske feil på mottakerstasjonen. Samlet har dette ført til en regularitet på 94.4%.

Vanlige feil på slike vindstasjoner er slitte lagre på vindhastighetsensorene. Dette går ut over starthastigheten, og forskyver frekvensen av svak vind over på antall tilfelle med vindstille. Slitasje på en rotordel i vindretningsfeilerne er også mulige feil etter noen få år.

Måling i tre nivåer er en effektiv kontroll på sensorfeil. Feilsjekkning har vist at det hittil ikke har vært feil på sensorene på denne vindstasjonen. Slike feil kan imidlertid komme til å vise seg på enkelte sensorer i løpet av neste år. En regner med å foreta full utskiftning av alle vindsensorer sommeren 1991.

4. RESULTATER OG TOLKNING AV DATA.

4.1 Middelvind i 45 m's nivå.

Tabell 4.1.

Antall tilfelle med registrert 10 min. middelvind i 45 m's nivå, Bu i Hardanger, fordelt i intervaller på 3 m/s og 10°. Periode: 11.11.88 - 01.09.90.

DD	0- 3m/s	3- 6m/s	6- 9m/s	9- 12m/s	12- 15m/s	15- 18m/s	18- 21m/s	21- 24m/s	24- 27m/s	27- 30m/s	>30m/s	Umid
10	239	34	4	1								1.58
20	293	40	38	12	1							2.34
30	436	103	129	55	29	8						3.99
40	605	190	315	150	52	34	7					5.10
50	1031	413	577	403	145	92	29	1				5.92
60	1746	792	646	451	250	168	38					5.57
70	3244	2584	619	403	279	122	16	1				4.39
80	4187	6689	707	350	327	146	24					4.23
90	2986	4250	427	189	124	66	35	24	7			4.06
100	1700	1351	144	114	84	36	24	7				3.84
110	901	311	90	39	18	14	4	6	4			3.32
120	512	113	30	12	5							2.43
130	325	55	25	5	4							2.24
140	286	40	14	5	4	4						2.25
150	199	26	12	7	3	1						2.24
160	219	23	4	2								1.66
170	189	18	6									1.65
180	221	36	4	4								1.88
190	259	101	62	23	3							3.45
200	367	478	473	140	15	3						5.39
210	578	1204	1716	639	179	65	22					6.74
220	845	2369	2575	1241	570	261	129	54	8			7.45
230	1430	2930	1839	1280	845	461	277	155	62	17	7	7.81
240	2104	2428	1023	841	616	352	143	87	45	14	9	6.70
250	1890	1156	530	550	366	131	28	6	2			5.50
260	1230	450	216	211	92	30	5	1				4.27
270	801	222	74	34	8	3						2.78
280	524	153	48	7	3							2.51
290	393	144	87	7	2							2.97
300	299	157	140	37	5							3.97
310	266	109	108	52	4							4.04
320	225	54	28	15	1							2.63
330	209	23	3									1.46
340	175	22	1									1.38
350	245	16	1									1.15
360	1456	111	5	2								.73

Tabell 4.1 viser en opptelling av alle registreringer av 10 min. middelvind i 45 m's nivå. Tabellen viser antall tilfelle plassert i bokser på 10° og 3 m/s. Tabellen gir et klart bilde av hvorledes vinden er kanalisert i fjordens retning. Hovedretningene er nordøst - øst (50 - 110°) og sørvest (210 - 260°).

Tabell 4.2 viser frekvensfordelingen av samme parameter, gitt i bokser på 30° og 3 m/s. Årstidsvariasjon er vist ved å inndele materialet i en vinterdel (september - april) og en sommerdel (mai - august), tabell 4.3 - 4.4. Fig. 4.1 gir et visuelt inntrykk av noen vesentlige trekk fra tabell 4.1 - 4.4.

Forskjellen mellom vintersesongen og sommersesongen ligger mest i at det er en del flere tilfelle med sterk vind om vinteren. Om sommeren er det flere tilfelle med svak til moderat sørvestlig vind (0 - 10 m/s). Sistnevnte skyldes nok soloppvarming av fjellene omkring indre del av fjorden. For øvrig viser tabellene at det var omtrent like mye vind inn fjorden som ut fjorden i de to vintersesongene. Likeledes viser de at det var mer sterk vind inn fjorden enn ut fjorden i samme tidsrom. I kap.4.6 vises det at dette er atypisk, et gjennomsnittsår vil inneholde flere tilfelle med sterk vind ut fjorden og færre tilfelle med sterk vind inn fjorden.

Det store innslaget av svak til moderat vind ut fjorden både sommer og vinter skyldes dels at særlig vind langs kysten og over fjellene omkring fjorden, hvirvles ned i fjorden og et vindfelt ut fjorden settes opp. Denne situasjonen er typisk når et regnvarsområde legger seg innover landadelen. Dels bidrar utstrømning av kald luft fra indre fjordbasseng til den høye frekvensen.

Sterk vind på stasjonen blir drøftet senere i dette kapittel.

Tabell 4.2.

Frekvensverdier av registrert 10 min. middelvind i 45 m's nivå på Bu i Hardanger, fordelt i intervaller på 3 m/s og 30°. Tabellen dekker hele perioden 11.11.88 - 01.09.90.

DD	0- 3m/s	3- 6m/s	6- 9m/s	9- 12m/s	12- 15m/s	15- 18m/s	18- 21m/s	21- 24m/s	24- 27m/s	27- 30m/s	2	30m/s	SUM
360	2.2	.7	.01	.00									2.4
30	1.5	.4	.5	.2	.1	.05	.01						2.8
60	6.7	4.2	2.1	1.4	.8	.4	.1	.00					15.7
90	9.9	13.7	1.4	.7	.6	.3	.1	.03	.01				26.8
120	1.9	.5	.2	.1	.03	.02	.00	.01	.00				2.8
150	.7	.1	.03	.02	.01	.01							.9
180	.7	.2	.1	.03	.00								1.0
210	2.0	4.5	5.3	2.3	.9	.4	.2	.1	.01				15.6
240	6.1	7.3	3.8	3.0	2.0	1.1	.5	.3	.1	.03	.02		24.2
270	2.9	.9	.4	.3	.1	.04	.01	.00					4.6
300	1.1	.5	.4	.1	.01								2.0
330	.7	.1	.04	.02	.00								.8
STILL	.4												.4
SUM	36.9	32.6	14.2	8.1	4.5	2.2	.9	.4	.1	.03	.02		

Tabell 4.3.

Frekvensverdier av registrert 10 min. middelvind i 45 m/s nivå, Bu i Hardanger, fordelt i intervaller på 3 m/s og 30°. Vinterverdier (september - april). Periode 11.11.88 - 01.09.90.

DD	0- 3m/s	3- 6m/s	6- 9m/s	9- 12m/s	12- 15m/s	15- 18m/s	18- 21m/s	21- 24m/s	24- 27m/s	27- 30m/s	≥ 30m/s	SUM
360	1.9	.2	.02	.00								2.1
30	1.4	.4	.5	.3	.1	.1	.01					2.8
60	6.6	4.5	2.1	1.5	.9	.7	.1	.00				16.4
90	10.1	14.3	1.7	1.0	.9	.4	.1	.1	.01			28.6
120	2.2	.6	.2	.1	.05	.03	.01	.01	.01			3.2
150	.9	.1	.05	.02	.00	.01						1.1
180	.8	.1	.03	.02								1.0
210	2.0	3.2	4.1	2.7	1.3	.6	.3	.1	.01			14.3
240	4.8	5.0	3.9	3.7	2.9	1.6	.8	.4	.2	.1	.03	23.4
270	2.4	.9	.3	.3	.2	.05	.01	.00				4.2
300	1.0	.4	.2	.1	.01							1.7
330	.7	.1	.02	.01								.8
STILL	.3											.3
SUM	135.0	29.9	13.2	9.6	6.4	3.5	1.4	.6	.2	.1	.03	

Tabell 4.4.

Frekvensverdier av registrert 10 min. middelvind i 45 m/s nivå, Bu i Hardanger, fordelt i intervaller på 3 m/s og 30°. Somnerverdier (mai - august). Periode 11.11.88 - 01.09.90.

DD	0- 3m/s	3- 6m/s	6- 9m/s	9- 12m/s	12- 15m/s	15- 18m/s	18- 21m/s	21- 24m/s	24- 27m/s	27- 30m/s	≥ 30m/s	SUM
360	2.7	.1	.00	.00								2.7
30	1.7	.3	.6	.2	.01							2.7
60	6.9	3.8	1.9	1.3	.5	.03						14.5
90	9.5	12.8	1.0	.3	.1	.03						23.9
120	1.5	.4	.1	.01								2.1
150	.7	.1	.01	.01	.01	.00						.8
180	.6	.2	.2	.05	.01							1.0
210	2.0	6.7	7.3	1.6	.1	.00						17.7
240	8.0	11.0	3.6	1.9	0.7	0.2	.01					25.3
270	3.5	1.0	.5	.2	.04	.02						5.2
300	1.1	.6	.6	.1	.01							2.5
330	.7	.1	.1	.03	.00							.9
STILL	.7											.7
SUM	139.6	37.1	15.9	5.7	1.5	0.2	.01					

BU I HARDANGER

11.11.88 - 01.09.90

Antall rec. : 89524

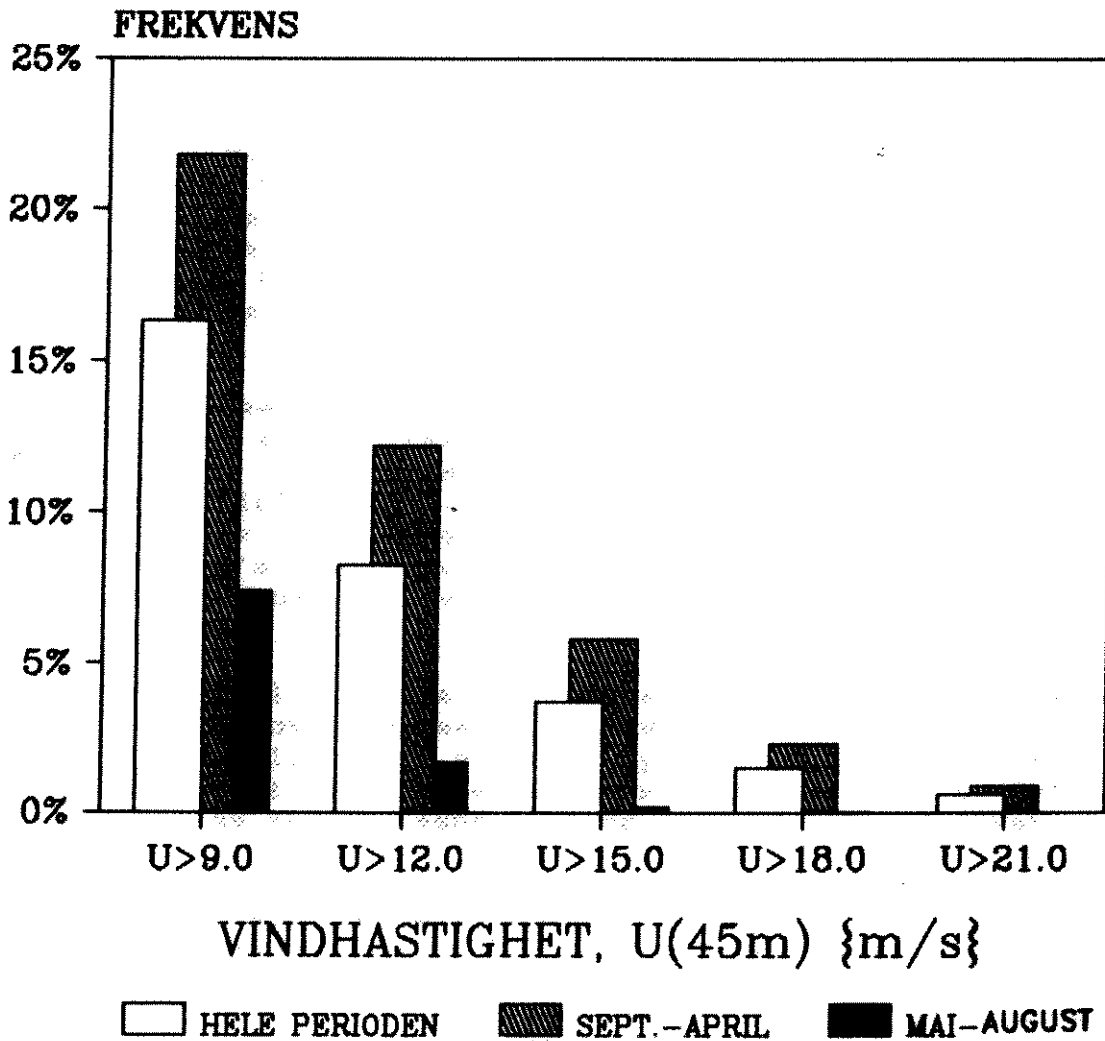


Fig. 4.1.

Akkumulerte frekvensverdier av registrert 10 min. middelvind over 9 m/s summert over alle retninger i 45 m's nivå for sommer, vinter og over hele året.

4.2. Vindprofiler i målemasten.

Tabell 4.5 viser vindprofilet langs masten uttrykt ved forholdet mellom middelvinden i to og to nivåer. I tabell 4.6 er profilet uttrykt ved n - eksponenten i den eksponensielle vindlov

$$U(z_2)/U(z_1) = (z_2/z_1)^n \quad (\text{Lign.4.1}).$$

Tabellen er vist som retningsfordelte gjennomsnitt av alle tilfelle der 10 min. middelvind i 45 m's nivå, $U(45m)$, overstiger 10 m/s.

Fig. 4.2 illustrerer profilet, uttrykt ved n - eksponenter. Øverste kurve viser n - eksponenten når nivåene 10 og 30 m er benyttet for z_2 og z_1 , mens nederste kurve viser eksponenten når 30 og 45m er benyttet. Dersom vinden hadde blåst over en tilstrekkelig lang skogsflate, ville kurvene ha falt sammen og ligget i området 0.3 - 0.4, dvs. når eksponenten for 10 - 30m. Figuren illustrerer altså at vindprofilet i nedre del av mast bærer sterk preg av næromgivelsene, dvs. skogen på Buneset.

