

KONINKLIJK NEDERLANDS METEOROLOGISCH INSTITUUT

TECHNISCHE RAPPORTEN

T.R. - 52

B. Oemraw

Beschuttingscorrectie wind



Kon. Ned. Meteor. Inst.

De Bilt

De Bilt, 1984

Koninklijk Nederlands
Meteorologisch Instituut
Bibliotheek,
Postbus 201,
3730 AE DE BILT,
Nederland.

Publikatienummer: K.N.M.I. T.R. 52 (FM)

Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut,
Fysisch Meteorologisch Onderzoek,
Postbus 201,
3730 AE De Bilt
Nederland.

U.D.C.: 551.501.75

boek. Raadpleeg derhalve voor nadere informatie het boek

"Windklimaat van Nederland", J. Wieringa en P.J. Rijkoort

Uitgave : Staatsdrukkerij, Den Haag, 1983.

Het dictaat is tot stand gekomen met medewerking van J. Wieringa en A.A.M. Holtslag, waarvoor mijn dank. Het voortreffelijke typewerk op de tekstverwerker is verzorgd door Mw. A.J. de Bree-van Dolderen.

Voor eventuele opmerkingen en suggesties omtrent de opzet en inhoud van deze syllabus houd ik mij aanbevolen.

december 1983

B. Oemraw.

Enige veelgebruikte symbolen : waar worden ze gedefinieerd ?

		blz.
a, b	instrumentenconstanten	22; 32
A	verzwakkingsfaktor	19
E, E _{Ut}	excentriciteit	18
F	beschuttingskorrektie (-faktor)	13
G	vlaagfaktor	16, 20
k	von Kármán-constante	5
p	machtwet-exponent	14
t _{RC}	responsietijd registratie	19, 29
U _p	potentiële windsnelheid (ook: U _{WMO})	14, 21
U _z	gemiddelde windsnelheid op hoogte z	5
U*	wrijvingssnelheid	6
U _t	vlaaggolflengte	16
z _b	referentiehoogte oppervlaktelaag (60 m)	11
z _o	ruwheidslengte	7
λ	responsielengte anemometer	19, 28
θ	windrichting (-sektor)	
< >	mediaanwaarde	16, 33

Beschuttingscorrectie wind

(cursus-diktaat)

B. Oemraw

December 1983

1. Inleiding

De windmeting is een experimentele fysische meting. De meetprocedure behoort de gemeten grootheid op ondubbelzinnige wijze, het liefst in een getal, uit te drukken. De waarnemingen behoren dus op reproduceerbare wijze een getal voor te stellen.

De gemeten getallen zijn zelden volkomen exact of precies berekend. Elke fysische meting is behept met een onzekerheidsmarge, dus ook in de windmeting zitten fouten. De fouten kunnen worden veroorzaakt door verschillende foutenbronnen, zoals: a. Methodefouten, b. Instrumentfouten, c. Instelfouten, d. Fouten door externe storingen, e. Afleesfouten en f. Fouten bij berekeningen.

De fouten veroorzaakt door al deze bronnen kunnen we verdelen in twee groepen, namelijk : 1. de toevallige fouten; 2. de systematische fouten. De toevallige fouten zijn fouten die een zodanig willekeurig karakter dragen dat de wetten van de waarschijnlijkheidsrekening erop van toepassing zijn. De systematische fouten zijn fouten die juist niet willekeurig zijn, maar die, indien zij meetbaar of berekenbaar zouden zijn, voor de toekomst voorspelbaar optreden.

Begroeiing en bebouwing rond de windmast is een schoon voorbeeld van een systematische fout. Wieringa heeft een methode ontwikkeld, waarmee een correctiefactor kan worden berekend, uitgaande van de gemeten wind (het gemiddelde, en de maximum windstoot oftewel vlaag) en de instrumentatie.

Het doel van dit dictaat is om de cursisten enig inzicht te verschaffen in deze nieuwe methode. Bovendien moet iedere cursist na afloop van de cursus zelfstandig beschuttingscorrectie-factoren van de Nederlandse windstations kunnen berekenen en controleren.

Het is aan te bevelen dat het rekenwerk gebeurt op programmeerbare rekenapparatuur. Ter ondersteuning hiervan zijn bijgevoegd enige calculator-programmaoverzichten met gebruiksaanwijzing, allereerst voor de Texas Instruments 59 (T.I.-59), daarnaast ook voor Hewlett-Packard calculators. Bovendien is er een Burroughs-programma (WKSCHUFAKT1, voorheen YPEG-KOOJ) beschikbaar voor het doorrekenen van een groot windgegevensbestand met vlaaggegevens.

2. Waarom "Beschuttingscorrectie wind"?

Het is bekend, dat de wind ontstaat door drukverschillen in een horizontaal vlak en wordt beïnvloed door o.a. de Gradiëntkracht, de Corioliskracht en de Wrijvingskracht. Voor de vergelijkbaarheid van de luchtdrukmetingen is het in de meteorologische wereld allang aanvaard, dat bepaalde correcties toegepast worden, zoals: 1. Indexcorrectie (schaalcorrectie en capillariteitscorrectie). 2. Temperatuurcorrectie. 3. Breedtecorrectie. 4. Hoogtecorrectie.

We zagen reeds, dat bij fysische metingen toevallige en systematische fouten kunnen optreden. Bij het trekken van gefundeerde conclusies is het in ieder geval noodzakelijk systematische fouten te corrigeren. De breedtecorrectie en de hoogtecorrectie bij de luchtdrukmetingen past men toe, omdat men uit experimenten en theoretische beschouwingen weet, dat deze correcties nodig zijn. Bij de windmetingen hebben we eveneens te maken met vergelijkbare systematische fouten. Naast de instrumentele ijkingen en correcties, is het met een beetje meteorologisch inzicht al gevoelsmatig aan te voelen, dat obstakels in de nabijheid van een windmeter de windmeting kunnen beïnvloeden.

Nu is het zo, dat we op het gevoel de obstakel-beïnvloeding niet objectief kunnen corrigeren. In de laatste jaren was het wachten dus op een objectieve correctie-methodiek. Deze methodiek is er nu.

Het voorbeeld van luchtdrukmetingen en windmetingen is niet willekeurig gekozen. Beiden horen bij elkaar.

In de oppervlaktelaag (we komen hierop later terug) is het bij benadering toegestaan de Corioliskracht te verwaarlozen. Dus dicht bij de grond (beneden ca. 60 m) overheerst de wrijvingskracht die ontstaan is uit de snelheidsverschillen hetzij tussen het aardoppervlak en de lucht, hetzij tussen over elkaar schuivende luchtlagen.

