



# ARBEIDSNOTAT

DET NORSKE METEOROLOGISKE INSTITUTT  
POSTBOKS 320, BLINDERN, OSLO 3  
T: (02) 60 50 90

DNMI REF.

TITTEL  VINDKAST - EKSTREMER OG KASTFAKTORER	NOTAT NR.  KLIMA 11
	DATO  12.04.1983
UTARBEIDET AV  SVEIN M. FIKKE	ANSVARLIG  B. AUNE
OPPDRAKSGIVER  DNMI	PROSJEKTNR.
KOPI TIL  FRI UTDELING	
SAMMENDRAG  Notatet er en forelesning holdt på NIF's kurs nr. 7445: "Master og tårn, belastning, dimensjonering og utførelse" på Lillehammer 16.-18. mars 1983.  Notatet omhandler:  Målemetode og registrering Vindkast - en praktisk presisering Avleste tidsserier Ekstremstatistikk. Metoder og krav til data Resultater	
Et arbeidsnotat inneholder informasjon beregnet for internt bruk. DNMI hefter ikke for notatets innhold, og det tas forbehold om at resultat/data er foreløpige og kan bli endret i eventuell endelig rapport. Innholdet får ikke gjengis uten skriftlig tillatelse fra DNMI.	

Norske Sivilingeniørers Forening  
Norsk Betongforening

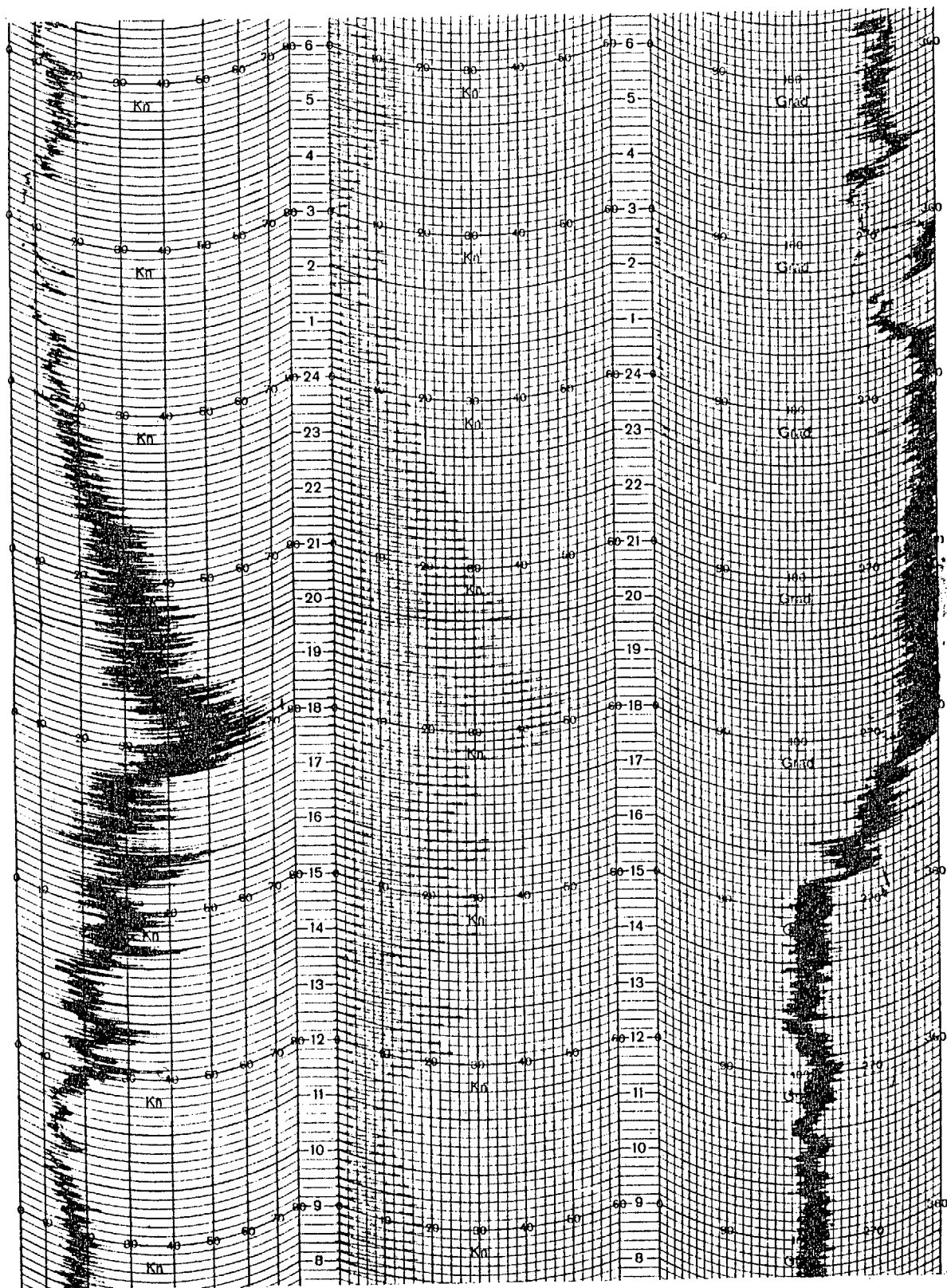
Master og tårn, belastning, dimensjo-  
nering og utførelse.

