



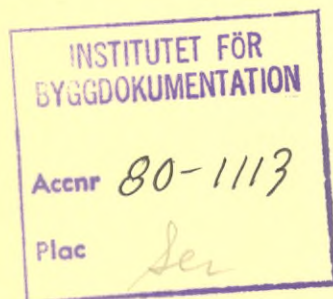
Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek och är fritt att använda. Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may contain errors, so one should always visually compare it with the images to determine what is correct.



Extremvind och turbulent variation

Bengt Dahlström



K/S

R64:1980

EXTREMVIND OCH TURBULENT VARIATION

Bengt Dahlström

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag
740650-7 från Statens råd för byggnadsforskning
till Sveriges meteorologiska och hydrologiska
institut, SMHI, Norrköping.

I Byggforskningsrådets rapportserie redovisar forskaren sitt anslagsprojekt. Publiceringen innebär inte att rådet tagit ställning till åsikter, slutsatser och resultat.

R64:1980

ISBN 91-540-3262-8
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

LiberTryck Stockholm 1980 053389

INNEHÅLL

	SAMMANFATTNING	5
	BETECKNINGAR	7
1	INLEDNING	9
2	VINDSYSTEM OCH TURBULENS	9
2.1	Vindmekanismer	9
2.2	Domäner i atmosfären med kraftig turbulens	11
3	EXTREMVIND - KLASSIFIKATION AV KRITISKA VÄDERLÄGEN	13
3.1	Cykloner	13
3.2	Kvasistationära väderlägen med hög vind	19
3.3	Intensiv frontaktivitet	20
3.4	Vindfenomen betingade av konvek- tiva celler	21
3.4.1	Stormbyar i samband med konvektion	21
3.4.2	Stortromber	21
3.5	Övriga stormsystem	23
4	TURBULENT VARIATION VID KRAFTIG VIND	23
4.1	Vindspektra vid kraftig vind	23
4.1.1	Spektrum enligt van der Hoven	24
4.1.2	Vindspektra från Landvetter	24
5	HORISONTELL TURBULENS - KLIMATO- LOGISKA KARAKTERISTIKA	35
5.1	Turbulensinformation från grafiska vinddiagram	35
5.2	Vinddiagram. Exempel på mekanisk och termisk turbulens	37
5.3	Byvindklimatet	42
5.4	Turbulensens intensitet uttryckt som byvindfaktor	42
5.5	Vindens variation och medelvärde vid vindmaxima	48
6	SANNOLIKHET FÖR EXTREMVIND - REGIONAL ANALYS	60
	REFERENSER	71
	Appendix 1: Instrumentkaraktistika	75
	Appendix 2: Stationsbeskrivning	79

FÖRORD

En förutsättning för projektet har varit A Johanssons insats i form av digitalisering av byvinddiagram. C Wallentin har svarat för programmeringsarbetet. Till kollegor och teknisk personal som bidragit till projektet framför jag mitt varma tack.

Bengt Dahlström

SAMMANFATTNING

Projektet har inriktats på klimatologisk analys av medelvind och turbulent variation vid vädersituationer med kraftig vind i Sverige. Resultaten väntas vara av betydelse för beräkning av sannolik vindpåkänning på byggnadskonstruktioner samt även för andra problem med anknytning till vindmiljö.

Den kvantitativa bilden av kraftig vind och turbulens baseras på en syntes av kritiska klimatfaktorer samt mätdata. Endast begränsad mikroklimatologisk information om vindstrukturen finns i Sverige i form av turbulensmätningar: Byvinddiagram från flygplatser med mer än 10-åriga mätserier har därför utnyttjats. Analog information kring respektive månads maximivind har därvid överförts från diagram till datorvänlig form. Dessa unika data utgör grunden för analysen av turbulensklimatet, men materialet har även kompletterats med digitala data från Landvetter och för regional generalisering av resultat har konventionella 10-minuters medelvärden från väderstationer använts.

En klassifikation av extremvind efter kritiska väderlägen redovisas. Olika väderfenomen ger olika typer av vindlast. Några vindspektra vid kraftig vind från Landvetter presenteras. Energin i den högfrekventa delen av spektra är högre än väntat. Statistik över vindens variation kring vindtopparna samt byvindfaktorns storlek redovisas. En generell klimatologisk relation som ger medelvind som funktion av medelvärdestid (1 s-10 min) kring vindmaximum har utvecklats. Extremvärdesstatistik för byvind och medelvind presenteras i kartform.

För att underlätta tolkningen av vindens variation samt för att ge instruktiva exempel ges i hög grad fysikalisk bakgrund i form av väderkartor.

ABSTRACT

The objective of the project has been to investigate wind speed and turbulent variation in weather situations connected with strong winds in Sweden. The results are of interest for the estimation of probable wind loadings on buildings and also for other problems related to the wind environment.

The quantitative picture of strong wind and turbulence is based on a synthesis of critical climatological factors and field data. There exists only a limited amount of turbulence data sets in Sweden for interpreting the micro-climatological wind structure. Therefore time series, 10-yearly or longer, of graphical wind diagrams from airports have been used. Significant analog information at the respective monthly maximum wind speed has thereby been transferred from the graphs to computer media. This unique data stock forms the basis for the analysis of the turbulence climate.

A physical classification of extreme winds according to critical weather situations is presented: The type of wind loading is connected with the type of weather phenomenon. Some wind spectra during strong wind conditions are illustrated by use of data from the airport Landvetter. The energy in the high frequency part of the spectra is unexpectedly high. A general climatological relation, giving average wind velocity at wind maxima as a function of the averaging time, is expounded. Regional statistics on extreme mean winds and on gust wind is also presented.

To facilitate the interpretation of the wind variation and to give instructive physical background weather maps are included to a great extent.

BETECKNINGAR





β_u	parameter baserad på Rice formel
c	generell Weibull parameter
c_p	specifika värmets vid konstant tryck
ϵ	turbulent energidissipation per massenhet
e	turbulent energi
f	dimensionslös frekvens
f'	Coriolis parameter
H_0	turbulent värmefflöde
I	turbulensintensitet
k'	von Kármáns konstant
k	generell Weibull parameter
K_M	turbulent utbyteskoefficient för impuls
$l(z)$	blandningslängd
L	Monin - Obukovs längd
L_u	longitudinella turbulensens längdskala
λ	effektiv våglängd av vindbyar
γ_u	parameter baserad på Rice formel
n	frekvens (Hz)
p	lufttryck
$p(U, \dot{U})$	sannolikhetsfördelning för U, \dot{U}
ρ	luftens densitet
r	vindens variationsvidd: $U_{\max} - U_{\min, T}$
R	byvindfaktor U_{\max} / \bar{U}_{10}
$\sigma_u, \sigma_{\dot{u}}$	standardavvikelse av respektive vind och tidsderivata av vind
$S_u(n)$	energispektrum av horisontell vind
t	tid
T	temperatur, alternativt medelvärdestid (min)
T_*	friktionstemperatur
τ	turbulent skjuvspänning
u', v', w'	turbulenta hastighetskomponenter
u_*	friktionshastighet
U, \dot{U}	horisontell, momentan vindhastighet respektive tidsderivata härav
U_1, U_2	vindens hastighetskomponent i x- resp. y-led
U_{1g}, U_{2g}	geostrofiska vindkomponenten i x- resp. y-led
\bar{U}_T	medelvärde av horisontell vind under tiden T
$U_{\min, T}$	lägsta horisontella vindhastighet under tiden T

u'_{max}	uppskattning av horisontella, turbulenta komponenten vid månadens maximivind
U_{max}	maximivind för månaden
x, y, z	rymdkoordinater
z_0	skrovlighetslängd

SYMBOLER PÅ VÄDERKARTOR

Väderkarta kl 07


Kartläggningens beteckningar:

	Isobar = linje för lika lufttryck. 1000 mb motsvarar 750,1 mm kvicksilver. Lufttrycket är reducerat till havsytans nivå
S_6	betyder att lufttrycket stigit 6 mb under de senaste 3 timmarna
F_2	betyder att lufttrycket fallit 2 mb under de senaste 3 timmarna
	Varmfront = linje längs vilken varmluft fördrivar kallluft. Fronten rör sig åt det håll åt vilket kullarna är riktade
	Kallfront = linje längs vilken kallluft fördrivar varmluft. Fronten rör sig åt det håll åt vilket taggarna är riktade
	Område med inhållande regn eller snöfall
	Område med regnskurar eller snöbyar
	Område med duggregn
	Område med dimma


Observationernas placering

runt stationsringen:
Princip Exempel














Ett långt streck anger varifrån vinden blåser. Antal tvärstreck anger vindhastigheten: ett kort = 2 1/2, ett långt = 5 m/s. 25 m/s anges med . Stationsringen utfylles i förhållande till molnmängden. ○ = klart, ● = mulet. Om himlen ej observerats sättes ⊙. I exemplet ovan täcker fjädemoln och bymoln 7/8 av himlen. Lufttemp = +12°C. Vind: sydvästlig, 13 m/s. Väder: regnskur.

Väder:

	=duggregn
•	=regn
*	=snö
∇	=skurar
↔	=isnålar
△	=hagel
⊞	=åska
∞	=solrök
≡	=dimma
+	=snödrev

Moln

	=fjädemoln (Ci)
	=slöjmoln (Cs)
	=makrillmoln (Cc)
	=bjöljmoln (Nc)
	=skiktmoln (As)
	=regmolntäcke (Ns)
	=valmoln (Sc)
	=stackmoln (Cu)
	=bymoln, åskmoln (Cb)
	=låga dåligtvädersmoln
	=dimmoln (St)

1 INLEDNING

Vid dimensionering av byggnadskonstruktioner är kunskap om sannolikheten för kraftig vind samt vindens karaktär av avgörande betydelse. Med stöd av underlag i form av vindstatistik kan uppskattning av resulterande tryckkrafter på aktuell konstruktion ske. I denna rapport berörs endast den meteorologiska delen av problemet.

Den kritiska vindlasten kan ibland uppstå när vindhastigheten är hög, medan det i andra fall är den upprepade belastningen från vinden som är avgörande. Detta innebär att beroende på konstruktionens art kan olika vädersituationer vara kritiska. Efter en allmän översikt över de turbulenta förhållandena i Sverige klassificeras kritiska väderlägen i sektion 3. Denna indelning kan utnyttjas som referensinformation vid dimensionering baserad på den kvantitativa vindinformationen i rapportens senare del (avsnitt 4-6). Referensinformationen understryker även behovet av fysikalisk-klimatologisk tolkning av de olika vädersystemens återverkan i form av vindlast.

I avsnitt 4 behandlas vindens variation i form av vindspektra från Landvetter, där beräkningar utförts för några situationer med kraftig vind. I avsnitt 5 presenteras resultat från utvärdering av grafiska byvinddiagram: Information från diagrammen har utmönstrats i intervallet kring månadens maximivind för 9 stationer under ca 10-15 år. Dessa data om turbulensklimatet är av unik karaktär, eftersom de ger vindhastigheten integrerad under endast någon sekund: Det omfattande vindmaterial som finns vid SMHI grundar sig i övrigt på 10-minuters medelvärden av vinden. Statistik rörande vindens variation kring vindtopparna samt vindhastigheten som funktion av medelvärdetiden vid topparna presenteras.

I rapportens sista del presenteras extremvärdesstatistik för byvind och medelvind i kartform.

För att underlätta tolkningar av vindens variation samt för att ge instruktiva exempel har det ansetts motiverat att i hög grad ge fysikalisk bakgrund i form av väderkartor.

2 VINDSYSTEM OCH TURBULENS

2.1 Vindmekanismer

Strömmarna i atmosfären drivs av solstrålningen. På grund av olikartad uppvärmning av jordytan uppstår tryckskillnader som atmosfären söker utjämna. När luften sätts i rörelse avlämnas strömningen under inverkan av jordrotationen, varvid en omedelbar tryckutjämning ej kan ske. På högre höjd där friktionskraften kan försummas är strömningen därför på grund av avlänknings nästan parallell med linjerna för lika tryck. Avvikelse

ser härifrån inträffar i områden där strömningen kröker, varvid centrifugalkraften påverkar flödesmönstret. De resulterande vindsystemen varierar i utsträckning från någon mil, eller mindre, till global omfattning.

Vindsystemens karaktär påverkas av jordytans skrovlig-
het och topografi. På lägre nivåer i atmosfären (mark-
gränsskiktet) bromsas strömningen av friktion mot jord-
ytan varvid rörelseenergi överförs från medelströmningen
till turbulens. Mellan jordytan och den fria atmosfären
utbildas en vindgradient.

Gränsskiktsstrukturen kan kraftigt förändras av fenomen som virvelavlösning i lä av bergskedjor, kraftiga vertikala rörelser i Cumulonimbusmoln och stortromber.

Medelvindens förändring med höjden över ett skrovligt underlag (se figur 1) har bl a återgivits i en numerisk modell av Lettau (1962). Rörelseekvationerna uttrycks i denna enkla modell, baserad på grova approximationer, som

$$f(U_{1g} - U_1) - \frac{\partial}{\partial z} \overline{v'w'} = 0$$

$$f(U_{2g} - U_2) - \frac{\partial}{\partial z} \overline{u'w'} = 0,$$

där medelvärdet av de turbulenta kvantiteterna avser ensemblemedelvärdet. I modellen ansätts

$$\overline{u'w'} = -K_M \frac{\partial U_1}{\partial z}$$

$$\overline{v'w'} = -K_M \frac{\partial U_2}{\partial z}$$

$$K_M = l^2(z) \left[\left(\frac{\partial U_1}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial U_2}{\partial z} \right)^2 \right]^{0.5},$$

där $l(z)$ är en blandningslängd som beror av u_* och f .

Monin och Obukhov (1954) karakteriserade de turbulenta förhållandena i gränsskiktet med följande parametrar: höjden z , densiteten ρ , skjuvspänningen τ , värmeflödet H_0 och stabiliteten g/T . Under antagande om försumbar molekylär transport och turbulent flöde erhålls via dimensionsanalys hastighet, temperatur och längd:

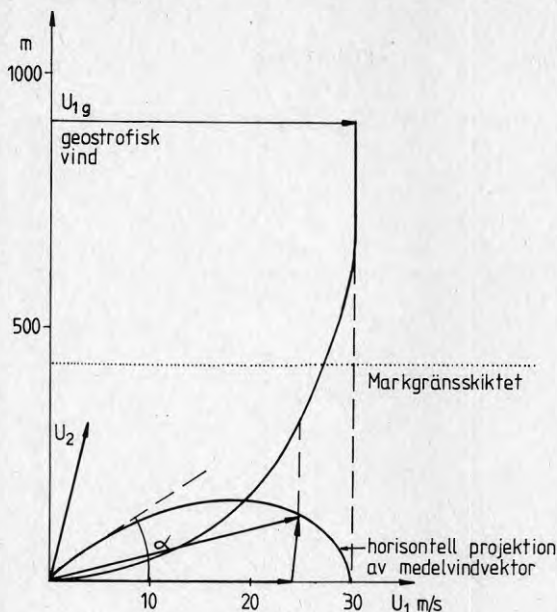
$$u_*^2 = \tau/\rho$$

$$T_* = -H_0 / (\rho c_p k' u_*)$$

$$L = -u_*^3 / [(k'g/T)H_0 / \rho c_p]$$

Dessa skalor har visat sig värdefulla vid normalisering av turbulensstatistik, se t ex Kaimal et al (1972).

I samband med kraftig och inhomogen skrovlighetsstruktur hos jordytan, som vid städer, bergsformationer, erfordras ytterligare fysikalisk tolkning av förhållandena.



Figur 1. Schematisk bild av vindförhållanden i atmosfärens lägre skikt. α = vinkel mellan skjuvspänningen τ och isobarerna.

Det komplex av faktorer som påverkar atmosfärens strömning försvårar exaktare beskrivningar av turbulensen. Men realistiska modeller av skeendena i gränsskiktet där även turbulenta transportmekanismer ingår har formulerats av bl a Deardorff (1972). För karakteristik av vind vid en given ort under kommande 10 å 50 år är dessa modeller dock ej direkt användbara. Simulering via numeriska modeller av sällsynta händelser som skeenden i gränsskiktet vid kraftig storm bör emellertid kunna ge värdefull information. Denna ansats är i stort oprövad.

Den huvudsakliga ansatsen hittills för att nå ökad kunskap om vindens natur har varit statistisk analys av vinddata, särskilt mikrometeorologiskt studium av turbulens. Statistiska parametrar av särskilt värde för uppskattning av vindlast är tidsmedelvärden av vinden, vindens varians, återkomsttid för extremvind, spektral uppdelning av vindens energi efter frekvens eller våglängd, kors-korrelation och koherens för studium av vindbyarnas storlek i tid och rum.

2.2 Domäner i atmosfären med kraftig turbulens

Endast begränsad mikroklimatologisk information om vindstrukturen finns i form av turbulensmätningar. I Sverige har avancerade fältmätningar endast företagits

vid ett fåtal platser och i regel under kortare tid. Bidragande orsaker till detta är dels kostnaderna för avancerade turbulensmätningar, dels instrumenttekniska problem.

Grundläggande information om turbulensklimatet kan erhållas via studium av uttryck för den turbulenta energibudgeten:

Den genomsnittliga rörelseenergin i de turbulenta hastighetsfluktuationerna fås via Navier-Stokes ekvationer. Ekvationerna multipliceras med respektive hastighetskomponent, termerna tidsmedelvärdesbildas, varefter slutligen uttryck för medelströmningens energi subtraheras (se t ex Tennekes och Lumley, 1972). För horisontellt homogen turbulens erhålls följande uttryck om turbulensenergin antas oförändrad med tiden:

$$u_*^2 \frac{\partial \bar{U}}{\partial z} + \frac{gH}{c_p \rho T} - \frac{\partial \bar{e}_w}{\partial z} - \frac{\partial \overline{w\rho/\rho}}{\partial z} - \epsilon = 0 \quad (2.1)$$

I II III IV V

(Beteckningar, se rapportens början).

Den första termen kan för neutral skiktning via logaritmiska vindlagen uttryckas som $u_*^3/k'z$, dvs termen är proportionell mot kuben på vindhastigheten, omvänt proportionell mot höjden och ökande med tilltagande skrovlighet.

Den andra termen representerar det konvektiva energibidraget och kan vara av term I:s storlek.

Divergensen av rörelseenergin (term III) och uttrycket $\frac{\partial \overline{w\rho/\rho}}{\partial z}$ ger i regel liten energi.

I turbulenta flöden sker alltid dissipation (ϵ) varvid den inre energin ökas på bekostnad av turbulent rörelseenergi.

De huvudsakliga domänerna med intensiv turbulensproduktion är därför (termerna I och II):

a) Regioner med kraftig vindshear. Exempel:

- Markgränsskiktet, dvs de lägsta ca 1000 m.
- Läsidan av vindutsatta bergstrakter, dvs i Sverige särskilt fjälltrakterna.
- Fronter. Tråget på baksidan av lågtryck.
- Jetströmmar

b) Vindutsatta områden med stor skrovlighet. Exempel:

- Vindutsatta byggnader.
- Kuperade områden med hög medelvindhastighet, t ex kustregioner.

c) Regioner där kraftig konvektion förekommer. Exempel:

- Konvektiva moln.
- Instabila luftmassor.

Allmänt är konvektionstermen i regel störst över

land den varma årstiden och över hav och större sjöar under den kalla årstiden.

Dissipation sker genom energitransport från stora turbulenta virvlar till små. Effektiv nedbrytning av turbulens sker bl a i homogena skogklädda områden. Utbildning av lokala gränsskikt under vilka medelvinden är lägre kan ofta medverka till att turbulensproduktionen minskar i effektivitet. Detta gäller allmänt förhållanden i inlandet men även till viss del den inre kärnan av städer.

Sammanfattning av 2.2 - kvalitativ information

Kraftig turbulensproduktion sker i fjällvärlden, vid vindutsatta kustområden och byggnader, bl a anblåsta städer. Under sommartid kan termisk turbulens, t ex i åskregnssituationer ge kraftiga vindfluktuationer. Kraftig vindshear i samband med fronter och tråg (främst vid baksidan av lågtryck) medför att Sverige - trots vidsträckt skogsområden - klimatologiskt sett har ett utsatt läge vad gäller vindpåkänningar.

3 EXTREMVIND - KLASSIFIKATION AV KRITISKA VÄDERLÄGEN

Omfattningen av den skadegörelse som vållas av stormar är särskilt knuten till vindens struktur, till stormens utbredning och till ekonomiska värden och graden av vindkänslighet i drabbade regioner. Förutom vindlast orsakad av stationär vind och av denna orsakad självsvängning orsakas skador av den naturliga vindens variation.

För olika typer av byggnadskonstruktioner kan därför olika typer av väderfenomen ge vindstruktur som är dimensionerande. Det kan därför vara av intresse att studera några olika typfall av vädersituationer som är kritiska med hänsyn till den vindlast som kan vållas. Dessa kritiska väderlägen har indelats i fem huvudtyper:

- I. Cykloner
- II. Kvasistationära väderlägen med hög vind
- III. Intensiv frontaktivitet
- IV. Vindfenomen betingade av konvektiva celler
- V. Övriga stormsystem

3.1 Typ I: Cykloner

De kraftigaste stormarna förekommer i regel i samband med intensiva cykloner. Dessa fenomen är särskilt utvecklade under hösten och vintern. Vanligen når vinden maximal hastighet i tråget på cyklonens sydsida, där orkanstyrka (> 32.7 m/s) kan uppnås. På grund av cyklonernas stora horisontella dimensioner kan en stor del av landet stormhärjas i ett enskilt fall. Nedan exemplifieras två kraftiga oväder. Mera detaljerade redogörelser återfinns i SMHI:s publikation "Månadsöversikt över väderlek och vattentillgång", från vilken en del av materialet här har hämtats.

Exempel 1. Cyklonpassage 1967-10-17--18

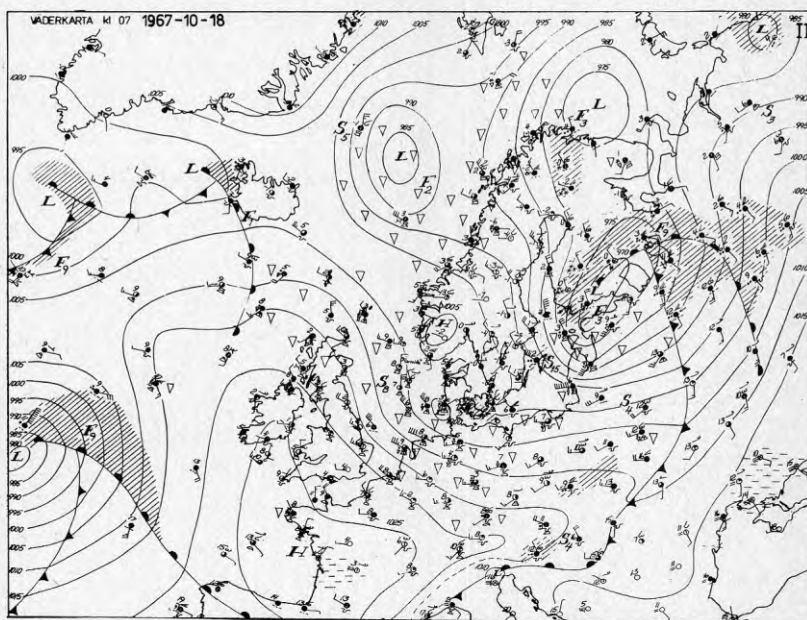
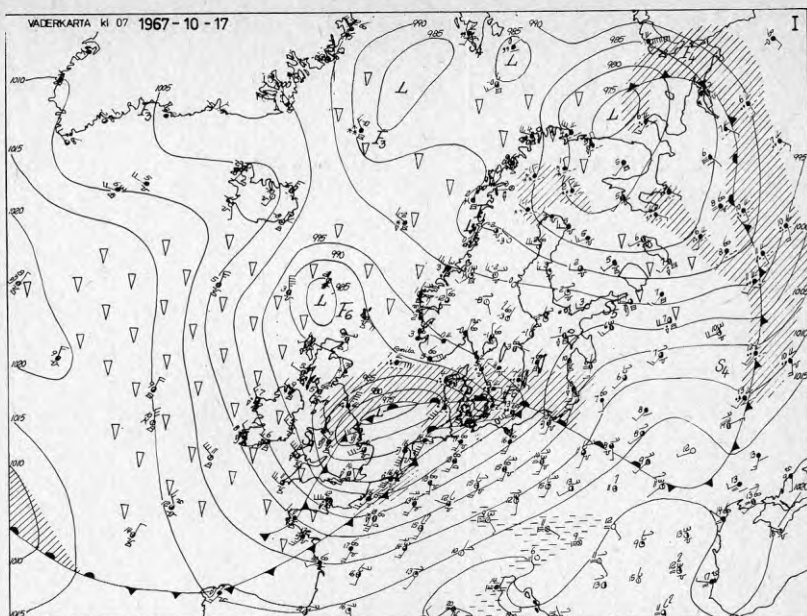
Ett lågtryck som 1967-10-16 passerade Brittiska Öarna intensifierades och befann sig den 17 på morgonen över Nordsjön. Lufttrycket i centrum var något lägre än 970 mb. Ytterligare information om stormen framgår av karta I-II samt figur 2-6. Stormen torde ha varit den svåraste som förekommit i södra Skåne och vid Blekingekusten sedan 1902. Vid kusterna i södra Sverige var medelvinden under 10 minuter allmänt över 20 m/s och på flera håll noterades över 30 m/s. Ölands södra grund registrerade 40 m/s i medelvind under 10 min (instrumentet placerat 36 m över havet). Efter stormen noterades upp till 3 dm snö i vissa delar av södra Sverige, som innan stormen saknade snötäcke.

Med ledning av utbetalda försäkringsbelopp uppskattas kostnaderna i dåvarande penningvärde till 55 miljoner kr.