Een belangrijk aspect hierbij is het contact van de luchtlaag met zijn omgeving (over het algemeen het aardoppervlak). Het aardoppervlak is niet overal mooi glad en open, maar kent ruwheden, bijvoorbeeld bebouwing (stad) en begroeiing (bos) etc. De ruwheden, die zich in de directe omgeving van een waarnemingsstation bevinden, beïnvloeden de windmeting.

De Nederlandse windwaarnemingsterreinen zijn, bij beschouwing bijvoorbeeld per windrichtings-sektor van 30° breedte, niet overal gelijk.

Willen we nu de windwaarnemingen van naburige stations onderling vergelijken, dan is dus een terrein-normalisering wenselijk.

Wieringa heeft een objektieve methode ontwikkeld voor de schatting van equivalente open-terrein-windsnelheid uit windmetingen van een willekeurig station, dat niet ál te slecht is gelegen (diverse referenties Wieringa).

In de volgende paragrafen in dit diktaat wordt ingegaan op deze nieuwe ontwikkelde technieken en methodieken.

3. De planetaire grenslaag (PGL)

Dankzij metingen op de hoge meetmasten in Vlaardingen en Cabauw is in de laatste decennia meer inzicht verkregen in de meteorologie van de grenslaag. Met de grenslaag wordt in dit verband de atmosferische laag bedoeld, die rechtstreeks wordt beïnvloed door het onderliggende aard- (of zee-) oppervlak. Praktisch betekent dit, dat in de grenslaag de invloed van de wrijving met het onderliggende aardoppervlak op de wind merkbaar is.

Een verfijndere indeling van de atmosferische grenslaag (Wieringa, 1982; I) volgt hieronder; tevens is in figuur 1 getracht dit in een schema weer te geven.

- I. Nabij de grond (hoogte $\ll 1$ m) is een viskeuze sublaag, waar het verticale transport hoofdzakelijk op moleculaire schaal plaatsvindt.
- II. Aan de top van de grenslaag gebeurt de overgang van de turbulente grenslaag naar de pseudo-laminaire (\equiv niet turbulent) stroming in de vrije troposfeer, eveneens in een dunne laag (dikte $\ll 1$ m), welke evenwel onderhevig is aan turbulente kortdurende hoogtevariaties van tientallen meters. Deze top bevindt zich in een niet-verzadigde grenslaag gewoonlijk tussen 200 m en 2000 m hoogte.
- III. De gehele laag tussen deze twee overgangslagen wordt gewoonlijk planetaire grenslaag (PGL) genoemd.
- IV. Het onderste vijfde deel van de PGL is de zgn. oppervlaktelaag. Bij de analyse van deze laag kunnen een aantal vereenvoudigingen worden toegepast, die voor de gehele PGL niet toepasbaar zijn (bijvoorbeeld verwaarlozing van de Corioliskracht t.o.v. andere krachten). Duitsers noemen deze laag vaak Prandtl-laag.

Soms wordt het bovenste viervijfde deel van de PGL aangeduid als "Ekmanlaag".

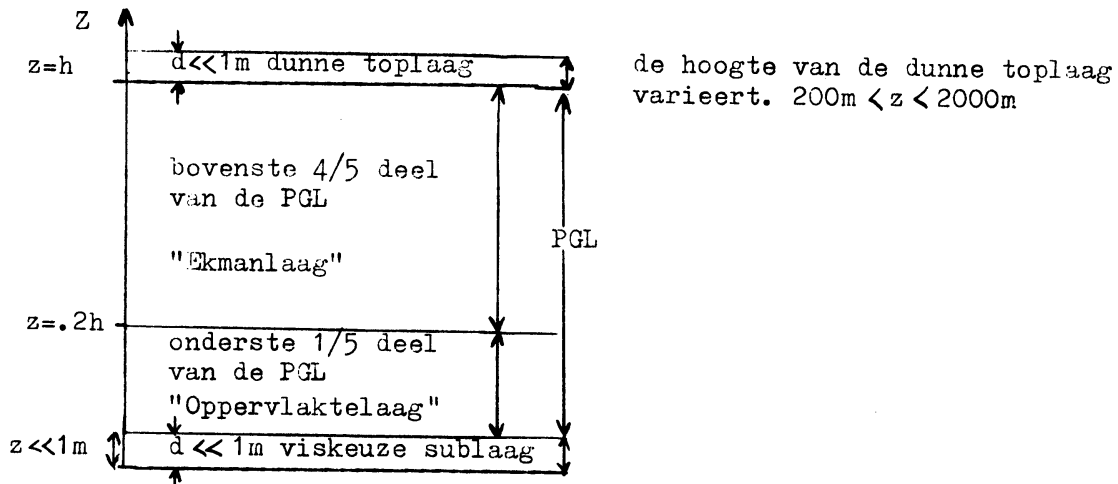


Fig. 1

Opmerkingen bij Fig. 1:

- a. In deze onderste laag van de atmosfeer wordt o.a. de wind en de temperatuur direct door het aardoppervlak beïnvloed.
- b. De grenslaag is turbulent.

Turbulentie is een continue onregelmatige stromingstoestand, waarvan de karakteristieke parameters in tijd en ruimte toevallige variaties vertonen, zodat slechts statistische beschrijving mogelijk is. Een maat voor de turbulentie is:

$$\frac{\sigma_u}{U} = \frac{\text{standaardafwijking}}{\text{gemiddelde windsnelheid}}$$

- c. De overgang tussen de PGL en de vrije troposfeer is bijzonder scherp (dikte ca. 1 m). De hoogte van de PGL varieert in ruimte en tijd.

4. Windsnelheidsprofiel in de PGL

In de planetaire grenslaag neemt de windsnelheid toe tussen het aardoppervlak en de hoogte Z_G , die ter hoogte van de top van de grens-laag ligt ($200 \text{ m} < Z_{\text{PGL}(\text{top})} < 2000 \text{ m}$). Z_G is dus tevens het niveau waar de wrijvingskracht zo klein is geworden, dat deze verwaarloosd kan worden. De windsnelheid ter hoogte Z_G geven we aan met U_G .

De windsnelheidstoename als functie van de hoogte en van de hoogte,

waarop U_G bereikt wordt, hangt af van de verticale bewegingen in de atmosfeer; o.a. van de ruwheid van het aardoppervlak, de windsnelheid en de temperatuurgradiënt. Heersen er in een luchtlaag sterke verticale bewegingen dan verandert de windsnelheid weinig met de hoogte.