Forholdstallet mellom middelvinden i 45 og 30 m skulle vært nær 1.01 dersom skogen ikke hadde innvirkning i disse nivåer, og målenivåene representerte 168 og 153 m over sjeflaten. Målte verdier ligger på 1.05 - 1.15 for de mest hyppige sektorer ved sterk vind. Skogsinnflytelsen når således definitivt opp i 30 m's mastenivå, det er også sannsynlig at noe innflytelse når opp i over 45 m's masteheide for enkelte sektorer.

Figur 4.2 og tabell 4.6 viser ellers at bremsingen i nederste nivåer er størst omkring vest - nordvest, men også ved nordøstlig og sørvestlig vind er den betydelig. Dette skyldes at ved vind inn fra fjorden direkte mot masten, er 10 m's nivået meget påvirket av skogen, mens nivåene over er lite påvirket.

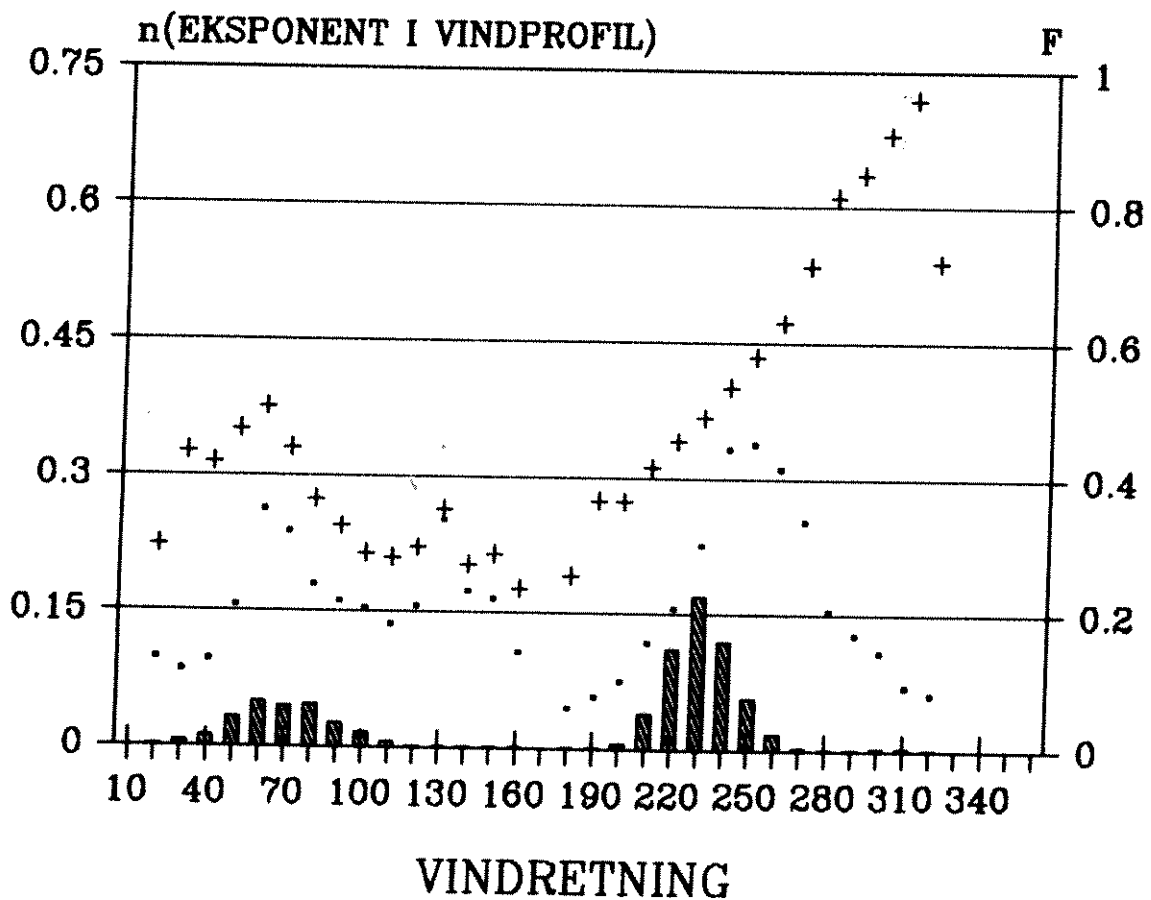
Over øvre del av masten (30 - 45 m) er profilet skarpest (størst endring med høyden) omkring 60 - 70°, 130° og 240 - 270°. Forholdene omkring 60 - 70° og 240 - 270° skyldes trolig at virkningen av skogen når opp i 30 m's nivået, men ikke til 45 m's nivået for disse sektorer. For 130° er forholdene spesielle som følge av en skogbevokst kulle på 140 m o.h. rett sørøst for masten.

Vi har her sett bort fra en sannsynlig forsterkningseffekt over og rundt Buneset. Denne effekten antas influere hele masten og store deler av bruspenet. Effekten er derfor inkludert i alle resultater fra området.

BU I HARDANGER

11.11.88 - 01.09.90

ANTALL REC. :89524



· n(30-45) + n(10-30)
 ■ RETNINGSFORDELING, F

KRAV: $U(45m) > 10.0m/s$ (13.0% av tiden)

Fig. 4.2.
 Eksponenten i den eksponensielle vindlov, lign. 4.1.
 Variasjoner med vindretning og høyde over bakken.

Tabell 4.5.

Forholdet mellom vindhastigheten i nivåene
45/30, 45/10 og 30/10 på Bu i Hardanger.
Vindretning i 45 m-nivå, $U(45m) > 10.0m/s$.
N står for antall tilfelle.

DD	UF12	UF13	UF23	N12	N13	N23
20	1.025	1.388	1.118	4	4	6
30	1.031	1.484	1.438	74	74	74
40	1.034	1.473	1.409	176	176	180
50	1.064	1.573	1.474	500	494	494
60	1.113	1.695	1.518	736	708	712
70	1.102	1.592	1.441	677	677	680
80	1.076	1.458	1.349	712	712	723
90	1.067	1.400	1.309	380	380	383
100	1.064	1.347	1.264	228	228	229
110	1.055	1.331	1.255	64	64	65
120	1.066	1.365	1.224	11	11	12
130	1.108	1.480	1.262	6	6	7
140	1.073	1.344	1.250	11	11	11
150	1.070	1.359	1.268	7	7	7
160	1.044	1.270	1.214	2	2	2
180	1.018	1.253	1.232	3	3	3
190	1.019	1.357	1.356	14	13	14
200	1.030	1.393	1.342	86	86	87
210	1.048	1.478	1.408	590	588	589
220	1.065	1.547	1.453	1681	1680	1680
230	1.096	1.641	1.497	2596	2579	2586
240	1.144	1.779	1.554	1821	1797	1803
250	1.147	1.853	1.614	868	844	847
260	1.135	1.914	1.681	269	265	268
270	1.108	2.005	1.803	24	23	23
280	1.064	2.084	1.773	5	5	6
290	1.043	2.211	2.033	7	7	8
300	1.022	2.248	2.146	25	25	26
310	1.010	2.260	2.229	30	30	30
320	1.005	1.841	1.710	8	8	9

Tabell 4.6.

Eksponenten i den eksponensielle vindlov, lign.4.1., Bu i Hardanger, ved bruk av nivåene 45/30, 45/10 og 30/10. Vindretning i 45 m-nivå, $U(45m) > 10.0m/s$. N står for antall tilfelle.

DD	n12	n13	n23	N12	N13	N23
20	.097	.218	.223	3	4	5
30	.083	.259	.327	66	74	74
40	.095	.253	.315	154	176	177
50	.155	.297	.351	486	494	494
60	.261	.345	.376	736	708	712
70	.237	.306	.331	677	677	680
80	.179	.249	.274	712	712	716
90	.160	.222	.244	380	380	382
100	.152	.197	.214	228	228	228
110	.135	.189	.210	63	64	64
120	.155	.204	.221	11	11	11
130	.251	.260	.263	6	6	6
140	.172	.194	.202	11	11	11
150	.164	.201	.214	7	7	7
160	.105	.157	.176	2	2	2
180	.043	.150	.190	3	3	3
190	.056	.201	.274	12	13	14
200	.074	.219	.273	84	86	86
210	.116	.259	.311	590	588	588
220	.154	.289	.340	1681	1680	1680
230	.224	.328	.367	2596	2579	2586
240	.332	.382	.401	1821	1797	1803
250	.337	.409	.435	868	844	847
260	.310	.430	.472	269	265	268
270	.252	.461	.535	24	23	23
280	.152	.487	.611	5	5	5
290	.126	.521	.636	6	7	8
300	.107	.527	.679	17	25	26
310	.069	.532	.719	18	30	30
320	.060	.397	.539	4	8	8

4.3. Turbulens og gustfaktorer.

Gustfaktoren, $GF(\tau, t)$, er definert som forholdet mellom maksimal vindhastighet, $u_{max}(\tau, t)$, og middelvinden, $U(t)$. τ er da tidsperioden for vindkastene, vi har her benyttet 3 sekunder og 1 minutt. t er midlingstiden for middelvinden, 10 minutter er her fast referansetid:

$$GF(\tau, 10\text{min}) = GF(\tau) = u_{max}(\tau, 10\text{min})/U(10\text{min}) \quad (\text{Lign.4.2}).$$

Turbulensintensiteten i vindens retning, I_u , defineres som standardavviket, σ_u , skalert i forhold til middelvinden, U :

$$I_u = \sigma_u/U = (1/U) \{ (1/599) \sum (U-u_i)^2 \}^{1/2} \quad (\text{Lign.4.3})$$

Fig. 4.3 viser hvorledes gustfaktor og turbulensintensitet i næstetoppen varierer med vindretning for sterk vind. Vi ser at 3 sek. gustfaktor og I_u varierer i nær perfekt takt, dvs. at turbulensen kan beskrives ved gustfaktoren og omvendt. Denne sammenhengen varierer lite med vindretningen.

Typiske 3-sek. gustfaktorer i 45 m's nivå ved vind i hovedsektorene (30 - 110 og 200 - 260°) er 1.30 - 1.50. Turbulensintensiteten ligger i området 0.14 - 0.20 (14 - 20%).

Dette må sies å være relativt høye verdier, tatt i betraktning av den sterke middelvinden. Slike gustfaktorer ville man forvente nede ved fjorden, men da ville middelvinden være redusert.

Dette skyldes dels innvirkning fra fjellaidene i fjorden. Dels kan det også skyldes sterke middelvindgradienter i forbindelse med vindpassering over og rundt Buneset. En mulig tolkning er også at skogen kan ha en viss innflytelse selv i 45 m's næstehøyde. En siste mulighet er at en aktiv blanding av luftmasser som kommer ned fra fjellene og vind som strømmer langs fjorden kan øke turbulensen.

Tabell 4.7 - 4.8 og fig. 4.4 viser hvorledes gustfaktorene og turbulensintensiteten endrer seg med høyden. Vi ser at disse parameterne har betydelig større verdier i 10 m's nivå enn i 30 og 45 m's nivåene. Vi ser også at de varierer mer med vindretningen i 10 m's nivået, dette er rimelig siden nærinnflytelsen fra platået, og dermed inhomogenitetsinnflytelsen, er sterkt i 10 m's nivået.

Tabell 4.9 - 4.10 viser spredningen av turbulensintensiteten, samt variasjon mellom sterk og middels sterk vind. Vi legger merke til at turbulensintensiteten er noe høyere ved middels sterk østlig vind enn ved sterk østlig vind, mens slike forskjeller ikke kan sees ved vestlig vind. Spredningen er derimot omtrent den samme for begge retningene, men den er større ved middels sterk vind enn ved sterk vind. Det er ikke helt klart hva som er årsaken til disse forhold, men det foregår mye blanding av luft som kommer ovenfra ned langs fjellaidene

med vind som går i fjorden, slik at forholdene kan variere med hvor denne blandingen foregår.