Exempel 2. Cyklon 1969-11-01

Den intensiva cyklonens centrum trängde in i landet västerifrån (se karta III-IV). Cyklonen fördjupades under passagen över Sverige och lufttrycket i centrum var något under 960 mb när den nådde Bottenhavet. På ostkusten noterades lokalt orkanstyrka. I Stockholm förekom vid 21-tiden den för staden ovanligt höga medelvinden av 21 m/s och i byarna noterades 30 å 35 m/s. Orkanstyrka nåddes bl a vid Grundkallen (instrumentet på 36 m höjd över havet) med maximal 10-minuters medelvind på 41 m/s. Vindhastigheten vid Grundkallen är den högsta medelvind som registrerats med SMHI:s observationsnät. Stormen illustreras av figur 7-8.

I samband med stormarna i ovanstående exempel åstadkoms skadegörelse i form av stormfällad skog, nedfallna el- och teleledningar, skador på byggnader, avblåsta tak m m.



Typ I: Cyklonen 1967-10-17--18

Karta I och II: Ovädret rörde sig över Jylland tvärs över södra Sverige till södra Finland. Ovädret föregicks av vind omkring ost och efterföljdes av en kraftig nordvästlig luftström.

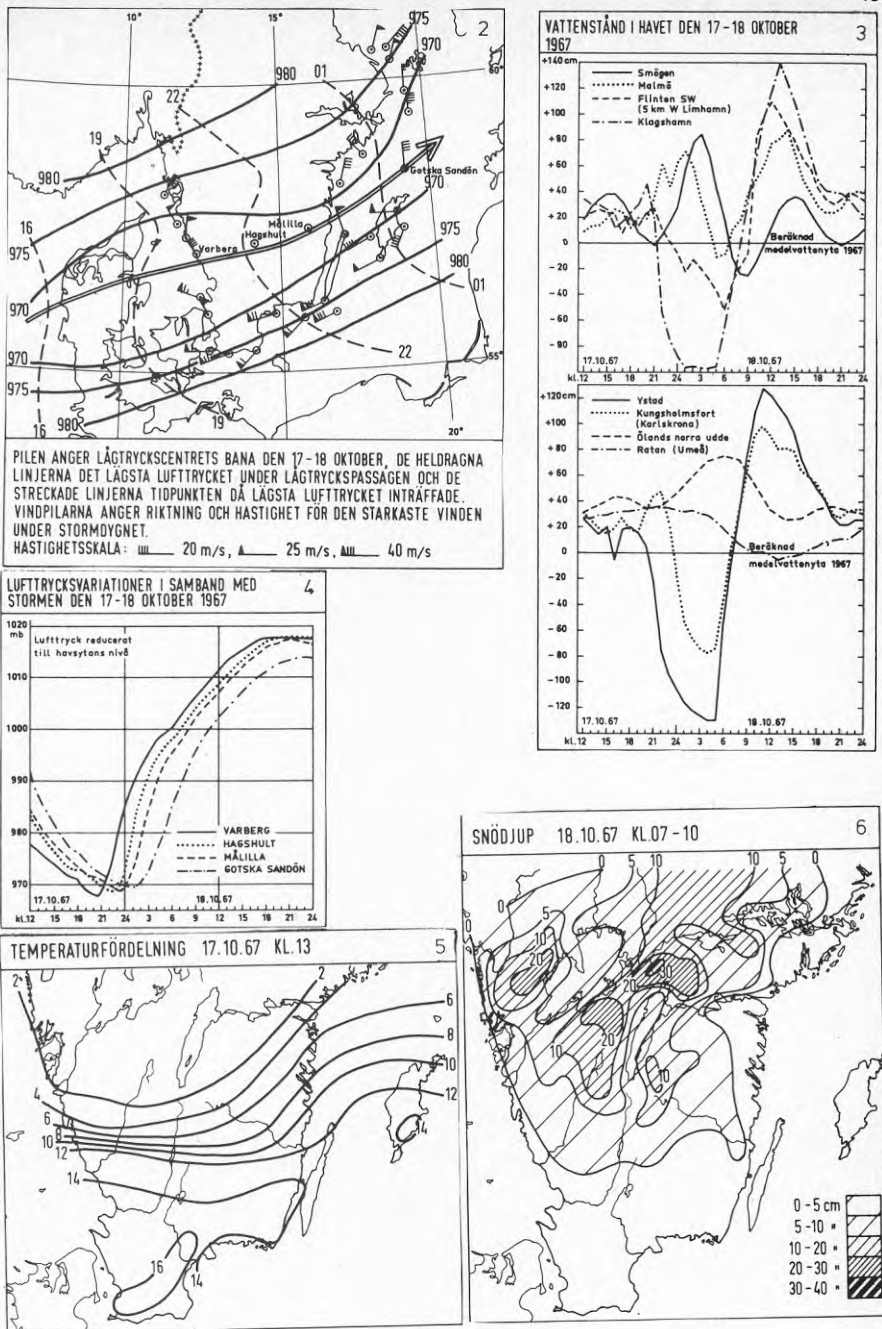
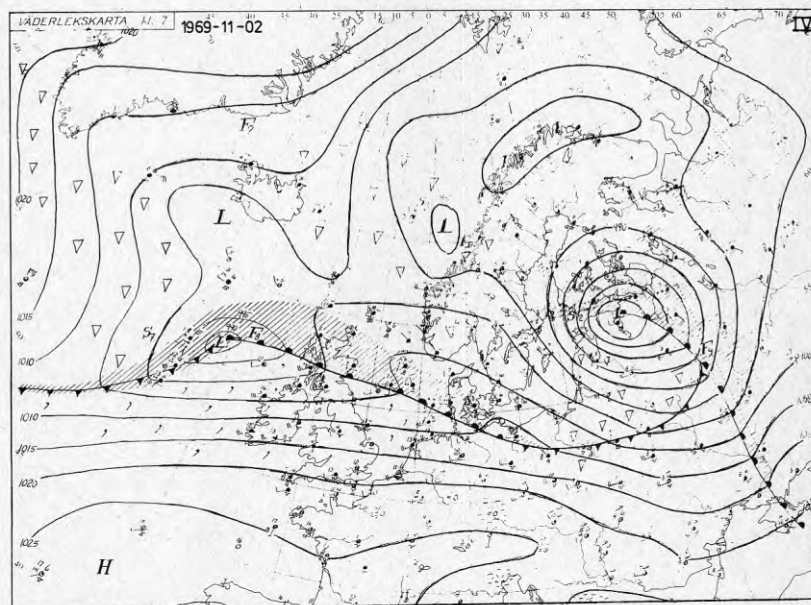
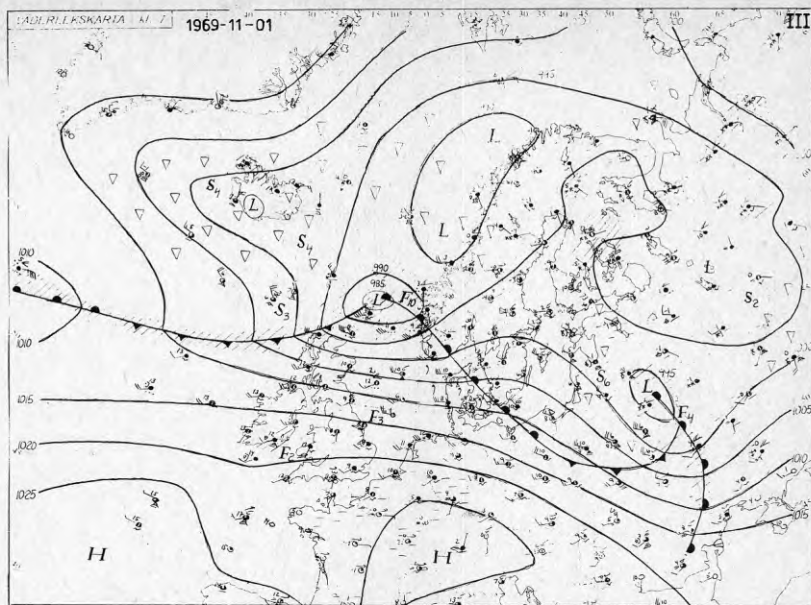


Fig 2-6. Cyklonen 1967-10-17--18 (forts). Illustration av cyklonens framfart (ur Månadsöversikt över väderlek och vattentillgång, SMHI, för oktober 1967).



Typ I: Cyklonen 1969-11-01--02

Kartorna III och IV: Ett oväder vid Syd norge rörde sig snabbt till Finska viken.

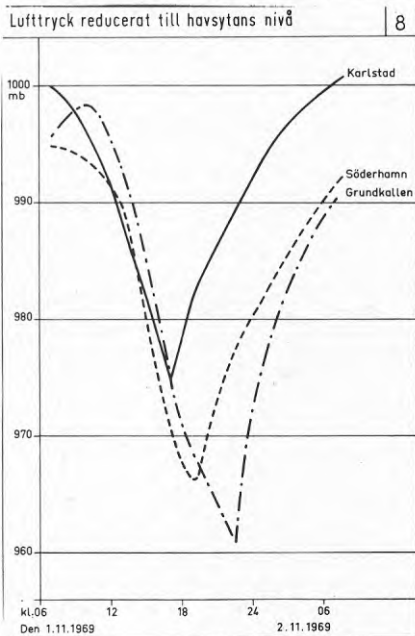
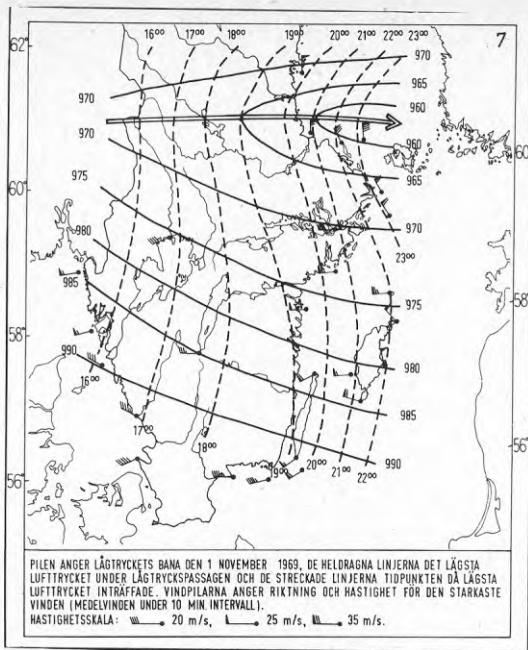
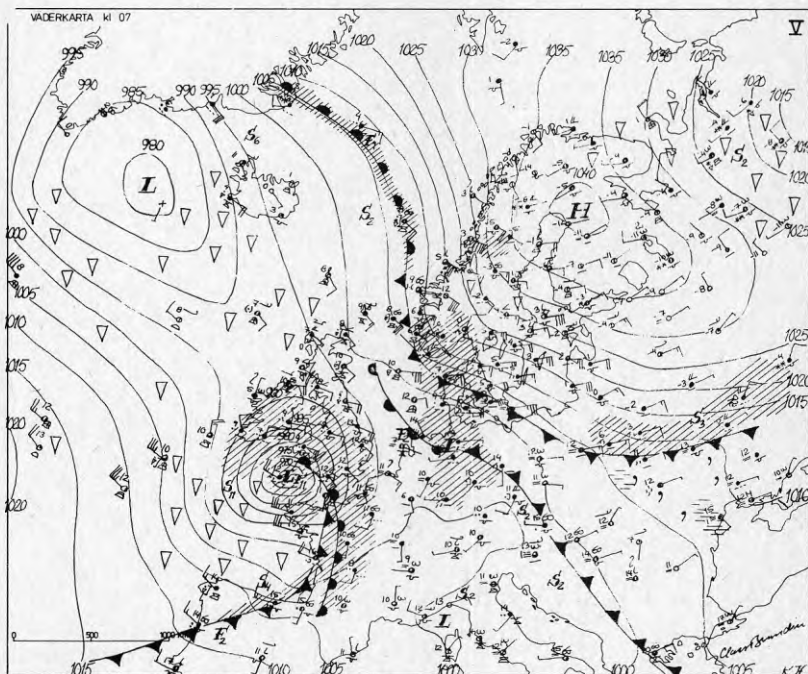


Fig 7-8. Cyklonen 1969-11-01 (forts). Illustration av cyklonens framfart (ur Månadsöversikt över väderlek och vattentillgång, SMHI, för november 1969).

3.2 Typ II: Kvasistationära väderlägen med hög vind

Stationära väderlägen med kraftig vind är särskilt kritiska för konstruktioner som är känsliga för statisk eller dynamisk vindlast. Kraftig vind kan "ligga på" under flera dygn med vindriktningen huvudsakligen oförändrad. Som exempel på en sådan situation anges här perioden 1976-10-13--17 (se karta V), då hård, beständig ostvind låg över större delen av Sverige. Vindhastigheten var ej extremt hög, ca drygt 20 m/s i medelvind under 10 min vid kusterna, men den hårda vinden förekom under flera dygn. Hanö hade som exempel kuling eller mer (minst 14 m/s) i stort sett från den 12 till den 18 och ostlig storm varade från middagen den 13 till midnatt mellan den 14 och 15. I Norrland förekom samtidigt bl a i Jämtland kraftig islast.



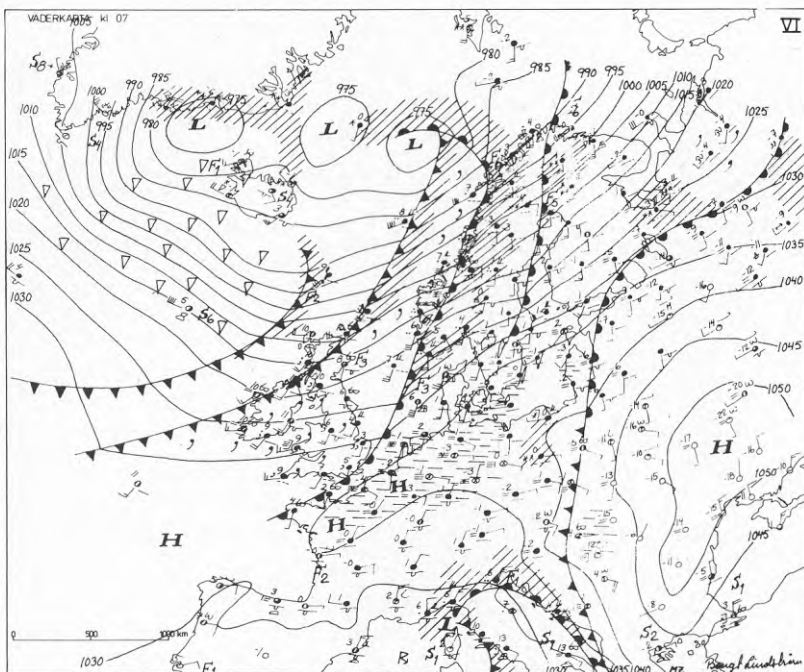
Karta V: Väderläge: Det mäktiga högtrycket över norra Skandinavien förskjuts något åt sydost och ett lågtryck över England rör sig till sydligaste Nordsjön. Den hårda ostvinden i södra Sverige består eller ökar och kan vid kusten lokalt nå storm.

3.3 Typ III: Intensiv frontaktivitet

I samband med frontpassager förekommer ofta kraftiga vindstötar och vindkanteringar som kan vara betingade av både termisk och mekanisk turbulens. Denna typ av vindstruktur skiljer sig från exemplet ovan (sektion 3.2) främst genom att vindriktningen är mera variabel och att turbulensen kan vara intensivare. Medelvinden kan dock vara lägre. Skador på byggnadskonstruktioner orsakade av turbulens i samband med frontpassager kan uppkomma som den integrerade effekten av frontaktivitet under en längre period, t ex hösten, alternativt under en kortare period med hög frontaktivitet.

I karta VI åskådliggörs ett exempel på en period med intensiv frontaktivitet.

Speciellt i situationer med snabba kallfronter kan de konvektivt betingade vertikallrörelserna framför fronten vara intensiva. Den termiska turbulensen knuten till system av Cumulonimbusmoln i kombination med mekanisk turbulens kan resultera i "kaotiska tillstånd" med hårda vindstötar från olika riktningar.



Karta VI: Exempel på hög frontaktivitet. Exemplet från 1977-01-05

3.4 Vindfenomen betingade av konvektiva celler

3.4.1 Stormbyar i samband med konvektion

Överföring i vertikal led av energi, fuktighet och horisontell impuls sker i atmosfären i huvudsak via konvektion. I samband med kraftiga vertikallrörelser i Cumulonimbusmoln kan häftiga vindbyar förekomma även i de lägre atmosfärsskikten (se exempel i sektion 5.2). I samband med kraftig instabilitet förekommer ofta intensiva skurar, hagel och åska. I dessa situationer uppträder i sällsynta fall stortromber. Konvektionsmönstret kan bestå av enstaka konvektiva celler ("spridda luftmasseoväder") eller av samverkande celler som har gemensam dynamik. De senare kan vara knutna till fronter, särskilt kallfronter, och uppträder då som "linjeåskväder". I en del av dessa väderlägen kan stortromber utvecklas (sektion 3.4.2).

3.4.2 Stortromber

Stortromber bildas i högre skikt i samband med varm, fuktig och instabil atmosfär. De bildas inom Cumulonimbusmoln, särskilt ovan kallfronter. Torr luft i höjden främjar labiliseringen när varmluften hävs ovan fronten. I USA kallas samma fenomen tornado, men är där i regel intensivare. Den horisontella medelvindhastigheten når ca 40-100 m/s i Sverige men kan i USA sannolikt nå 200 m/s. I regel drabbas endast några kvadratkilometer av fenomenets framfart. I figur 9-10 illustreras ett par tornados.

M Båth (1946) har analyserat tre stortromber i Sverige. Den maximala hastigheten uppskattades i ett fall till 80-90 m/s. Den enorma energin i detta intensiva fenomen framgår av den beskrivning av skador som M Båth ger:

Tornadon över Södermanland och Uppland 1939-08-13

På en byggnad skalades hälften av ett plåttak av och stora metallbitar slungades 200 m. Takläggning detaljer och krossade glasrutor virvlade i luften. En bil lyftes från marken och flyttades 0.5 m. En byggnad, 20 x 16 m, krossades. En järnvägsdressin, vikt 800-900 kg, lyftes och slungades ca 40 m och bröts i delar. Ett hus, vikt ca 24 760 kg, flyttades 4-5 m. Dessa skador inträffade vid en ort (Bålsta). M Båth redogör dessutom för en mängd ytterligare skador i samband med denna tornados fortsatta framfart.

Tornado i Småland och Västergötland 1942-08-11

Av M Båths redogörelse framgår bl a att en lind med diameter 80 cm slets av strax ovan roten och kullkastades. En cyklist lyftes upp i luften av tornadon. För ytterligare beskrivningar av härjningen hänvisas till M Båth (1946).

Sannolikt förekommer 5-10 stortromber i Sverige i genomsnitt varje år. Frekvensen av detta fenomen är emellertid osäker eftersom observationsnäten idag ej kan täcka in dessa lokala fenomen.



Figur 9-10. Exempel på tornado. Bilden till vänster avser en tornado som ej vållade större skador när den strök över fält NE om Denver, Colorado. Bilden nedan har tagits i Greenwood, Indiana, där mer än 20 villor och kontorsbyggnader skadades av tornaden.



Med antagandet att varje tromb i medeltal berör en yta av 4 km^2 och att 10 tromber bildas i Sverige varje år, kan sannolikheten för att en godtyckligt vald plats i Sverige utsätts för en tromb uppskattas till ett fall på 10 000 år. Denna låga sannolikhet är av intresse för ett fåtal dimensioneringsproblem, t ex dimensionering av kärnkraftverk. En förändring av klimatet med ökad förekomst av väderlägen som medför ökad instabilitet, exempelvis i samband med ökad invasion av kallfronter under den varma årstiden, kan emellertid förorsaka högre frekvens av stortromber. För närvarande existerar emellertid ej någon allmänt accepterad syn på klimatets framtida utveckling.

3.5 Övriga stormsystem

Katabatisk vind, dvs fallvindar längs bergssluttningar, kan ibland nå stormstyrkor eller högre. I samband med skrovligt underlag och hög vindhastighet ger fenomenet kraftig turbulens.

I samband med en lågtryckssituation under november 1975 registrerades en byvind om ca 55 m/s i Tarfala (Kebnekajse-massivet i Lappland). Instrumentet, som var av skålkorstyp och installerat på 3 m höjd över marken, blåste kort därefter ned från sitt fäste varför stormens fortsatta intensitet är okänd. (Muntlig information från B Holmgren, meteorologiska institutionen i Uppsala). En av orsakerna till dessa extremt kraftiga vindbyar kan vara bildning av intensiva turbulenselement runt omgivande bergskammar. Fallet kan ej hänföras som enbart katabatisk vind utan snarast som en situation där ett komplex av faktorer samverkar.

I USA uppträder i de lägre skikten av atmosfären ibland en kraftig jetström ("low-level jet stream"). Motsvarigheten till denna saknas i Sverige.

4 TURBULENT VARIATION VID KRAFTIG VIND

I denna sektion studeras den turbulenta energins fördelning efter vindvariationernas frekvens (Landvetterdata).

4.1 Vindspektra vid kraftig vind

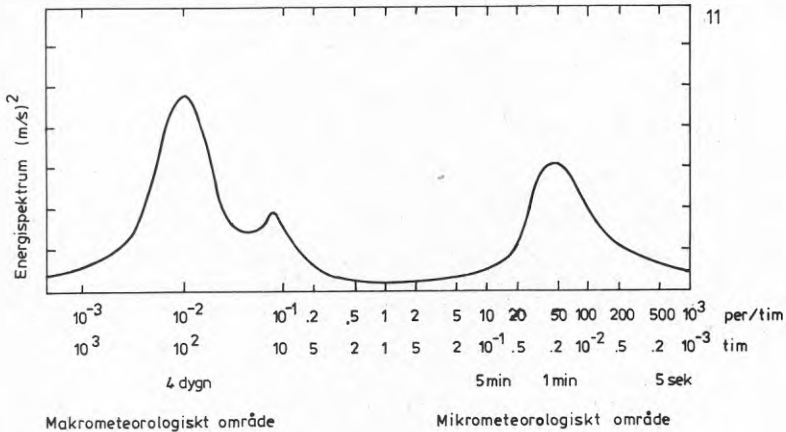
Spektralanalys används för att studera bidragen av olika frekvenser av turbulenta fluktuationer till den totala variansen av vindhastigheten. Information om energibidraget från virvlar av olika dimensioner kan härvid erhållas:

$$\int_a^b S_u(n) dn = \overline{u'^2}$$

där $S_u(n)$ är spektrum av horisontella vindens turbulenta komponent u' och n är frekvensen (Hz). Integration av spektrum i området a till b ger energibidraget från virvlar inom detta frekvensområde.

4.1.1 Spektrum enligt van der Hoven

Ett välkänt spektrum av van der Hoven (1957) illustreras i figur 11. Vindenergin anges i $(\text{m/s})^2$ som funktion av frekvensen perioder/tim (samt svängningstiden).



Figur 11. Spektrum enligt van der Hoven (1957).

Följande karakteristik kan utläsas av detta spektrum:

1. Ett huvudmaximum - det "makrometeorologiska maximumet" - uppträder vid 4 dygn, vilket ungefär motsvarar övergångstiden för ett utvecklat storskaligt vädersystem.
2. Sekundärmaximum ligger vid c:a 1 minut och motsvarar det "mikrometeorologiska maximumet" orsakat av turbulenta variationer i markgränsskiktet. Vindby-spektrum är av intresse vid dimensionering för dynamisk vindlast.
3. Mellan maximumområdena framträder ett område - "spektralgapet" - med liten energi (ungefär intervallet 5 tim till 5 min). De fysikaliska processerna, vädersystemen, är ej särskilt effektiva vad gäller energibidrag inom detta frekvensområde. Spektralgapet antyder även att om medelvärdestiden vid medelvindbestämning ligger inom gapet, blir effekterna av olika medelvärdestider i regel ej "dramatiska". Detta har bl a betydelse ur mätsynpunkt.

Det bör noteras att den högfrekventa delen av van der Hovens spektrum representerar relativt sällsynta förhållanden, den tropiska virvelstormen Connie med maximal 1 timmes medelvind 20 m/s.

4.1.2 Vindspektra från Landvetter

I Sverige finns endast sparsamt mätserier i form av vinddata med hög tidsupplösning. De turbulensmätningar av avancerat slag som företagits i landet har i regel

endast fungerat sporadiskt. Eftersom få stormtillfällen inträffar finns endast begränsad mätinformation av betydelse vid dimensionering för vindlast.

Landvetterdata

Sedan ett par år finns vinddata från Landvetters flygplats i form av vindvärden varannan sekund. Trots ett relativt stort databortfall under den gångna inkörningsperioden har relativt stora datamängder säkerställts.

Mätdata från två givare har analyserats. Vindinstrumentet är SMHI:s standardinstrument som är av skålkorstyp (jfr appendix 1). SMHI:s instrument samt 11 andra standardinstrument har testats i en undersökning utförd av CIMO (1977). Trots att SMHI-instrumentet inte har utformats med hänsyn till turbulensmätningar påvisade den jämförande instrumentstudien synnerligen goda egenskaper hos standardinstrumentet. Speciellt de dynamiska karakteristika (acceleration/retardation) var goda - i jämförelse med de övriga standardinstrumenten i särklass, se även appendix 1.

Vid Landvetter är vindinstrumenten placerade på 10 m höjd vid var sin landningsbana (appendix II). Omgivande terräng är relativt flack och skogklädd.

Metodik

Spektra beräknades med utnyttjande av den snabba Fouriertransformen sedan eventuella trender i materialet avlägsnats. Block om 1024 mätvärden analyserades. För den högfrekventa delen av spektrum användes värden för varannan sekund och i övrigt värden varje minut eller var 10:e minut. En metod av Peter D Welch (1967) tillämpades, där tidsserien uppdelas i ett antal övergripande delsegment. Spektralvärdena utjämnades något via successiv medelvärdesbildning.