Bij zwakke verticale bewegingen in een laag kan de windsnelheid sterk variëren met de hoogte. Stel nu dat de planetaire grenslaag opgebouwd is uit vele dunne luchtlaagjes, die over elkaar heen schuiven. Snelheidsverschillen in een onstabiele laag (sterke verticale bewegingen, sterke turbulentie) zullen een grote wrijving veroorzaken, omdat de uitwisseling (contact) tussen de verschillende laagjes groot is. Het ontstaan van grote windsnelheidsverschillen wordt hierdoor tegengegaan. In een stabiele luchtlaag (zwakke verticale bewegingen, zwakke turbulentie) schuiven de laagjes gemakkelijk over elkaar, zodat wel grote snelheidsverschillen kunnen ontstaan.

Let wel:

De stabiliteit van de atmosfeer en de ruwheid van het aardoppervlak hebben duidelijk invloed op het windprofiel in de planetaire grenslaag. In de oppervlaktelaag is daarbij de stabiliteit alleen van praktisch belang bij zwakke wind.

5. Het logaritmisch windprofiel in de oppervlaktelaag

In de oppervlaktelaag blijkt de windsnelheid bij gemiddeld harde wind ($U > 6$ m/s) evenredig te zijn met de logaritme van de hoogte. Het logaritmisch windprofiel wordt gegeven door de formule:

$$U_z = \frac{U_*}{k} \ln (z/z_0) \quad (1)$$

waarin U_z = gemiddelde windsnelheid in m/s op hoogte z

z = hoogte in meters

U_* = wrijvingsnelheid in m/s

k = Von Karman constante (universele constante) =
0.39 < k < 0.41

z_0 = ruwheidsparameter in meters.

U_* is als volgt gedefinieerd:

$$\tau = \rho U_*^2 \quad (2)$$

waarin τ = schuifspanning in N/m^2

ρ = dichtheid van lucht in kg/m^3 .

Schuifspanning ontstaat door het over elkaar schuiven van luchtlagen bij het aardoppervlak.

Uit (1) volgt:

$$U_* = \frac{U_z k}{\ln(z/z_0)} \quad (3)$$

We zien in (3) dat de wrijvingsnelheid (U_*) afhankelijk is van de hoogte z (hoogte van beschouwd niveau binnen de grenslaag), de ruwheid van het aardoppervlak z_0 (de subscript o geeft aan dat de waarde nabij de grond bedoeld is) en van de windsnelheid op hoogte z .

Tussen $20 z_0 < z < 0.2 h$ kunnen we in eerste benadering veronderstellen dat U_* daar constant is. h is de hoogte van de grenslaag, U_* moet experimenteel worden bepaald. Het geldigheidsgebied van het logaritmisch windprofiel ligt dus tussen ca. $20 z_0$ (d.i. enige meters boven de grond) en ca. $0.2 h$ (d.i. bij $h = 300$ m gelijk aan ca. 60 m).

Voorbeeld:

Stel $U_z = U(10) = 10$ m/s (gem. windsnelheid op 10 m hoogte)

$z = 10$ m

$z_0 = 0.03$ m

$k = 0.41$

Invullen in (3): $U_* = \frac{10 \times 0.41}{\ln(10/0.03)} = \frac{10 \times 0.41}{5.81} = 0.71$ m/s

Als $h = 300$ m, dan is het geldigheidsgebied $0.6 \text{ m} < z < 60 \text{ m}$.

Tussen een hoogte van 0.6 m en 60 m kunnen we nu het logaritmisch windprofiel schetsen. We schrijven eerst (1) even anders:

$$z = z_0 e^{\frac{k}{U_*} U_z} \quad (z \text{ als functie van } U_z \text{ uitzetten}) \quad (4)$$

z_0 , k en U_* uit het voorbeeld gesubstitueerd in (4) levert:

$$z = 0.03 e^{0.58 U_z} \rightarrow \ln z = 0.58 U_z + \ln 0.03 \quad (5)$$

We zien, dat we U_* via (3) kunnen bepalen (binnen het geldigheidsgebied van het logaritmisch windprofiel) uitgaande van de oppervlakte-parameters, dus een gemeten windsnelheid U_z op hoogte z (bijvoorbeeld 10 m) en een geschatte of gemeten ruwheidslengte z_0 van het terrein ter plaatse van de windmeter.

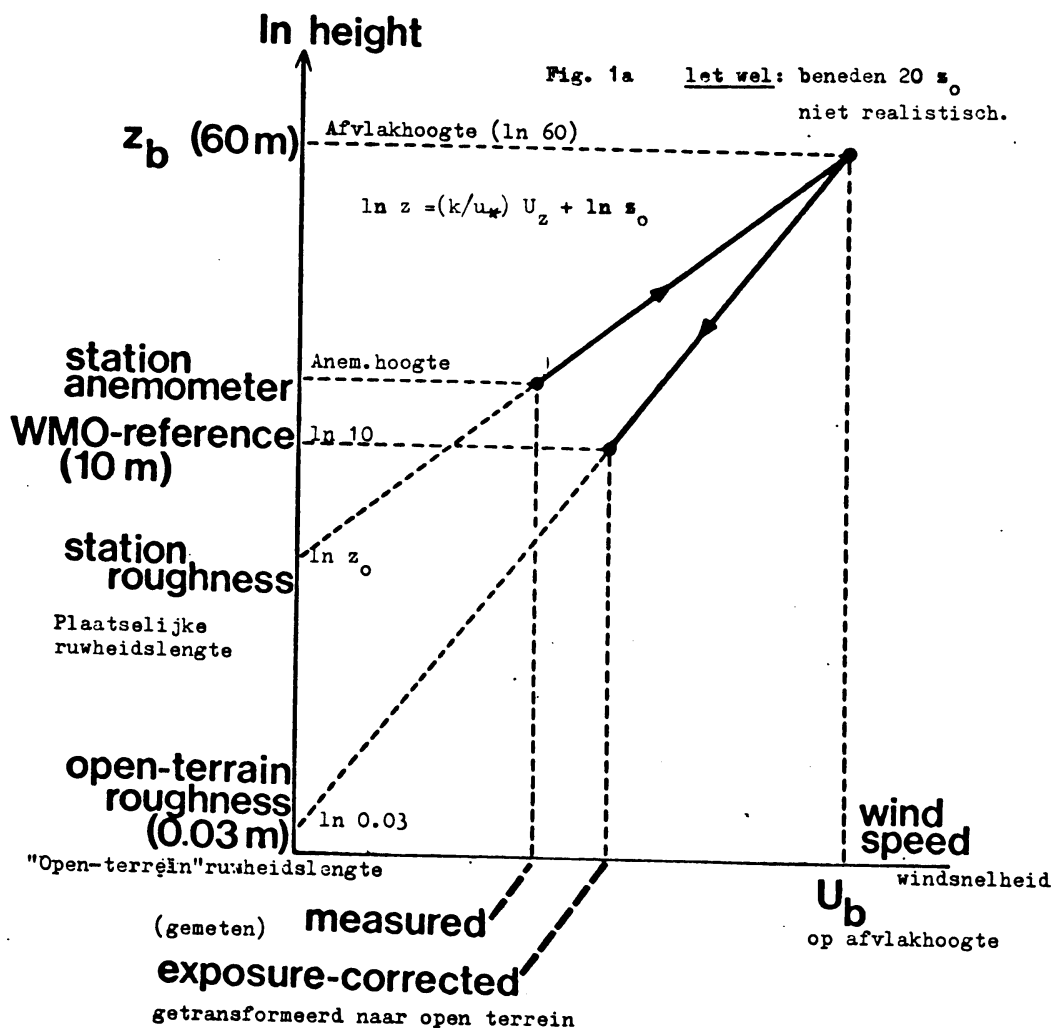
6. Wat is de ruwheidslengte z_0 ?