Lillehammer, 16. - 18. mars 1983

VINDKAST - EKSTREMER OG KASTFAKTORER

Foreleser  
Meteorolog Svein M. Fikke  
Elektrisitetsforsyningens  
Forskningsinstitutt/  
Meteorologisk institutt

Ettertrykk kun etter skriftlig tillatelse fra  
NIF og forfatteren.



Figur 1. Eksempel på vindregistrering fra Fuess 90 z (forminsket).  
Sted: Andøya. Dato: 24. - 25. desember 1972.  
Venstre kolonne: Kontinuerlig vindhastighet i knop  
Midtre " : 10 min. middelvindhastighet i knop  
Høyre " : Kontinuerlig retning

## VINDKAST - EKSTREMER OG KASTFAKTORER

### 1. MÅLEMETODE OG REGISTRERING

Vindkast måles og registreres på ca 80 værstasjoner og småflyplasser i Norge.

Standardinstrumentet som brukes av Det norske meteorologiske institutt (DNMI) heter Fuess 90 z. Giveren er et skålkors og følgende parametre registreres analogt på papir, se figur 1:

1. "Kontinuerlig" vindhastighet
2. Sukksessive middelerverdier over 10 minutter
3. Kontinuerlig retning

Registreringspapirene oppbevares ved DNMI. Standard anemometerhøyde er 10 m.

Skålkorset fungerer slik at det følger ganske godt en økning i vindhastigheten, men det retarderer ikke like hurtig som vinden. Denne egenskapen gjør at minima i vindregistreringene ikke representerer tilsvarende minima i vindhastigheten like godt som maksimaene gjør. (Det blir tatt hensyn til denne effekten i integratoren som gir middelvinden.)

### 2. VINDKAST - EN PRAKTISK PRESISERING

Hva er et vindkast ? Hvordan kan det defineres? Slike spørsmål er egentlig ikke lette å svare på. Som vi vil forstå av forsker A. Eliassens foredrag er luftens bevegelsesmønster svært komplisert i det vi kaller "friksjonslaget", eller det turbulente grensesjikt d.v.s. de laveste 300-500 m over bakken. Den turbulente luftstrømmen kan ikke beskrives analytisk, i stedet må vi bruke forskjellige statistiske metoder.

I praksis må vi knytte "vindkast" - begrepet til den måten vi måler og registrerer vinden på. Etthvert måltall for vindhastigheten er derfor knyttet til instrumentetsoppløsningen og registreringsenhetens midlingsprosedyre. En vanlig oppfat-

ning av begrepet vindkast er vindhastigheter med midlings-  
tider av størrelsesorden sekund.