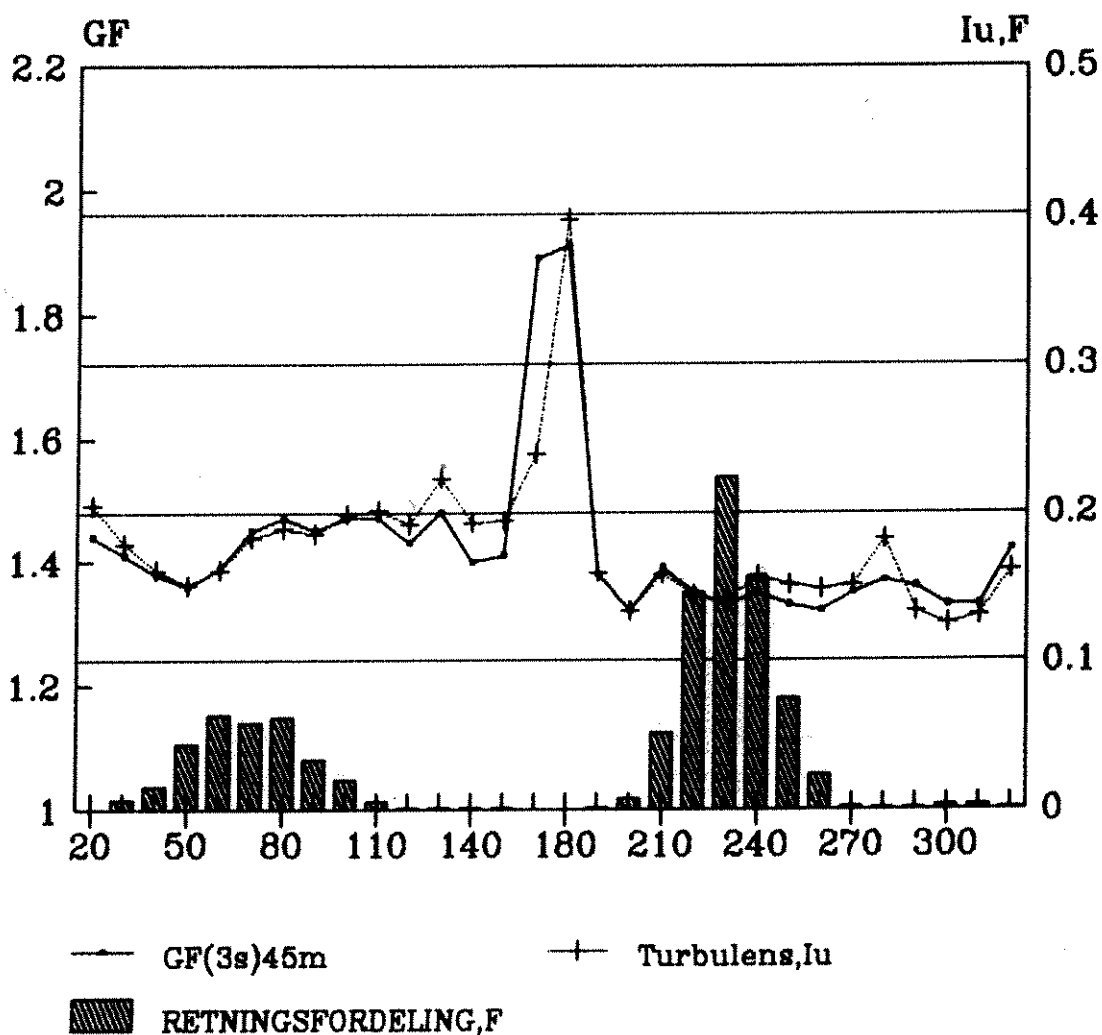
Tabell 4.11 viser transversal turbulensintensitet, I_v . Denne parameter er omtrent lik I_u ved isotrope forhold. På Bunaset er den stort sett litt lavere enn I_u , dette er rimelig siden vinden er kanalisert.

Tabell 4.12 og fig. 4.5 viser friksjonshastigheten, U^* , beregnet fra målinger i to og to nivåer. Under homogene forhold over skog burde denne vært noenlunde konstant med høyden opp til 50 m's høyde. Figuren viser at den faller med høyden over Buplatået. Dette skyldes at vinden blåser innover platået fra en mindre ru flate til en ruere. Dette gir seg også utslag i at standardavviket, σ_u , faller med høyden, og at turbulensintensiteten faller raskere med høyden enn middelvinden øker (tabell 4.5 og 4.8). Inhomogeniteten er størst der fallet er størst, dvs. i sektorene $270 - 050^\circ$ og $180 - 220^\circ$. Av fig. 2.3 ser vi at dette gjelder vind som kommer rett inn fra fjorden ($270 - 050^\circ$) eller som blåser over åpne jorder/myrer mot masten ($180 - 220^\circ$). En sammenligning av fig. 4.2 og 4.5 viser at høydevariasjonene i eksponenten, n og friksjonshastigheten, U^* , er nokså like. De uttrykker da også samme fysikken.

BU I HARDANGER

11.11.88 - 01.09.90

ANTALL REC. :89524



KRAV: $U(45m) > 10.0 \text{ m/s}$ (13.0% av tiden)

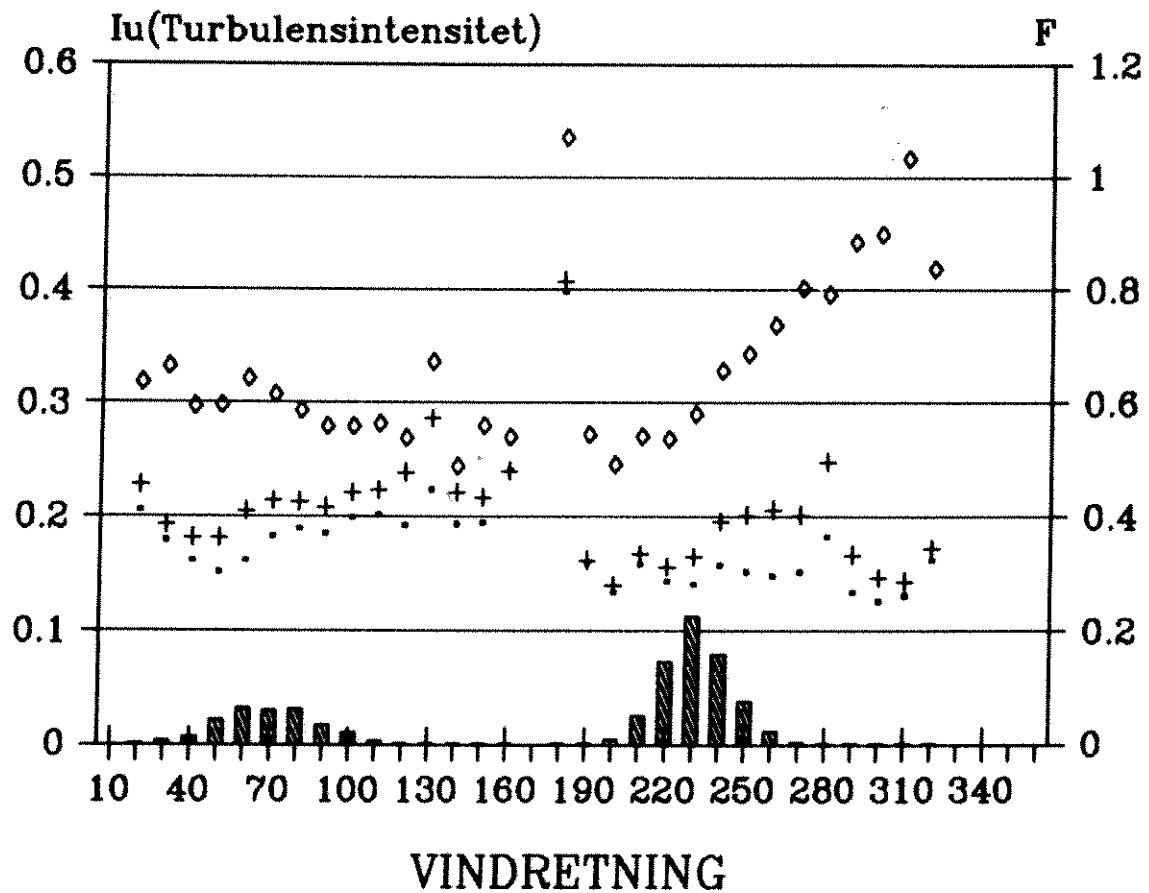
Fig. 4.9.

Variasjoner i horisontal turbulensintensitet, I_u , og 3 sek. gustfaktor, $GF(3s)$ med vindretning i 45 m's høyde over bakken.

BU I HARDANGER

11.11.88 - 01.09.90

ANTALL REC. :89524



• Iu(45)

+ Iu(30)

◊ Iu(10)

▨ RETNINGSFORDELING, F

KRAV: $U(45m) > 10.0m/s$ (13.0% av tiden)

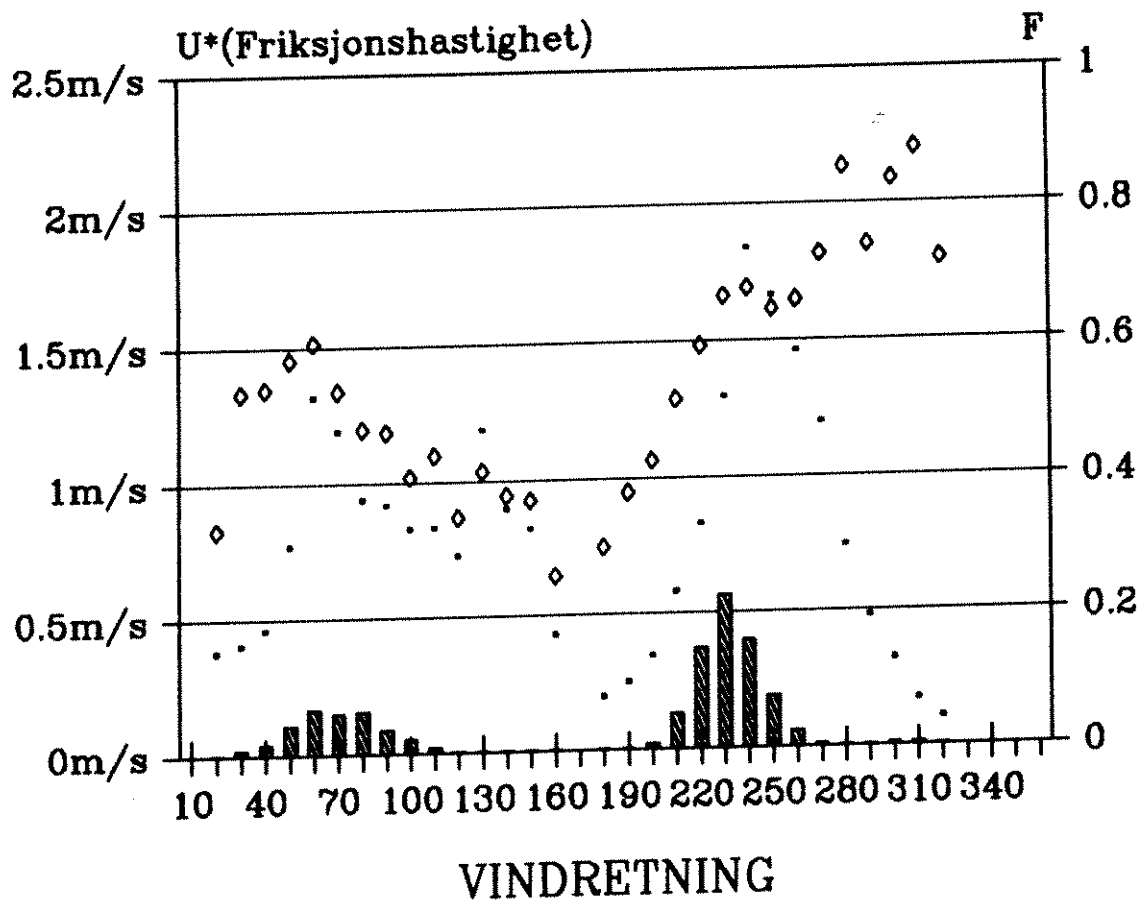
Fig. 4.4.

Variasjoner i horisontal turbulensintensitet, I_u , med vindretning og høyde over bakken.

BU I HARDANGER

11.11.88 - 01.09.90

ANTALL REC. :89524



• U*(30-45) ◊ U*(10-30)
▨ RETNINGSFORDELING, F

KRAV: $U(45m) > 10.0m/s$ (13.0% av tiden)

Fig. 4.5.
Variasjoner i friksjonshastigheten, u^* , med vindretning og høyde over bakken.

Tabell 4.7.

Gustfaktorer fordelt på vindretning i tre nivåer, Bu i Hardanger.

GF(1-60 s/10 min) / nivå (45,30,10 m over bakken).
Vindretning i 45 m-nivå, $U(45m) > 10.0m/s$.
N står for antall tilfelle.

DD	1/45	1/30	1/10	3/45	3/30	3/10	5/45	5/30	5/10	60/45	60/30	60/10	N3s45m	N3s30m	N3s10m
20	1.47	2.25	2.02	1.44	2.21	1.92	1.42	2.19	1.89	1.25	1.94	1.59	4	6	6
30	1.45	1.50	1.83	1.41	1.46	1.74	1.38	1.42	1.68	1.20	1.22	1.33	74	62	62
40	1.42	1.49	1.78	1.38	1.44	1.69	1.35	1.41	1.64	1.20	1.23	1.32	176	164	164
50	1.39	1.45	1.78	1.36	1.40	1.69	1.33	1.38	1.63	1.19	1.21	1.30	500	489	483
60	1.43	1.52	1.90	1.39	1.46	1.79	1.36	1.43	1.73	1.20	1.23	1.33	729	725	703
70	1.50	1.57	1.90	1.45	1.52	1.80	1.42	1.48	1.73	1.22	1.25	1.33	674	670	673
80	1.52	1.59	1.85	1.47	1.53	1.76	1.44	1.50	1.70	1.22	1.25	1.31	710	712	713
90	1.50	1.56	1.79	1.45	1.50	1.70	1.42	1.47	1.65	1.21	1.24	1.29	380	375	375
100	1.52	1.59	1.79	1.47	1.53	1.70	1.44	1.50	1.65	1.23	1.25	1.30	228	229	229
110	1.52	1.58	1.78	1.47	1.53	1.70	1.44	1.49	1.64	1.23	1.25	1.29	64	65	65
120	1.47	1.57	1.74	1.43	1.51	1.67	1.39	1.48	1.62	1.22	1.29	1.31	11	12	12
130	1.53	1.67	1.85	1.48	1.61	1.79	1.43	1.56	1.74	1.25	1.32	1.39	6	7	7
140	1.46	1.51	1.77	1.40	1.47	1.67	1.36	1.44	1.62	1.21	1.23	1.28	11	11	11
150	1.44	1.52	1.74	1.41	1.44	1.68	1.37	1.40	1.62	1.21	1.24	1.27	7	7	7
160	2.00	1.82	1.96	1.89	1.75	1.85	1.83	1.71	1.80	1.50	1.45	1.47	2	2	2
180	1.96	2.01	2.17	1.91	1.91	2.09	1.87	1.86	2.02	1.60	1.57	1.59	3	3	3
190	1.42	1.45	1.74	1.38	1.39	1.67	1.36	1.36	1.62	1.19	1.19	1.33	14	15	14
200	1.36	1.40	1.66	1.32	1.36	1.58	1.30	1.33	1.52	1.16	1.17	1.24	86	87	86
210	1.43	1.46	1.77	1.39	1.42	1.67	1.37	1.39	1.61	1.19	1.20	1.27	592	590	582
220	1.38	1.43	1.77	1.35	1.39	1.67	1.32	1.36	1.61	1.17	1.18	1.24	1687	1681	1678
230	1.37	1.44	1.82	1.33	1.39	1.71	1.31	1.36	1.65	1.17	1.19	1.25	2592	2599	2580
240	1.39	1.50	1.95	1.35	1.45	1.83	1.32	1.42	1.75	1.18	1.22	1.29	1815	1816	1802
250	1.37	1.49	1.98	1.33	1.44	1.85	1.30	1.40	1.76	1.17	1.21	1.28	863	870	847
260	1.36	1.47	2.01	1.32	1.42	1.88	1.30	1.39	1.79	1.17	1.22	1.31	269	272	268
270	1.39	1.48	2.08	1.35	1.43	1.92	1.33	1.40	1.83	1.18	1.23	1.35	24	24	23
280	1.40	1.54	2.02	1.37	1.50	1.88	1.34	1.46	1.77	1.19	1.30	1.30	5	6	6
290	1.41	1.47	2.20	1.36	1.43	2.03	1.33	1.40	1.92	1.14	1.21	1.33	7	8	8
300	1.37	1.41	2.19	1.33	1.37	2.01	1.30	1.33	1.89	1.15	1.16	1.36	25	26	26
310	1.36	1.40	2.25	1.33	1.35	2.07	1.31	1.32	1.95	1.16	1.16	1.35	30	30	30
320	1.46	1.71	2.14	1.42	1.68	1.98	1.38	1.66	1.90	1.19	1.35	1.32	8	9	9

Tabell 4.8.