Spektra presenteras enligt följande:

- Spektra i formen $n \cdot S_u(n)$
- Spektra i formen $n \cdot S_u(n) / \bar{u}^2$

Spektrum illustreras som funktion av frekvensen n (Hz) eller dimensionslös frekvens $f' = n \cdot z / \bar{u}$, där \bar{u} är medelvinden och z instrumenthöjden ovan markytan.

Taylor's hypotes innebär att om \bar{u} är väsentligt större än $u'(f)$ kan turbulensfältet antas "frys" och translaterat med hastigheten \bar{u} : Den variation av $\bar{u}(f)$ med tiden som upplevs vid en stationär punkt är densamma som den variation som observeras från den punkt som rör sig med hastigheten \bar{u} genom det frusna fältet i \bar{u} 's riktning.

Resultat:

Enligt Taylor's hypotes (1938) kan vindbyarnas effektiva våglängd λ relateras till medelvind och frekvens:

$$\lambda = \frac{\bar{U}}{n}$$

I de spektra som beräknats med vinddata $\bar{U} \geq 7$ m/s från Landvetter uppträder spektralmaximum i den högfrekventa delen i regel vid våglängder omkring 1 km. I en del spektra förekommer även ett sekundärt maximum i intervallet 150-500 m.

I figurerna (12-14) redovisas några vindspektra från Landvetter samt respektive väderläge. Spektra i den högfrekventa delen representerar stationära fall. Den lågfrekventa delen av spektrum i figur 14 är baserat på icke-stationära data.

Analytiska uttryck för vindspektra har bl a presenterats av von Karman (Engineering Sciences Data, 1974). Den longitudinella vinden representeras av följande ekvation:

$$\frac{nS_u(n)}{\sigma_u^2} = \frac{4\tilde{n}_u}{(1+70.8\tilde{n}_u^2)^{5/6}} \quad (+)$$

$$\tilde{n}_u = \frac{L_u \cdot n}{\bar{U}}, \text{ där } L_u \text{ är den longitudinella turbulensens längdskala.}$$

I figur 15 jämföres spektrum enligt uttrycket (+) ovan med tre Landvetterspektra. Den bristande överensstämmelsen kan sammanhånga med skillnad mellan horisontell och longitudinell turbulens. Beräkningen av turbulensens längdskala synes även alltför primitiv, ty L_u uttrycks som funktion av z och z_0 . Makrostrukturen i landskapet beaktas därmed ej. I de två avvikande Landvetterspektra fanns väsentligt högre energiinnehåll än det spektrum som visade god anpassning.

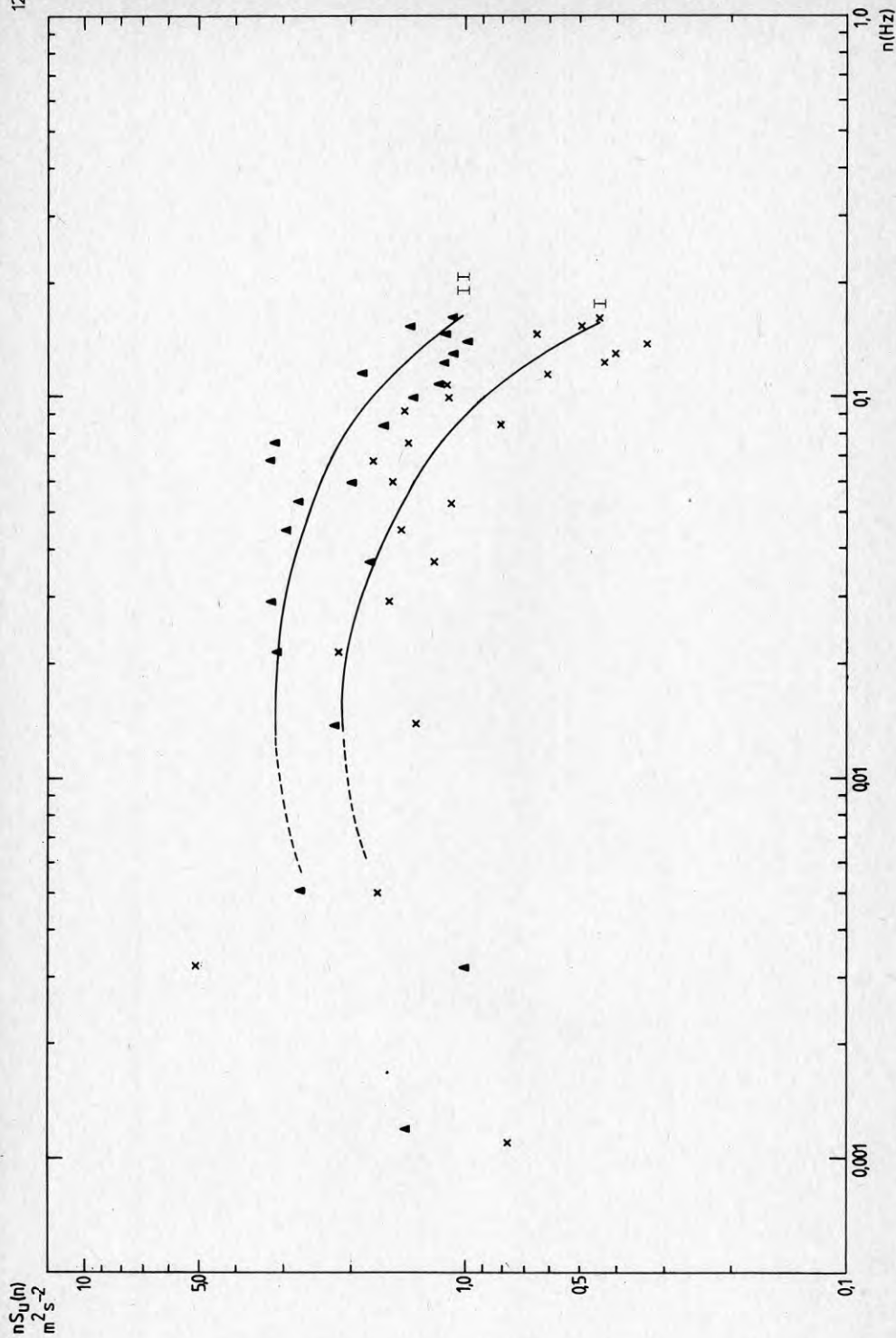
Lumley & Panofsky (1964) föreslår efter resultat av Davenport (1961) följande uttryck:

$$nS_u(n) = 4 \cdot u^*{}^2 \frac{y}{1+y^{5/3}}, \quad (++)$$

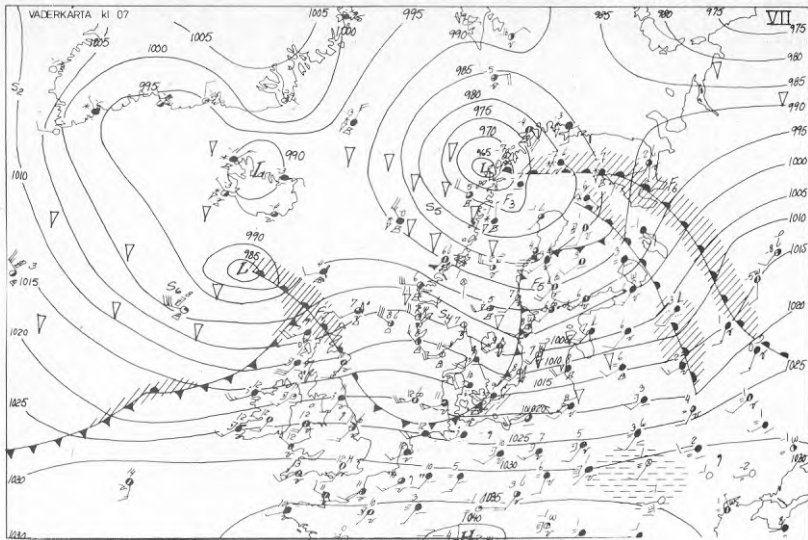
$$\text{där } y = 900 n/\bar{U}_{10}.$$

I figur 14 representeras denna formel med streckad linje (motsvarande spektrum med ofyllda kvadrater). Lutningen av spektra i den högfrekventa delen ("inertial subrange") överensstämmer med formeln. Spektralkurvans maximum för Landvetter ligger dock högre och är förskjutet mot lägre frekvenser. Formeln (++) är baserad på vinddata från områden som präglas av slättland. Materialet är emellertid alltför begränsat för att de avvikande resultaten skall betraktas som klimatologiskt säkerställda.

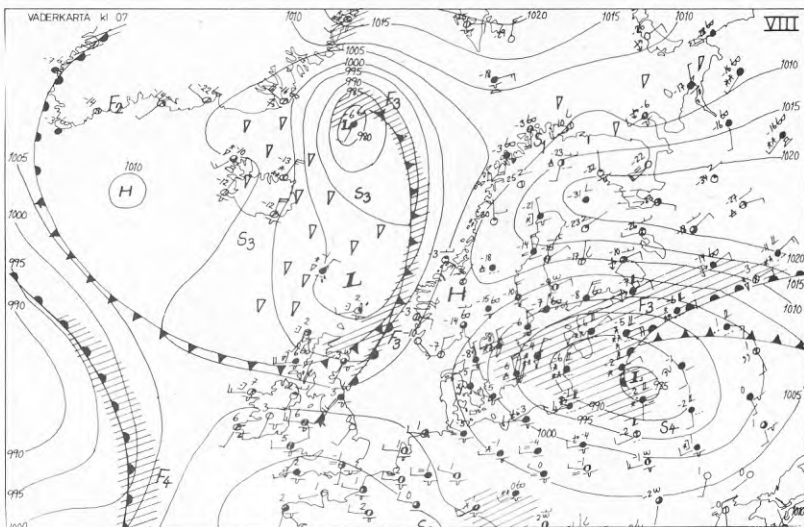
Det förefaller emellertid sannolikt att de svenska vindförhållandena, med i regel utpräglad kuperad terräng, ej återges adekvat av de formella uttrycken (+) och (++) ovan.



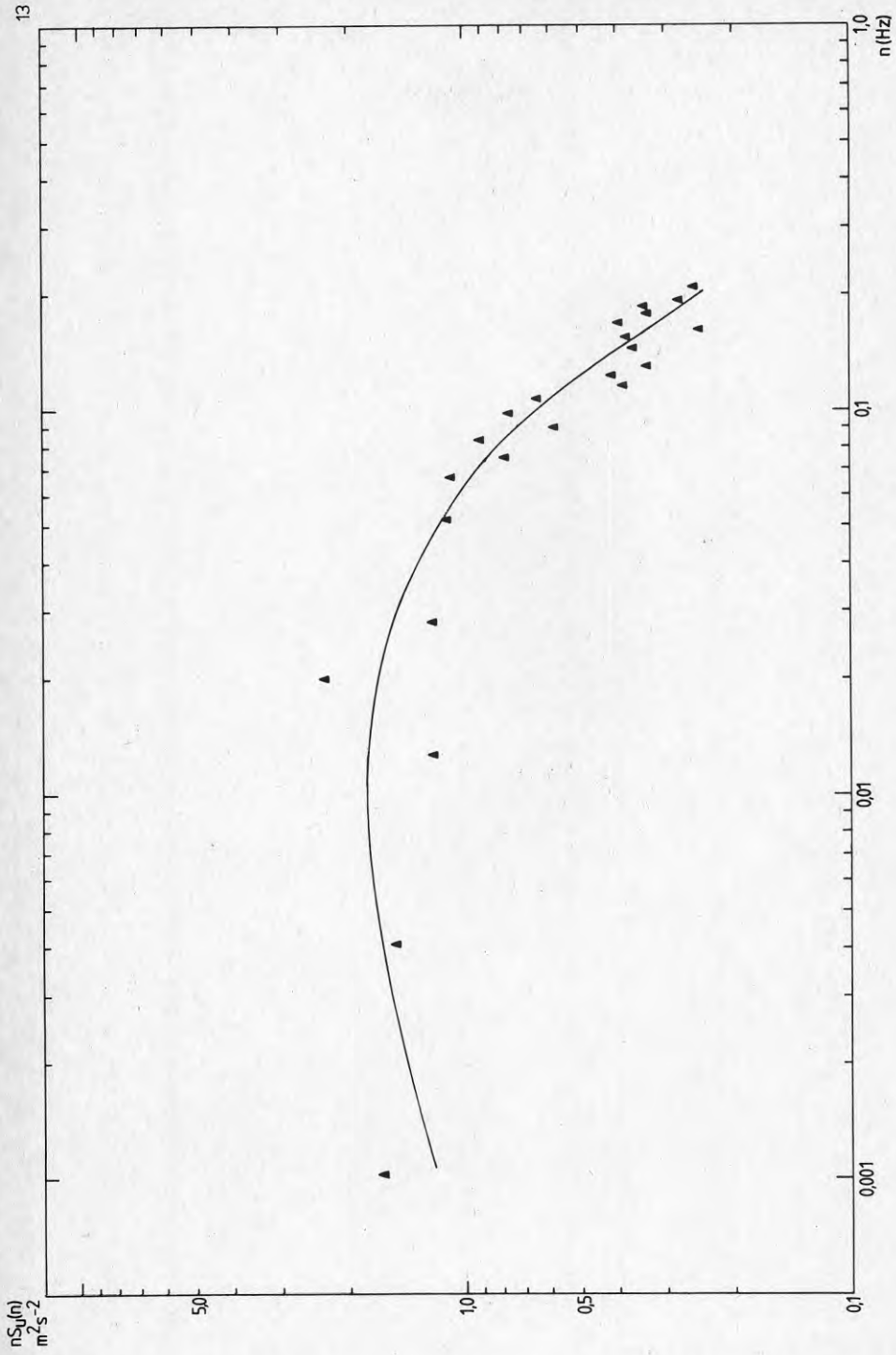
Figur 12. Vindspektra från Landvetter 19. Vädersituationen framgår av karta VII. De romerska siffrorna avser vindgivare I respektive II.



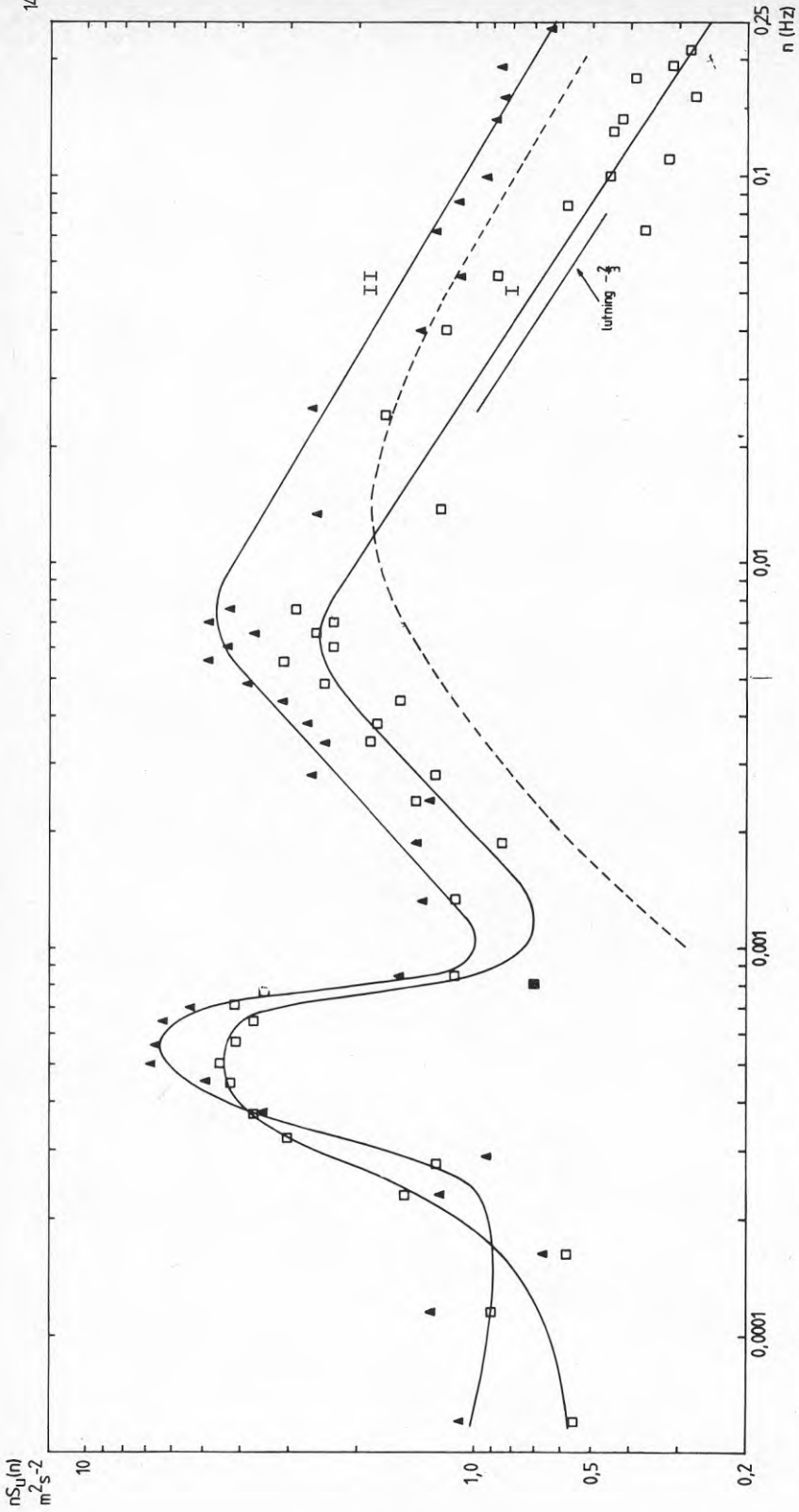
Karta VII: Väderläge 1978-11-22: En hård byig västvind förekom i större delen av landet.



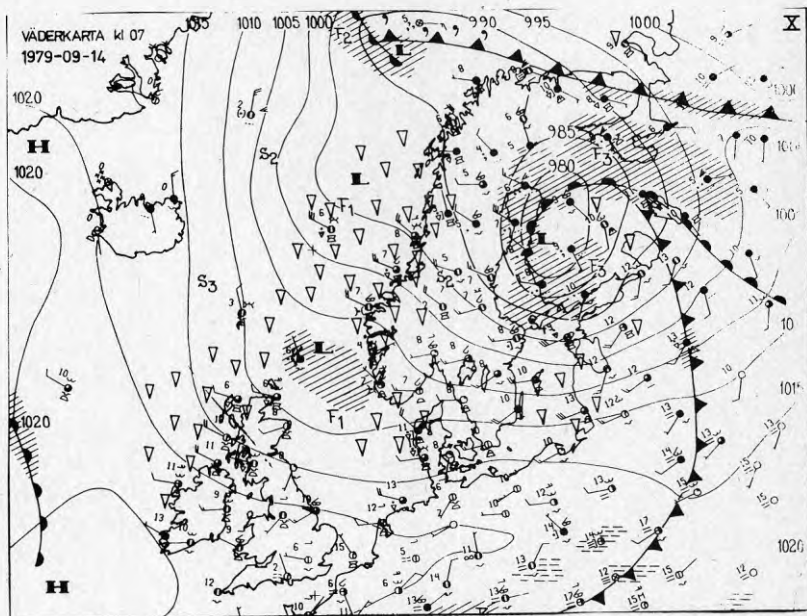
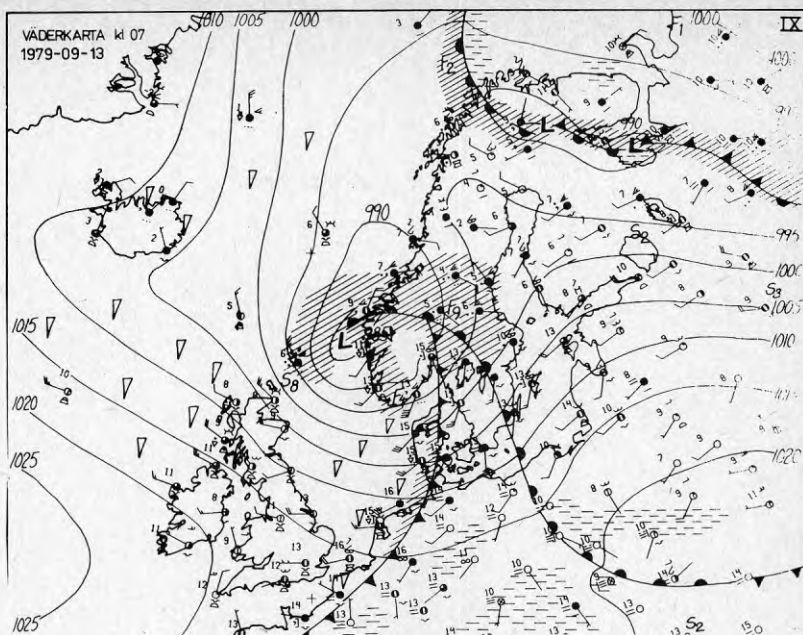
Karta VIII: Väderläge 1979-01-31: Lågtrycket med centrum över Baltikum rörde sig långsamt norrut.



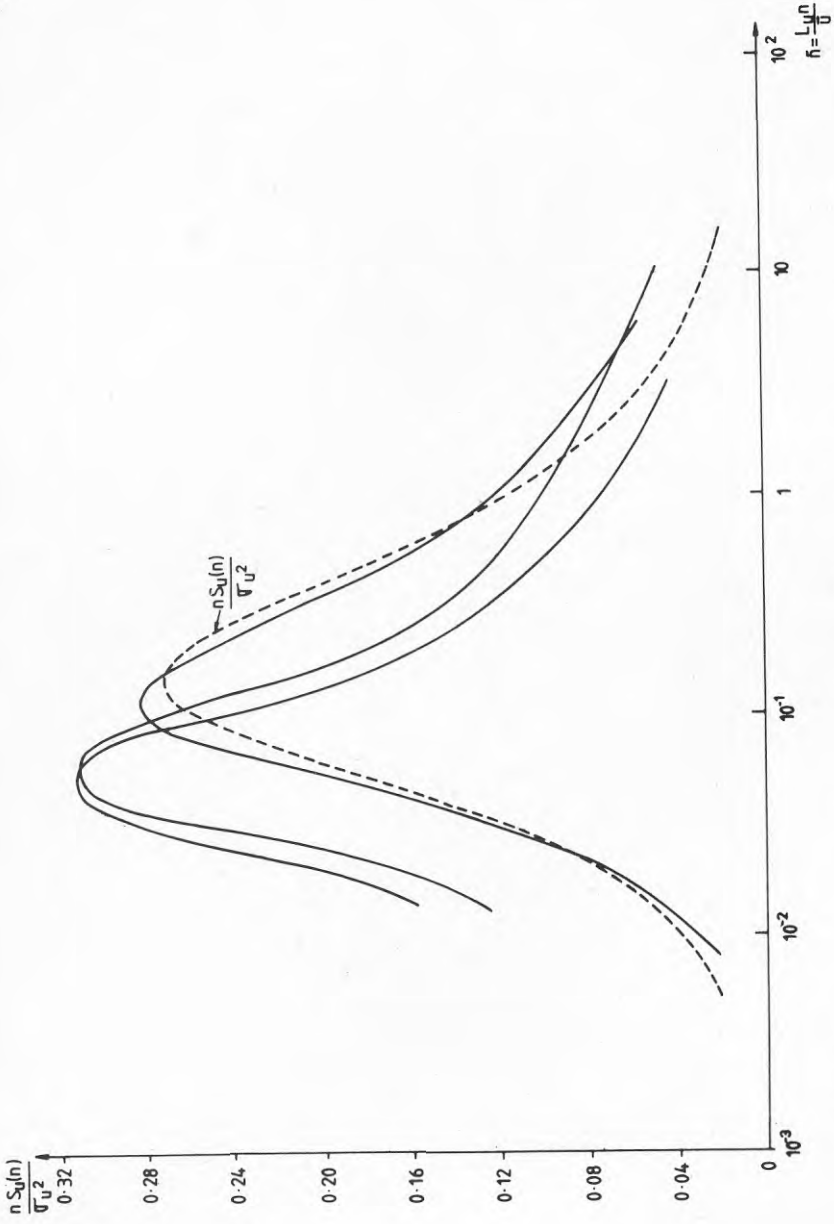
Figur 13. Vindspektrum från Landvetter 1979-01-31. Vindgivare I. Vädersituationen framgår av karta VIII.



Figur 14. Vindspektra från Landvetter 1979-09-13. De romerska siffrorna avser vindgivare I respektive II. Den streckade linjen avser spektrum enligt Davenport/Panofsky. Väderläget framgår av kartorna IX och X.



Kartorna IX och X: Ett intensivt lågtryck rörde sig över mellersta Skandinavien till Finland. Södra Sverige fick därvid blåsigt med vind omkring väst.



Figur 15. Spektrum enligt von Karman (streckad linje) samt exempel på Landvetterspektra.