Een definitie voor de ruwheidslengte z_0 zou het best bruikbaar zijn als deze gebaseerd kon worden op een beschrijving van de onregelmatigheid van het aardoppervlak, maar dat is slechts ruwweg uitvoerbaar.

Voor de praktijk is het beter z_0 te definiëren als een oppervlakte-gebonden grootte, die volgens (1) de verhouding tussen windsnelheid en wrijvingssnelheid bepaalt in het geldigheidsgebied ($20 z_0 < z < 0.2 h$) van het logaritmisch windprofiel boven dat oppervlak.

$$z_0 \equiv z e^{-\frac{U_z}{U_*} \cdot k} \quad (6)$$

De ruwheidslengte z_0 is, wiskundig-theoretisch gezien, de hoogte waar bij neerwaartse extrapolatie van het logaritmisch windprofiel de windsnelheid nul zou zijn als daar de profielformule (1) nog gold (zie figuur 1a).



Wieringa heeft ruwheden voor Nederland uitgewerkt en het resultaat daarvan staat hieronder (zie tabel 1). Zie tevens Oemraw, Bijlagen Stations-beschrijvings-TR's.

Tabel 1

Klassificering van terreinruwheid voor windschattingen (ref.: Wieringa, Bull. Am. Meteor. Soc., 61 (1981), 962-971).

Klasse	Terreinomschrijving	
1	Open zee of meer, vrije strijklengte minstens 5 km ("zee").	$z_0 \sim 0.0002$ m
2	Wad of sneeuwvlakte, geen begroeiing of obstakels ("glad").	$z_0 \sim 0.005$ m
3	Weideland of braakliggend bouwland met vrijwel geen bomen of boerderijen; startbanen van vliegvelden ("open").	$z_0 \sim 0.03$ m
4	Bouwland met laag gewas, weinig verspreide obstakels op vrij grote onderlinge afstand (> 20 x hoogte) ("ruwweg open").	$z_0 \sim 0.10$ m
5	Cultuurland met verspreide obstakels (bomenrijen, huizen), heggen, hoge gewassen (bijv. mais) ("ruw").	$z_0 \sim 0.25$ m
6	Parkland met veel obstakels en weinig open ruimte (~ 10 x obstakelhoogte), boomgaardjes, struikgewas ("zeer ruw").	$z_0 \sim 0.5$ m
7	Bos, laagbouw, met regelmatige vrij dichte bedekking van obstakels (tussenruimten ~ obstakelhoogte) ("gesloten").	$z_0 \sim 1.0$ m
8	Stad met hoogbouw (windschatting NIET toepasbaar ("stadskern")).	$z_0 \geq 2$ m

Bij klasse 7 moet men rekenen vanaf $\sim 2/3$ x de gemiddelde obstakelhoogte. Boven een bos met bomen van ~ 10 m hoogte is het nul-niveau opgetild tot ca. 7 m hoogte. Stel dat men de potentiële wind (U_p) op 30 m hoogte wil berekenen t.o.v. het grondniveau boven een bos van ~ 10 m hoogte. Dan moet men U_p berekenen voor een hoogte van 37 m. Deze berekende U_p op 37 m hoogte is dan vergelijkbaar met een U_p op 30 m hoogte, indien dat bos daar niet aanwezig zou zijn geweest. (Zie formule (16), en stationsbeschrijving-TR's Oemraw). Soms is er geen goede schatting van de wind beneden een bepaalde hoogte te maken,

omdat vlak boven de aanwezige ruweheidselementen de windsnelheid te zeer plaatsafhankelijk is. Windschatting is evenmin mogelijk boven een stad met hoogbouw (klasse 8).

z_0 karakteriseert een terrein, dat obstakels kan bevatten. Obstakels hebben vaak afmetingen (hoogte, lengte en breedte). Obstakels kunnen op een bepaald terrein in aantallen variëren. Het is dus interessant de verdeling (dichtheid) van de obstakels te kennen. Is de verdeling over een bepaald oppervlak homogeen of inhomogeen is dus een zinnige vraag. Informatie over obstakels en de windmeter op een bepaald terrein kunnen we geven door middel van de verhouding x/H (zie fig. 2).

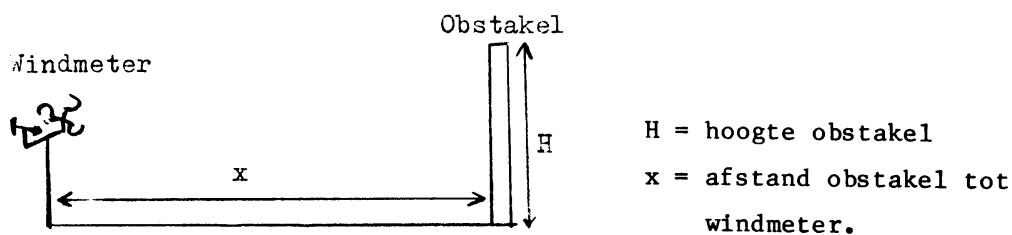


Fig.2

x/H alleen geeft onvoldoende informatie, omdat o.a. de dichtheid van de obstakels er niet in zit. In de praktijk is een typische zoglengte tot ongeveer $15 H$. Bij $x/H > 20$ hebben we een duidelijk zogvrij terrein.

Een vuistregel waarmee obstakels omgerekend kunnen worden in een z_0 -waarde ziet er als volgt uit:

$$z_0 \sim 0.5 H \times b \quad (7)$$

waarin $H =$ hoogte van het obstakel

$b =$ bedekkingsfractie.

Voorbeeld

Stel dat $H = 8$ m en $b = 4\%$. Vraag: Bereken z_0 met de vuistregel (7).

Antwoord: $z_0 \sim 0.5 \times 8 \times 0.04 = 0.16$ m.

7. Hoe ziet het windveld nabij een obstakel eruit?

Beschouw fig. 3.