Longitudinal turbulensintensitet, I_u , fordelt på vindretning i tre nivåer, 45, 30 og 10 m over bakken, B_u i Hardanger.

Vindretning i 45 m-nivå, $U(45m) > 10.0m/s$.

N står for antall tilfelle.

DD	I_{u45}	I_{u30}	I_{u10}	N12	N13	N23
20	.205	.228	.318	4	5	5
30	.179	.193	.332	74	74	74
40	.161	.182	.297	176	176	174
50	.151	.182	.298	500	499	490
60	.161	.205	.321	742	737	701
70	.183	.214	.307	686	675	681
80	.189	.213	.293	718	712	724
90	.185	.208	.279	380	374	387
100	.199	.221	.279	228	227	227
110	.201	.223	.282	66	65	65
120	.192	.239	.269	12	12	12
130	.223	.286	.336	6	7	7
140	.193	.222	.244	11	11	10
150	.194	.217	.280	7	7	7
160	.240	.240	.270	1	1	1
180	.397	.407	.535	3	3	2
190	.159	.162	.272	14	15	12
200	.133	.140	.246	83	86	87
210	.158	.167	.271	583	589	588
220	.143	.156	.268	1679	1681	1685
230	.140	.165	.290	2587	2602	2584
240	.157	.196	.328	1815	1823	1796
250	.151	.201	.343	861	863	838
260	.148	.206	.368	269	272	266
270	.151	.201	.401	24	24	23
280	.182	.248	.395	5	6	6
290	.133	.166	.441	7	8	7
300	.125	.146	.448	23	26	17
310	.130	.143	.516	28	30	18
320	.161	.172	.418	8	8	6

Tabell 4.9.

Observerert turbulensintensitet, I_u (%) ved middels sterk vind for Bu i Hardanger. Diagrammet viser midlere verdier samt spredningen, alt fordelt på vindretning. Nivå: 45m.
 Krav: $10.0m/s \leq U(10min) < 20.0m/s$
 Periode: 11.11.88 - 01.09.90

	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29	31	33	35	37	39	41	43	45	47	49	51	53	55	57	59	61	63	65	67	69	SUM	MID	STD	
360	0	00	00
10	0	00	00
20	2	1	.	1	4	20	02
30	.	.	.	1	6	10	14	9	4	12	7	6	1	1	2	.	1	74	18	06
40	.	.	2	9	17	30	32	27	21	15	7	8	4	1	1	1	1	176	16	05	
50	.	3	11	36	86	88	79	66	49	25	20	19	2	4	6	2	2	1	1	.	1	501	15	05	
60	.	.	8	34	86	104	134	115	102	61	41	26	10	13	6	2	2	744	16	05	
70	.	.	1	6	42	77	120	115	76	89	62	44	9	12	13	7	4	2	2	1	.	.	.	2	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	685	18	06
80	.	.	1	3	17	83	116	113	110	83	64	48	16	30	9	7	2	6	2	3	.	.	.	.	1	.	1	.	.	.	.	.	.	.	715	19	06
90	9	26	52	65	53	42	34	29	6	4	1	4	3	2	3	1	1	335	19	05	
100	5	16	38	30	19	30	25	17	5	7	8	5	3	2	.	1	.	.	.	.	2	.	1	.	.	.	.	.	.	.	214	20	07		
110	.	.	1	.	1	2	7	6	6	10	5	6	2	1	3	.	2	.	2	1	55	21	07	
120	1	3	1	1	3	1	.	1	1	12	19	05	
130	1	.	.	1	1	2	.	1	6	22	04	
140	3	3	1	1	.	.	1	.	1	1	11	19	09	
150	.	.	.	1	1	3	1	1	7	19	11	
160	1	2	43	25	
170	0	00	00	
180	1	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3	40	12		
190	.	.	4	.	2	4	.	.	1	1	1	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	14	16	08
200	.	.	2	3	27	18	19	6	2	3	4	84	13	04	
210	.	.	1	24	64	141	130	77	41	28	13	20	11	11	3	4	4	1	3	2	1	1	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	581	16	06	
220	.	.	1	12	91	299	303	317	297	73	51	28	8	13	2	7	4	2	.	1	1	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1596	14	05
230	.	.	.	45	206	431	485	457	243	156	112	44	52	16	12	3	3	6	2	1	1	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2276	14	05	
240	.	.	.	8	48	218	291	317	274	183	111	73	43	12	15	9	6	3	1	1	3	.	1	1	.	1	1	.	.	.	.	.	1	1621	16	05	
250	.	.	.	17	65	130	141	170	105	73	59	31	32	5	8	2	2	3	2	1	.	.	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	850	15	06	
260	.	.	2	5	39	50	68	49	26	26	29	2	12	.	4	.	2	1	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	316	14	05
270	.	.	1	1	7	3	1	5	3	1	.	1	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	24	15	06
280	2	.	1	1	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	5	18	09		
290	.	.	.	1	1	2	1	1	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	7	13	04
300	.	.	1	3	4	5	6	2	1	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	23	13	03
310	.	.	.	5	5	8	3	4	1	1	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	28	13	04
320	.	.	.	1	1	1	1	2	.	.	1	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	8	16	05
330	0	00	00		
340	0	00	00		
350	0	00	00		
SUM	0	0	6116520	*****	*****	*****	*****	*****	*****	792488398	109139	68	53	44	22	16	16	4	3	5	3	3	3	3	1	0	1	1	0	0	1	****	16	05					

Tabell 4.10.

Obsørvert turbulensintensitet, I_u (%) ved sterkvind for Bu i Hardanger. Diagrammet viser midlere verdier samt spredningen, alt fordelt på vindretning.

Nivå: 45m

Krav: $U(10\text{min}) \geq 20.0\text{m/s}$

Periode: 11.11.88 - 01.09.90

	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29	31	SUM	MID	STD
40	0	00	00
50	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	10	00
60	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	07	00
70	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	11	01
80	1	1	.	.	.	.	.	.	.	2	16	01
90	1	7	14	15	4	2	2	.	.	.	.	.	45	14	03
100	5	8	3	.	.	.	.	.	.	.	16	14	02
110	5	5	1	.	.	.	.	.	.	.	11	14	01
120	0	00	00
200	0	00	00
210	3	1	1	1	.	.	.	.	.	.	6	15	02
220	1	14	29	23	15	3	1	1	1	.	.	.	88	14	03
230	.	.	.	1	17	62	95	70	35	19	11	4	1	.	1	.	316	14	03
240	6	12	59	55	31	22	9	3	.	.	.	.	197	15	03
250	3	7	3	.	.	.	.	.	.	.	13	14	01
260	1	2	.	.	.	.	.	.	3	18	02
270	0	00	00
SUM	0	0	0	2	25	98	213	185	95	49	23	8	2	0	1	0	701	14	03

Tabell 4.11.

Transversal turbulensintensitet, Iv, i nivåene
45, 30 og 10 m over bakken, Bu i Hardanger.
Vindretning i 45 m-nivå, U(45m) > 10.0m/s.
N står for antall tilfelle.

DD	Iv30	Iv18	Iv10	N12	N13	N23
20	.140	.185	.266	4	6	5
30	.189	.197	.286	74	74	74
40	.171	.180	.257	176	178	178
50	.147	.165	.262	500	500	491
60	.157	.191	.311	742	739	709
70	.180	.209	.311	685	678	677
80	.178	.199	.277	718	721	719
90	.167	.183	.249	379	381	380
100	.173	.188	.245	228	228	228
110	.174	.191	.247	66	65	65
120	.154	.188	.228	12	12	12
130	.187	.251	.302	6	7	6
140	.172	.197	.248	11	11	11
150	.201	.226	.280	7	7	7
160	.375	.385	.405	2	2	2
180	.365	.385	.435	2	2	2
190	.164	.179	.276	14	15	14
200	.120	.128	.221	86	86	87
210	.149	.156	.248	592	591	587
220	.131	.145	.244	1680	1681	1680
230	.122	.143	.255	2591	2601	2581
240	.131	.166	.296	1814	1824	1798
250	.132	.175	.328	862	870	841
260	.128	.177	.349	269	271	266
270	.160	.200	.397	24	24	23
280	.142	.166	.400	5	5	6
290	.117	.177	.429	7	8	7
300	.127	.136	.398	25	26	21
310	.161	.132	.424	30	30	25
320	.186	.159	.357	8	8	8

Tabell 4.12.

Friksjonshastigheten, $U^* = \mu(U_2 - U_1) / \ln(z_2/z_1)$,
 $\mu = 0.41$, bestemt ut fra nivåene
 45/30, 45/10 og 30/10.

Vindretning i 45 m-nivå, $U(45m) > 10.0m/s$.

N står for antall tilfelle.

Stasjon: Bu i Hardanger.

DD	U*(12)	U*(13)	U*(23)	N12	N13	N23
20	.374	.846	.827	3	4	5
30	.401	1.071	1.334	66	74	74
40	.457	1.097	1.346	154	176	177
50	.765	1.260	1.451	486	494	494
60	1.317	1.466	1.515	736	708	712
70	1.191	1.301	1.337	677	677	680
80	.938	1.133	1.197	712	712	716
90	.914	1.116	1.184	380	380	382
100	.824	.964	1.016	228	228	228
110	.826	1.020	1.095	63	64	64
120	.722	.847	.866	11	11	11
130	1.185	1.082	1.033	6	6	6
140	.891	.928	.942	11	11	11
150	.815	.894	.923	7	7	7
160	.424	.582	.640	2	2	2
180	.189	.594	.744	3	3	3
190	.245	.785	.945	12	13	14
200	.338	.867	1.064	84	86	86
210	.577	1.095	1.286	590	588	588
220	.826	1.305	1.482	1681	1680	1680
230	1.292	1.566	1.664	2596	2579	2586
240	1.839	1.737	1.694	1821	1797	1803
250	1.663	1.630	1.614	868	844	847
260	1.459	1.608	1.646	269	265	268
270	1.196	1.654	1.817	24	23	23
280	.740	1.766	2.135	5	5	5
290	.477	1.639	1.847	6	7	8
300	.317	1.645	2.090	17	25	26
310	.169	1.636	2.202	18	30	30
320	.099	1.327	1.795	4	8	8

4.4. Sammenligning med andre stasjoner ved sterk vind.

På Bu har vi observasjoner i knapt 2 år. Disse data kan sammenlignes med data fra nærliggende stasjoner med god eksponering og lange datarekker, såkalte referansestasjoner. Det er to stasjoner som peker seg ut som aktuelle referansestasjoner, nemlig Utsira fyr og Hellisey fyr.

Vi har foretatt en sammenligning mellom samtidige vindobservasjoner på de tre stasjonene:

Det viser seg at når vinden på Utsira og Hellisey ligger i sektor 230 - 290°, vil vinden på Bu blåse innover fjorden fra sørvest eller vest. Begge referansestasjonene indikerer dette. Siden stasjonene ligger hhv. nord og sør for Bu, benyttes begge stasjonene i analysen og resultatene tidles til slutt.

Når vinden blåser fra øst (050 - 150°) på kysten er Utsira langt bedre som referansestasjon enn Hellisey. Hellisey er for mye skjernet for rent østlig til nordøstlig vind (050 - 110°). Videre viser det seg at vind omkring 160 - 170° på Utsira ofte blåser fra 150° på Hellisey pga. av fjorden innenfor. Slik vind er ustabil på Bu, og gir svakere vind enn på Utsira. Den bidrar ikke til ekstremene. Dersom vinden på Utsira er 140 - 150° derimot, blåser det sterkt på Bu. Vindretningen på Hellisey synes også nå å ligge på 140 - 150°.

Ved østlig vind forkastes derfor Hellisey som referansestasjon for Bu.

Det er nødvendig å dele østlig vind på Bu i to grupper. Vindretningen på Utsira bestemmer inndelingen. Når vinden på Utsira ligger på sørøst, 120 - 150° har vi gruppe 1), når den ligger på nordøst eller øst (050 - 110°) har vi gruppe 2). Vindretningen på Bu kan være nordøst, øst eller sørøst i begge disse gruppene, men vinden på Utsira er forholdsvis sterkere fra sørøst enn fra nordøst - øst.

Ved vind utenom disse sektorene på Utsira er vinden på Bu redusert og bidrar ikke til ekstreme vindlaster. Rett nok vil en orkan fra 160 - 170° kunne gi storm på Bu, og tilsvarende fra 210 - 220° og 300 - 320°. Noen få tilfelle som ligger helt på grensene er tatt med dersom vinden på Bu har vist seg spesielt sterk i forhold til referansestasjonene.