I figur 16 nedan relateras σ_u och \bar{U} till varandra (Landvetterdata) i några fall med nära neutral skiktning. Resultaten visar god överensstämmelse med Davenport's (1961) formel:

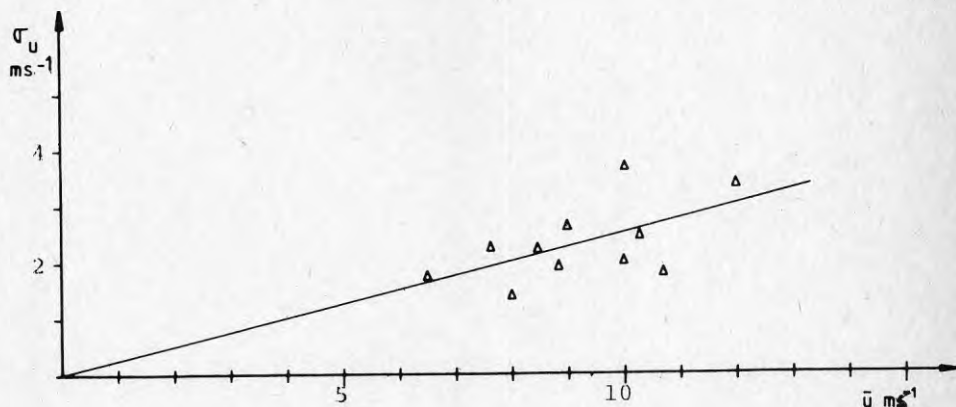
$$I = \frac{\sigma_u}{\bar{U}} = 2.46 \kappa^{1/2} \left(\frac{z}{10}\right)^{-\alpha} \quad \oplus$$

σ_u kan erhållas med beräkning direkt ur vinddata, alternativt via vindspektrum, som ger variansen av vinden vid integration:

$$\sigma_u^2 = \int_0^{\infty} S(n) dn$$

Koefficienterna κ och α anges som

	κ	α
Slättland	0.005	0.15
Landskap med relativt låga föremål som träd och hus	0.015- 0.020	0.27-0.31
Städer med höga byggnader	0.05	0.43



Figur 16. Fördelning av σ_u och \bar{U} i Landvetter samt Davenport's relation (heldragen linje). $\kappa = 0.01$ har antagits i figuren.

Den diskrepans mellan vindspektra från Landvetter (med relativt högt energiinnehåll) och analytiska uttryck som tidigare redovisats visar här ingen motsvarighet, beroende på att relationen \oplus ger ca 10% högre energi än Davenport's uttryck för horisontella energispektrum (Davenport 1961).

 Av analysen ovan framgår att tidigare ansatser rörande beskrivning av den spektrala fördelningen av vindens energi i stormsituationer ej kan anses tillräckliga. En intressant utgångspunkt för ytterligare utveckling är F Pasquills 1972 ansats att karakterisera markytan som delområden utgörande källor för turbulenta egenskaper. De begränsningar som är

knutna till skrovlighetsparametern z_0 - bl a bristen på adekvat beskrivning av terrängens makrostruktur - kan därvid sannolikt undvikas.

5.1 Turbulensinformation från grafiska vinddiagram

Byvindhastigheten mäts i Sverige i huvudsak vid flygplatserna. Utrustningen är otidsenlig och registrering sker i grafisk form. På grund av att detta material är det enda existerande i landet som ger kontinuerliga långa tidsserier av vind är emellertid informationen värdefull.

Här redovisas en analys av en del av detta material från några civila och militära flygplatser med registrering under 10 år eller längre tid.

Vid manuell utvärdering har en del av den grafiska informationen överförts i digital form.

Registreringarnas kvalitet medger ej instrumentell utvärdering. Ursprungsmaterialet är i relativt ohanterlig form och utvärderingsarbetet har därför varit mödosamt.

Projektet startade med ett relativt omfattande inventerings- och arkiveringsarbete av de 1000-tals vindrullarna från flygplatserna, eftersom materialet tidigare ej arkiverats med tanke på framtida bearbetning.

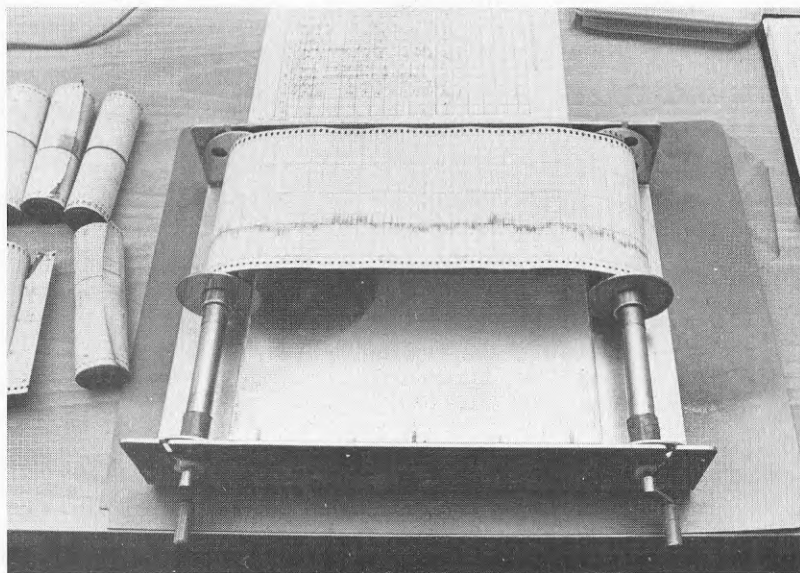
Vid utvärderingen användes en mekanisk hjälpanordning (se figur 17) för att på ett tidsbesparande sätt sovra ut önskad information.

Det visade sig ta lång tid att korrigera för tidsförskjutningen på vinddiagrammen. Med en anordning bestående av "två koncentriska klockor" reducerades denna tidsåtgång väsentligt.

För varje månad utvärderades månadens vindmaximivärde för stationen ifråga, huvudvindriktningen vid detta tillfälle, lägsta vindvärden i tidsintervallen 1, 2, 5 och 10 minuter centrerade kring maximivärdet samt "det närmast vindmaximum utvärderingsbara värdet". Sistnämnda värde ligger i regel cirka 10 sekunder från tidpunkten då vindmaximum inträffar. Även 10 minutersmedelvinden vid den närmaste synoptiska terminen (kl 01, 04, 07, 10, 22) utvärderades från registreringarna. I regel finns vid de meteorologiska stationerna endast vindvärden vid dessa tidpunkter och för regional generalisering av byvindinformationen var även denna utvärdering nödvändig.

De lägsta vindvärdena i olika tidsintervall - enligt ovan - kring byvindmaximum utvärderades eftersom dessa värden var relativt lätta att identifiera och ger information om vindens variationsområde. Även ett "grafiskt 10 minutersmedelvärde" - via manuell anpassning - utvärderades.

Ett problem vid utvärderingen var att SMHI:s vinddiagram endast täcker intervallet upp till 60 knop (~ 30 m/s) och problem uppstod när vinden i enstaka fall överskred denna gräns. Följande förfarande tillämpades:



Figur 17. Vid utvärderingen av byvinddiagrammen användes en mekanisk hjälpanordning. Registreringarnas kvalitet medgav ej utnyttjande av utrustning för automatisk utvärdering.

10 minutersmedelvärdet (\bar{U}_{10}) av vinden fastställdes via synmässig integration av vinddiagrammet under 60 knop. I regel var detta inget problem eftersom vid de flesta stormar endast enstaka turbulenta fluktuationer över-skred den övre delen av vinddiagrammet. Därefter utvärderades det lägsta vindvärdet (U_{\min}) i 10 minutersintervall kring det "förmodade" vindmaximet. Maximivärdet uppskattades därefter med ekvationen

$$U_{\max} = \bar{U}_{10} + (\bar{U}_{10} - U_{\min}) + C_1$$

Koefficienten C_1 bestämdes via de data som utvärderats för fall då $U_{\max} < 30$ m/s. $C_1 = 2.0$ m/s, varvid medelfelet blev 1.6 m/s, bestämdes och utnyttjades på samtliga stationer.

Följande orter utvärderades:

Arlanda (15 år)
 Jönköping (11 år)
 Kalmar (10 år)
 Kiruna (10 år)
 Luleå (10 år)
 Sturup/Bulltofta (10 år)
 Sundsvall (12 år)
 Torslanda (12 år)
 Visby (12 år)

Byvinddata från Sturup och Bulltofta har av praktiska skäl sammanfogats till en serie. Trots dessa två orters skilda geografiska förhållanden har inga större skillnader i delseriernas byvindklimat påvisats.

Kalmar och Luleå flygplats har ej SMHI:s vindmätare installerad. Den utrustning som varit installerad på dessa orter är avmärket Rosenhagen och består av skålkors (skålarna i form av halvsfärer). De dynamiska instrumentkaraktäristiska synes ej lika goda som SMHI:s instrument - vilket även påvisats i CIMO:s undersökning (1977). Även överskattning av medelvinden - ett fel som särskilt är knutet till skålkorsinstrument - synes större än för SMHI:s instrument (vars skålkors består av tre stympade koner).

I Appendix II beskrivs stationernas lägen.

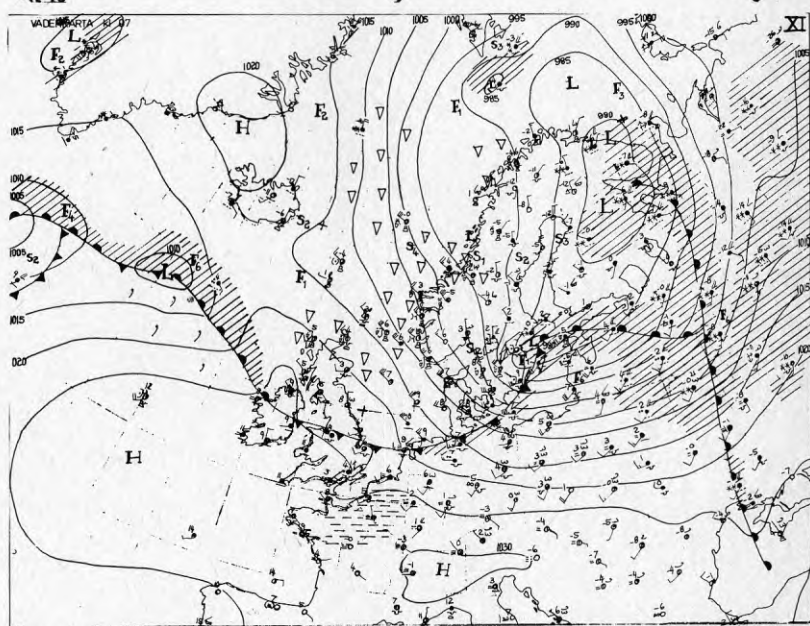
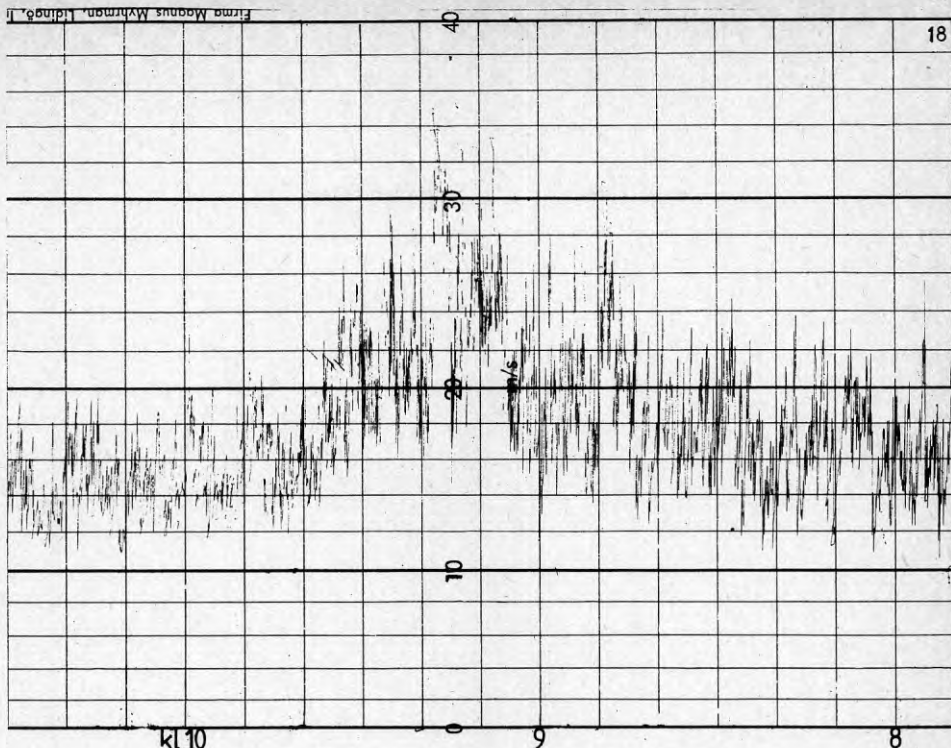
5.2 Vinddiagram. Exempel på mekanisk och termisk turbulens

I det utvärderade byvindmaterialet visade det sig att månadens vindmaximum i regel var betingad av mekanisk turbulens. I några fall förekommer emellertid även vind-extremer för månaden orsakade av termisk turbulens. För att visa byvinddiagrammens karaktär ges några illustrationer nedan.

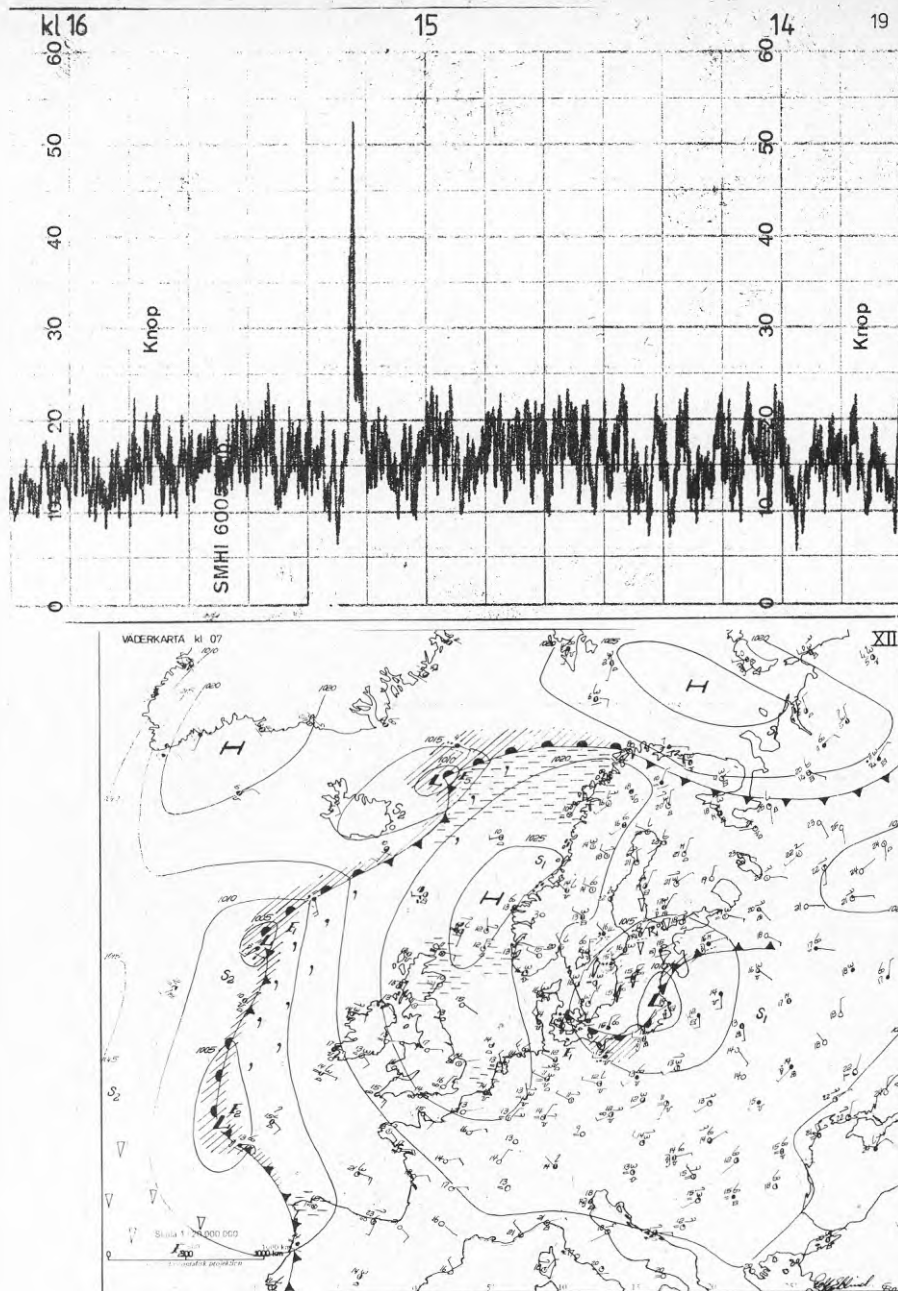
I figur 18 visas ett fall där turbulensen väsentligen är av mekanisk art. Registreringen ägde rum 1973-11-23 i Kalmar och väderläget framgår av karta XI. Vindmaximum byggdes upp av en variation, av cirka 1 timmes varaktighet, på vilken turbulens med högfrekventa variationer var överlagrad.

I figur 19 redovisas en variation i turbulensfältet som sannolikt kan vara av termisk art. Exemplet är hämtat från Torslanda 1974-06-21 och det instabila väderläget illustreras av karta XII.

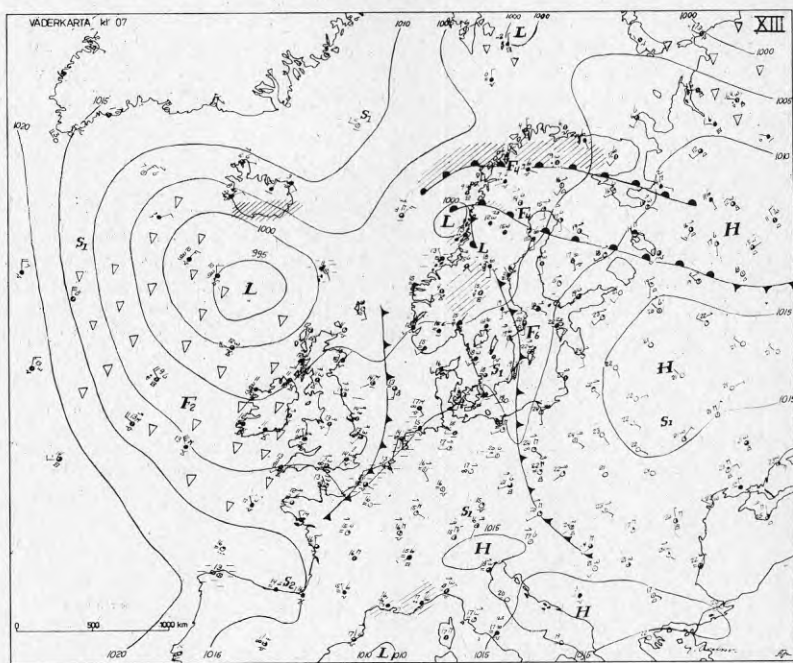
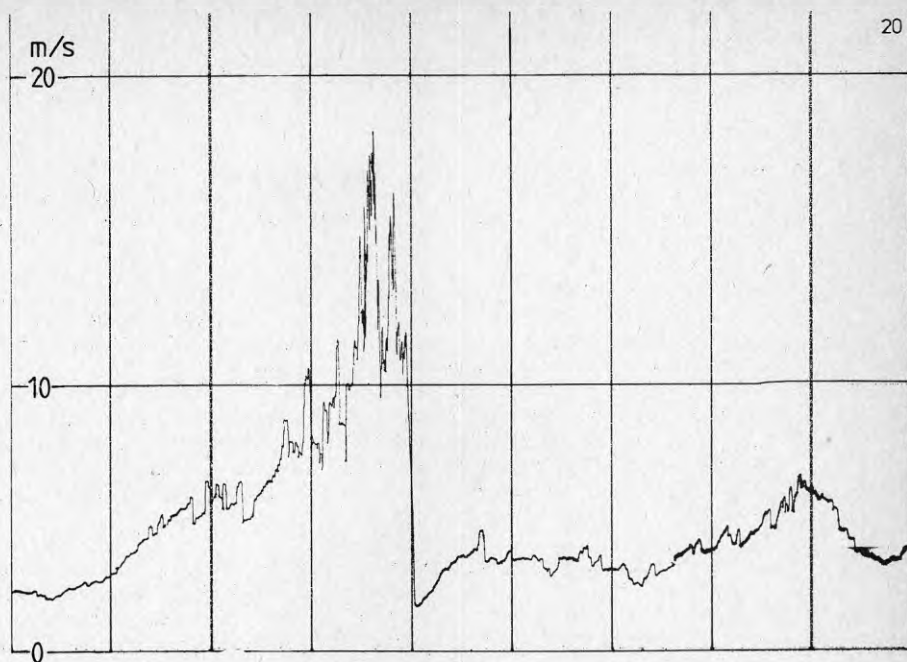
I figur 20 redovisas ytterligare ett fall där termisk turbulens orsakat kraftig vindvariation (Kalmar 1968-06-19). Den kraftiga turbulensen accompagnerades av åska.



Figur 18 och karta XI: Exempel på vinddiagram. Vindförhållanden vid Kalmar 1973-11-23. Väderläge: Det djupa lågtrycket hade sitt centrum över östra Svealand och fortsatte österut. Det följdes av mycket kraftig N-NW vind, som kortvarigt, lokalt nådde orkanstyrka. Tromber rapporterades från bl a Västergötland och Östergötland.



Figur 19 och karta XII: Exempel på vinddiagram. Vindförhållanden vid Torshälla 1974-06-21. Väderläge: Midsommardagen inleddes med molnigt och ostadigt väder i Götaland och Svealand, där regn- och åskkurar förekom.



Figur 20 och karta XIII: Exempel på vinddiagram. Vindförhållanden vid Kalmar 1968-06-19. Väderläge: Sval, instabil luft fördes in, över Götaland och Svealand från SW.

5.3 Byvindklimatet

I följande figurer, 21-29, redovisas månadsvis byvindmaximums absoluta värde för respektive cirka 10 å 15-åriga serie samt byvindmaximums medelvärde.

Den säsongsvisa variationen i byvindens maximihastighet är markant vid samtliga stationer. Minimum förekommer under sommaren och absoluta maximum i byvinden inträffar i regel under hösten.

Det årliga högsta byvindvärdet ligger i medeltal i intervall 18-22 m/s för de olika orterna. Absoluta maximum varierar kraftigt från månad till månad beroende på individuella stormars särdrag.

Sannolikheten för att den termiska turbulensen skall nå höga värden är förhållandevis liten för en enstaka ort. I det här redovisade materialet finns endast enstaka fall då månadens maximivind orsakats av konvektivt betingad turbulens.

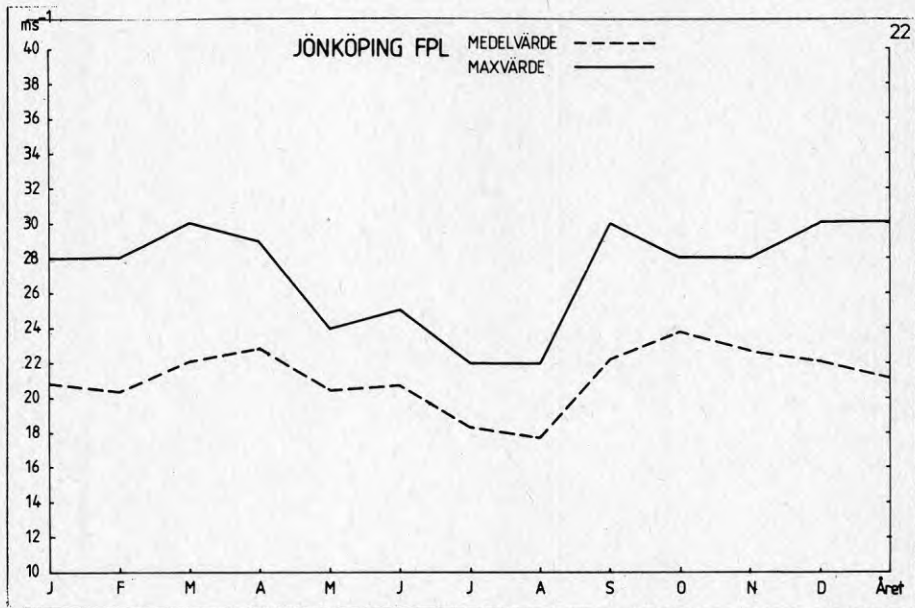
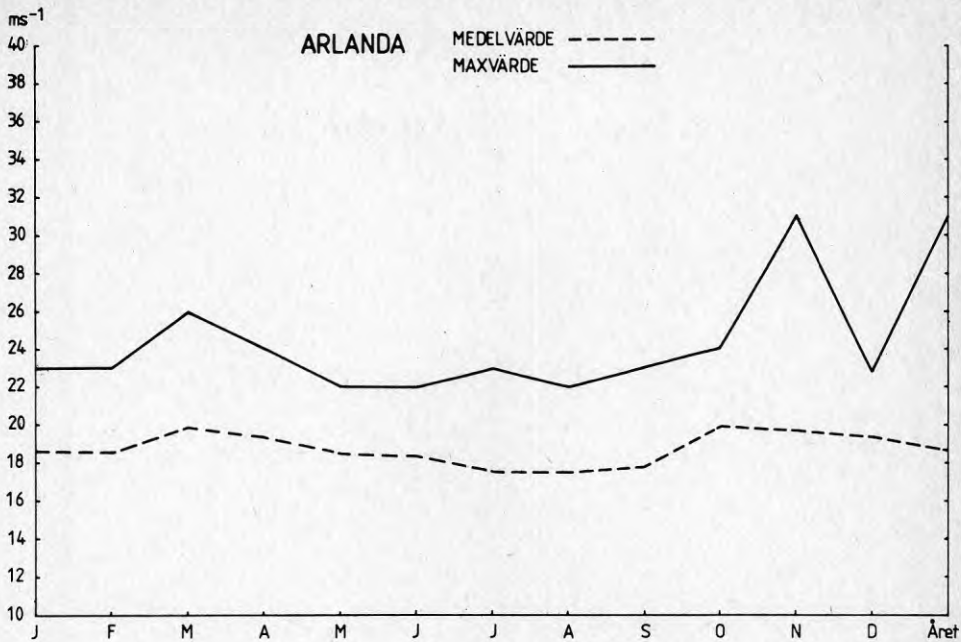
Byvindvärdena i Luleå ligger i förhållande till övriga orters värden lågt. En sannolik orsak härtill kan vara systematisk underskattning på grund av instrumentfel, men detta har ej med säkerhet kunnat påvisas. Med hänsyn till att instrumenten vid de militära stationerna, Luleå och Kalmar, har sämre dynamiska karakteristika än SMHI-instrumentet bör byvinddata från dessa två stationer justeras uppåt. På grund av svårigheter att beräkna adekvata korrektioner till data från Luleå och Kalmar för historisk tid redovisas emellertid här endast originalvärden.