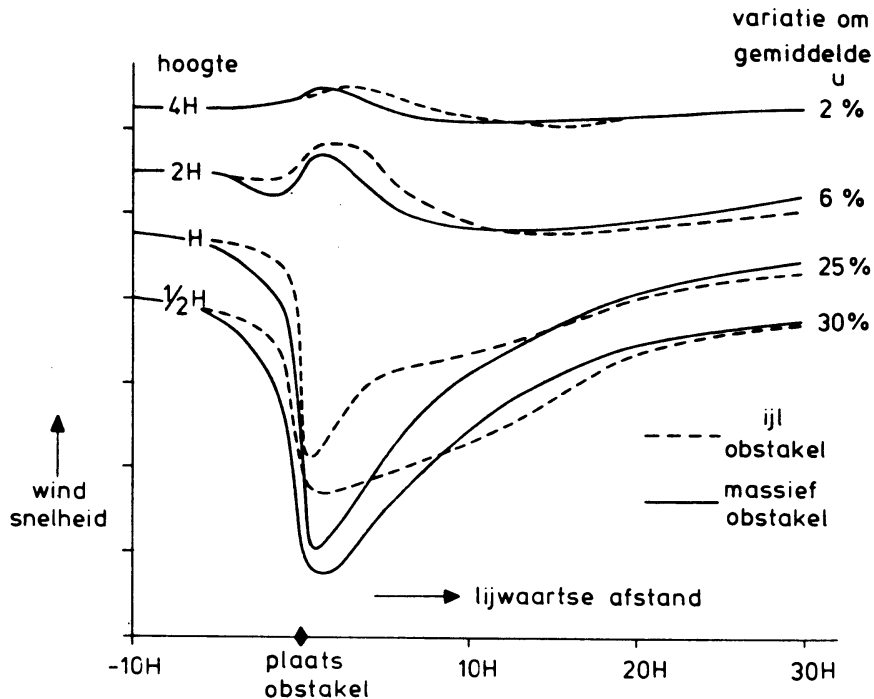


Fig. 3. Verloop van de windsnelheid op verschillende hoogten achter half-open (- - -) en gesloten (—) windschermen met hoogte H . (WMO, 1964).

Het effect van obstakels op het windveld nabij de grond valt af te leiden uit Fig. 3. Het blijkt bijvoorbeeld, dat een bomenrij met hoogte H een afremming veroorzaakt, die op een benedenwindse afstand van $15 H$ tot $20 H$ goeddeels weer teniet is gedaan. Ook blijkt dat voor $z > 2 H$ het obstakeffect sterk is afgevlakt; men mag dus verwachten dat boven een landschap met verspreide bomen en huizen de directe zog-effecten van individuele obstakels moeilijk herkenbaar zijn boven een hoogte $z_b \sim 60 \text{ m}$.

Deze hoogte z_b is dus zeer geschikt als referentiehoogte voor de wind in de oppervlaktelaag, te meer omdat z_b anderzijds nog laag genoeg is om bij harde wind ($U > 6 \text{ m/s}$, neutrale stabiliteit) in het geldigheidsgebied van het logaritmisches windprofiel te liggen ($z_b < 0.2 H$).

8. Beschuttingscorrectie wind

Voor praktische analyses kunnen we de logaritmische windprofiel-formule (1) beter als een verhoudingsformule schrijven:

$$U_{z_2}/U_{z_1} = \ln(z_2/z_0) / \ln(z_1/z_0) \quad (8)$$

Bij harde wind ($U > 6$ m/s) behoeven we dus op een bepaalde plaats alleen de bovenwindse terreinruwheid z_0 te kennen, om uit de stationswindmeting op hoogte z_1 de wind ter plaatse op een andere hoogte z_2 te schatten. Hierbij is $20 z_0 < z < 60$ m.

Stel nu dat we de windsnelheid U_r op een bepaalde referentiehoogte z_r willen schatten, indien in de omgeving de ruwheid z_{or} was in plaats van de nu geobserveerde ruwheid z_{os} .

Voor een uitgangshoogte (stationsmeethoogte) z_s wordt de transformatie (zie tevens hoofdstuk 8.1):

$$U_r = U_s \frac{\ln(z_b/z_{os})}{\ln(z_s/z_{os})} \cdot \frac{\ln(z_r/z_{or})}{\ln(z_b/z_{or})} \quad (9)$$

We zien dus dat m.b.v. (9) ook metingen op sterk beschutte stations gecorrigeerd kunnen worden naar open terrein (Wieringa 1976, 1980b). Voor toepassing van (9) zijn programma's beschikbaar voor TI- en HP-calculators (Wieringa, 1984). De benodigde z_0 -waarden kunnen worden geschat via tabel 1. In paragraaf 10 zal blijken, dat z_0 ook kan worden bepaald uit routinematige stationswaarnemingen van de maximum windvlaag.

8.1 Afleiding logaritmische windtransformatie-formule (9):

Stel, dat de wind op 60 m hoogte over redelijk groot gebied (bijv. ca. 10×10 km) geen invloed ondervindt van het daaronder liggend terrein. Het logaritmische windprofielformule voor 60 m hoogte (z_b) wordt dan:

$$U_{60} = \frac{U_*}{k} \ln(60/z_{os}) \quad (10)$$

Op stationshoogte z_s geldt op dat zelfde terrein:

$$U_s = \frac{U_*}{k} \ln(z_s/z_{os}) \quad (11)$$

De formules (10) en (11) in de vorm van de verhoudingsformule opgeschreven wordt:

$$U_{60}/U_s = \ln(60/z_{os})/\ln(z_s/z_{os})$$

of wel: $U_{60} = U_s [\ln(60/z_{os})/\ln(z_s/z_{os})]$ (12)

De verhoudingsformule voor een referentie hoogte (z_r) gecombineerd met de wind op 60 m hoogte (z_b) wordt:

$$U_r/U_{60} = \ln(z_r/z_{or})/\ln(60/z_{or})$$

of wel: $U_r = U_{60} [\ln(z_r/z_{or})/\ln(60/z_{or})]$ (13)

Substitutie van (12) in (13) levert:

$$U_r = U_s \frac{\ln(60/z_{os})}{\ln(z_s/z_{os})} \cdot \frac{\ln(z_r/z_{or})}{\ln(60/z_{or})}$$

Als nu in deze laatste formule voor $60 = z_b$ wordt ingevuld, dan hebben we formule (9) terug.