I tabell 4.13 - 4.15 er middelvind fra sørvest - vest på Hellisey og Utsira, fra sørøst på Utsira og fra nordøst - øst på Utsira stillet opp mot vind fra Bu. I tabell 4.16 - 4.17 er middelvind og vindkast på Bu stillet opp mot hverandre. Tabellene angir sorterte verdier for ekstremepisoder, der episodene er definert etter følgende kriterier:

1. Det tas med omtrent så mange episoder at forholdet mellom sterkeste og svakeste vindmaksimum er 3/2.
2. To stormer skal være tydelig adskilt, vindhastigheten på Bu (45m) skal falle til under 10 m/s mellom to påfølgende episoder.
- 3a. Vindretningen på Helligøy og Utsira skal være i sektor 225 - 295°.
- 3b. Vindretningen på Utsira skal være i sektor 115 - 155°.
- 3c. Vindretningen på Utsira skal være i sektor 045 - 115°.

Punkt 3a. omfatter alle tilfelle med sterk vind inn fjorden. Det spiller relativt liten rolle hvor i denne sektoren vindretningen på kysten ligger, men vindhastigheten på Bu faller raskt ved dreining av kystvinden bort fra denne sektoren. Vindretningen på Bu vil typisk ligge i sektoren 210 - 240 grader.

Punkt 3b og 3c omfatter sterk fralandsvind. Det er nødvendig med en oppdelt analyse i denne sektor, fordi overføringen fra kysten til Bu varierer innenfor sektoren, og fordi eksponeringen av kyststasjonene varierer.

Maksimal 10 min. middelvind fra hver av stormene som oppfyller kriteriene 1, 2 og 3a sorteres i fallende rekkefølge for hver av de tre stasjonene. I de samme episodene sorteres også maksimum vindkast med 1 minutt varighet og 3 sekunders varighet for Bu (45m). Sammenligning av et gitt antall episoder der denne rekkefølgen bestemmer hvilke stormer som skal være med, har den fordel at en del støy elimineres. Denne støyen framkommer dersom man hele tiden direkte sammenligner samme storm på de tre lokalitetene og skyldes tilfeldigheter og særegheter i luftmassen ved hver enkelt storm.

Tabell 4.13 viser at det er 20 tilfelle med sørvestlig vind over 23 m/s på Bu. Tabellen illustrerer også at de samme stormene får noe forskjellig plass i rekkefølgen for de tre stasjonene.

Tabell 4.14 viser at det er 8 tilfelle med østlig vind over 20 m/s på Bu og 13 tilfelle over 18 m/s når vinden på Utsira er sørøstlig. Vind fra sørvest - vest og sørøst blir omtrent like sterk på Utsira i det lange løp (3). At dette ikke vises her skyldes at måleperioden ikke er representativ for en lengre tidsperiode. Tabell 4.13 og 4.14 viser at det i registreringsperioden var langt mer sterk sørvestlig til vestlig vind enn det var sørøstlig vind på Utsira. Tabell 4.13 og 4.14 indikerer derfor at det må ventes hyppigere tilfeller med sterk østlig vind på Bu enn det som hittil er registrert. Disse forhold blir næyre diskutert i kap. 4.6.

Tabell 4.15 viser at det er mye sterkere vind på Bu enn på Utsira ved nordøstlig til østlig vind på kysten. Men et raskt overslag viser likevel at den sterkeste østlige vinden på Bu kommer når vinden på Utsira er sørøstlig.

Tabell 4.16 og 4.17 viser vindhastigheter fra Bu(45m) med midlingstider 10 minutter, 1 minutt og 3 sekunder, plukket ut etter kriterium 1, 2 og 3, og sortert i stigende orden for hver midlingstid. All østlig vind på Bu er imidlertid slått sammen i tabell 4.17. Tabell 4.16 viser at det er registrert 49.7 m/s som det sterkeste vindkastet i registreringsperioden. Denne verdien synes være høyere enn det som forventes, både i relasjon til den aktuelle situasjonen og i relasjon til andre situasjoner. En har imidlertid finanalysert situasjonen og ikke funnet tegn på feil. Kastregistreringen må derfor godtas som en korrekt verdi.

Tabell 4.16 og 4.17 viser at det i 20 stormer er notert vindkast over 30 m/s fra vest og i 20 stormer vindkast over 27 m/s fra øst. I totalt 29 stormer er det notert vindkast over 30 m/s.

Tabell 4.13.

Sammenstilling av de 20 sterkeste episoder med sørvestlig til vestlig vind (m/s) på Bu, Utsira og Helligøy 11.11.88 - 01.09.90.

	BU (45m)	UTSIRA (Ut)	HELLISØY(He)
	DATO U_{10min}	DATO U_{10min}	DATO U_{10min}
1	15/01/89 34.37	17/01/90 31.9	17/01/90 25.7
2	29/01/89 33.21	22/12/88 27.2	15/01/89 24.7
3	16/01/89 29.23	11/03/90 26.2	29/01/89 24.4
4	20/02/90 28.16	15/01/89 25.7	22/12/88 24.2
5	05/03/90 28.09	29/01/89 25.2	05/03/90 24.2
6	30/12/88 27.45	24/03/90 25.2	18/02/90 22.6
7	24/03/90 26.37	19/01/90 24.7	20/02/90 22.1
8	22/12/88 26.15	20/02/90 24.7	05/02/89 21.6
9	08/01/89 26.05	05/03/90 24.2	19/02/90 21.1
10	20/02/90 25.96	19/02/90 24.2	24/03/90 21.1
11	05/03/90 25.18	05/02/89 23.6	17/01/89 20.6
12	15/01/90 25.04	20/01/90 23.6	21/10/89 20.6
13	07/03/90 24.90	16/01/89 22.6	09/01/90 20.6
14	17/01/90 24.84	16/01/90 22.6	01/02/90 20.6
15	28/01/89 24.75	18/12/89 21.6	20/02/90 20.6
16	05/02/89 24.37	10/01/90 21.6	04/03/90 20.6
17	19/03/90 23.71	15/02/89 21.1	05/04/90 20.6
18	03/02/89 23.53	18/12/88 21.1	30/12/88 20.0
19	22/03/90 23.28	27/02/90 21.1	05/02/90 20.0
20	17/01/89 23.09	12/03/90 21.1	07/03/90 20.0

Tabell 4.14.

Sammenstilling av de 14 sterkeste episoder på Bu og Utsira (m/s) når vinden på Utsira er sørøstlig (120 - 150°), 11.11.88 - 01.09.90.

	BU (45m)	UTSIRA (Ut)
	DATO U _{10min}	DATO U _{10min}
1	10/04/89 26.25	11/04/89 21.6
2	12/02/90 22.64	10/04/89 21.1
3	28/01/90 21.19	04/12/88 21.1
4	18/12/89 21.17	20/12/89 20.6
5	28/01/90 20.73	04/01/90 20.0
6	11/04/89 20.30	28/01/90 20.0
7	03/12/88 20.23	18/12/89 19.5
8	03/11/89 20.10	12/02/90 19.0
9	04/12/88 19.93	24/03/89 18.5
10	09/11/89 19.40	04/11/89 18.5
11	24/03/89 19.08	28/01/90 18.0
12	15/04/90 18.98	03/11/89 17.5
13	20/12/89 18.08	15/04/90 17.0
14	04/11/89 17.92	09/11/89 16.4

Tabell 4.15.

Sammenstilling av de 6 sterkeste episoder på Bu og Utsira (m/s) når vinden på Utsira er østlig (050 - 110°), 11.11.88 - 01.09.90.

	BU (45m)	UTSIRA (Ut)
	DATO U _{10min}	DATO U _{10min}
1	25/02/89 25.09	25/01/90 20.0
2	25/01/90 23.60	25/02/89 19.0
3	17/12/89 19.49	17/12/89 17.5
4	09/11/89 17.64	09/11/89 15.4
5	26/02/89 17.48	26/02/89 14.9
6	05/04/89 17.48	06/04/89 13.9

Tabell 4.16.

Sammenstilling av de 20 sterkeste episoder med sørvestlig til vestlig middelvind og vindkast (m/s) på Bu 11.11.88 - 01.09.90.

BU I Hardanger (45m)								
	DATO U_{10min}		DATO U_{1min}		DATO U_{3sek}			
1	15/01/89	34.37	15/01/89	38.49	05/03/90	49.67		
2	29/01/89	33.21	29/01/89	36.89	15/01/89	42.92		
3	16/01/89	29.23	05/03/90	35.34	29/01/89	41.50		
4	20/02/90	28.16	16/01/89	34.20	22/12/88	38.79		
5	05/03/90	28.09	20/02/90	32.82	30/12/88	37.70		
6	30/12/88	27.45	17/01/90	32.04	16/01/89	37.41		
7	24/03/90	26.37	24/03/90	31.64	20/02/90	36.73		
8	22/12/88	26.15	30/12/88	31.57	17/01/90	36.49		
9	08/01/89	26.05	22/12/88	31.34	24/03/90	35.94		
10	20/02/90	25.96	08/01/89	30.74	05/02/89	35.34		
11	05/03/90	25.18	20/02/90	30.11	08/01/89	35.17		
12	15/01/90	25.04	05/03/90	29.90	07/03/90	34.49		
13	07/03/90	24.90	19/03/90	29.40	05/03/90	33.31		
14	17/01/90	24.84	28/01/89	28.71	15/01/90	32.84		
15	28/01/89	24.75	15/01/90	28.30	28/01/89	32.22		
16	05/02/89	24.37	05/02/89	27.78	20/02/90	31.67		
17	19/03/90	23.71	22/03/90	27.67	19/03/90	31.53		
18	03/02/89	23.53	13/12/88	27.37	06/12/89	30.78		
19	22/03/90	23.28	07/03/90	26.90	04/02/89	30.62		
20	17/01/89	23.09	03/02/89	26.59	03/01/89	30.12		

Tabell 4.17.

Sammenstilling av de 20 sterkeste episoder med østlig
(030 - 150°) middelvind og vindkast (m/s) på Bu, 11.11.88 -
01.09.90.

BU I Hardanger (45m)			
	DATO U _{10min}	DATO U _{1min}	DATO U _{3sek}
1	10/04/89 26.25	10/04/89 29.66	11/04/89 34.50
2	25/02/89 25.09	25/02/89 28.85	25/02/89 32.06
3	25/01/90 23.60	25/01/90 28.11	18/02/89 31.97
4	12/02/90 22.64	25/02/89 26.60	25/01/90 31.06
5	25/02/89 21.33	09/11/89 25.41	25/02/89 30.93
6	28/01/90 21.19	12/02/90 25.03	21/10/89 30.71
7	17/12/89 21.17	18/02/89 24.83	04/12/88 30.65
8	11/04/89 20.30	04/12/88 24.71	05/11/89 30.51
9	03/12/88 20.23	28/01/90 24.42	31/01/90 30.38
10	03/11/89 20.10	17/12/89 23.84	12/02/90 29.88
11	04/12/88 19.93	05/07/90 23.56	17/12/89 29.23
12	18/02/89 19.86	17/12/89 23.27	28/01/90 28.93
13	17/12/89 19.49	03/11/89 22.98	09/11/89 28.80
14	09/11/89 19.40	03/12/88 22.88	03/11/89 28.51
15	24/03/89 19.08	11/04/89 22.86	17/12/89 27.93
16	14/04/90 18.98	21/10/89 22.41	11/04/89 27.92
17	21/10/89 18.13	05/11/89 22.06	03/12/88 27.25
18	21/12/89 18.08	09/11/89 21.98	12/02/90 27.01
19	17/11/89 18.02	06/04/89 21.57	14/04/90 26.96
20	10/02/89 17.95	24/03/89 21.50	17/12/89 26.95

4.5. Beregning av ekstremverdier.

Vi gjør nå et par forutsetninger. Alle data innenfor sørvest - vest respektivt sørøst på Utsira benyttes. Innenfor hver enkelt av disse to sektorer gjelder:

Vi betrakter rekken med årekatremer som lang rekke. Ut fra denne (1963 - 85) har vi på Utsira beregnet ekstrem vindhastighet med 2, 10, 50 og 100 års returperiode (3). Vi ønsker å oppnå tilsvarende ekstremverdier på Bu, men vi har ingen lang rekke å analysere. I stedet benytter vi da 2 - årsperioden på Bu og Utsira. Vi plukker de sterkeste episodene fra denne perioden (tabell 4.13 - 4.15). Episodene følger kravene skissert i kap. 4.4. Vi antar nå at

- 1) Episodenaksima er Gumbelfordelt.
- 2) Forholdet mellom middelveiene i lang og kort ekstremrekke er identisk på begge stasjoner.
- 3) Relativt standardavvik av ekstremverdiobservasjonene er det samme for kort og lang rekke, men kan variere mellom stasjonene.

Under disse tre forutsetninger kan det vises (appendiks 1) at forholdet mellom ekstremvind tilordnet samme sannsynlighet for overskridelse i lang og kort rekke, er identisk på de to stasjonene. Ved å beregne slike sannsynligheter, p fra kort rekke på begge stasjonene kan vi altså få fram overføringskoeffisientene, $k_f(p)$

$$U(R)_p = (u(p)_p / u(p)_{ref}) U(R)_{ref} = k_f(R) U(R)_{ref} \quad (\text{lign. 4.4})$$

Her er $R = R(p)$ [år] returperioden, p sannsynligheten for overkridelse av U i lang rekke, og u i kort rekke. $_{ref}$ er referansestasjonen og $_p$ den aktuelle prosjektstasjonen som bare har kort observasjonsperiode. Som vi ser er overføringskoeffisienten avhengig av returperioden.

Metoden er en videreføring fra kun å benytte midler av kort og lang rekke. Den tar nemlig hensyn til at spredningen kan være forskjellig på stasjonene. Dette er aktuelt på Bu fordi vi der har noen få episoder med meget sterk vind som det er nødvendig å ta spesielt hensyn til.