5.4 Turbulensens intensitet uttryckt som byvindfaktor

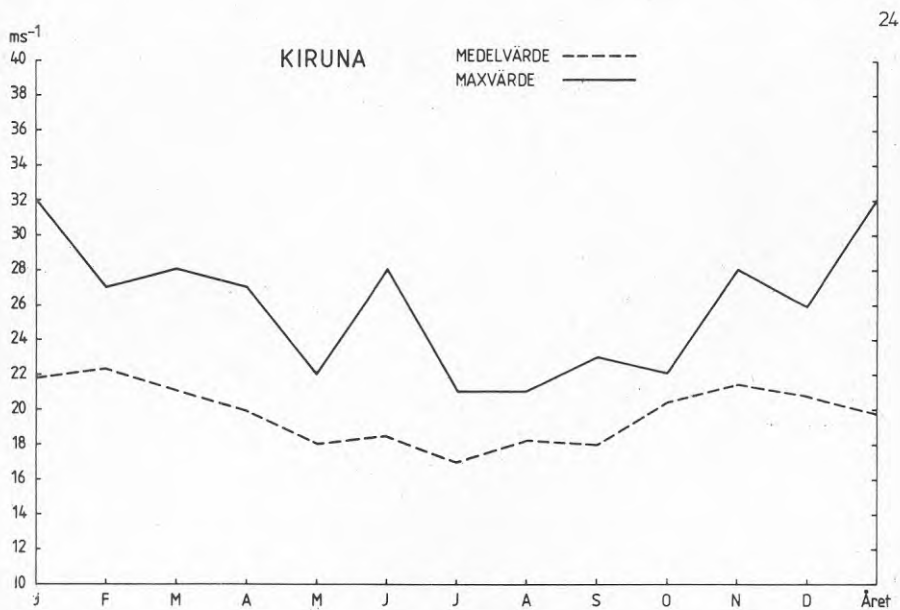
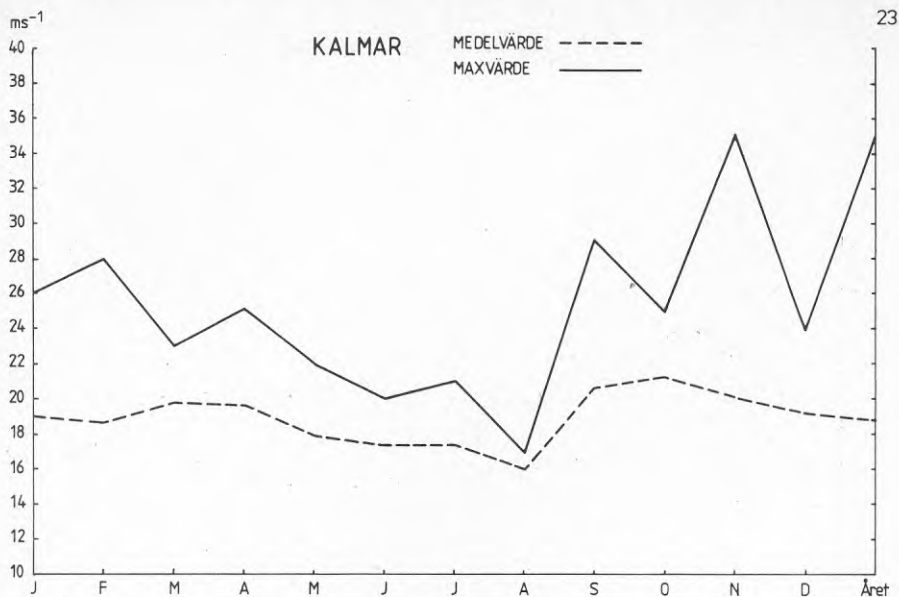
Vid meteorologiska stationer insamlas i regel endast medelvärden av vinden för någon minut eller upp till 10 minuter. För att kunna dra slutsatser om byvindförhållanden i landet är det av vikt att relatera byvind till medelvind. I allmänhet studeras därvid byvindfaktorn R:

$$R = \frac{U_{\max}}{\bar{U}_{10}}$$

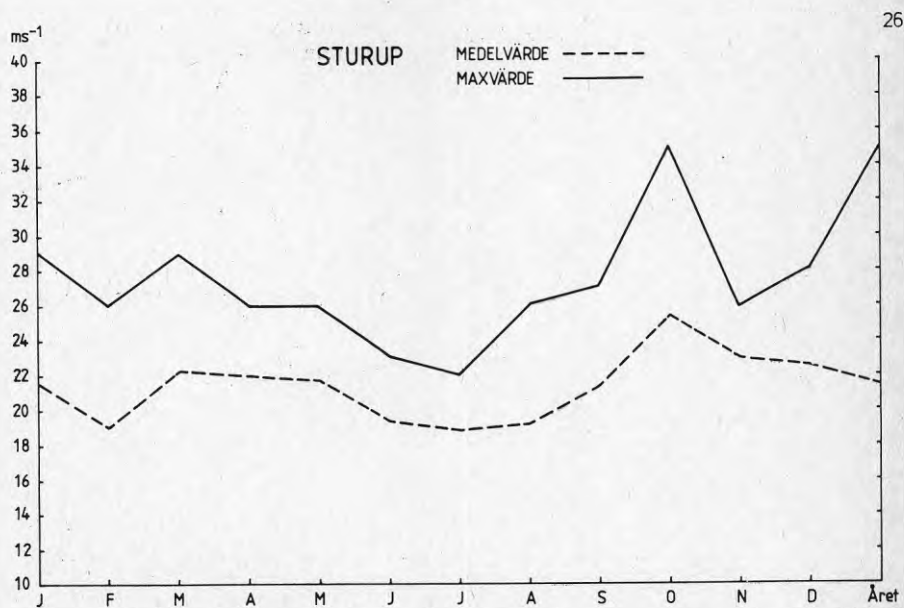
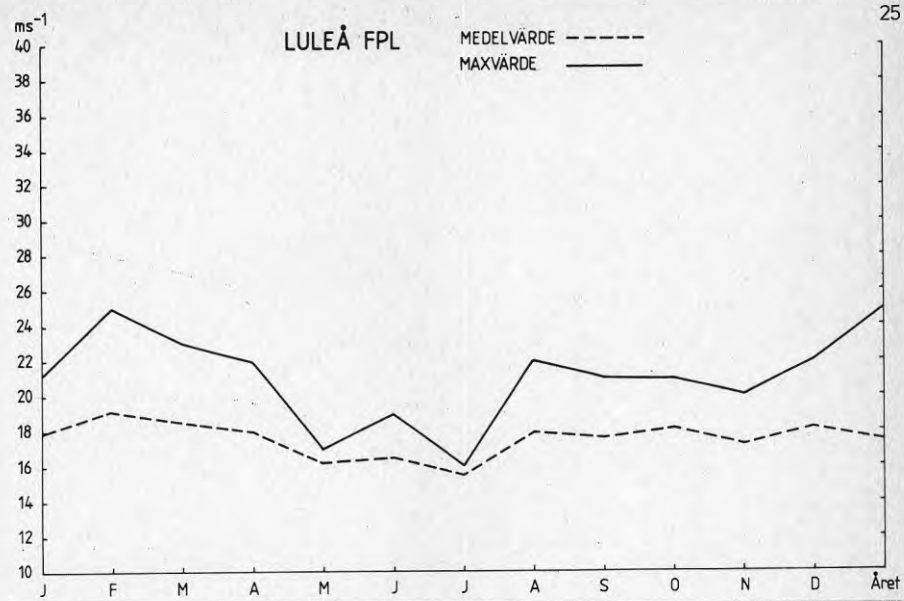
Flera studier av storleken av denna relation har utförts, se t ex N Sissenwine et al (1973) och Hardman et al (1973). Kvotens storlek relateras i allmänhet till skrovlighetsförhållanden vid markytan.



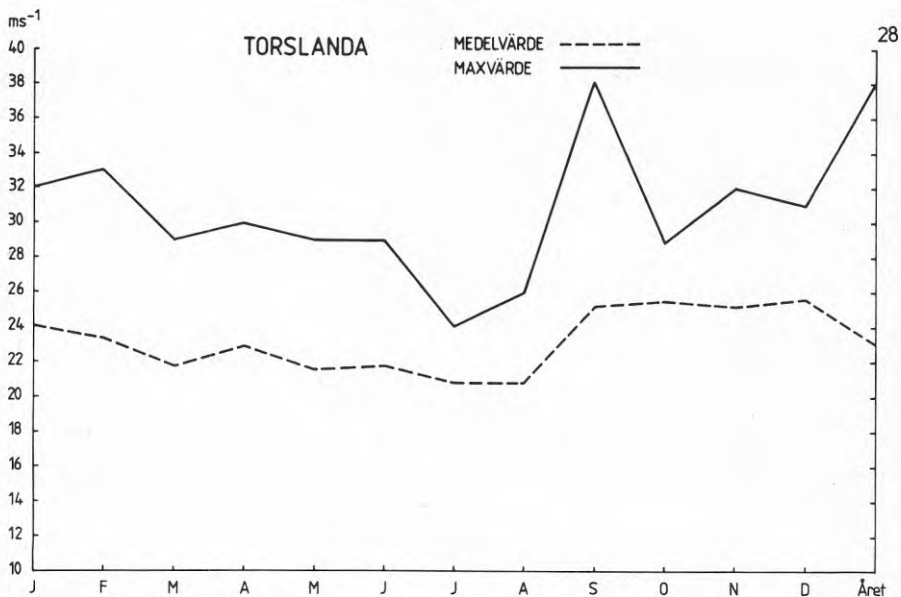
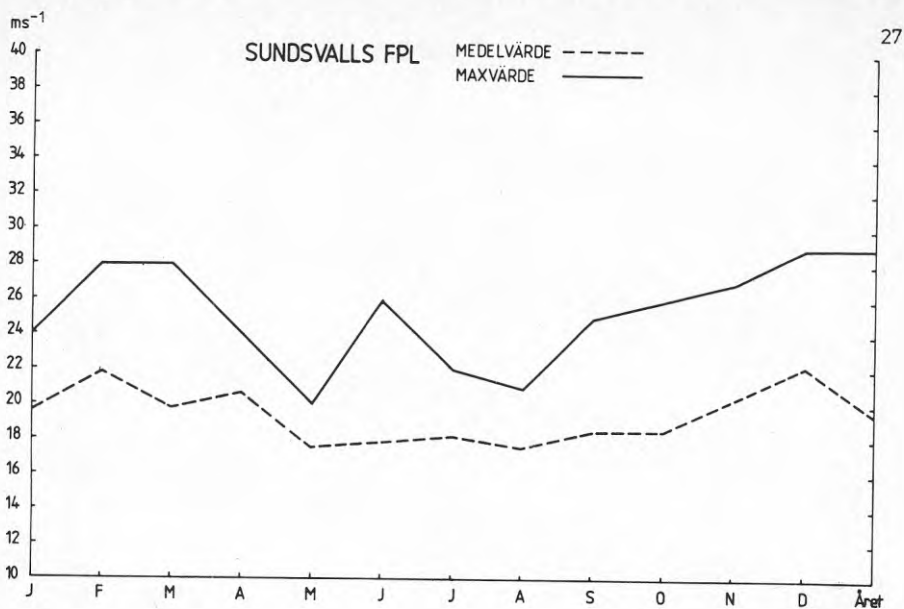
Figur 21-22. Månadens byvindmaximum: medelvärde och absolut maximum för respektive tidsserie.



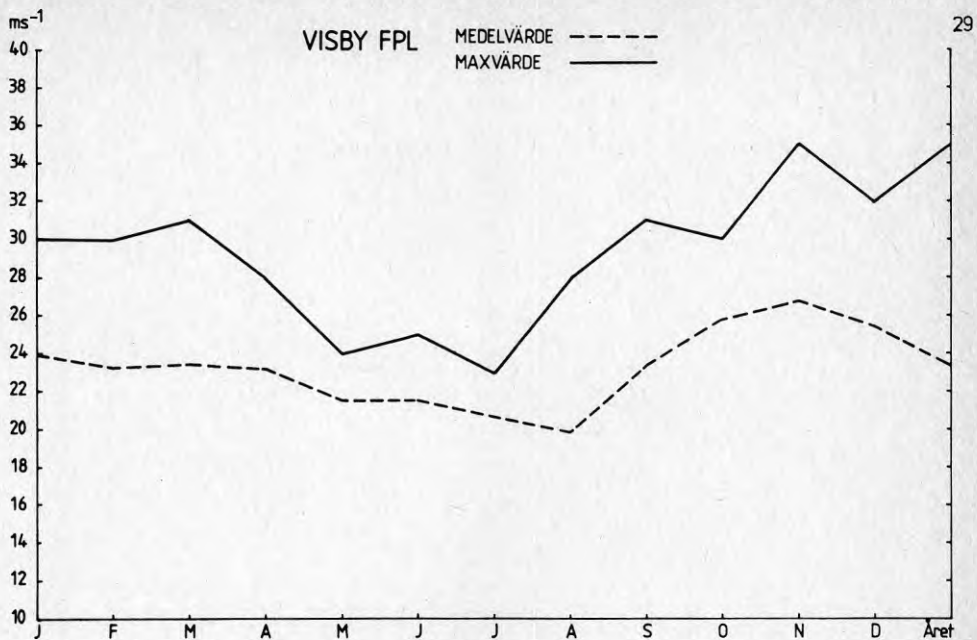
Figur 23-24. Månadens byvindmaximum: medelvärde och absolut maximum för respektive tidsserie.



Figur 25-26. Månadens byvindmaximum: medelvärde och absolut maximum för respektive tidsserie.



Figur 27-28. Månadens byvindmaximum: medelvärde och absolut maximum för respektive tidsserie.



Figur 29. Månadens byvindmaximum: medelvärde och absolut maximum för respektive tidsserie.

Den horisontella turbulenskomponenten u'_{\max} uppskattades för respektive månads högsta värde, för de i sektion 5.1 angivna stationerna på följande sätt

$$u'_{\max} = U_{\max} - \bar{U}_{10}$$

I figur 30 presenteras medelvärdet av u'_{\max} för respektive \bar{U}_{10} och ort. Parentes vid linjerna anger osäkerhet på grund av för få tall.

I den vänstra delen framträder effekten av den termiska turbulensen med låg medelvind och kraftiga byar (Figur 30).

I intervallet över 10 m/s visar kurvorna, där tillräcklig information finns, en relativt likartad ökning av den turbulenta komponenten vid ökande medelvind. Kurvorna ligger här i intervallet

$$\text{dvs } u'_{\max} = 4.5 \pm 1.5 + 0.2 \bar{U}_{10}$$

$$\text{Kvoten } R = \frac{\bar{U}_{10} + u'_{\max}}{\bar{U}_{10}} = \frac{4.5 \pm 1.5}{\bar{U}_{10}} + 1.2$$

R är således knuten till medelvinden och antar asymptotiskt värdet 1.2. De värden på R som noterats i jetströmmar är av storleken 1.1 (vid cirka 70 m/s medelvind) enligt Endlich & McLean (1965), dvs stor överensstämmelse med resultatet ovan.

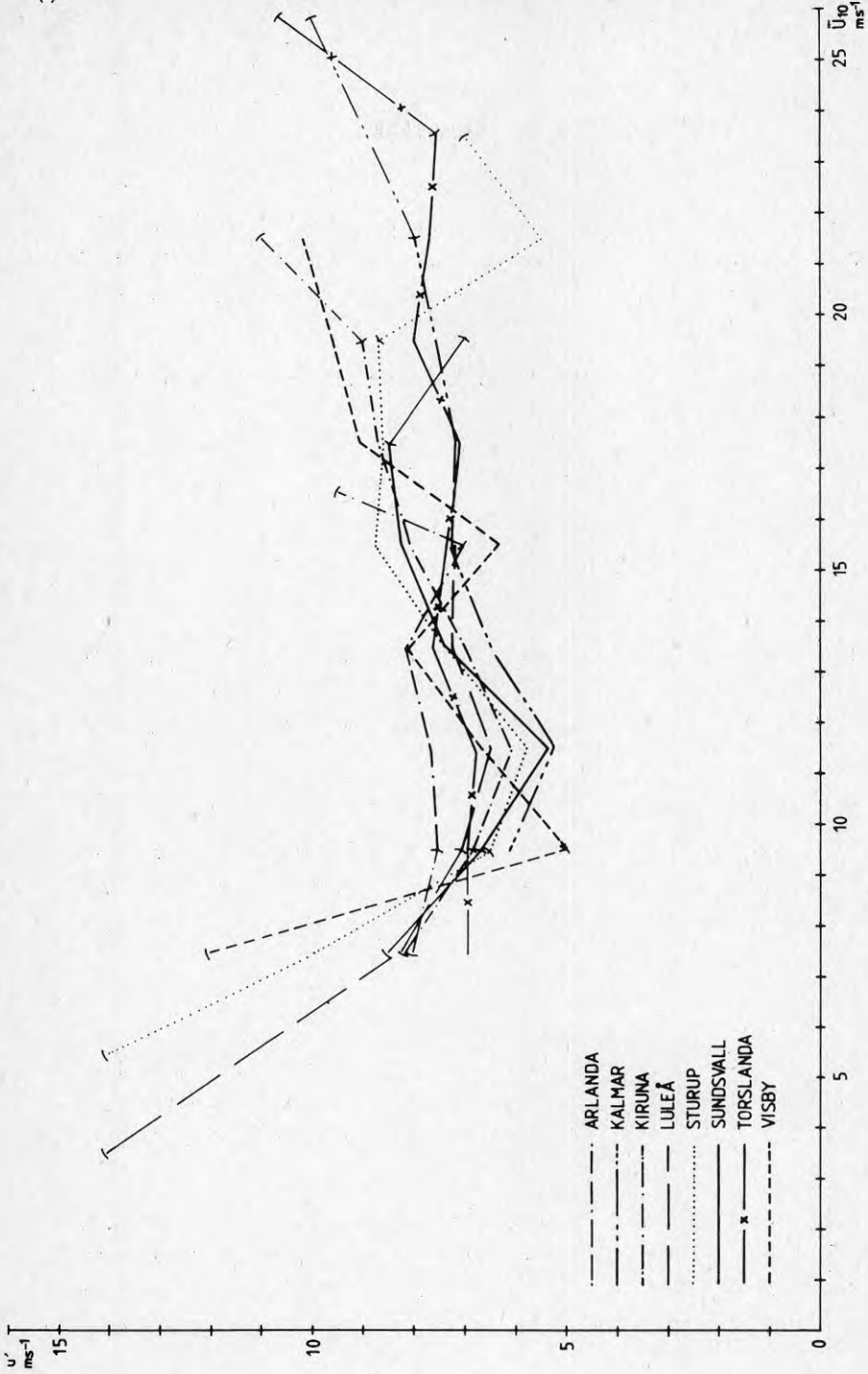
I tabell 1 har den genomsnittliga kvoten (R) beräknats för respektive flygplats och månad. De höga kvoterna som erhållits för inlandsstationer jämfört med kuststationer beror i första hand ej på skillnader i lokala skrovlighetsförhållanden utan på låg medelvindhastighet, betingad av landskapets makrostruktur - figur 30 och relationen 2.1 i avsnitt 2.2 bekräftar detta.

I tabell 1 har även listats information om genomsnittlig frekvens av dygn då byvinden åtminstone kortvarigt överskridit 15, 20, 25 och 30 m/s.

5.5 Vindens variation och medelvärde vid vindmaxima

Information från utvärderade byvinddiagram används för medelvärdetsbestämning av vinden enligt följande metod. För respektive tidsintervall, som centrerades kring tidpunkten för månadens högsta vindhastighet, bildades vindmedelvärden genom att till byvindmaximum addera den lägsta hastighet som registrerats i intervallet, varefter division med 2 utfördes.

Denna primitiva medelvärdesbildning, betingad av svårigheten att integrera vindgrafen adekvat, detaljstuderades i en delstudie. Medelvärdet beräknades därvid även medelst visuell inpassning, "grafisk integration", varvid lika stor yta mellan medelvärdet och vindgrafens låg ovanför som under medelvärdet i respektive integrationsintervall. Jämförelsen visar en försumbar systematisk skillnad mellan metoderna: Den primitiva metoden för medelvärdesbildning ger i medeltal en svag överskattning.



Figur 30. Medelvärdet av den turbulenta komponenten u'_{max} som funktion av medelvinden \bar{U}_{10} för respektive ort.

Tabell 1. Byvindstatistik månadsvis. Byvindfaktorn $U_{\max}/\bar{U}_{10} = R$ storlek samt genomsnittligt antal dygn då byvinden åtminstone kortvarigt uppnått 15, 20, 25 och 30 m/s (årsmedelvärden).

		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	År
Arlanda														
1961-1976														
R	medel	1.68	1.73	1.72	1.73	1.67	1.69	1.74	1.78	1.73	1.74	1.66	1.77	1.72
"	max	2.10	2.22	2.00	2.22	2.11	2.10	2.37	2.29	2.00	2.00	1.90	2.33	2.37
"	min	1.33	1.33	1.38	1.42	1.36	1.42	1.50	1.50	1.45	1.38	1.45	1.38	1.33
Antal dygn														
då														
	$U \geq 15$	4.53	3.54	4.64	5.13	4.27	4.00	2.73	2.91	4.38	5.64	4.50	6.00	52.28
	$U \geq 20$	0.67	0.69	0.86	0.67	0.33	0.50	0.18	0.18	0.38	1.00	0.75	0.71	6.93
	$U \geq 25$	0	0	0.07	0	0	0	0	0	0	0	0.17	0	0.24
	$U \geq 30$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.08	0	0.08
Jönköpings														
fpl														
1967-1978														
R	medel	1.71	1.64	1.63	1.68	1.58	1.64	1.72	1.60	1.61	1.80	1.70	1.64	1.66
"	max	1.92	1.87	1.88	1.85	2.00	1.83	2.25	1.78	1.73	2.00	1.92	1.83	2.25
"	min	1.42	1.33	1.42	1.50	1.28	1.46	1.50	1.42	1.47	1.47	1.50	1.55	1.28
Antal dygn														
då														
	$U \geq 15$	7.45	5.09	6.73	8.45	6.00	7.50	7.80	4.22	7.82	9.60	9.18	11.36	91.21
	$U \geq 20$	2.09	0.91	1.91	1.82	0.91	0.80	0.30	0.33	1.73	3.30	2.82	3.55	20.46
	$U \geq 25$	0.45	0.18	0.36	0.27	0	0.10	0	0	0.55	0.50	0.36	0.64	3.42
	$U \geq 30$	0	0	0.09	0	0	0	0	0	0	0	0	0.09	0.18
Kalmar														
1965-1975														
R	medel	1.48	1.96	1.48	1.48	1.41	1.51	1.46	1.47	1.49	1.57	1.55	1.48	1.49
"	max	1.67	1.65	1.75	2.00	1.60	1.78	1.55	1.67	1.69	1.87	1.78	1.62	2.00
"	min	1.33	1.25	1.33	1.18	1.27	1.33	1.38	1.23	1.33	1.38	1.33	1.36	1.18
Antal dygn														
då														
	$U \geq 15$	3.33	2.56	4.20	3.44	4.00	2.44	1.40	1.25	4.00	3.68	5.00	5.00	40.23
	$U \geq 20$	0.78	0.56	0.90	0.78	0.13	0.33	0.20	0	0.63	0.90	1.09	1.22	7.51
	$U \geq 25$	0.11	0.11	0	0.11	0	0	0	0	0.13	0.20	0.9	0	0.75
	$U \geq 30$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.9	0	0.09

Tabell 1 forts

		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	År
Kiruna fpl 1967-1976														
R	medel	1.45	1.53	1.57	1.50	1.60	1.55	1.77	1.69	1.70	1.68	1.66	1.54	1.60
"	max	1.69	1.67	1.73	1.67	1.89	1.73	2.00	1.82	2.12	2.00	1.90	1.69	2.12
"	min	1.25	1.29	1.43	1.29	1.42	1.25	1.62	1.50	1.35	1.33	1.40	1.38	1.25
Antal dygn														
då	U ≥ 15	6.00	5.67	3.43	3.44	2.80	3.13	2.14	2.60	2.22	4.50	5.00	6.00	46.93
	U ≥ 20	1.75	1.78	1.00	0.56	0.20	0.38	0.14	0.40	0.33	1.00	1.43	1.78	10.79
	U ≥ 25	0.38	0.67	0.29	0.22	0	0.13	0	0	0	0	0.29	0.33	2.29
	U ≥ 30	0.13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.13
Luleå fpl 1966-1976														
R	medel	1.74	1.75	1.69	1.55	2.56	1.60	1.54	1.58	1.70	1.62	1.69	1.66	1.72
"	max	2.00	2.11	2.30	2.00	5.67	1.78	1.67	1.82	2.12	1.78	2.00	1.89	5.67
"	min	1.58	1.50	1.46	1.36	1.33	1.45	1.36	1.36	1.46	1.50	1.45	1.50	1.33
Antal dygn														
då	U ≥ 15	2.37	2.62	2.37	2.11	1.80	1.80	1.60	2.17	2.30	2.37	2.67	2.14	26.34
	U ≥ 20	0.13	0.50	0.25	0.33	0	0	0	0.33	0.20	0.38	0.17	0.29	2.57
	U ≥ 25	0	0.13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.13
	U ≥ 30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sturup 1965-1976														
R	medel	1.54	1.46	1.58	1.58	1.56	1.76	1.65	1.59	1.54	1.58	1.58	1.53	1.58
"	max	1.80	1.62	1.77	1.71	1.73	3.33	2.25	1.90	1.62	2.33	1.73	1.69	3.38
"	min	1.36	1.36	1.44	1.33	1.44	1.33	1.46	1.42	1.47	1.30	1.24	1.42	1.24
Antal dygn														
då	U ≥ 15	9.56	5.60	9.40	11.00	8.67	6.70	6.50	4.38	7.62	8.71	12.33	12.10	102.57
	U ≥ 20	3.78	1.20	2.50	3.00	2.22	0.60	0.80	0.50	1.62	2.71	4.22	5.00	28.16
	U ≥ 25	1.22	0.10	0.30	0.10	0.22	0	0	0.25	0.38	0.57	1.11	0.90	5.15
	U ≥ 30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.14	0	0	0.14