Med den rotasjonstreggheten som DNMI's vindmålere har, regner vi med at spissverdiene i den "kontinuerlige" registreringen representerer middelverdier over 3-5 sekunder.

Papirhastigheten er ca 0,2 mm/min. Registreringen blir derfor slik at man ikke kan ta ut samhørende maksimal- og minimalverdier. Disse registreringene egner seg derfor ikke til å studere spektralfordelingen. I praksis er det neppe mulig å lese av ekstremalverdier av vindkast med større tidsoppløsning enn en pr. 10 min. Avlesningene må utføres manuelt.

### 3. AVLESTE TIDSSERIER

#### 3.1 Middelvind på EDB

Inntil 1982

er det bare middelvinden og dens retning som avleses i rutine og lagres på EDB-lager opptil 4 ganger i døgnet. I mange tilfeller er det bare Beaufort-verdien (vindstyrken) som er lagret. I tillegg lagres den maksimale Beaufort-verdien mellom observasjonstidene.

Fra 1.1.1982 er observasjons- og rapporteringsrutinene endret, bl.a. er maksimale vindkast (oppgitt i knop) kommet med. For ettertiden vil vi altså få lettere tilgang på slik data. Eldre data må avleses særskilt.

#### 3.2. Avleste registreringer.

De avlesningene som til nå er gjort er betalt av DNMI og

Elektrisitetforsyningens Forskningsinstitutt (EFI). Det norske vindenergiprogrammet har betalt en del av punchingen.

De dataene som skal behandles her er vesentlig avlest i 2 omganger etter følgende prosedyrer:

1. Det høyeste vindkastet i måneden er tatt ut med tilhørende middelvind og retning. Stasjoner og tidsrekker er vist i tabell 1.

Tabell 1. Stasjoner og tidsserier for avleste måneds-ekstremer av vindkast

Stasjon	H.o.h.	Anemometerhøyde	Avlest periode
Oslo-Blindern	97.5	26	1952-72
Fornebu	17.0	11-8	1952-72
Gardermoen	202	12	1952-72
Kise på Hedmark	130	10	1960-72
Sola	8.4	11	1952-72
Utsira	55	11	1952-72
Flesland	53	11	1957-72
Ørland	9	10	1955-72
Værnes	11.6	16-11	1952-72
Bodø	10	12	1953-72
Bardufoss	76	11	1954-72

2. Det er tatt ut 2 datasett pr. døgn:

- a) Høyeste vindkast med tilhørende middelvind og retning.
- b) Høyeste middelvind med største vindkast i samme 10 min intervall og retning.

Stasjoner og tidsrekker er ført opp i tabell 2.

Tabell 2. Stasjoner og tidsserier for avleste døgnekstremer av middelvind og vindkast

Stasjon	Periode	Punchet
Oslo-Blindern	1.1973 - 12.1979	ja
Sola	4.1966 - 12.1971	nei
Utsira	1.1973 - 7.1979	ja
Bodø	1.1972 - 12.1979	nei
Andøya	1.1965 - 12.1979	ja

Disse dataene er i første rekke brukt til å studere ekstreme vindforhold, men særlig den andre datagruppen gir anledning til å studere retningsfordelinger og kastfaktorer nærmere, som vi skal se senere.

#### 4. EKSTREMSTATISTIKK. METODER OG KRAV TIL DATA

##### 4.1 Gumbels 1. fordeling

Den metoden som har vært mest brukt til studiet av (maksimale) ekstremer av meteorologiske data kalles gjerne Gumbels 1. fordeling.

Denne fordelingen er basert på bare en ekstremalverdi pr. valgte periode, f.eks. den høyeste i året. Denne forutsetter altså en tidsserie med årsekstremer for å beregne f.eks. "50-års vinden". Vi skal se litt nærmere på metoden siden den er i allminnelig bruk for slike formål.