Forutsetningene om uavhengighet mellom episodene vil selvsagt ikke være oppfylt for korte rekker. Dette er imidlertid et generelt problem ved klimatologisk korrigering og bidrar til økt usikkerhet i resultatet. Lengre registreringsperioder reduserer dette problemet.

Forutsetningen om konstant relativt standardavvik vil også ofte svikte. Men det vil da være en tendens til forskyvning på begge stasjoner. Det er ikke sikkert at dette får særlig store konsekvenser, ihvertfall ikke dersom avvikene ikke er for store. Metoden tar fortsatt vare på forskjellen i spredningen mellom stasjonene.

Tabell 4.18.

Gumbelberegninger for lang og kort rekke på Hellisøy, Utsira og Bu ved sørvestlig til vestlig vind. Ekstremforhold med returperioder 2,10,50 og 100 år på Bu (lang rekke) er framkommet ved midling av resultater fra lign.4.4 når Hellisøy og Utsira er benyttet som referansestasjon.

	1988 - 90			ov.koeff.		Lang rekke*		
	He	Ut	Bu	Bu/He	Bu/Ut	He	Ut	Bu
p=0.50 (2år*)	21.5	23.6	26.0	1.21	1.10	24.7	26	29.3
p=0.10 (10år*)	24.7	28.2	31.2	1.26	1.11	27.6	31	34.6
p=0.02 (50år*)	27.2	32.2	35.8	1.30	1.11	30.2	34	38.5
p=0.01(100år*)	28.7	33.9	37.8	1.32	1.12	31.2	36	40.8

*Returperiode - tolkningen gjelder lang rekke

Tabell 4.19.

Gumbelberegninger for middelvind og vindkast på Bu ved sørvestlig til vestlig vind. Ekstremforhold med returperioder 2,10,50 og 100 år på Bu er framkommet ved å benytte estimatene for lang rekke når Utsira og Hellisøy er benyttet som referansestasjoner.

	1988 - 90			ov.koeff.		Lang rekke*		
	10min	1min	3sek	1min/ 10min	3sek/ 10min	10min	1min	3sek
p=0.50 (2år*)	26.0	30.4	35.1	1.17	1.35	29.3	34.3	39.6
p=0.10 (10år*)	31.2	36.2	43.4	1.16	1.39	34.6	40.1	48.1
p=0.02 (50år*)	35.8	41.2	50.7	1.15	1.42	38.5	44.3	54.7
p=0.01(100år*)	37.8	43.4	53.8	1.15	1.42	40.8	46.9	57.9

*Returperiode - tolkningen gjelder lang rekke

Tabell 4.20.

Gumbelberegninger for lang og kort rekke på Utsira og Bu ved sørøstlig vind på Utsira.

	1988 - 90		ov.koeff.	Lang rekke*	
	Ut	Bu	Bu/Ut	Ut	Bu
p=0.50 (2år*)	19.0	20.1	1.06	25	26.5
p=0.10 (10år*)	21.9	23.9	1.09	31	33.8
p=0.02 (50år*)	24.5	27.2	1.11	34	37.7
p=0.01(100år*)	25.5	28.6	1.12	36	40.3

*Returperiode - tolkningen gjelder lang rekke

Tabell 4.21.

Gumbelberegninger for middelvind og vindkast på Bu ved østlig vind. Ekstremerforhold med returperioder 2,10,50 og 100 år på Bu er framkommet ved å benytte estimatene for lang rekke med Utsira som referansestasjon.

	1988 - 90			ov.koeff.	Lang rekke*			
	10min	1min	3sek	1min/ 10min	3sek/ 10min	10min	1min	3sek
p=0.50 (2år*)	20.2	24.0	29.3	1.19	1.45	26.5	31.5	38.8
p=0.10 (10år*)	24.2	28.1	32.8	1.16	1.36	33.8	39.0	45.9
p=0.02 (50år*)	27.7	31.7	35.9	1.14	1.30	37.7	43.2	49.0
p=0.01(100år*)	29.2	33.3	37.2	1.15	1.27	40.3	46.1	51.1

*Returperiode - tolkningen gjelder lang rekke

Ved å sammenligne tabellene (4.18 - 4.21) over østlig og vestlig middelvind på Bu ser vi at ekstremerforholdene er ganske like for de to retninger. Dette gjelder også mellom ekstremerforholdene ved sørøst og vest til sørøst på Utsira. De sørøstlige vindkastene på Bu ser imidlertid ut til å kunne bli noe sterkere enn de østlige.

Ekstremervind i vilkårlig sektor.

Vi ønsker nå å finne en ekstremverdi med en fastsett returperiode som ikke er knyttet til noen bestemt vindretning. Vi velger en returperiode på 50 år som eksempel. Sannsynligheten for å overskride denne verdien er 0.02. Dersom 50 - årsverdiene fra øst og vest er like store, og østlige og vestlige stormer er uavhengige, er det klart at sannsynligheten for å overskride denne verdien fra enten øst eller vest må være større enn 0.02, følgelig er verdien ikke lenger en 50 - årsverdi, kanskje snarere en 25 årsverdi (p=0.04). I appendiks 2 er det vist at under betingelsen om uavhengighet, kan vi nettopp benytte en summering av sannsynligheter slik dette eksempelet indikerer. Dvs. at dersom ekstremvinden fra de to ret-

ninger er identisk, svarer sektorbestemt 100 - årsvind til 50 - årsverdi fra vilkårlig sektor. Dersom ekstremvinden er svært ulik for de to sektorer, vil derimot den høyeste av de sektorbestemte ekstremvinder være tilnærmet lik ekstremvinden fra vilkårlig sektor.

For Bu må det kunne antas at uavhengighet mellom ekstremvind fra øst og vest er oppfylt. Dette fordi det oftest skal to forskjellige vær-situasjoner til for å gi ekstremene. Vi har derfor benyttet prosedyren med summering av sannsynligheter og resultatet er vist i tabell 4.22.

Tabell 4.22.

Ekstremverdier av middelvind og vindkast (m/s) ved 2, 10, 50 og 100 års returperiode for Bu i Hardanger. Verdiene er framkommet ved sammenligning av en 2 års måleserie på Bu med data fra fyrstasjonene Helligøy og Utsira og koblet til lange rekker ved hjelp av data fra fyrstasjonene.

		ØSTLIG VIND	VESTLIG VIND	VILKARLIG SEKTOR
2	10 min	26.5	29.3	31
	A 1 min	31.5	34.3	36
	R 3 sek	38.8	39.6	42
10	10 min	33.8	34.6	36
	A 1 min	39.0	40.1	42
	R 3 sek	45.9	48.1	50
50	10 min	37.7	38.5	40
	A 1 min	43.2	44.3	46
	R 3 sek	49.0	54.7	55
100	10 min	40.3	40.8	43
	A 1 min	46.1	46.9	49
	R 3 sek	51.1	57.9	58

4.6. Vindklima. Vurdering av måleperiodens representativitet.

Generelt.

Fig. 4.6 viser akkumulerte frekvenser av moderat til sterk vind på Utsira. I figuren er det plottet verdier fra perioden 01.01.89 - 30.09.90 som tilnærmet svarer til måleperioden (11.11.88 - 01.09.90), mot en langtidsperiode (1961 - 75). I figuren er det benyttet grenseverdiene $U > 4B$ ($U > 7.9$ m/s), $U > 5B$ ($U > 10.7$ m/s), $U > 6B$ ($U > 13.8$ m/s), $U > 7B$ ($U > 17.1$ m/s) og $U > 8B$ ($U > 20.7$ m/s). Dette svarer til frisk bris eller mer, liten kuling eller mer, stiv kuling eller mer, sterk kuling eller mer, samt liten storm eller mer.

Fig. 4.6 viser at det har vært mer sterk vind på Utsira i måleperioden enn det som kan forventes som gjennomsnitt over en lengre periode. Dette gjelder både særlig, sørvestlig til vestlig, samt nordvestlig til nordlig vind.

Sektoren nordøst til sørøst ($030 - 160^\circ$) skiller seg ut ved at det har vært omtrent like mye sterk vind i måleperioden som i langtidsperioden. Det er imidlertid et underskudd på vind omkring frisk bris og lavere, for $U < 6B$ var det $10.4 \times$ i måleperioden, mens det var $22.2 \times$ i perioden 1961 - 75.

En nærmere analyse viser at det er vintermånedene januar og februar 1989, samt januar, februar og mars 1990 som særlig har bidratt til dette mønsteret.

Dette har visse konsekvenser for måleresultatene fra Bu - næsten. Overrepresentasjonen av sterk vind fra sørvest til vest fører til overrepresentasjon av sterk vind fra denne sektor på Bu. Underrepresentasjonen av svak til moderat nordøstlig til sørøstlig vind på Utsira fører til underrepresentasjon av østlig vind i området $10 - 20$ m/s på Bu. Det fører også til at vi ikke har fått et tilstrekkelig godt kjennskap til hvorledes vinden fordeler seg på sørøst, øst og nordøst på Bu.

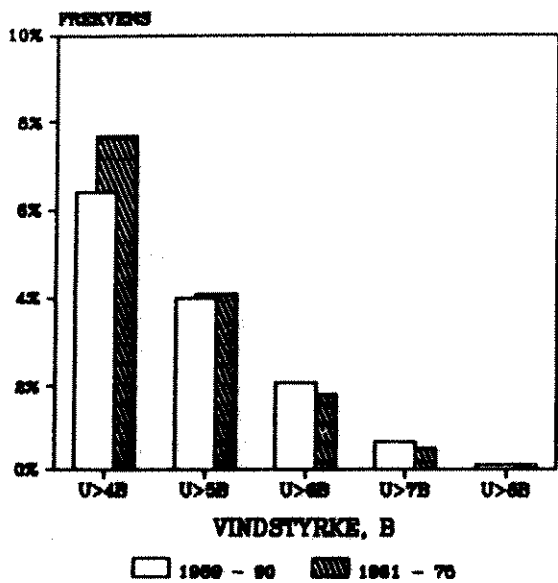
Det er ikke sikkert at svak østlig vind ($0 - 10$ m/s) er underrepresentert på Bu fordi slik vind også settes opp ved særlig vind på kysten, og denne er overrepresentert i perioden. Men i den grad slik vind skyldes kaldluftsdrenering er den underrepresentert.

Sterk østlig vind, dvs. vind over 20 m/s, har en forekomst omtrent som det som kan forventes i et gjennomsnittså. Her må legges til at begrepet gjennomsnittså må benyttes med en viss forsiktighet, i enkelte år vil det ganske sikkert være svært mye sterk østlig vind på stedet.

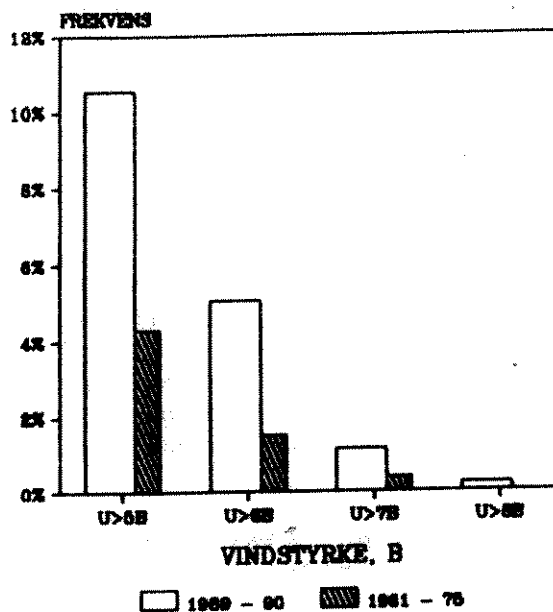
Ekstremvind.

Høyeste verdi av 10 min. middelvind på Bu var 34.4 og 26.3 m/s for vestlig og østlig vind hhv.. Dette svarer til en 10 års verdi og en 2 års verdi. Dette bekrefter at det har vært uforholdsmessig sterk vestlig vind i måleperioden, mens det må forventes at den østlige vinden kommer opp i de registrerte hastighetsverdier hvert år.

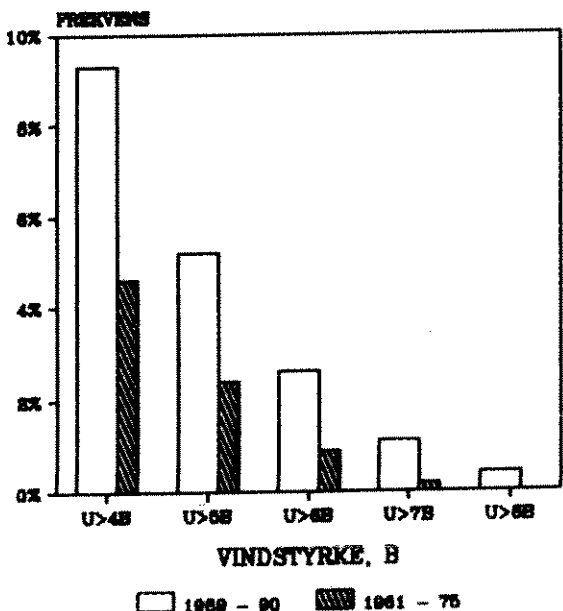
UTSIRA
VINDRETNING 090 - 100 gr.



UTSIRA
VINDRETNING 170 - 220 gr.



UTSIRA
VINDRETNING 230 - 280 gr.



UTSIRA
VINDRETNING 300 - 020 gr.

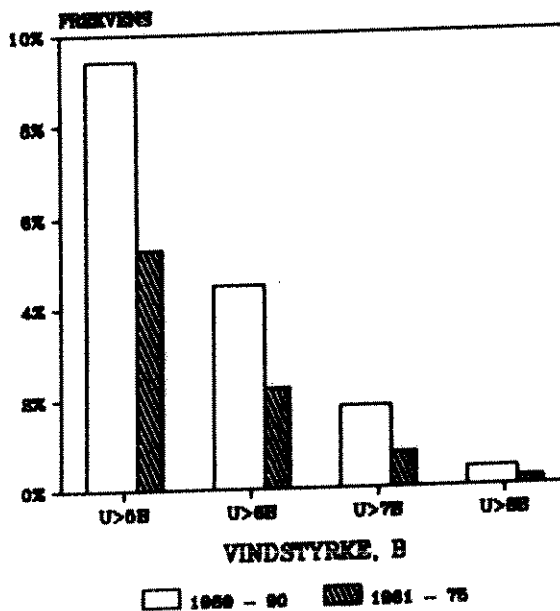


Fig. 4.6.
Akkumulerte frekvenser av moderat til sterk vind på Utsira for en lang og en kort periode.