Tabell 1 forts

		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	År
Sundsvalls														
fpl														
1966-1977														
R	medel	1.52	1.48	1.54	1.61	1.60	1.58	1.49	1.55	1.56	1.55	1.72	1.54	1.56
"	max	1.64	1.75	2.00	1.92	2.37	2.14	1.60	1.78	1.89	1.86	2.08	1.71	2.37
"	min	1.36	1.23	1.33	1.31	1.36	1.33	1.33	1.25	1.36	1.25	1.37	1.36	1.23
Antal dygn														
då	U ≥ 15	3.50	3.87	4.27	4.56	2.91	2.90	2.78	3.00	4.91	4.55	3.57	5.22	46.04
	U ≥ 20	0.83	1.37	1.55	1.11	0.18	0.40	0.33	0.25	0.45	1.09	1.14	2.00	10.72
	U ≥ 25	0	0.38	0.09	0	0	0	0	0	0.09	0.09	0.14	0.89	1.68
	U ≥ 30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Torslanda														
1961-1976														
R	medel	1.49	1.47	1.47	1.48	1.44	1.69	1.47	1.48	1.49	1.53	1.50	1.45	1.50
"	max	2.00	1.86	1.70	1.73	1.69	2.89	1.88	1.80	1.69	1.75	1.71	1.71	2.89
"	min	1.29	1.28	1.27	1.25	1.21	1.21	1.18	1.28	1.24	1.22	1.19	1.29	1.18
Antal dygn														
då	U ≥ 15	13.93	8.81	11.33	10.87	10.06	11.19	10.93	9.19	12.13	12.53	14.67	15.07	140.72
	U ≥ 20	4.87	2.87	3.73	3.37	1.81	3.31	2.40	1.75	4.27	4.80	5.00	5.93	44.12
	U ≥ 25	1.33	0.81	0.67	0.69	0.25	0.25	0	0.25	1.00	1.33	1.40	2.07	10.05
	U ≥ 30	0.27	0.13	0	0.06	0	0	0	0	0.27	0	0.20	0.33	1.25
Visby fpl														
1967-1978														
R	medel	1.49	1.53	1.55	1.56	1.56	1.53	1.52	1.56	1.53	1.54	1.59	1.54	1.54
"	max	1.67	1.67	1.82	1.75	2.50	1.73	1.64	2.00	1.73	1.79	1.73	1.62	2.50
"	min	1.29	1.43	1.41	1.36	1.26	1.43	1.40	1.36	1.42	1.38	1.48	1.42	1.26
Antal dygn														
då	U ≥ 15	13.09	9.09	10.91	11.73	8.82	7.91	7.25	5.67	10.75	13.33	16.83	17.27	132.65
	U ≥ 20	4.73	2.45	3.69	3.73	2.36	1.64	1.42	1.25	3.50	5.92	7.33	7.09	45.05
	U ≥ 25	0.91	0.27	0.73	0.36	0	0.09	0	0.08	0.58	1.08	1.75	1.82	7.68
	U ≥ 30	0.09	0.09	0.18	0	0	0	0	0	0.08	0.17	0.33	0.18	1.13

I figurerna 31 och 32 illustreras i logaritmisk representation hur medelvindens hastighet förändras med ändrad medelvärdestid kring månadens genomsnittliga byvindmaximum. Statistiken grundar sig på samtlig utvärderad information, dvs varje punkt representerar cirka 120-180 fall. Som framgår av figureerna är logaritmen av medelvindhastigheten linjärt relaterad till logaritmen av medelvärdestiden. I figur 33 sammanfattas det totala materialet, varvid normalisering utförts via division med respektive ords årsmedelvärde månadernas byvindmaximum. Följande generella samband uttrycker denna klimatologiska fördelning kring månadens vindmaximum (\bar{U}_{\max} exemplifieras i Tabell II nedan):

$$\bar{U}_T = \bar{U}_{\max} \cdot 0.779 \cdot T^{-0.050}, \quad 0.005 < T < 10$$

Det ligger nära till hands att anta att den goda lineariteten är en instrumentuell effekt. En kritisk analys av vindgivarna - två typer - ger emellertid ej stöd för denna tanke.

Vid individuella månadsmaxima av vinden kan givetvis medelvärdet för olika medelvärdestider avvika kraftigt från det klimatologiska mönstret som redovisats.

I tabell III illustreras genomsnittsvärden av variationsvidden

$$r = U_{\max} - U_{\min, T}$$

där U_{\max} avser månadens byvindmaximum och $U_{\min, T}$ representerar vindens lägsta värden under tiden T. Parametern r har betraktas som ett mått på de turbulenta fluktuationerna på respektive ort. I tabellen II avser \bar{r} medelvärdet av r baserat på det totala utvärderade materialet.

Tabell II

VARIATIONSVIDDEN r I MEDELTAL SOM FUNKTION AV TIDEN.

T (10 s - 10 min) $r = U_{\max} - U_{\min T}$

STATION	\bar{U}_{\max}	~ 10 s	1 MIN	2 MIN	5 MIN	10 MIN
TORSLANDA	23,2	4,1	9,4	11,1	12,5	13,4
SUNDSV.FL	19,5	6,7	8,0	9,7	11,2	12,1
STURUP	21,4	5,0	10,0	11,2	12,4	13,2
LULEÅ FL	17,6	4,5	8,2	9,3	10,4	11,0
KIRUNA FL	19,8	8,6	9,9	10,8	11,6	12,4
KALMAR	18,9	4,1	7,2	8,7	9,7	10,3
JÖNK.FL	21,2	7,9	10,5	12,5	13,6	14,3
VISBY FL	23,3	9,7	10,9	12,3	13,5	14,3

* = LULEÅ

OCH KALMAR

EJ INRÄKN. 21,4* 7,0* 9,8* 11,3* 12,5* 13,3*

ANM. Luleå och Kalmar har ej SMHI:s standardinstrument installerat

Som framgår av tabellen ger de turbulenta vindarna i medeltal likartad effekt i intervallet 1 - 10 minuter, oberoende av de här redovisade geografiska ortena.

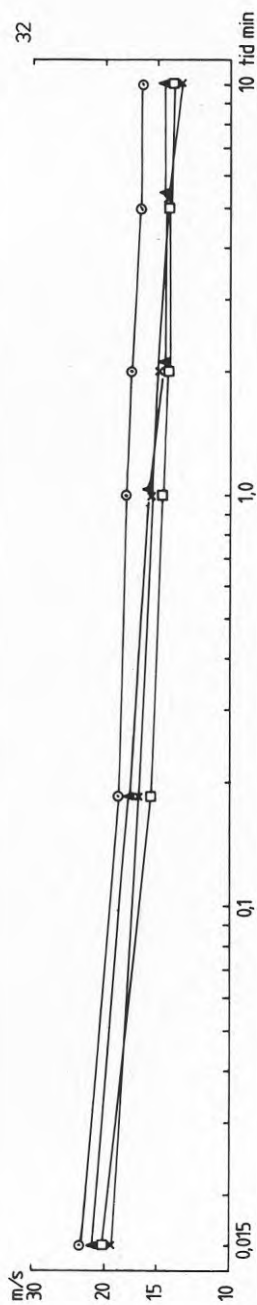
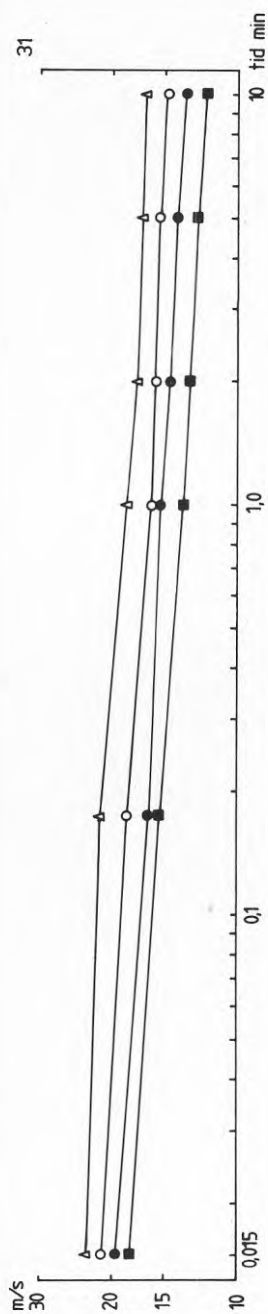


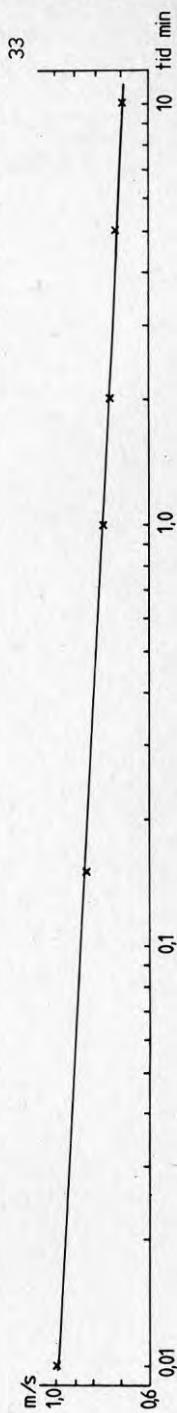
Fig 31 och 32. Medelvindens belopp som funktion av medelvärdestiden kring månadens genomsnittliga byvindmaximum.

TECKENFÖRKLARING: Figur 31

- Torslanda ▲
- Sundsvalls fl ●
- Sturup ○
- Luleå fl ■

Figur 32

- Kiruna fl □
- Kalmar x
- Jönköpings fl ▲
- Visby ○



Figur 33. Normaliserad medelvind som funktion av medelvärdestid kring månadens byvindmaximum. Resultatet baserat på det totala byvindmaterialet. Varje punkt representerar 120-180 fall. Normaliseringen har utförts via division med respektive ords medelvärde av byvindmaximum, \bar{U}_{max} .

Torslanda visar emellertid relativt liten variation i intervallet ca 10 s från byvindmaximum.

I sektorn SE - SSW är vinden i Torslanda relativt opåverkad av skrovlighetsförhållanden, beroende på att vinden till stor del stryker över en vattenyta. Skrovlighetsförhållandena kring Torslanda, se tabell III, analyserades med stöd av klassifikationen enligt figur 34.

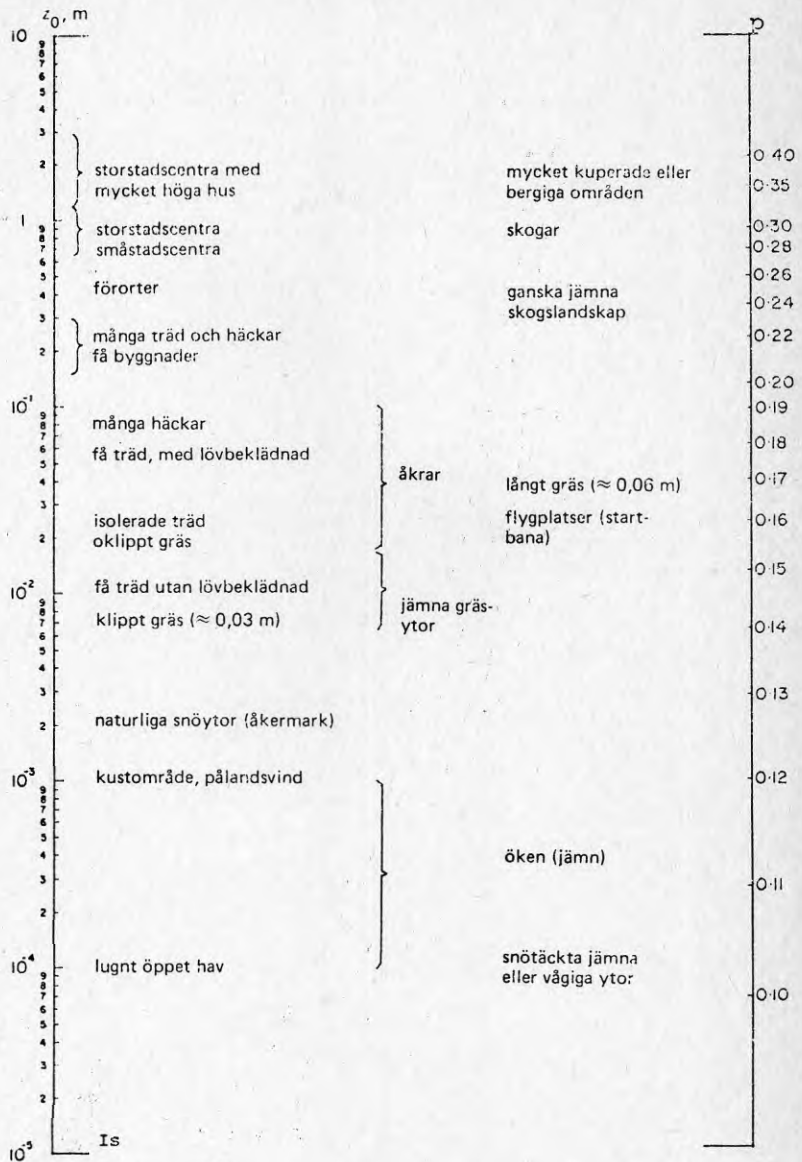
Antalet fall med månadens byvindmaximum i denna riktning var 41 (varav 7 fall sommartid). I figur 35 redovisas denna studie. Som framgår av figuren ligger variationen uttryckt med \bar{r} lägst i 10 s intervallet. Den turbulenta produktionen knuten till småskaliga terrängeffekter har därför sannolikt en relativt kraftig inverkan på små turbulenselement. I intervallet 1 - 10 minuter är skillnaderna relativt små. Turbulensen i mesoskalan synes mindre påverkad av småskaliga effekter.

Den turbulenta variationen i 10 s intervallet kring byvindmaximum är knuten till virvlar av ca 100 m utsträckning, dvs vågländer som är något längre än den övre gränsen för inertial subrange. I inertial subrange bestäms de turbulenta egenskaperna av den hastighet med vilken turbulent energi transporteras från stora virvlar till små.

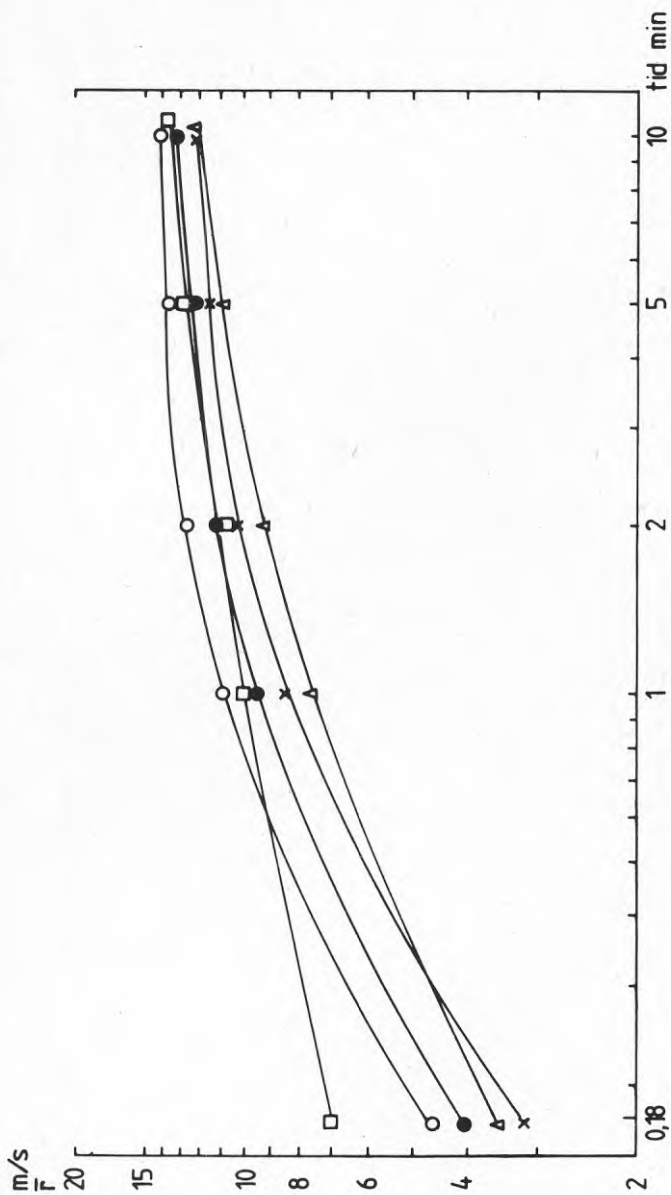
Orsaken till att den turbulenta strukturen vid de här redovisade orterna är så likartade är oklar. Även om skrovlighetsförhållandena är relativt likartade vid vindgivarna på flygplatserna är terrängens makrostruktur relativt olika. Makrostrukturen i landskapet torde i första hand vara den fysikaliska mekanism som modellerar turbulensen i skalen 1 - 10 minuter där överensstämmelsen är anmärkningsvärd mellan orterna i fråga.

Tabell III: Skrovlighetsbeskrivning för Torslanda (enligt T Kvick, SMHI)

07-11 E	0-200 m $z_0 = 0.02$	201-500 m $z_0 = 0.005$	501- $z_0 = 0.4$
12-15 SE	0-200 m $z_0 = 0.02$	201-1600 m $z_0 = 0.005$	1601- $z_0 = 1.0$
16-20 S	0-1300 $z_0 = 0.02$	1300-2000 m $z_0 = 0.3$	2001- $z_0 = 0.005$
21-29 SW+W	0-300 m $z_0 = 0.02$	301- $z_0 = 0.3$	
30-33 NW	0- $z_0 = 0.01$		
34-36; 01-06 N+NE	0-500 m $z_0 = 0.02$	501- $z_0 = 0.2$	



Figur 34. Skrovlighetsparametern z_0 för olika terrängtyper, enligt Engineering Sciences Data, 1976.



Figur 35. Variationsvidden \bar{v} kring månadens byvindmaximum som funktion av tidsintervalllets längd vid Torslanda samt i genomsnitt för det totala materialet.

Teckenförklaring: Torslanda riktning SE - SSW x Medelvärde av samtliga byvindstationer □
 " , årsvärden •
 " " Januari o
 " " Juli Δ

Den remarkabla klimatologiska överensstämmelsen i turbulensens struktur, tolkad via variationsvidden \bar{r} eller stabiliteten i medelvärdet \bar{U}_m :s fördelning, kan - hypotetiskt - förklaras av att turbulensen - snabbt omfördelar energin i den turbulens som bildas över olika terrängavsnitt till mera "homogen" turbulens. Turbulenta virvlar som - till storlek och intensitet - särpräglas av terrängformationer försvinner därvid. En teori - som dock ej accepterats allmänt - i denna riktning lanserades av Heisenberg (1948). Heisenbergs modell antog att för varje vågtal fungerade de mindre virvlarna på de större som en "virvel viskositet". Denna ansats kan sannolikt utvecklas till en mera adekvat fysikalisk tolkning av de turbulenta processerna.

Den klimatologiska relationen som ger medelvind som funktion av medelvärdestiden är i logaritmisk representation som framgår av figur 33, linjär och med utmärkt anpassning till de värden som baseras på byvinddata. Det faktum att lineariteten kan uttryckas med en funktion antyder att den bakomliggande fysikaliska mekanismen är av samma typ i hela tidsskalan 1 s - 10 min.

Denna rimliga hypotes antyder att det är energiutbytet mellan turbulenselement av olika storlek som har avgörande betydelse för det klimatologiska turbulensmönstret.

Davenport (1961) drog efter analys av krosskorrelation mellan set av vinddata i två nivåer slutsatsen att korrelationen var försumbar när höjdskillnaden var omkring halva våglängden av virvlarna och att virvlarna därför i medeltal var grovt lika långa som höga.

Även denna slutsats antyder att inhomogeniteter i turbulensen har en tendens att utjämnas.

6 SANNOLIKHET FÖR EXTREMVIND - REGIONAL ANALYS

För bestämning av extremvärden med viss återkomsttid utnyttjades extremvärdesfördelningar av Fisher-Tippett typ I och typ II. Fördelningen av extremer enligt typ I visade sig något stabilare än typ II vid anpassning till höga vindvärden. Därför föredrogs typ I. Denna extremvärdesfördelning grundar sig på formeln (se Thom, 1966):

$$P(U) = e^{-e^{-Y}}, \quad Y = \alpha(U - \mu)$$

där $P(U)$ är sannolikheten att den maximala hastigheten är mindre än U . α och μ är konstanter som bestäms vid anpassningen till data.

Osäkerheten förefaller stor vid denna typ av statistik, men övriga standardmetoder för uppskattning av extremvärden synes ej vara fundamentalt bättre. Ett undantag är emellertid sannolikt den metod som baserar sig på Rice (1954) uttryck, vilket anger antalet gånger, N_U , som en stationär slumpmässig funktion av tiden $U(t)$ överskrids:

$$N_U = \int_0^{\infty} \dot{U} p(U, \dot{U}) d\dot{U} \quad (+)$$

Om U kan karakteriseras med Weibull-fördelningen

$$P(>U) = \exp \left[- \left(\frac{U}{C} \right)^k \right]$$

och om U och \dot{U} är statistiskt oberoende införes v_U och β_U enligt:

$$2\pi v_U = \frac{\sigma \cdot \dot{U}}{\sigma_U} \quad \text{och}$$

$$\beta_U = \frac{1}{\sigma_U} \int_0^{\infty} \dot{U} p(\dot{U}) d\dot{U}$$

vilket i ekvation (+) ger (T_R = återkomsttid).

$$N_U = \frac{1}{T_R} = 2\pi v_U \beta_U \frac{\sigma_U \cdot k}{C} \left(\frac{U}{C} \right)^{k-1} \exp \left[- \left(\frac{U}{C} \right)^k \right]$$

Parametern v_U kan beräknas via vindens energispektrum:

$$v_U^2 = \frac{\int_0^{\infty} n^2 S(n) dn}{\int_0^{\infty} S(n) dn}$$

Enligt Gomes och Vickery (1975), som emellertid beräknar v_{ij} direkt ur data, ger denna metod tillförlitliga resultat med relativt korta tidsserier. I ett exempel visas att metoden, tillämpad på 5 års data, gav resultat som var i god överensstämmelse med Gumbels metod tillämpad på en 18-årig serie. Materialet synes emellertid alltför begränsat för att medge generella slutsatser.

Det är angeläget att metoden baserad på Rice uttryck ytterligare utvecklas och jämföres med de konventionella metoderna för extremvärdesberäkning. En anledning till att metoden baserad på Rice ej har använts här sammanhänger med osäkerheten i hur mycket information en kort serie innehåller om de sällsynta kraftiga stormarna samt att metoden givit likartade resultat med Gumbels metod.

Vid beräkning av extremvärdesstatistik för 10-minuters medelvärden av vinden, \bar{U}_{10} , utnyttjades konventionella data från meteorologiska stationer med ca 20 års data. Dessa stationer framgår av karta XIV.

Vid uppskattning av byvind för olika återkomsttider utnyttjades även data från de meteorologiska stationerna med ca 20-åriga serier. Härvid översattes medelvinden till byvind via ekvationen: $U = 1.2 \bar{U}_{10} + 6.0$. Sambandet grundar sig på de samband som erhöles vid studium av byvinddiagrammen. Förutom relationen mellan byvind och medelvind erhöles därvid även resultatet att medelvinden vid månadens vindmaximum i medeltal var 1.5 m/s högre än medelvinden vid närmaste synoptiska termin.

På basis av extremvärdesstatistik för respektive ort (se karta XIV) konstruerades utjämnande fördelningar enligt kartorna XV - XX. Utjämnningen baserar sig dels på att de individuella stationerna har ofullkomlig placering av vindinstrumenten samt att tidsseriens begränsade längd ger oönskade samplingseffekter.