De WMO-eis ten aanzien van de windmeting luidt in het kort: De windmeting dient betrekking te hebben op de referentiehoogte van 10 m boven open terrein. Dat betekent dus : $z_r = 10$ m en $z_{or} = 0.03$ m. De beschuttingscorrectiefactor F voor een gegeven richtingssector (θ) is gedefinieerd als de faktor, waarmee de gemeten stationswindsnelheid U_s moet worden vermenigvuldigd om de windsnelheid te verkrijgen, die zou zijn gemeten als het station voldeed aan de WMO-eisen. In formule :

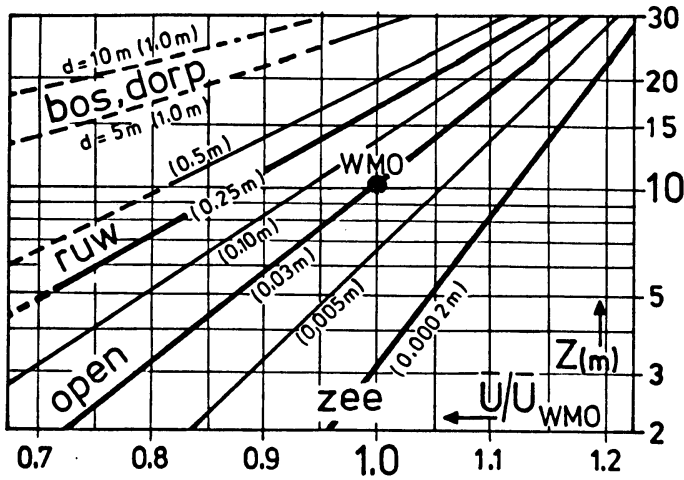
$$F(\theta) \equiv \frac{U_{WMO}}{U_{station}} = \frac{U_{10}(z_o = 0.03 \text{ m})}{U_s} \quad (14)$$

Invullen van het bovenstaande in (9) levert:

$$F(\theta) = \frac{U_{10}}{U_s} = \frac{\ln(60/z_{os})}{(z_s/z_{os})} \cdot \frac{\ln(10/0.03)}{\ln(60/0.03)}$$

$$F(\theta) = 0.764 \ln(60/z_{os}) \cdot \frac{1}{\ln(z_s/z_{os})} \quad (15)$$

In nomogram fig. 4 is de modelformule (9) hanteerbaar gemaakt.



Figuur 4. Nomogram voor transformatie van de windsnelheid boven open terrein met $z_0 = 0.03$ m ("WMO", ook wel genaamd potentiële windsnelheid) naar de windsnelheid op hoogte z boven naburig terrein met gegeven bovenwindse ruwheid (z_0 -waarden zijn tussen haakjes aangeduid). Links

bovenaan duiden onderbroken lijnen op onzekerheid inzake de toepasbaarheid van model-formule (9), omdat op hoogten beneden $z \sim 20 z_0$ men te dicht bij de aktuele obstakels komt, waardoor de ruimtelijke windvariabiliteit erg groot wordt. Voor $z_0 > 0.5$ m is bovendien de typische obstakeldichtheid zo groot, dat men de hoogte moet rekenen ten opzichte van een "displacement height" $d \approx 0.7 \times$ typische obstakelhoogte, dus $(z-d)$ moet substitueren voor z in de formule (1) (Wieringa, 1980b).

De "displacement height" formule ziet er als volgt uit:

$$U_z = \frac{U_*}{k} \ln \left(\frac{z-d}{z_0} \right) \quad (16)$$

9. "Machtwet" en benadering machtwetsexponent p.

De profielformule (17), gewoonlijk genaamd "machtwet", is een simpele algemeen-wiskundige benadering van een kromme lijn met behulp van een machtfunctie (Wieringa en Rijkoort, 1983).

De "Machtwet" formule bevat slechts de hoogte. Bij bekendheid van de windsnelheid U_1 op hoogte z_1 volgt de wind op hoogte z_2 uit:

$$U_{z_2} = U_{z_1} \left(\frac{z_2}{z_1} \right)^p \quad (17)$$

De exponent p kan uit z_0 worden afgeleid, als volgt:

$$(U_{z_2}/U_{z_1}) = \ln(z_2/z_0) / \ln(z_1/z_0) \quad (\text{zie 8}) \quad (18)$$

$$(U_{z_2}/U_{z_1}) = (z_2/z_1)^p \quad (\text{zie 17}) \quad (19)$$

Uit (18) en (19) volgt:

$$(z_2/z_1)^p = \ln(z_2/z_0) / \ln(z_1/z_0) \quad (20)$$

$$p \ln(z_2/z_1) = \ln(\ln(z_2/z_0)) - \ln(\ln(z_1/z_0))$$

$$p = \frac{\ln(\ln z_2 - \ln z_0) - \ln(\ln z_1 - \ln z_0)}{\ln z_2 - \ln z_1} \quad (21)$$

Bij benadering geldt:

$$\ln z_2 - \ln z_1 = \frac{z_2 - z_1}{\bar{z}}$$

$$\text{met } \bar{z} = \frac{z_2 + z_1}{2}$$

$$\text{Dus: } \ln z_2 - \ln z_1 \approx \frac{2(z_2 - z_1)}{z_2 + z_1} \quad (22)$$

$$\text{Stel } z_2 = \ln z_2 - \ln z_0$$

$$z_1 = \ln z_1 - \ln z_0$$

$$y_2 =$$

$$y_1 =$$

Uit (21) en (22) volgt nu:

$$p \approx \frac{\ln z_2 - \ln z_1}{\ln z_2 - \ln z_1} = 1$$

$$\frac{\ln y_2 - \ln y_1}{\ln z_2 - \ln z_1} = \frac{2(y_2 - y_1)}{y_2 + y_1}$$

$$p \approx \frac{2\{(\ln z_2 - \ln z_0) - (\ln z_1 - \ln z_0)\} / \ln z_2 - \ln z_0 + \ln z_1 - \ln z_0}{\ln z_2 - \ln z_1}$$

$$p \approx \frac{2(\ln z_2 - \ln z_1) / (\ln z_2 + \ln z_1 - 2 \ln z_0)}{\ln z_2 - \ln z_1}$$

$$p \approx 2 / (\ln(z_2 z_1) - 2 \ln z_0) \approx 1 / \ln (z_2 z_1)^{\frac{1}{2}} - \ln z_0$$

$$\text{Dus } p \approx \frac{1}{\ln \left(\frac{\sqrt{z_2 z_1}}{z_0} \right)}$$

of

$$\frac{1}{p} \approx \ln \left(\frac{\sqrt{z_2 z_1}}{z_0} \right) \quad (23)$$

zie Wieringa en Rijkoort (1983) op blz. 54, en ook Klug (1963).

Voor praktijkgevallen, met $\sqrt{z_2 z_1}$ tussen 2 en 15 m hoogte, benadert (23) de volledige formule (21) tot op 1%.