4.7. Vurdering av målepunktets representativitet for brua.

100 - årsverdien av 10 min. middelvind på Utaira i vilkårlig sektor er beregnet til 38 m/s (3) og på Hellisøy 36 m/s (4). Dette gjelder målepunkter 10 m over lokalt terreng, som i midlertid består av blankakurte skjær 20 - 50 m over sjeen fritt eksponert for vind på havet.

Vanlig tankegang er at sterk vind bremses etter hvert som man kommer innenfor kystlinjen. Man må således høyere opp over grunnivå for å oppnå tilsvarende ekstremverdier. Vind i andre fjordstrek i landsdelen, slik som Digernessundet (3), Aaøy (Storebuneset) (4), og Vatafjorden (Kattrauv) (5) bekrefter dette og gir 100 - års vindlaster i området på 30 - 34 m/s relatert til 50 m's høyde og 34 - 40 m/s relatert til 168 m's høyde.

En 100 - årsverdi på 43 m/s må således sies å være høyere enn det som generelt kan forventes i fjordstrekene i landsdelen.

Som ovennevnte data viser, er en vanlig økning i vindhastigheten fra 50 til 168 m's høyde over en fjord ca. 15%. Dette forutsetter imidlertid at vi betrakter et profil over fjorden som ikke er forstyrret av landpåvirkninger. En kan derfor ikke bruke denne reduksjonsfaktoren når vi betrakter målinger på Buneset relatert til fjorden utenfor. Buneset vil påvirke målingene på to måter:

- 1) Selve neset gir en forsterkning av streamingsfeltet over og rundt neset. Slik forsterkning må derfor påregnes både i målemasten og på søndre del av brua. Det er vanskelig å tallfeste denne forsterkningen, likeledes variasjonene i forsterkningen mellom masten og brua.
- 2) Buneset er skogdekket og virker derfor også inn ved bremsing av vindfeltet. Denne bremsingseffekt er lett å se fra datamaterialet i masten, der vinden i 10 m's mastenivå er bremses i middelvind og gjort svært turbulent, se kap.4.2 - 4.3. Denne bremsingseffekt er til stede, om enn i mindre grad, for enkelte sektorer også i 45 m's mastenivå. Effekten vil imidlertid forsvinne utover langs brubanen. Det er sannsynlig at 45 m's nivå i målepunktet tilsvarende en lavere høyde enn 168 m's nivå ute på fjorden. En reduksjon på 15 x vil således gi for lave vindhastigheter 50 m over fjorden.

Konklusjonen på dette er at en bør bruke vindhastigheten målt i 45 m's mastenivå direkte som inngangsdata ved lastberegninger for brua. De reelle verdiene er neppe høyere enn disse, men de kan være noe lavere.

4.8. Fysiske Årsaker til sterk vind. Temperaturprofiler.

Sørvestlig vind.

Vi har allerede nevnt forsterkning over og rundt Buneset som mulig (del)årsak til det strenge vindklimaet. Det er imidlertid et par forhold som trenger ytterligere belysning. Den sterkeste vinden kommer inn fra sørvest - vest, dette var ikke forventet. Det var særlig overraskende at denne vinden skulle være sterkere over Buneset enn på Utsira, måleøyden til tross.

Vi har foretatt målinger av lufttemperatur i 10 og 45 m's mastehøyde. Disse målingene og deres relasjon til vindhastighet og vindretning vil vi nå granske i håp om å øke vår kunnskap om fysikken i luftstrømningen i området.

Ved middels eller sterk vind blandes luftlaget over bakken godt med luft i noe høyere nivåer. I slik gjennomblandet luft faller temperaturen med høyden, og endringen (temperaturgradienten) er $-1^{\circ}\text{C}/100\text{m}$. Temperaturfallet skyldes et trykkfall som foregår når en luftpakke heves tilnærmet uten varmetilførsel til/fra omgivelsene, eller rettere sagt: Blandingsprosessen er langt raskere enn varmetilførselen, vi sier at forholdene er terradiabatiske.

Dersom luften er fuktig og relativ luftfuktighet kommer opp i 100%, vil vanndampen i luften i regelen kondenseres til vanndråper. Slik kondensasjon er særlig effektiv når fuktig luft strømmer inn fra havet og tvinges opp over fjellene. Luften avkjøles til relativ fuktighet kommer opp i 100 %, temperaturgradienten er $-1^{\circ}\text{C}/100\text{m}$. Nivået der fuktigheten når 100% utgjør skybasis.

Dette er typiske forhold ved sørvestlig til vestlig vind på Vestlandet, skybasis ligger da gjerne på ca. 300 m o.h., noe høyere i skjærmede områder innover i landsdelen.

Over skybasis mottar luftpakken frigjort latent varme gjennom kondensasjonsprosessen. Temperaturfallet med høyden ved gjennomblandet, fuktig luft er $-0.5^{\circ}\text{C}/100\text{m}$, dette kalles fuktig-adiabatisk temperaturgradient.

Den typiske temperaturfordeling ved sørvestlig til vestlig sterk vind er da $-1^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ opptil ca. 300m og $-0.5^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ over 300m.

Ved å måle temperaturen i 10 og 45 m's mastehøyde har vi fått et mål på temperaturgradienten i luftmassen over neset. Tabell 4.23 viser resultatet av slike målinger for alle tilfelle med 10 min middelvind i 45 m's nivå over 10 m/s, og tabell 4.24 ved tilfelle over 20 m/s. En positiv temperaturgradient betyr at temperaturen stiger fra 10 til 45 m's mastehøyde, vi har inversjon.

Tabellene viser at det typisk er dannet et lokalt inversjonslag ved sørvestlig til vestlig vind inn mot Buneset, både ved middels sterk og ved sterk vind. Inversjon ved andre retninger

er mer sjeldne, men sjiktningen er underadiabatisk også ved østlig vind.

Tabellene viser også at det er større spredning i temperaturgradientene ved sørvestlig til vestlig vind enn ved nordøstlig til sørøstlig vind.

Det kan kanskje innvendes at vi måler små temperaturdifferenser og at vi derfor er følsomme for nøyaktige kalibreringer. Men det faktum at sterk pålandavind over Buneset er mer termisk stabil og har større variasjoner i sine temperaturprofiler enn fralandsvinden, står fast, uansett riktig kalibrering eller ikke. Dette var ikke ventet på forhånd og er nok atypisk for pålandavind i fjordene.

Der er en strømningemekanisme som greit kan forklare en slik observasjon. Ved sørvestlige til vestlige vindfelt vil det strømme luft innover langs fjorden. Samtidig strømmer det luft innover i høyden. Luftstrømmen i ca. 1000m's høyde vil støte på fjellet Oksen ved inngangen til indre del av Hardangerfjorden. Dette fjellmassivet har en utforming og en skala som gjør det til en solid hvirvelgenerator som også vil kunne gi nedslag av høye vindhastigheter i fjorden innenfor. Dette vil være med på å aksellerere luftstrømmen inn mot Buneset. Også fjellmassivet i forlengelsen av Folgefonna mot Utne kan bidra til nedslagene.

Denne luften er potensielt varmere enn luften nede i fjorden fordi temperaturen i luftmassen oppstrøms fjellene synker med $-0.5 \text{ } ^\circ/100 \text{ m}$ over 300 m's nivået. På vei ned mot fjorden mellom Oksen og Bu følger luftpakken derimot en terradiabatisk kurve, og temperaturen øker med 1°C for hver 100 m høydefall.

På vei innover fjorden mot Buneset vil vi da få blandet den kaldere luften i fjorden med den varmere luften ovenfra. Dette forklarer temperaturprofilen observert på Buneset. Teorien forklarer altså både den sterke vestavinden, den relativt høye turbulensen og temperaturekningen med høyden. Det er videre også klart at både vindretning, hastighet, fuktighet og temperaturprofil oppstrøms Oksen vil variere. Disse variasjonene er riktignok mindre enn tilsvarende variasjoner i østlige vindfelt oppstrøms fjellrekken. Årsaken til den store spredningen i temperaturprofilen over Buneset ligger nok i at små variasjoner oppstrøms fører til variasjoner i blandingsforholdene i fjorden mellom Oksen og Bu. Bumasten ligger kritisk til for å fange opp slike variasjoner.

Østavind.

Østlig til sørøstlig vind inn mot Sør - Norge har ofte en noe annen karakteristikk enn den vestlige. Slik luft har ofte et kaldluftslag i de nederste 1000 m og forholdsviss varmere luft over. Dette kaldluftslaget bøyer ofte unna fjellrekken og strømmer langs Skagerrakkysten som en sterk nordestvind. Når luft i høyere luftlag strømmer over Langfjella blir den varmere luften presset ned mot fjordene ved forskjellige topografiske effekter (6). Det er særlig denne situasjonen som er underrepresentert i registreringsperioden.

Sterk sørøstvind kan også strømme over fjellene i tykke lag, fra 0 - nivå og opp til flere tusen meter. Kaldluftslaget i nedre nivåer mangler da, og luften er oftest fuktig slik at Agderfylkene får store nedbørmengder. Mange av de mest intense sørøststormene har en slik karakteristikk. Som eksempel kan nevnes den såkalte "eplestormen" i september 1981. Den var dominert av sterke vindkast og hvirvler ned langs fjellsidene i Hardanger, store deler av epleavlingen ble "høstet" og tak blåste av bygninger.

Dess høyere denne luften kommer fra, dess høyere temperatur får den når den når fjorden. De topografiske effektene medfører også at vinden ofte blir sterkere inne i fjordstrekene enn ute på kysten. Det er ofte sterkeste vind i de nederste få hundre meter over fjorden. Dette bildet er velkjent og indre Hardanger er kjent som et sted der slik østavind lett blir sterk. Dette har bl.a. sammenheng med at Langfjella er mektigere lenger nordover slik at en del av luftstrømmen i ca. 1000 - 1500 m's nivå bøyer rundt på sørsiden. Dessuten er det en lokal svakhetssone over fjellet omtrent langs veien over Hardangervidda. En må også regne med at luften over denne sone blir kaldere nede i fjorden enn luft som kommer over høyere deler av vidda.

Imidlertid vil vindprofilene og forskjellige karakteristikker variere mye i slike situasjoner, både som følge av de forskjellige luftmasser innenfor, og som følge av deres reaksjon på den ujevne fjellrekken. Det er derfor nødvendig med en lang måleserie på Buneset. I en senere rapport vil vi forsøke å beskrive østavinden i mer detaljert form.

Tabell 4.24.

Temperaturprofiler langs Bunasten ved sterk vind.

Horizontal akse: Temp. gradient i °C/1000m.
 Vertikal : Vindretning (45 m's nivå)
 Krav: U(45m) ≥ 20.00 m/s
 Periode: 11.11.88 - 01.09.90

	-17	-14	-11	-9	-6	-3	0	3	6	9	11	14	17	SUM	MID	STD
40	0	0.0	0.0
50	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	-8.6	0.0
60	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	0.0	0.0
70	2	.	.	.	.	.	.	2	-2.9	0.0
80	2	.	.	.	.	.	.	.	45	-1.8	3.4
90	10	20	12	3	.	.	.	.	.	16	-3.9	2.5
100	.	.	.	3	1	11	1	.	.	.	.	.	.	11	-7.0	2.3
110	.	.	.	7	2	2	.	.	.	.	.	.	.	0	0.0	0.0
120	0	0.0	0.0
200	0	0.0	0.0
210	1	4	1	.	.	.	.	.	6	0.5	2.8
220	1	4	1	.	.	.	.	.	88	0.5	4.9
230	.	3	2	1	3	15	47	11	6	.	.	.	.	316	1.4	5.2
240	.	.	8	16	21	31	154	43	32	7	4	.	.	197	2.2	6.5
250	.	.	1	13	22	30	52	30	22	19	4	4	.	13	1.5	8.5
260	.	.	1	1	2	1	3	2	.	2	.	1	.	3	-3.8	5.9
270	.	.	.	1	1	.	1	.	.	.	.	.	.	0	0.0	0.0
SUM	0	3	13	43	62	113	276	90	60	28	8	5	0	701	1.0	5.7

5. FORSLAG TIL VIDERE UNDERSØKELSER.

Det vil neppe være praktisk mulig å gjennomføre fullskala-målinger som er fullt ut representative for brutraséen før brua er bygget. Dersom en ønsker mer kunnskap om vindforholdene er det derfor naturlig å tenke på modellforsøk. Siden vi har en godt eksponert vindstasjon nær brutraséen skulle det være mulig å frambringe relasjonen mellom målepunktet og brua gjennom et vindtunnelforsøk.

Et slikt vindtunnelforsøk bør kjøres for to retninger, hhv. 235° (vestavind) og 100° (østavind). For vestavinden er det viktig å få med fjellet Oksen. Derved kan en ved reykforsøk eller et tett målenett få et inntrykk av det som skjer bak dette fjellet i tillegg til relasjonen mellom brua og fullskala målemast. For østlig vind vil man ikke oppnå annet enn en relasjon mellom målepunkt og bru, fordi virkningen av fjellkjeden i sørøst og øst ikke vil kunne modelleres på en troverdig måte. Dette er også konklusjonene etter å ha sammenlignet modellkjøringer med fullskala målinger fra Vatsfjorden (5), (7).

Det er viktig at måleserien på Buneset fortsetter for å fange opp flere tilfelle med sterk vind, særlig gjelder dette østlig vind. Situasjoner med sterk vind ned langs fjellsiden fra sørøst kan trolig forekomme i større grad enn det som er registrert, dette er viktig å få avklart, bl.a. med hensyn til brutårnene.