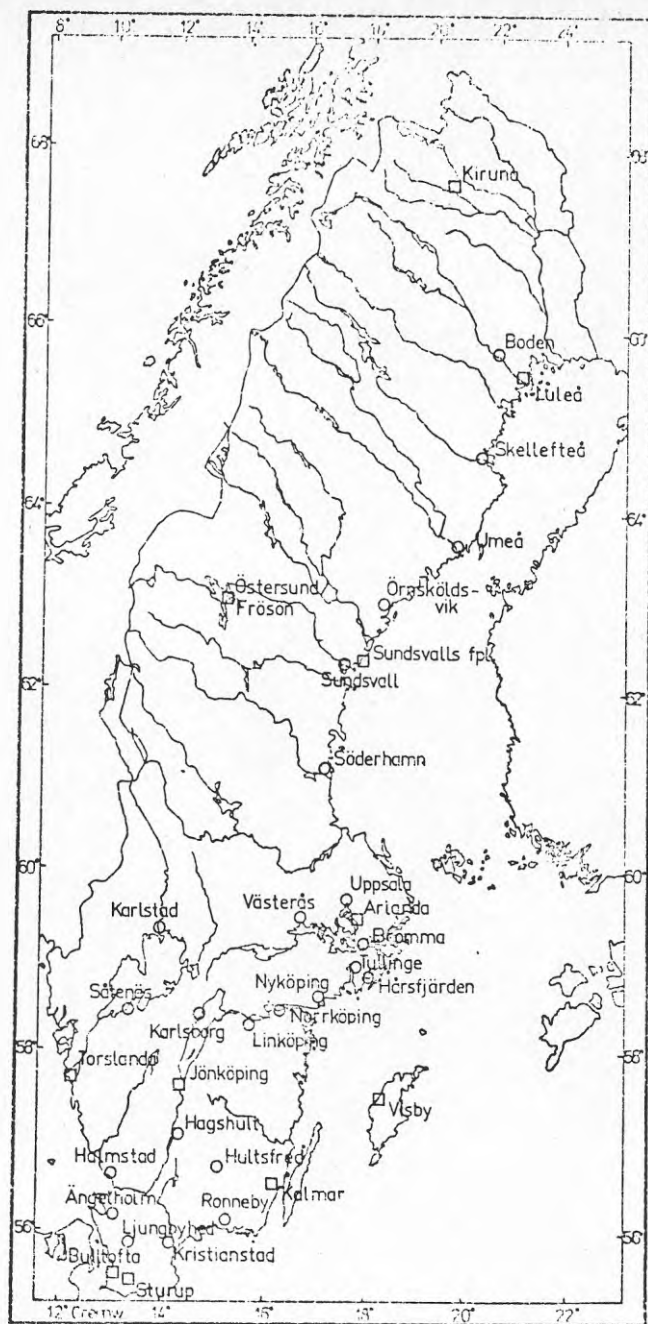
Kartorna avser vindförhållandena på öppna, plana ytor och för andra vindexponeringar, t ex det inre av städer, skogspartier, bör korrekationer tillämpas. I högläntare terräng, fjällvärlden eller bergsområden, bör dessutom statistiken kompletteras med korrektion för vindens ändring med höjden. Vindvariationen med höjden anges ofta i exponentiell form (alt via logaritmiska vindlagen):

$$\frac{U}{U_0} = \left(\frac{H}{H_0}\right)^p$$

här är U_0 vindhastigheten på nivån H_0 och U är vinden på höjd H .

Exponenten p beror av skiktningförhållandena i atmosfären, vindhastigheten samt markytans skrovlighet. Davenport (1968) anger för medelvinden följande värden på p :

- En mera detaljerad utformning har senare presenterats (fig 34)	
Plan, öppen mark	0.16
Skrovlig, trädbevuxen yta, förstad	0.28
Kraftigt uppbyggd innerstad	0.40

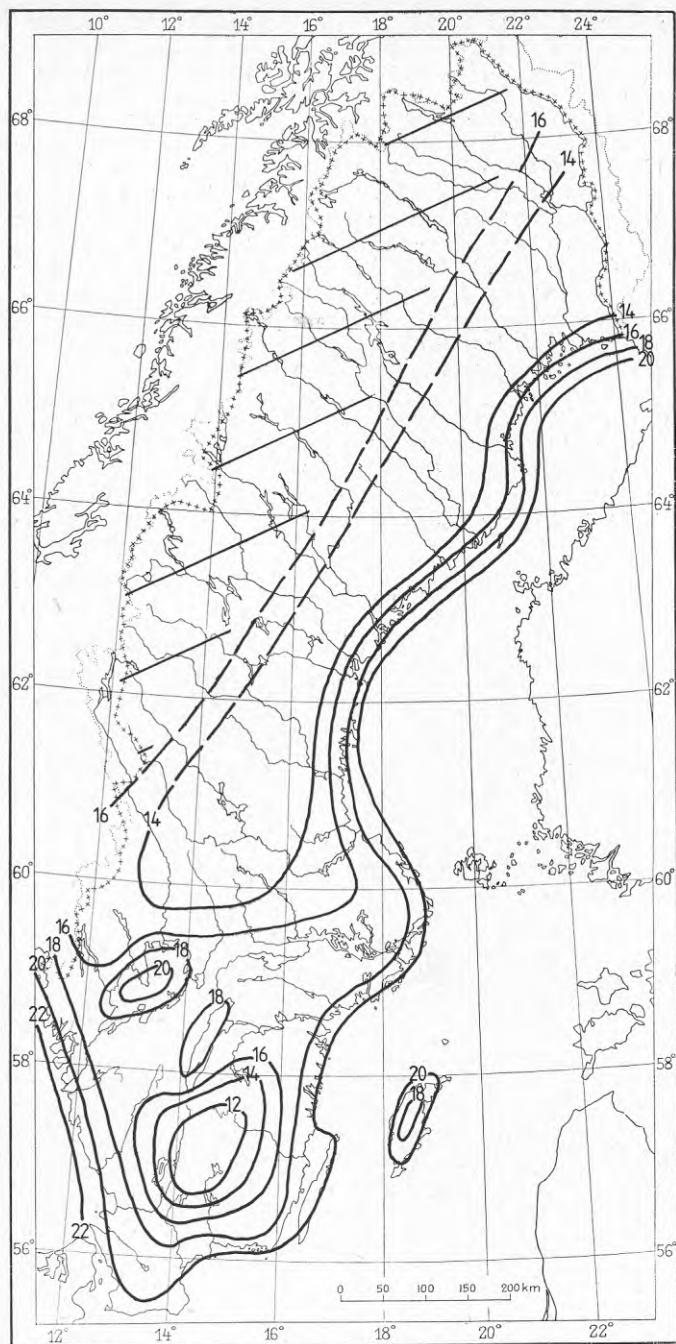


Karta XIV. Orter från vilka data utnyttjats för generalisering av byvindresultat.

För byvind anger Shellard (1968) $p = 0.085$

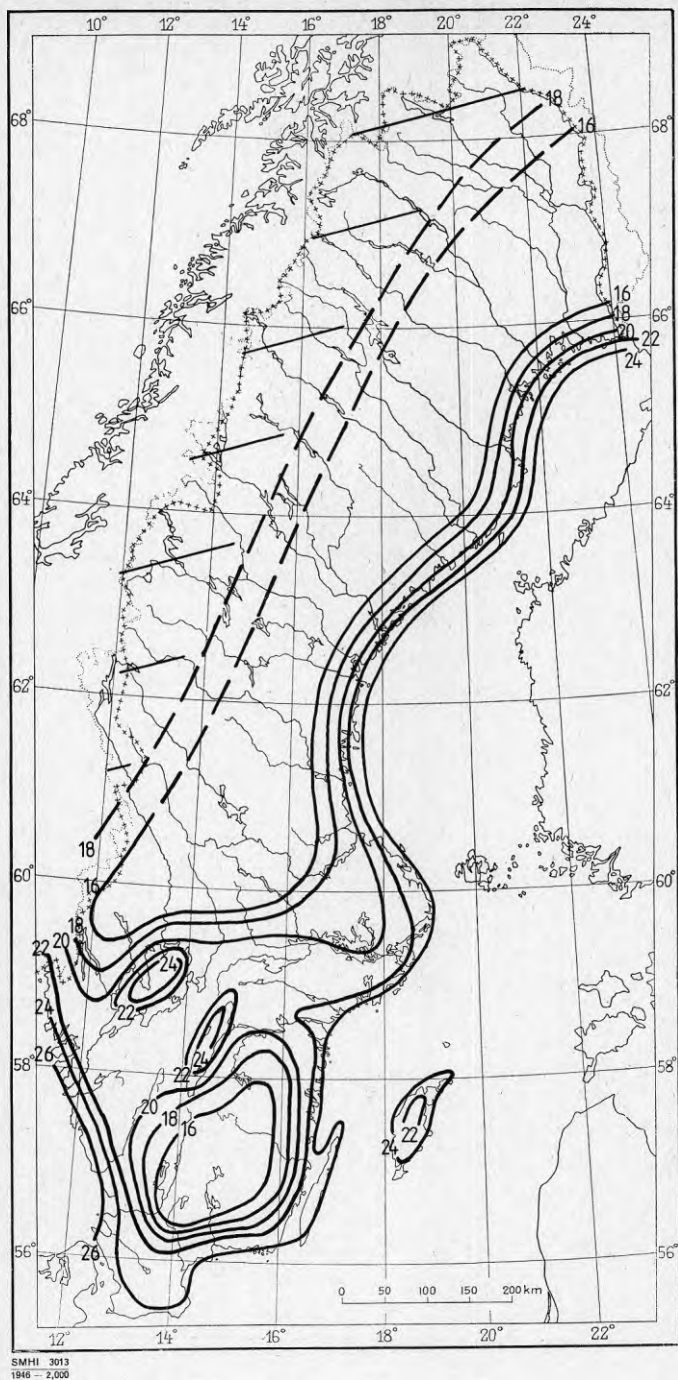
I kartorna har västra delen av Norrland streckats för att ange att statistiken här är särskilt osäker. Detta sammanhänger främst med de vindeffekter som fjällkedjan medför, egenskaper som kan transporteras vidare österut vid västlig vind. Det har ej varit möjligt att uppskatta hur stort inflytande som den vid fjälltopparna bildade turbulensen har längre österut. Karakteristiken av byvindens fördelning i kustområdena är även osäker. Även under hårda vindförhållanden är sannolikt havsytan relativt jämn jämfört med skrovlighetsförhållanden över land. Det faktum att medelvinden emellertid är hög i kustområdena leder emellertid, trots begränsad turbulent produktion, till höga vindtoppar även i dessa regioner.

Den relativt flacka övergångszonen i vindfältet mellan hav och inland, illustrerad av kartorna XV-XX förklaras av att fördelningarna avser öppna, plana ytor. För skyddade lägen kan övergångszonens utbredning krympas flera storleksordningar beroende på graden av vindexponering.

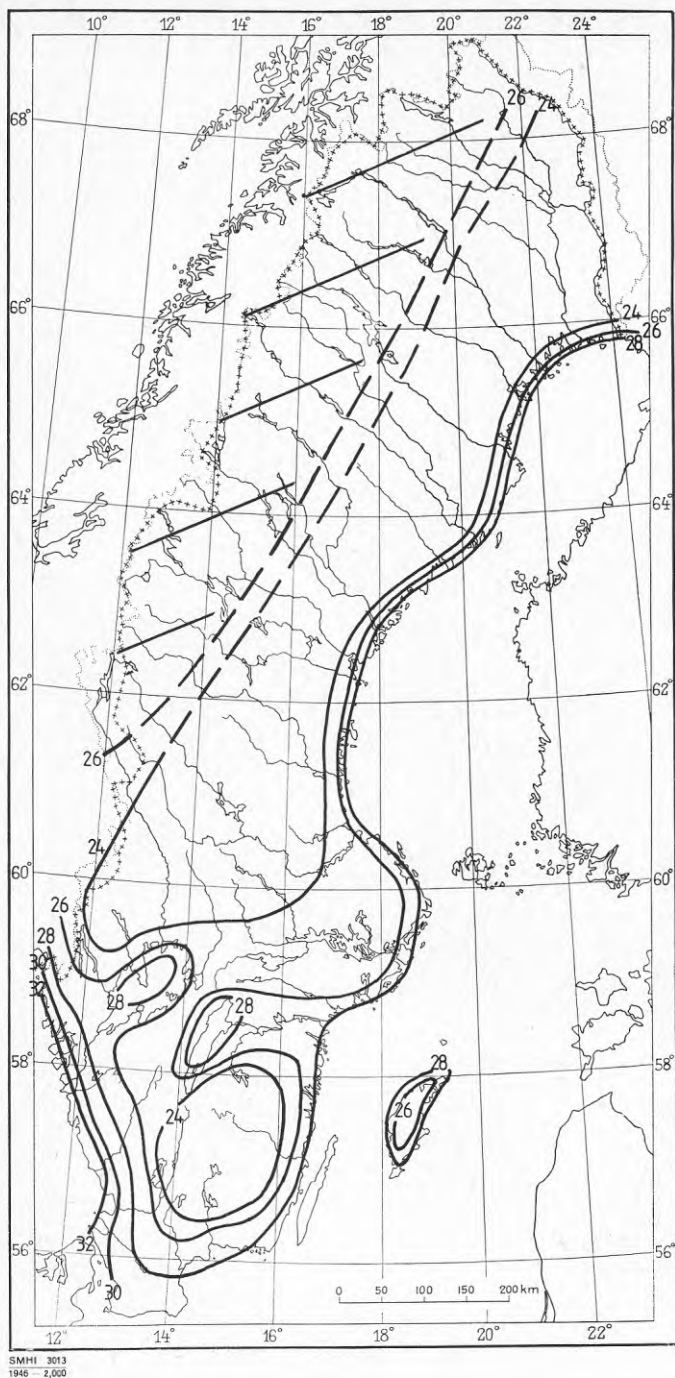


SMHI 3013
1946 - 2,000

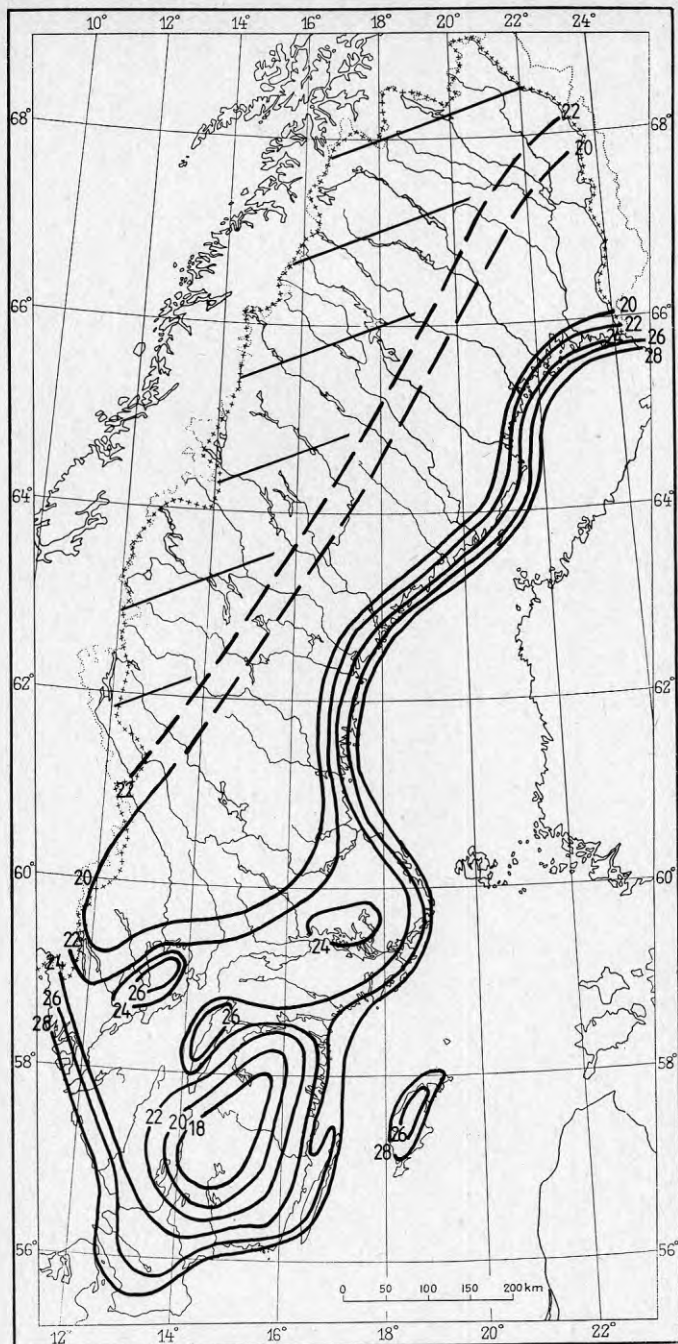
Karta XV Förväntad medelvindhastighet (m/s) under 10 min med återkomsttid 2 år över öppna, plana ytor - se även sektion 6.



Karta XVI Förväntad medelvindhastighet (m/s) under 10 min med återkomsttid 10 år över öppna, plana ytor - se även sektion 6.

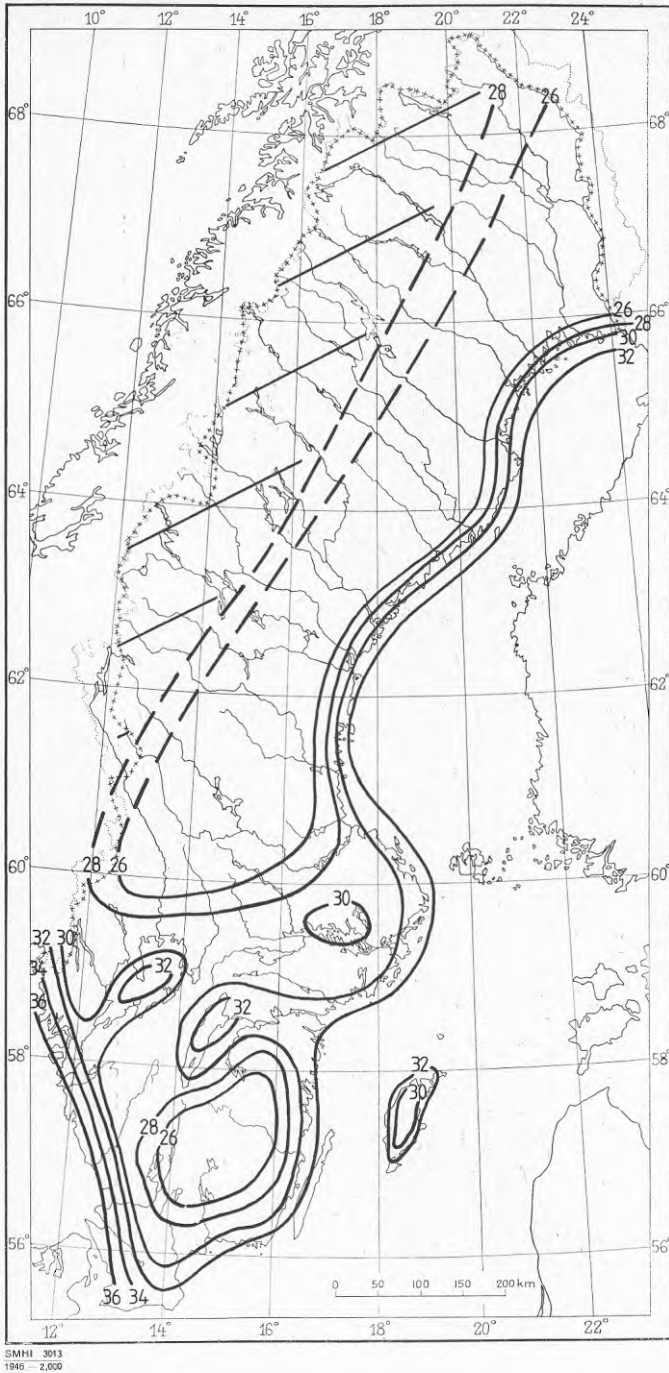


Karta XVII Förväntad medelvindhastighet (m/s) under 10 min med återkomsttid 50 år över öppna, plana ytor - se även sektion 6.

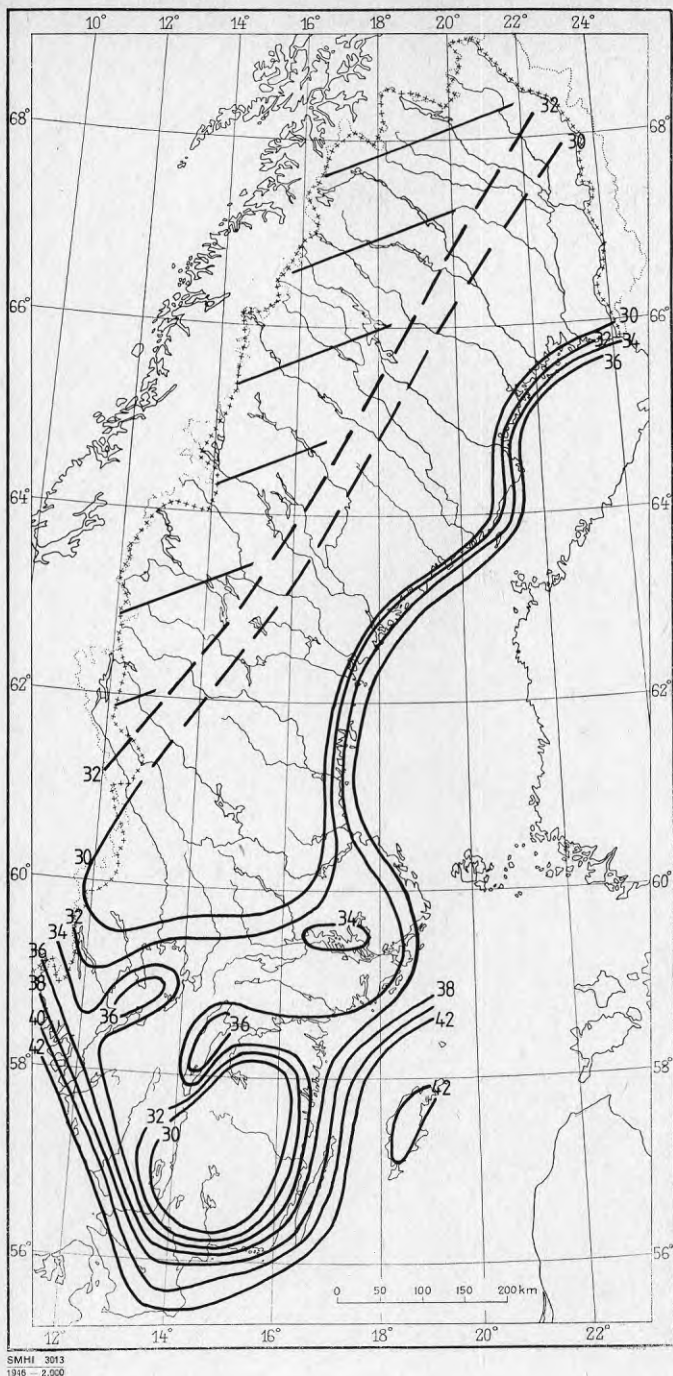


SMHI 3013
1946 - 2,000

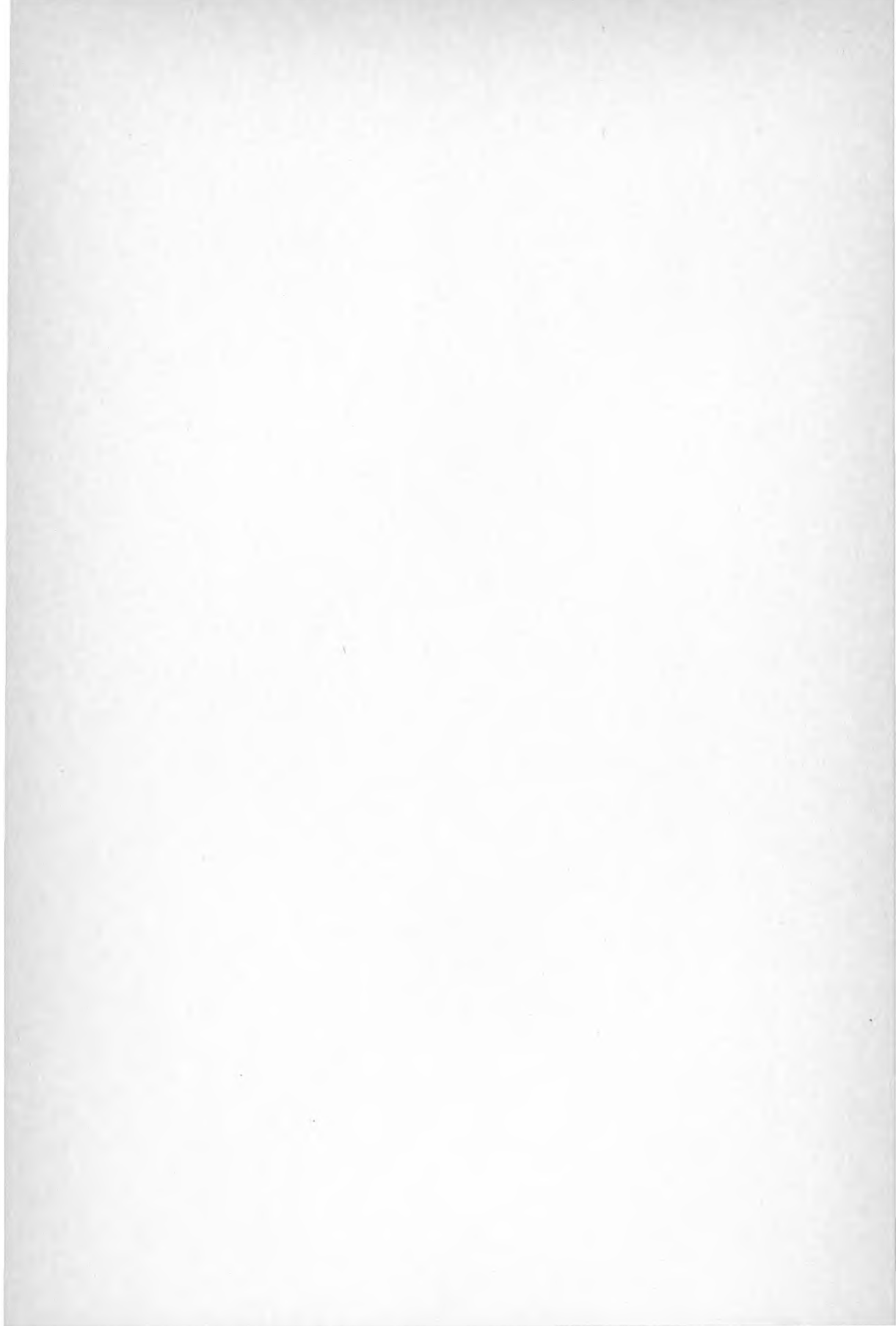
Karta XVIII Förväntad byvindshastighet (m/s) med återkomsttid 2 år över öppna, plana ytor - se även sektion 6.



Karta XIX Förväntad byvindshastighet (m/s) med återkomsttid 10 år över öppna, plana ytor - se även sektion 6.



Karta XX Förväntad byvindshastighet (m/s) med återkomsttid 50 år över öppna, plana ytor - se även sektion 6.