La sannsynligheten for at et element X skal være mindre eller lik en verdi x i et vilkårlig år være:

$$P(X \leq x) = F(x) \quad (1)$$

Gumbels 1. fordeling for  $F(x)$  skrives

$$F(x) = e^{-e^{-y}} \quad (2)$$

der  $y = \alpha (x - \mu)$  (3)

Parametrene  $\alpha$  og  $\mu$  beregnes fra datarekken etter bestemte metoder (se f.eks.: Giocel and Lungert: Wind Snow and Temperature Effects on Structures Based on Probability, Abacus Press 1975).

Den midlere returperiode  $\bar{T}(x)$  uttrykkes ved

$$\bar{T}(x) = \frac{1}{1 - F(x)} \quad (4)$$

Begrepet "returperiode" kan ofte føre til misforståelser. Returperioden er et gjennomsnittstall som sier at av mange T - års perioder vil vår x - verdi overskrides i gjennomsnitt 1 gang pr. periode. Sjansen for overskridelse i ett vilkårlig år er:

$$P(X > x) = 1 - F(x) = \frac{1}{\bar{T}(x)} \quad (5)$$

Sjansen for at x - verdien skal overskrides i en periode på n påfølgende år er:

$$P_n(X > x) = 1 - [F(x)]^n = 1 - \left[ 1 - \frac{1}{\bar{T}(x)} \right]^n \quad (6)$$



Eksempel:

La  $\bar{T}(x)$  være 50 år. Da blir  $F(x) = 0,98$ .

Sjansen for at  $x$  skal overskrides i løpet av noen "n-års" perioder er da:

n:	1	5	10	20	30	50	100
$P(X > x)$ :	0,02	0,10	0,18	0,33	0,45	0,64	0,87

Det er altså "bare" 64% sjanse for at "50-års" verdien virkelig opptrer i løpet av 50 påfølgende år.

#### 4.2 Uavhengige data

Gumbels metode krever at tidsrekken består av uavhengige data. Vi vet at været i morgen er avhengig av været i dag. Ett kraftig uvær i nyttårshelgen kan godt gi årsmaksima for vinden de to årene, henholdsvis den 31.12 og 1.1. Når det gjelder vinden bør vi derfor helst dele året om sommeren når lavtrykksaktiviteten er minst.

Men selv års- eller sesongekstremer er ikke absolutt uavhengige. Dessverre er det slik at selv små bindinger i dataene kan gi store utslag i de beregnete ekstremene. Men selv om vi vet vi kan ha mange påfølgende år med mye eller lite vind, vil det kreve svært lange tidsrekker for å kvantifisere denne bindingen. Vi må derfor ta sjansen på å bruke sesongekstremer som de var uavhengige.

#### 4.3 Lange tidsrekker

Det er lett å anvende en ekstremfordeling så snart vi har noen data å putte inn i den. Men vi må ikke se bort fra de klimatiske variasjonene. Vi vet som nevnt, at vi kan få "klumper" med stormfulle år påfulgt av flere år

med lite vind. En ekstremstatistikk basert på data fra slike "ekstreme" perioder må derfor gi et galt bilde av forholdene. Gjeldene rekord, såvidt jeg vet, er 100-års bølgen beregnet etter 6 måneders målinger!

For at vi skal ha fått med det meste av klimatiske fluktuasjoner bør vi ha tidsserier på minst 20 år, helst mer.

## 5. RESULTATER

### 5.1 Ekstremstatistikk.

Tabell 3 viser beregnede vindhastigheter med forventet returperiode 5, 20 og 50 år for 13 steder i Norge. Vi ser at det er god overensstemmelse mellom de 4 stasjonene på Østlandet, 50-års vinden er ca 33 m/s over store deler av Østlandsområdet, vi må ta forbehold om dalførene og fjellområder der vi ikke har data fra.

Langs vestkysten fra Sola til Bodø er det også relativt homogene forhold. Ytterpunktene er representert ved Utsira og Vigra. Det er rimelig at Utsira har de hardeste vindforholdene. Forskjellen mellom Sola og Utsira kunne muligens vært litt større, men det er ikke sikkert det er reelt. Vigra har bare 14 års data, og vi skal derfor ikke legge for stor vekt på den stasjonen.