Voor het geval, dat men beschikt over waarden van p , z_1 en z_2 , kan men hieruit z_0 berekenen met een omkering van (21), nl.:

$$\ln z_0 = \frac{(\ln z_1) (z_2/z_1)^p - \ln z_2}{(z_2/z_1)^p - 1} \quad (24)$$

10. Maximale mogelijke windstoot

Stel dat men ook informatie wil hebben over de maximale mogelijke windstoot. We introduceren nu het begrip vlaaggolflengte U_t , waarbij U de gemiddelde windsnelheid is en t de vlagduur.

$$U_t = \frac{m}{s} \cdot s = \text{vlaaggolflengte (in meters).}$$

Het is bekend dat kortdurende windstoten sterker kunnen zijn dan langdurende vlagen. Verder is nog bekend, dat gebouwen en kleinere constructies met gemiddelde horizontale afmeting X in hun geheel slechts duidelijk worden beïnvloed door windstoten met $U_t > 5 X$.

Waargenomen vlagen zijn toevalsgebeurtenissen en hebben zeer weinig verwachtingswaarde, zelfs voor de onmiddellijke omgeving. Het is beter te vragen naar de statistisch meest waarschijnlijke maximumvraag u_{mx} , dimensieloos gemaakt door combinatie met de gemiddelde wind op dezelfde hoogte tot een vlaagfactor $G \equiv u_{mx}/U$. De mediaanwaarde $\langle G \rangle$ van deze vlaagfactor (met 50% overschrijdingskans) blijkt om verschillende

redenen een bruikbaarere rekengrootheid te zijn dan het rekenkundig gemiddelde (Spiegel, 1961; Wieringa, 1977b) en kan statistisch worden gekoppeld aan de wind-standaard-deviatie σ_u . Aangezien experimenteel gebleken is dat in de oppervlakte-laag de dimensieloze standaarddeviatie σ_u/u_* de waarde 2.5 ± 0.2 heeft over een groot stabiliteitsgebied, volgt hieruit met behulp van (1) uiteindelijk (Wieringa, 1973):

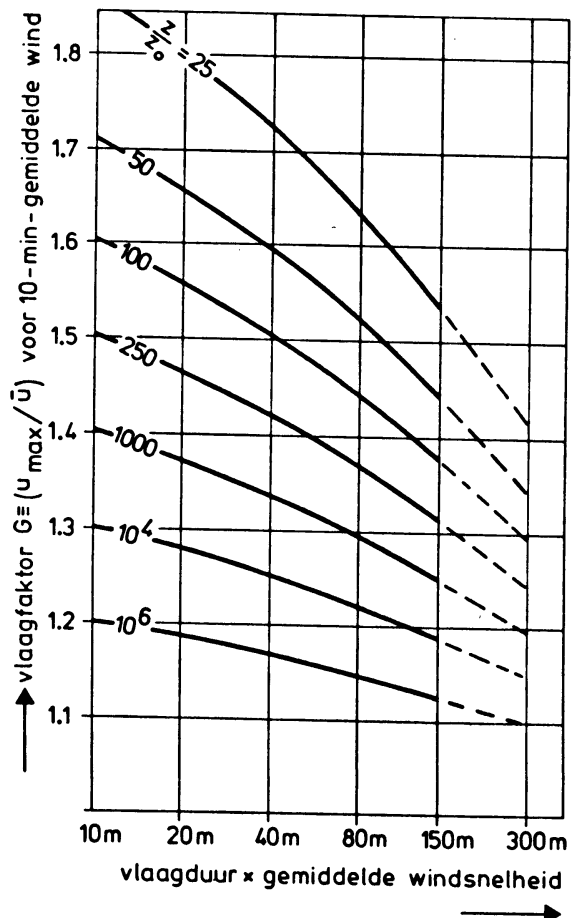
$$\frac{\langle G \rangle}{f_T} = 1 + \frac{1.42 + 0.301 \ln [(10^3/Ut)-4]}{\ln (z/z_0)} \quad (25)$$

waarbij de faktor f_T voor 10-minuten-middelingsperioden 1.0 bedraagt en voor uurgemiddelden de waarde 1.1 heeft. Indien de gemiddelde windsnelheid bepaald wordt, waarbij de middeltijd T ligt tussen 10 en 60 minuten ($10 < T < 60$ minuten), dan kan f_T berekend worden met de volgende formule:

$$f_T = 0.002 T + 0.98 \quad (26)$$

De model-formule (25) is grafisch uitgezet in Figuur 5.

Figuur 5. Mediaanwaarde van de verwachte vlagfaktor G bij krachtige wind als functie van meethoogte z (< 60 m), ruwheids-lengte z_0 van het bovenwindse terrein, en vlaggolflengte Ut (voor typische stationswind meting is $Ut \sim 80$ tot 100 m). Het nomogram is berekend voor 10-minuten middelingsperioden; de vlagfactoren ten opzichte van uurgemiddelden zijn $\sim 10\%$ groter. (Wieringa, 1973).



De experimentele dimensieloze standaarddeviatie in de oppervlaktelaag is dus:

$$\frac{\sigma_u}{u_*} = 2.5 \rightarrow \sigma_u = 2.5 u_*$$

Uit (1) volgt: $\frac{U}{u_*} = \frac{1}{0.4} \ln(z/z_0) \rightarrow u_* = 0.4 U \frac{1}{\ln(z/z_0)}$

$$\frac{U}{\ln(z/z_0)} = 2.5 u_* = \sigma_u$$

$$\frac{\sigma_u}{U} = \frac{1}{\ln(z/z_0)} \quad (27)$$

$$\sigma_u = 2.5 u_* = 2.5 \times 0.4 U \frac{1}{\ln(z/z_0)}$$

Op een station wordt U gemeten op hoogte z. Als nu de bovenwindse ruwheid z_0 bekend is, dan kan men σ_u afschatten.

$$G \equiv \frac{u_{\max}(\lambda)}{U_T} \sim \frac{\sigma_u}{U} = f(U, z, z_0)$$

Men kan ook de omkering van (9) benutten voor de bepaling van z_0 op een gegeven plaats bij een gegeven windrichting, wanneer daar tenminste een windmeetopstelling is, die de bepaling van vlaagfactoren mogelijk maakt (Wieringa, 1977a, 1983). Per richtingssektor (θ) van $\sim 30^\circ$ behoeft men minstens 12 tot 20 middelperioden met krachtige wind voor een enigszins bruikbare bepaling van de mediane vlaagfactor $\langle G(\theta) \rangle$. De relevante vlaaggolfenlengte U_t kan worden bepaald uit de responsie-eigenschappen van de plaatselijke windmeetapparatuur.