REFERENSER

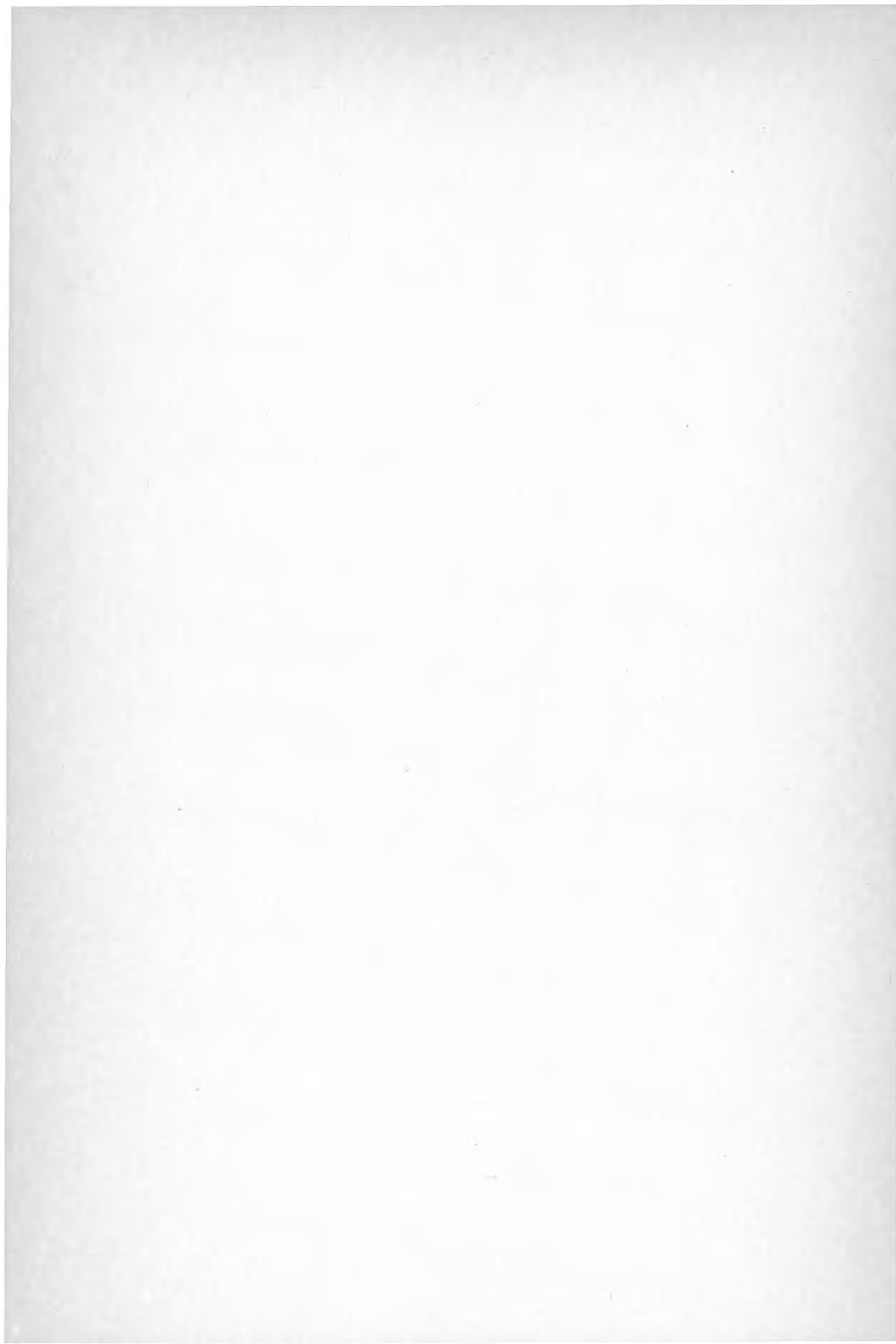
- Båth, M., 1946 An investigation into three tornados in Sweden. Meddelande nr 10 vid Meteorologiska institutionen vid Uppsala Universitet.
- CIMO-WMO
Jamboley, G., Viton, P. 1977 Compte - rendu de la comparaison internationale des anémomètres, 78190 Trappes.
- Davenport, A.G., 1961 The spectrum of horizontal gustiness near the ground in high winds. Quart. J. Roy. Meteorol. Soc. Vol 89. p. 194.
- Davenport, A.G., 1968 Proceedings from Conference on Wind Effects on Buildings and Structures Toronto p 19-82
- Deardorff, J.W., 1972 Numerical investigation of neutral and unstable planetary boundary layers. Journal of the Atmospheric Sciences, Vol. 29 p 91-115
- Endlich, R.M.,
McLean, G.S., 1965 Jet stream structure over central United States determined from aircraft observations. J. Appl. Meteorol. 4 p 83-90
- Engineering Sciences
Data 1974 Characteristics of atmospheric turbulence near the ground. Part II: single point data for strong winds (neutral atmosphere) Item number 74031. London
- Engineering Sciences
Data 1976 The response of flexible structures to atmospheric turbulence. Item 76001, London.
- Gomes, L.,
Vickery, B.J., 1977 On the prediction of extreme wind speeds from the parent distribution. Journal of Industrial Aerodynamics, 2, p 21-36
- Hardman, C.E,
Helliwell, N.C,
Hopkins, J.S., 1973 Extreme winds over the United Kingdom for periods ending 1971. Climatological Memorandum No 50A. Meteorological Office, Bracknell
- Heisenberg, W. 1948 Zur statistischen Theorie der Turbulenz. Z. Phys., 124 p 614
- Holmgren, B., 1979 Muntlig kommunikation. Meteorologiska inst. Uppsala Universitet

- Kaimal, J.C.,
Wynngaard, J.C.,
Izumi, Y. and Coté, O.R., 1972 Spectral characteristics of surface-layer turbulence. Quart. J. Roy. Meteorol. Soc. Vol 98, p 563
- Lettau, H.H., 1962 Theoretical wind spirals in the boundary layer of a barotropic atmosphere. Beitr. Phys. Atmos., Vol 35, 1962. p 195
- Lumley, J.L.,
Panofsky, M.A., 1964 The structure of atmospheric turbulence. New York, Interscience Monographs. p 184
- Monin, A.S.,
Obukhov, A.M. 1954 "Basic Laws of turbulent mixing in the ground layer of the atmosphere", Trudy Geofiz. Inst. An SSSR, 2 No 24 p 163-187. (jfr Monin, A.S., Yaglom, A.M., "Statistical fluid mechanics: Mechanics of Turbulence: Vol 1, MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1971 p 425-442)
- Pasquill, F. 1972 Some aspects of boundary layer description- Presidential Address. Quart. J. Roy. Meteorol. Soc. Vol 98 p 469.
- Rice, S.O., 1954 Selected Papers on Noise and Stochastic Processes, N. Wax (Ed.), Dover New York.
- Sissenwine, N.,
Tattelman, P.,
Grantham, D.D.,
Gringorten, I.I., 1973 Extreme Wind Speeds, Gustiness, and Variations with Height for MIL-STD 210B AFCRL-TR-73-0560 Air force surveys in geophysics, NO 273 Bedford. Mass.
- Shellard, H.C., 1968 Tables of surface wind speed and direction over the United Kingdom, Meteorol. Off. 792, Her Majesty's Stationary Office, London
- Taylor, G.I., 1938 The spectrum of turbulence. Proc. Roy. Soc., A164. p 476
- Tennekes & Lumley, J.L., 1972 A first course in turbulence. Cambridge, Mass. & London
- Thom, H.C.S., 1966 Some methods of climatological analysis, Technical note no 81. WMO-No. 199.TP.103. Geneva.
- Van der Hoven, I., Power Spectrum of horizontal wind speed in the frequency range from 0.0007 to 900 cycles per hour. Journal of Meteorology, Vol 14, 1957 p 160-164

Welch, et al

1967

Special Issue on fast Fourier Transforms and its application to digital filtering and spectral analysis, IEEE, Transaction on Audio and Electroacoustics, Vol 15-1, no 2.



Instrumentkaraktistika

Redogörelsen nedan baseras på resultat från en jämförelse av standardinstrument för vindmätning enligt CIMO-WMO, 1977 samt på synpunkter och sammanställning från M Aronsson, SMHI. Mera detaljerad information kan erhållas i rapporten från CIMO samt från SMHI.

Standardmätare från följande länder ingick i CIMO-undersökningen: Frankrike (mätare nr 1, 6, 9, 12), Finland (2), Holland (3), Kanada (4), Västtyskland (5), Sverige (7), England (8) samt Italien (10,11).

Mätare 1, 5, 6, 9 och 10 bestod av skålkors med halvsfäriska skålar. Mätare 2, 3, 4, 7 och 8 hade skålkors i form av stympade koner. Mätare 11 utgjordes av en vindfana med en trebladig propeller i nosen. Denna mätare är vanlig i USA. Det instrument som används vid militära väderstationer i Sverige torde närmast kunna jämföras med nr 5.

Prov i vindtunnel

Första fasan i jämförelsen utgjordes av prov i vindtunnel. Relation hastighet - varvtal och hastighet - utspänning fastställdes för varje mätare.

Mätare nr 7 erhöll följande samband:

$$N = 0.4111 \cdot v + 0.1783$$

N (varvtal); v (vind i m/s)

Avvikelse (a) från formeln kalibrerade hastigheter (v) enligt följande:

v (m/s)	5	10	15	20	25	30	35	40
a (%)	+1.4	+0.5	-0.3	-0.4	±0	-0.6	-0.1	+0.5

Lineariteten för mätare 7 måste således anses vara mycket god. Vidare fastställdes varje mätares minsta starthastighet (v_0) samt distanskonstant (d_{15}) vid $v = 15$ m/s. Den senare är den vind (i meter) som passerar mätaren efter en stegändring av hastigheten intill dess mätaren indikerar 63% av stegändringen. Följande värden erhöles:

mätare nr	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
v_0 dm/s	4	6	15	4	6	8	31	19	27	20
d_{15} m	5	6	7	8	7	8	9	14	18	10

Noggrannheten vid bestämning av såväl v_0 som d_{15} är betydande.

Som ett visst mått på en mätares dynamiska egenskaper definieras tidskonstanten för mätaren som den tid som åtgår för mätaren att indikera 63% av en ändring med oändlig branthet hos vinden. När sådan ändring är svår att åstadkomma brukar man mäta tiden för ett frisläppt stillastående skålkors i en strömning att indikera 63% av lufthastigheten. Detta är emellertid en mycket tvi-

velaktig metod, enär skålkorset efter starten arbetar i en konstlad turbulent miljö.

Produkten av tidskonstanten och hastigheten benämnes distanskonstanten. Även denna har framtagits. Tids- och distanskonstanter redovisas i K 4 som tas med enbart för fullständighetens skull.

Instrument nr	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Tidskonstant										
TO,63 (sekunder)	0.32	0.42	0.44	0.52	0.48	0.51	0.61	0.92	1.2	0.65
TO,86 (sekunder)	0.61	0.76	0.81	0.97	0.87	0.94	1.13	1.69	2.3	1.25
TO,95 (sekunder)	0.89	1.07	1.14	1.39	1.21	1.33	1.58	2.41	3.42	1.81
Distanskonstant DO,63 = 15 x TO,63 (m)	4.8	6.3	6.6	7.8	7.2	7.65	9.15	13.8	18.0	9.75

Prov i naturlig vindmiljö

Av primärt intresse är en vindmätares egenskaper i naturlig miljö utomhus. Mätarna placerades därför i linje på en hög ställning med de franska mätarna 1, 12 och 6 på flankerna och i mitten. Avståndet mellan mätarna var tilltaget för att hindra interferens. Mätare 1, 6 och 12 som var av samma typ, skulle indikera eventuella skillnader i vind över ställningen. Prov företogs bara när vinden blåste ungefär vinkelrätt mot ställningen. Kalibreringen från vindtunnelförsöken utnyttjades. Man mätte 15 serier med ca 3000 värden per mätare och serie. Provet torde vara det mest omfattande som någonsin förekommit inom detta område. I rapporten presenteras mer detaljerat resultat från mätserierna 2 och 8. Övriga serier gav enligt rapporten likartade resultat.

I dator har bl a följande storheter framräknats: medelvärden (v_m), relativ spridning (σ_r), accelerations- och retardationsförmåga (medeltal; a_m resp r_m) samt maxvärdet i vindstötter (medeltal; v_{sm}). Värdet för mätare nr 7 anges och för övriga avvikelser i procent relativt denna mätare.

Mätare nr	7	1	2	3	4	5	6	8	9	10	11	12	%
v_m ser 2	8.09 m/s	+10	+10	+8	+10	+11	+12	+4	+25	+17	+9	+8	
σ_r "	2 0.30	-23	-23	-20	-17	-27	-23	-20	-37	-33	-17	-20	"
v_m "	8 10.20 m/s	+10	+9	+8	+9	+10	+10	+5	+20	+13	+8	+7	"
σ_r "	8 0.30	-17	-17	-13	-17	-20	-17	-10	-27	-23	-33	-17	"
a_m "	4 3.1 m/s ²	-36	-32	-32	-20	-45	-38	-46	-53	-57	-34	-38	"
r_m "	4 3.2 "	-41	-34	-36	-22	-46	-42	-47	-54	-57	-35	-41	"
v_{sm}	16.57 m/s	+1	+1	+2	+1	±0	+4	+1	+5	--	-2	+4	"

Kommentar

Medelvärdet

I 50 års tid har man vetat att vindmätare av roterande typ övervärderar medelvinden p g a oförmågan hos skålkorsat att anpassa sig till strömningen vid vindavtagande. Som framgår av tabellen är effekten relativt stor även hos moderna mätare. Felet relativt sann vind är dock fortfarande okänt.

Spridningen

Även här torde gälla att den bästa mätaren, nr 7, undervärderar spridningen. Några av de övriga provade mätarna ger enbart två tredjedelar av sann spridning, vilket är helt otillfredsställande.

Acceleration och retardation

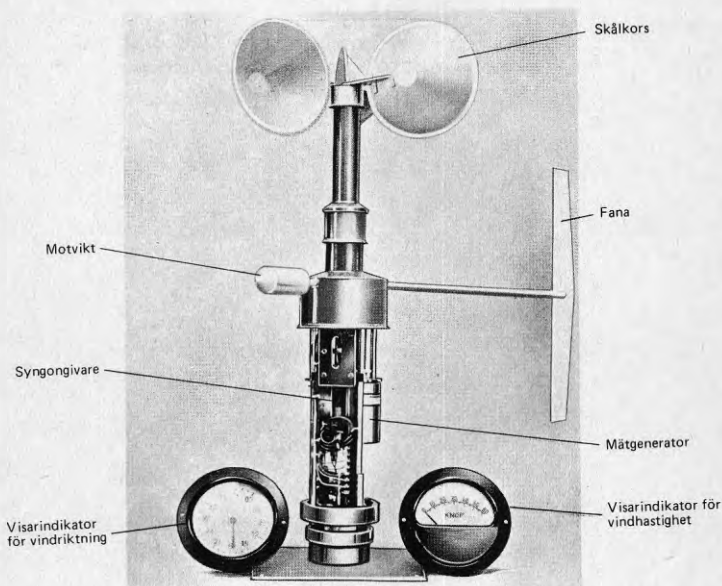
Här visar mätare nr 7 sin absoluta särklass, vilket även påpekades i rapporten.

Vindstötär

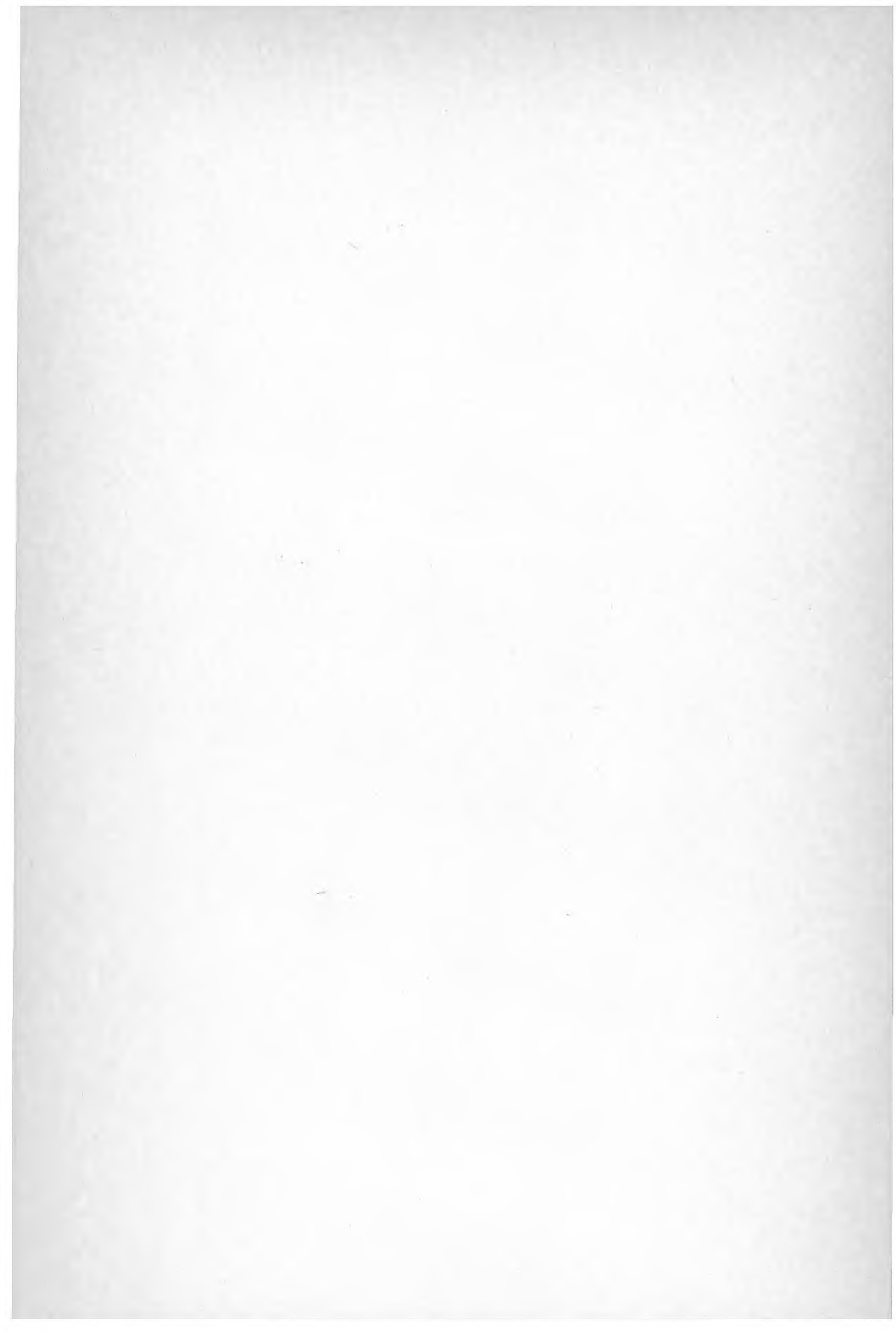
Alla provade mätare ger grovt samma värde vid proven med vindstötär. Detta talar bl a för att samtliga mätare bibehåller kalibreringen från vindtunnelförsöken.

Skålkorsat till mätare nr 7 utvecklades vid SMHI:s instrumentavdelning för ca 20 år sedan. Det kommer nu även att införas på de tyska mätare som är i drift på institutets stationer.

SMHI:s vindinstrument (nr 7) illustreras nedan i figur 35.



Figur 35. SMHI:s vindinstrument (nr 7). Vindgivare med kåpan borttagen



Beskrivningen nedan anger endast några av de karaktäristiska dragen vid respektive station. Mer detaljerad information finns i SMHI:s arkiv. Vindinstrumenten har varit placerade på 10 m höjd över marken. Uppgifter för de ytterligare stationer som använts vid generalisering av vindinformation, se karta XIV, tas ej upp här.

Arlanda Terrängen är småkuperad med omväxlande skogspartier och öppna fält.

Jönköping Flygplatsen ligger relativt högt över havet (223 m) i ett vidsträckt skogsområde. Uppodlad mark saknas i huvudsak i området. Avståndet till Vättern, ca 12 km, är sannolikt för stort för att vindförhållandena vid flygplatsen skall påverkas i nämnvärd grad.

Kalmar Stationen ligger ca 3 km W om Kalmar. Terrängen är svagt kuperad och består av gles bebyggelse och mindre skogspartier.

Kiruna Flygplatsen ligger i ett relativt öppet område som är svagt kuperat. Mindre skogspartier omväxlar med buskage.

Luleå Flygplatsen ligger ca 5 km SW om staden och är omgiven av skog och havsvikar. Terrängen är måttligt kuperad. Havs fjärdar finns på ca 1-3 km avstånd i NE och SE-SW riktning.

Sturup Flygplatsen ligger i ett område med omväxlande skog och öppna ytor, bl.a sjöar. Terrängen är i regel svagt kuperad med mindre kullar.

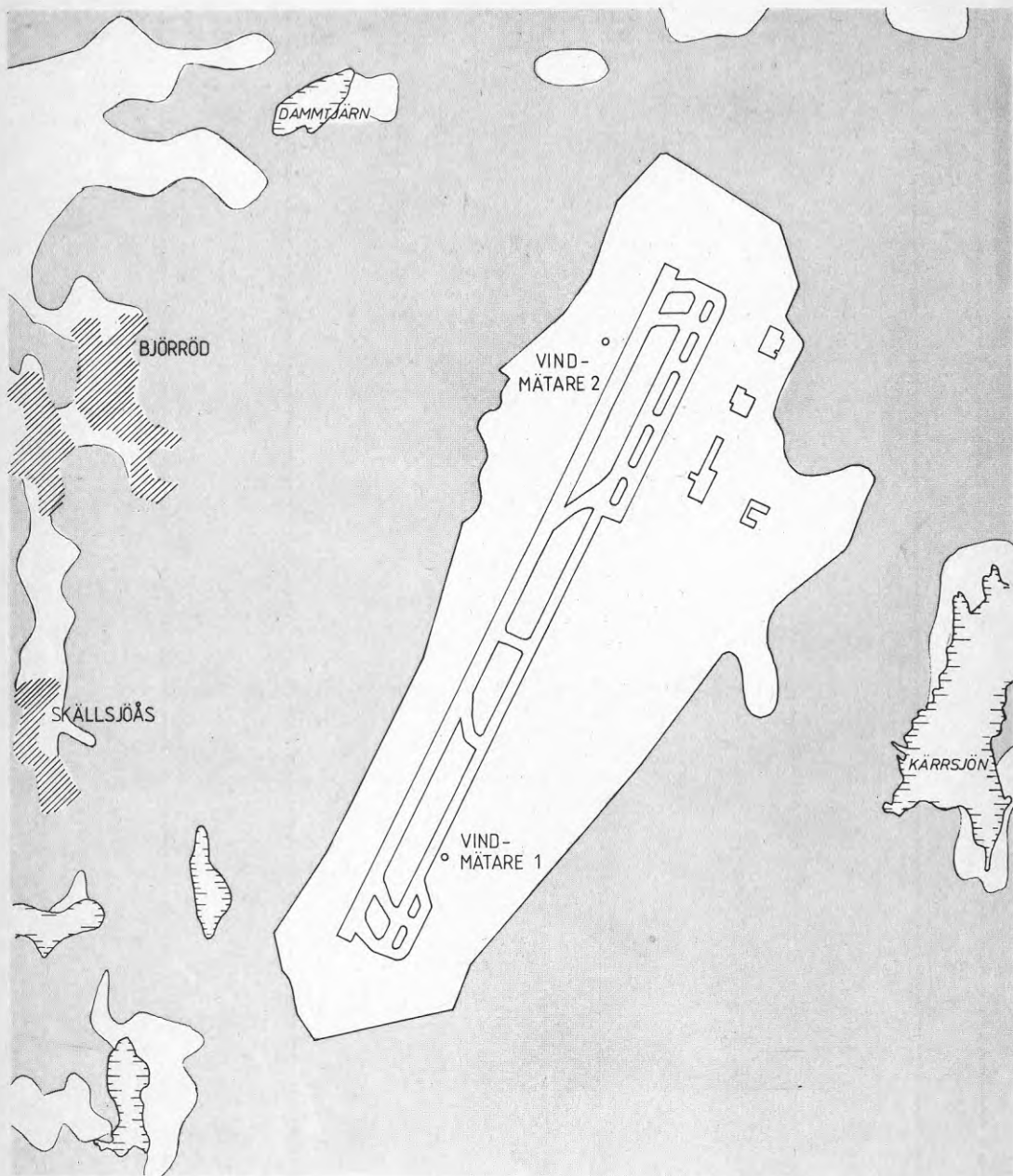
Bulltofta Flygplatsen ligger omedelbart väster om Malmö och österut utbreder sig slätten.

Sundsvalls flygplats Flygplatsen är belägen i Indalsälvens delta, ca 2 mil N om Sundsvall. Terrängen är svagt kuperad och relativt öppen med enstaka höjdpartier.

Torslanda Terrängen är svagt kuperad och trädbestånd förekommer relativt sparsamt. Ca 2 km S om stationen ligger Rivöfjärden. Omfattande industriområdet ligger öster om stationen. Öppna ytor finns i sektorn NE-S-W.

Visby flygplats Flygplatsen ligger 50 m.ö.h. och ca 4 km NE om Visby. En kustbrant mot Östersjön löper ca 1.3 km väster om stationen i NNE-SSW riktning. Stationen har ett relativt vindexponerat läge.

Landvetter Flygplatsen är omgiven av skogklädd mark. Terrängen är svagt kuperad. Vindinstrumentens läge framgår av figur 36.



Figur 36 Vindinstrumentens placering vid flygplatsen Landvetter.

**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag
740650-7 från Statens råd för byggnadsforskning
till Sveriges meteorologiska och hydrologiska
institut, SMHI, Norrköping.**

R64: 1980

ISBN 91-540-3262-8

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6700164

**Abonnemangsgrupp:
Ingår ej i abonnemang**

**Distribution:
Svensk Byggtjänst, Box 7853
103 99 Stockholm**

Cirkapris: 30 kr exkl moms