Flesland og særlig Værnes peker seg noe ut. Dette er rimelig fordi disse ligger innenfor kystlinjen. Vi kan se av middelvindens geografiske fordeling at vindstyrkene avtar meget raskt med avstanden fra kystlinjen. Dette skyldes større friksjon over land. Et vindkast representerer gjerne en bevegelsesmengde som plutselig "slår ned" fra luftstrømmen i øvre del av friksjonslaget. Dette gjør at hastigheten i de største vindkastene ikke avtar like raskt som middelvinden inn over land (kastfaktorene blir større).

Tabell 3. Beregnete ekstremverdier i m/s av vindkast etter Gumbels 1. fordeling

Stasjon	Antall år	Returperiode:		
		5	20	50 år
Kise på Hedmark	13	26	30	33
Gardermoen	22	26	30	33
Oslo-Blindern	28	27	31	34
Fornebu	22	25	29	31
Sola	21	37	43	46
Utsira	18	41	46	48
Flesland	16	34	39	42
Vigra	14	34	39	41
Ørland	18	39	44	47
Værnes	18	33	37	39
Bodø	20	38	43	46
Bardufoss	19	29	33	36
Andøya	15	44	51	56

Nord for Bodø har vi bare data fra Bardufoss og Andøya. De ekstreme vindforholdene i indre Troms ser ikke ut til å være særlig mye verre enn på Østlandet.

Andøya derimot innehar den foreløpige Norgesrekorden i denne sammenhengen. Tidsrekken er bare på 15 år, og som for Vigra bør vi derfor være varsomme med å bruke tallene herfra foreløpig.

## 5.2 Omregning av ekstremere til andre midlingstider.

Tallene i tabell 3 gjelder altså for vindkast. Vi skal se nærmere på kastfaktorer i avsnitt 5.4. Men i tilknytning til

foregående avsnitt skal vi ta for oss litt om omgjøringer av ekstremer til andre midlingstider.

Det er ikke umiddelbart innlysende at man skal bruke alminnelige kastfaktorer på ekstremverdier. Ekstremene for f.eks. 10 min. middelvind trenger ikke en gang skyldes de samme uværene som ekstremene for vindkastene. Det mest korrekte er derfor å beregne ekstremverdier ut fra tidsrekker med middelvind.

Dessverre har vi som regel ikke tilgang på egne tidsserier for forskjellige midlingstider. I Norge har vi bare rekken fra Andøya som begynner å bli lang nok for slike studier. 5, 20 og 50 års verdiene for 10 min middelvind er beregnet på samme måte som for vindkast til :

Returperiode	5	20	50 år
10 min.middelvind	28	33	36 m/s

Vindkastene ligger altså nærmere 60% høyere enn middelvinden. Dette er forbausende høyt. Spredningen i sesongekstremene for vindkast er stor,  $\sigma = 5,3$  mot  $\sigma = 3,4$  for middelvind. Datagrunnlaget for denne stasjonen bør studeres nærmere, bl.a. hvilken effekt topografien rundt målestasjonen kan ha.

I Storbritannia opererer man med (såvidt jeg vet, referansen er dessverre blitt borte) følgende omregningsfaktorer over åpent og flatt lende (10 min. middel = 1):

Midlingstid	60 min	10 min	1 min	15 s	3 s
Forholdstall:	0.94	1.00	1.11	1.2.	1.30

### 5.3 Retningsfordeling

Retningsfordelingen av døgnmaksimaene for vindkast er tegnet opp som vindroser i figurene 2-4. For å skille ut de større vindhastighetene og retningsfordelingen av dem, er det også tegnet vindroser for alle tilfeller med hastigheter over 10 m/s for Blindern og over 20 m/s for Utsira og Andøya.

For Blindern (figur 2) ser vi at langt de fleste tilfellene kommer omkring NNØ (34%), og det er bare små endringer når hastigheten øker.