6. REFERANSELISTE.

- (1) EDAS målesystemer: Teknisk manual, Hardanger målestasjon. Eidvoll, 1989.
- (2) Harstveit, K.: Askey bro. Vindmålinger på Storebunneset 01.12.87 - 29.02.88. DNMI - KLIMA 12/88
- (3) Andresen, L., Fikke, S.M., Harstveit, K., Sunde, A.: Extreme Wind Conditions in Digernesundet, Stord. DNMI - KLIMA 51/85
- (4) Harstveit, K.: Askey bro. Sluttrapport for vindmålinger på Storebunneset 23.10.87 - 30.04.90. DNMI - KLIMA 23/90
- (5) Andresen, L., Harstveit, K., Sunde, A.: Wind Climate in Vatsfjord/Yrkefjord. Methods for Local Wind Forecasting. DNMI - KLIMA 42/87
- (6) Harstveit, K.: Luftmassetransport og vindfordeling over Sør-Norge og Trendelag ved særlige luftstrømmer. En beskrivelse av effekter generert av norske fjell. DNMI - KLIMA 7/87
- (7) Skibateknisk Laboratorium 83067: Physical modelling of the air in the Yrkefjord and the Vatsfjord. Volume 1 and 2. Danish Maritime Institute, Lyngby. September 1983.
- (8) Giocel and Lungert: Wind, Snow and Temperature Effects on Structures Based on Probability. Abacus Press, 1975.

APPENDIKS 1.

A.1. Beregning av ekstremvind på en stasjon med kort rekke utfra sammenligning med en referansestasjon.

Det foreligger ofte vindmålinger fra en kortere serie (1 - 3 år) fra en målestasjon, f.eks. knyttet til et spesielt prosjekt. Dersom data fra denne stasjonen skal utnyttes til å gi ekstremverdier, er det nødvendig å foreta sammenligninger med en stasjon som har målinger både i registreringsperioden for prosjektstasjonen og i en lengre periode (20 - 30 år). Sammenligningsstasjonen kaller vi for en referansestasjon.

Referansestasjonen må være godt eksponert for alle vindretninger. Dersom dette gjelder bare for spesielle sektorer kan en likevel etter en nøyaktig beskrivelse foreta sammenligninger innenfor de eksponerte sektorer. Referansestasjonen bør også være uten særlig grad av lokal innflytelse. Eventuelt kan det godtas noe innflytelse viss den varierer lite innenfor en betraktet sektor.

Materialet deles inn i en lang og en kort serie for begge stasjoner. Langtidsdata for prosjektstasjonen eksisterer ikke, men vi skal beregne ekstremverdier med fastsatte returperioder (2 - 100 år) for denne stasjonen. Langtidsserien består ellers av årsekstremer der vindåret inndeles fra 01.09 - 31.08. Eventuelt kan det deles inn i en vintersesong (september - april) og en sommersesong (mai - august).

Det forutsettes at langtidsserien på referansestasjonen er gumbelfordelt. Det kjøres da en standard Gumbelanalyse på materialet, se f.eks. (8). Det beregnes sannsynligheter, p , for overskridelse av en bestemt verdi U . $U = U_p$ kan her tolkes som ekstremvind med returperiode på R år, der $R = 1/p$. R (eller p) kan være sektorfordelt ($i, i=1, n$) eller sesongfordelt ($j, j = 1, 2$). Ved slik inndeling vil det ofte være nødvendig med visse tilpasninger av Gumbelmetoden for ikke å få selvutsigende resultater, se f.eks. (3).

Korttidsdataene inndeles på en lignende måte. Rækken består nå imidlertid ikke av årsekstremer, men av en rekke episoder med sterk vind. Disse er plukket ut fra hver sektor for seg, en inndeling på 2 - 4 sektorer er ofte gunstig. Inndeling i flere sektorer som er slik at forskjellige grader av skjerming gjør at de ikke bidrar til ekstremverdiene i vilkårlig sektor kan selvsagt gjøres.

Episodeverdiene er vanligvis maksimal vindhastighet (10 min., 1 min., 3 sek.) innenfor et avgrenset tidsrom, en stormepisode. Episodene må avgrenses mot hverandre, avgrensingskravene må veies opp mot datamengden. De bør være slik at en ender opp med ca. 10 - 30 episoder, eller slik at forholdet mellom svakeste og sterkeste episodemaksimum for referansestasjonen er omtrent som forholdet mellom svakeste og sterkeste årsverdi i den lange rekken, vanligvis ca. 2/3.

Vi forutsetter nå:

- 1) Rekkene med episodemaksima fra kort rekke er gumbelfordelt. I regelen må vi bare godta dette kravet. Dersom det ikke holder, fører det til økt usikkerhet i resultatene. Gumbelfordelingen er definert ved

$$F(U) = \exp[-e^{-(U-\mu)}] \quad (\text{lign. A.1})$$

der α og μ er fordelingsparametre. Middelveidien, $\bar{U} = \mu + \gamma/\alpha$, $\gamma =$ konstant og standardavviket, σ er definert ved $\sigma = c/\alpha$, $c =$ konstant. Formelen gir da den akkumulerte sannsynlighetsfordeling av en gumbelfordelt parameter, U .

- 2) Forholdet mellom middelveidien av ekstremene med lang (L) og kort (K) rekke er det samme for de to stasjoner,

(lign. A.2):

$$\frac{\bar{U}_{\text{ref}}(L)}{\bar{U}_s(L)} = \frac{\bar{U}_{\text{ref}}(K)}{\bar{U}_s(K)} \Rightarrow \frac{\bar{U}_{\text{ref}}(L)}{\bar{U}_{\text{ref}}(K)} = \frac{\bar{U}_s(L)}{\bar{U}_s(K)}$$

hvor ref står for referansestasjonen og s står for prosjektstasjonen. Dette kravet er et vanlig krav ved klimatologisk korrigerings av korte rekker mot referansestasjoner. Ved beregninger av middelveidier alene er dette ofte et tilattekkelig krav. Denne forutsetningen kan avvike dersom den korte periode er overrepresentert med en type varsituasjoner som gir et annet forhold mellom stasjonene enn gjennomsnittet i det lange løp. Dette vil igjen kunne øke usikkerheten i resultatet. Merk at dette ikke gjelder dersom en vindsektor er overrepresentert i forhold til en annen, kun viss spesielle situasjoner innenfor den betraktete sektor er overrepresentert.

For eksempel kan det i østlig sektor være overrepresentasjon av situasjoner med en bestemt type temperaturprofiler i luftmassen oppstrøms fjellkjeden. Eller tyngdepunktet av sterk vestlig vind på kysten kan være forskjøvet langt nord eller sør i korttidsperioden. Begge disse tilfelle vil kunne influere på sammenhengen mellom Utsira/Helliøy og Bu.

- 3) Vi vil nå introdusere en ny forutsetning som gjør det mulig å ta hensyn til at spredningen kan være forskjellig på de to stasjonene. Vi forutsetter at det relative standardavviket av verdiene i ekstremrekke er konstant for hver enkelt stasjon, men at det kan variere mellom stasjonene.

(lign. A.3):

$$\frac{\sigma_{\text{ref}}(L)}{U_{\text{ref}}(L)} = \frac{\sigma_{\text{ref}}(K)}{U_{\text{ref}}(K)}, \quad \frac{\sigma_a(L)}{U_a(L)} = \frac{\sigma_a(K)}{U_a(K)}$$

Vi benytter nå forutsetningene 1) til 3). Vi har lign. A.1:

$$F(U) = \exp[-e^{-\alpha(U-\mu)}] \quad \Rightarrow$$

$$\ln F(U) = -e^{-\alpha(U-\mu)} \quad \Rightarrow$$

$$\ln(-\ln F(U)) = -\alpha(U-\mu) = k(p) \quad (\text{lign. A.4})$$

der ligning A.4 følger av definisjonen av sannsynlighet, p. Lign. A.4 må da være riktig for alle gumbelfordelte rekker, følgelig også for lang (L) og kort (K) rekke på 2 betraktete stasjoner (1 og 2):

$$\left. \begin{aligned} \ln(-\ln F(U_{1L})) &= -\alpha_{1L}(U_{1L}-\mu_{1L}) = k(p) \\ \ln(-\ln F(U_{2L})) &= -\alpha_{2L}(U_{2L}-\mu_{2L}) = k(p) \\ \ln(-\ln F(U_{1K})) &= -\alpha_{1K}(U_{1K}-\mu_{1K}) = k(p) \\ \ln(-\ln F(U_{2K})) &= -\alpha_{2K}(U_{2K}-\mu_{2K}) = k(p) \end{aligned} \right\} \quad (\text{lign. A.5})$$

Konstanten k avhenger bare av sannsynligheten for overskridelse, p som ved en rekke med årsektremer (lang rekke, L) kan tolkes som 1/R der R er returperioden (år). Hver p svarer imidlertid til forskjellige U - verdier: $U_{1L}(p)$, $U_{2L}(p)$, $U_{1K}(p)$ og $U_{2K}(p)$. Disse U - verdiene har altså samme sannsynlighet for overskridelse, men for hver sin detarekke.

Av ligningsettet A.5 har vi:

$$\frac{\alpha_{1L}(U_{1L}-\mu_{1L})}{\alpha_{1K}(U_{1K}-\mu_{1K})} = \frac{\alpha_{2L}(U_{2L}-\mu_{2L})}{\alpha_{2K}(U_{2K}-\mu_{2K})} = 1 \quad (\text{lign. A.6})$$

Nå har vi

$$\bar{U} = \mu + \gamma/\alpha, \quad \gamma = \text{konstant} \quad (\text{lign. A.7})$$

og

$$\sigma = c/\alpha, \quad c = \text{konstant} \quad (\text{lign. A.8})$$

samt lign. A.2 og A.3. Dette settes inn i lign. A.6 og ved en del regning får vi:

$$\frac{U_{ll}(p)}{U_{kk}(p)} = \frac{U_{ll}(p)}{U_{kk}(p)} \quad (\text{lign. A.9})$$

Forholdet mellom ekstremsvind tilordnet samme sannsynlighet for overskridelse i lang og kort rekke, er identisk på de to stasjonene.

Ved å beregne slike sannsynligheter, p fra kort rekke på begge stasjonene kan vi altså få fram overføringskoeffisientene, $kf(p) = kf(p(R)) = kf(R)$ og

$$U(R)_a = \{u(p)_a/u(p)_{ref}\}U(R)_{ref} = kf(R)U(R)_{ref} \quad (\text{lign. A.10})$$

Her er $R = R(p)$ [år] returperioden, p sannsynligheten for overkridelse av U i lang rekke, og u i kort rekke. $_{ref}$ er referansestasjonen og $_a$ den aktuelle prosjektstasjonen som bare har kort observasjonsperiode. Som vi ser er overføringskoeffisienten avhengig av returperioden.

Forutsetning 3 holder nok ikke alltid. Men vi kan anta at avvikene mellom kort og lange rekke finnes igjen på begge stasjonene og benytter metodikken. Bevisføringen er da uklar. Likevel tar metoden vare på forskjeller i spredning mellom referansestasjon og prosjektstasjon, forskjeller som skyldes terrenginduserte effekter.

APPENDIKS 2.

A.2. Beregning av ekstremvind i vilkårlig sektor ut fra kiennskap til ekstremvind i delsektorer.

La p_i være sannsynligheten for at vindhastigheten i sektor nr. i skal overskride vindhastigheten U_n i løpet av 1 år. U_n er den verdi av U som har returperiode på R år i vilkårlig sektor, med sannsynlighet p_n . Vi har da:

$$p_i = p(U_{\max,i} \geq U_n) \quad (\text{lign. A.11})$$

Dersom vi har uavhengighet mellom stormepisoder i alle n sektorer, har vi:

$$p_n = p(U_{\max} \geq U_n) = 1 - \prod \bar{p}_i \quad (\text{lign. A.12})$$

Her er

$$\bar{p}_i = p(U_{\max,i} < U_n) \quad (\text{lign. A.13})$$

Lign. A.12 er riktig fordi vi kan sette opp et skjema med alle mulige sannsynlighetskombinasjoner som ved uavhengighet summerer seg til 1. Men det er bare ved 1 av disse kombinasjonene at vindhastigheten ikke overskrider U_n i noen av sektorene, dvs. i vilkårlig sektor. Det er kombinasjonen

$$\prod \bar{p}_i = (1-p_1)(1-p_2)\dots(1-p_n) \quad (\text{lign. A.14})$$

Følgelig gjelder lign. A.12.

Av lign. A.12 og A.14 har vi da

$$p_n = p_1 + p_2 + \dots + p_n \quad (\text{lign. A.15})$$

der tilnærnelsen gjelder best når returperiodene ikke er for lange, dvs. små p -verdier hvor alle produktledd kan sees bort fra.

Vi skal kort kommentere dette resultatet. Forutsetningen er uavhengighet. Dette krever at vi har inndelt i sektorer som har liten risiko for å få ekstremvind fra samme storm. Dette skulle være en brukbar antagelse ved inndeling i to hovedsektorer i en fjord, der den ene sektoren dekker vind inn fjorden og den andre vind ut fjorden. Men dersom vi foretar en slaviak inndeling i et vilkårlig antall sektorer, risikerer vi å bryte uavhengighetsprinsippet. De sektorvise p -verdiene i lign. A.15 kan da ikke summeres fordi de overlapper hverandre. En summering vil gi en for høy p_n -verdi.

Det er heller ikke gunstig med oppsplitting i mange sektorer fordi dette kan gi stor spredning i ekstremrekken og feilaktige Gumbelresultater.

Praktisk løsning av lign. A.15 ligger i en iterasjonsprosess. Ekstremvind i vilkårlig sektor velges da litt høyere enn høyeste sektorekstrem. Deretter summeres bidragene fra enkeltsektorer som skal summeres til p_n . Ved bom justeres U_n og ny summering foretas.