For Utsira (figur 3) ser vi at frekvensen av vest og nord-nordvest øker med vindhastigheten, men SSØ er absolutt hyppigste retning (17%).

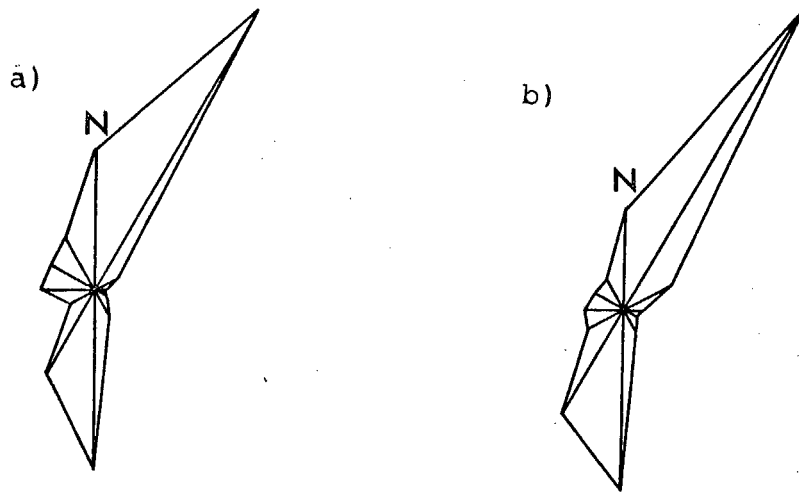
Andøya (figur 4) skiller seg igjen ut. De sterkeste vindkastene kommer nesten utelukkende mellom SV og V, mens retningsfordelingen av alle ekstremer er mye jevnere fordelt.

Retningsfordelingen av alle døgnekstremer stemmer noenlunde bra med den siste publiserte vindstatistikken fra DNMI:

L.Andresen: Monthly and annual frequencies of concurrent wind forces and wind directions in: Southeastern Norway (vol 1), Western Norway and Trøndelag (vol 2), Northern Norway and the Arctic (vol 3) for the period 1961-75.

### 5.4 Kastfaktorer

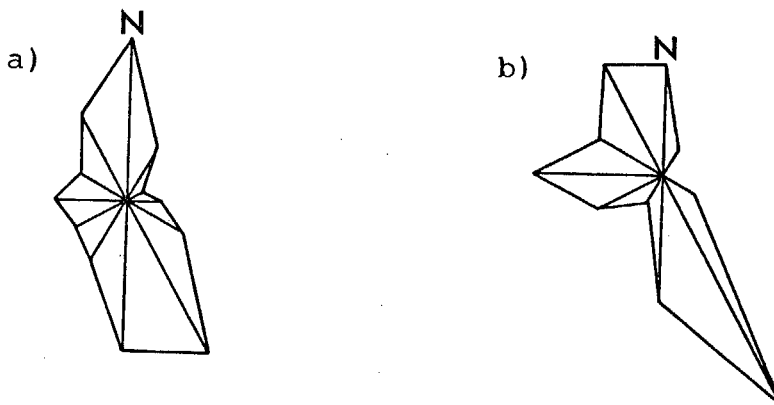
Kastfaktoren i figur 5 er beregnet av største vindkast i døgnet dividert med middelvinden i samme 10 minutters periode. Vinden har en tatt ut bare de tilfellene der middelvinden har oversteget 5 m/s.



Figur 2. Vindrose for døgnmaksima av vindkast Blindern 1973-79.

a) alle data.

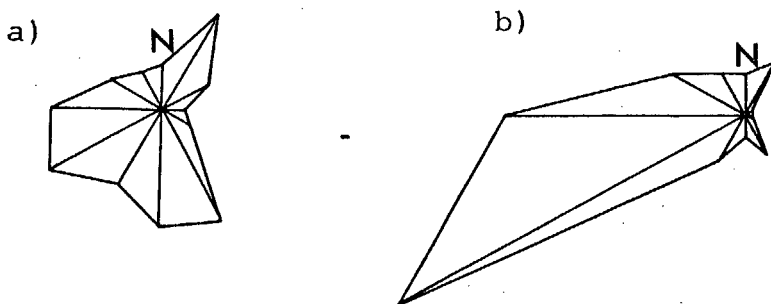
b)  $v > 10$  m/s



Figur 3. Vindrose for døgnmaksima av vindkast Utsira 1973 - 7.1979

a) alle data

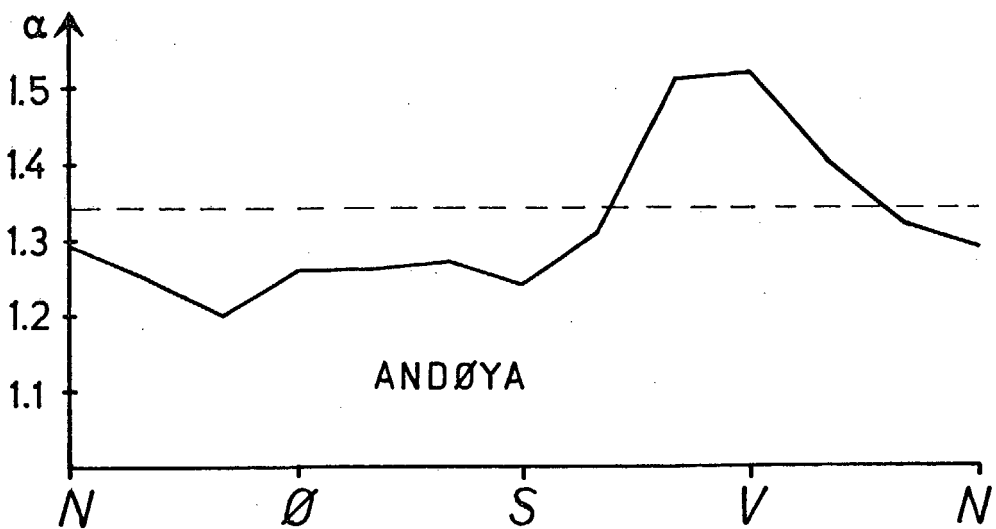
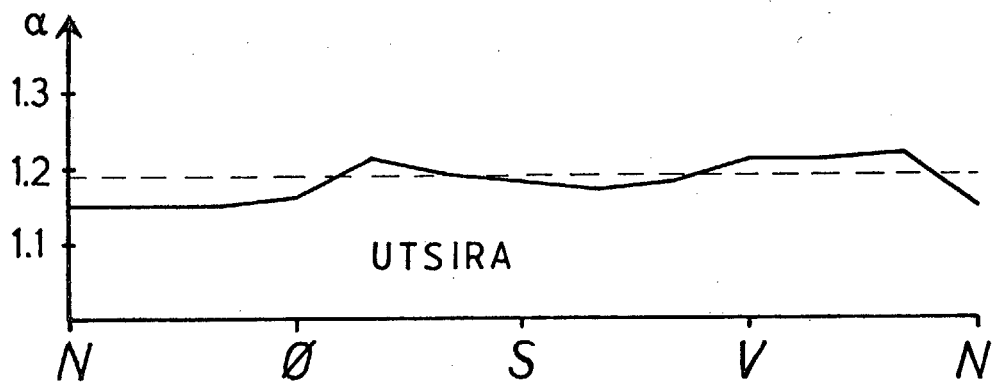
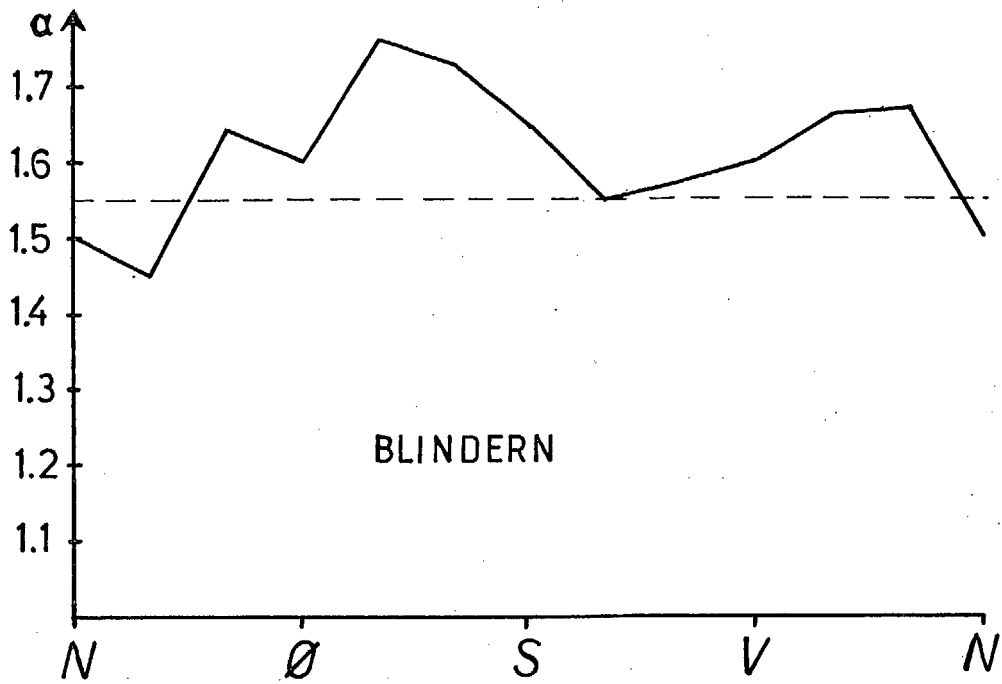
b)  $v > 20$  m/s



Figur 4. Vindrose for døgnmaksima av vindkast Andøya 1965 - 1979

a) alle data

b)  $v > 20$  m/s



Figur 5. Kastfaktorer ( $\alpha$ ) beregnet etter største vindkast pr. døgn når middelvinden er minst 5 m/s.  
Rett, stiplet linje: middel for alle retninger

Kastfaktorene eller turbulensen i atmosfæren varierer med den termiske stabiliteten i atmosfæren. En ustabil nordvestlig luftstrøm gir mye mer urolig vind enn en mer stabil sørvest. Likedan vil turbulensen bli påvirket av friksjonen fra underlaget, slik at økende ruhet gir økende turbulens. Det er derfor rimelig å vente store variasjoner av kastfaktoren med retningen.

Vi ser at Blindern har den høyeste kastfaktoren i gjennomsnitt (1.55) og også den største variasjonen med retningen. Maksimumsverdiene omkring SØ bør ikke få for stor betydning fordi hyppigheten av vind fra denne retningen er svært liten.

For sammenligningens skyld vil vi nevne at arbeid som er utført av statsmeteorolog A. Sunde om vindforholdene på Svinøy fyr (A. Sunde: Wind structure at Svinøy, Meteorologiske Annualer Vol 5/1, Oslo 1968). På bakgrunn av fortløpende tids-serier med middelvind 12 m/s eller mer, ble det funnet en gjennomsnittlig kastfaktor på 1.22.

Andøya har igjen en høyere kastfaktor (1.34). Dette kan delvis skyldes mer ustabil luft, men fremfor alt topografien. Høye fjell mot SV - V gjør at vind fra denne retningen blir svært urolig ( $\alpha = 1.5$ ). Dette er nok også noe av forklaringen på at vi har fått så høye verdier for ekstremverdiene for vindkast (avsn. 5.1).

Til slutt vil vi nevne at om vi dividerer døgnets største vindkast med døgnets største middelvind (når denne er over 5 m/s) får vi middel for Blindern, Utsira og Andøya henholdsvis 1.51, 1.17 og 1.32. Vi ser at disse verdiene ikke er nevneverdig lavere enn de som er oppgitt ovenfor.