De omkering van (9) en een andere schrijfwijze daarvan geeft:

$$\frac{\langle G(\theta) \rangle}{f_T} - 1 = \frac{1.42 + 0.301 \ln[(10^3/U_t) - 4]}{\ln(z/z_0)} \equiv E_{U_t} \cdot \frac{\sigma_u}{U} \quad (28)$$

$$\frac{\sigma_u}{U} = \frac{1}{\ln(z/z_0)} \quad (\text{zie 27})$$

met definitie

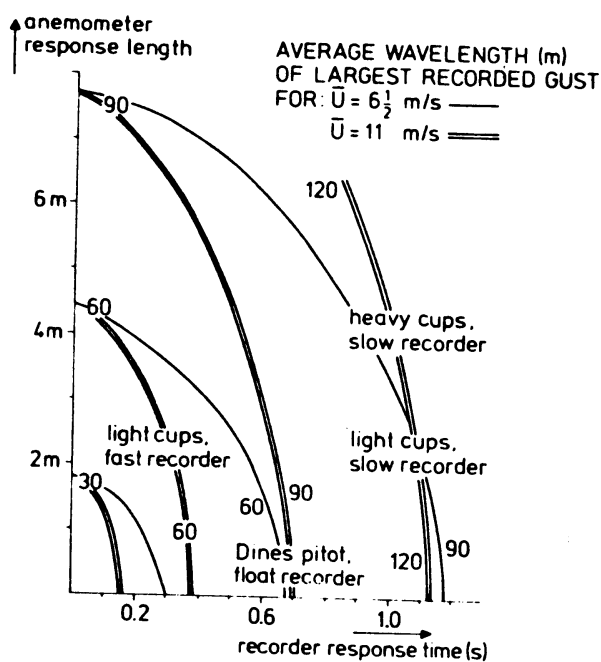
$$E_{U_t} = 1.42 + 0.301 \ln[(10^3/U_t) - 4] \equiv \text{Excentriciteit} \quad (29)$$

$$\frac{\langle G(\theta) \rangle}{f_T} - 1 = (E_{U_t}) \frac{1}{\ln(z/z_0)} \quad (30)$$

f_T is 1.00 resp. 1.10 voor $T = 10$ min. resp. 60 min (zie (26)).
De gemiddelde vlagduur t van de geregistreeerde maximum vlag u_{\max} ligt in het algemeen tussen 6 en 12 s.

Uit de registraties van de recorders kan een meest waarschijnlijk Ut -waarde worden geschat voor de maximale opgetekende windvlaagpiek (Wieringa, 1976). Daarvoor is het wel noodzakelijk van de recorder de responsiesnelheid t_{RC} te kennen, gespecificeerd als de RC-tijd behorende bij een sinusoidale trilling met dubbele amplitude $< 30\%$ van de strookbreedte. De responsielengte λ van de gebruikte anemometer moet eveneens bekend zijn. De bepaling van λ en van t_{RC} komt ter sprake in paragraaf 12. Op de traditionele KNMI-windstations staan anemometers met $2 \text{ m} < \lambda < 4 \text{ m}$ en recorders (Metrawatt of Nieaf) met $t_{RC} = 0.8 \text{ s}$.

Nevenstaande grafiek, figuur 6 (zie Wieringa, 1980b) geeft aan wat de mediaanwaarde is van de golflengte Ut der maximale geregistreeerde windvlagen, indien de responsielengte λ van de anemometer en de recorder-responsietijd t_{RC} (voor $\sim 1/3$ van de schrijfbreedte) bekend zijn. (Voor de bepalingmethode van deze vlaggolflengte zie paragraaf 12). Het blijkt dat Ut bij trage recorders windsnelheidsafhankelijk is.



Vanwege de traagheid van de anemometer-recorder-kombinatie zullen de vlagen worden verzwakt, des te meer naarmate ze korter zijn (Gill, 1967). Voor een sinusvormige maximum-vlaag met vlaggolflengte Ut wordt de verzwakkingsfactor A gegeven door :

$$A \equiv \frac{\text{gemeten vlag}}{\text{werkelijke vlag}} = \left(1 + \left(\frac{2\pi U t_{RC}}{Ut} \right)^2 \right)^{-0.5} \left(1 + \left(\frac{2\pi \lambda}{Ut} \right)^2 \right)^{-0.5} \quad (31)$$

De verzwakkingscorrectie voor de (mediane) gemeten vlaagfactor $\langle G(\theta) \rangle$ en de werkelijke in de wind opgetreden vlaagfactor $\langle G_o(\theta) \rangle$ volgt dan uit :

$$\langle G_o(\theta) \rangle - 1 = (\langle G(\theta) \rangle - 1) / A \quad (32)$$

Tot nu toe hebben we steeds aangenomen dat we de werkelijke vlaagfactor kenden — bijvoorbeeld, in (25) zouden we eigenlijk G_o in plaats van G hebben moeten noteren. Van nu af zullen we werken met gemeten G's.

Herschrijf dus (30):

$$\frac{1}{\ln(z/z_o)} = \frac{\langle G(\theta) \rangle}{f_T E_{Ut}} - \frac{1}{E_{Ut}} \quad (33)$$

Substitutie van (32) in (33) geeft:

$$\frac{1}{\ln(z/z_o)} = \frac{[\frac{\langle G(\theta) \rangle}{A} - 1] + 1}{f_T E_{Ut}} - \frac{1}{E_{Ut}} \quad (34)$$

We kunnen (34) nu op verschillende manieren verder uitschrijven. Voor de ruwheidslengte op het station (z_{os}) geldt:

$$(a) \quad \frac{1}{\ln(z_s/z_{os})} = \frac{[\frac{\langle G(\theta) \rangle}{A} - 1] + 1 - f_T}{f_T E_{Ut}} \quad (35)$$

$$\text{Stel:} \quad \frac{[\frac{\langle G(\theta) \rangle}{A} - 1] + 1 - f_T}{f_T E_{Ut}} = x$$

$$\frac{1}{\ln(z_s/z_{os})} = x$$

$$\ln z_{os} = -\frac{1}{x} + \ln z_s$$

$$z_{os} = e^{(-\frac{1}{x} + \ln z_s)} = e^{-\frac{1}{x}} \cdot e^{\ln z_s} = z_s \cdot e^{-\frac{1}{x}} \quad (36)$$

We hebben nu in (34) een betrekking afgeleid, waarmee we met een objectieve methode de bovenwindse ruwheid als functie van (θ) (ca. 30° breed) op het station kunnen berekenen (z_{os}). Hierbij is gebruik gemaakt van de mediane vlaagfactoren $\langle G(\theta) \rangle$, de instrumentatie (λ , t_{RC}), de meethoogte (z_s), de vlaaggolflengte (U_t) en de gemeten wind (U).

(b) Gaan we wederom uit van (34):

$$\frac{1}{\ln(z_s/z_{os})} = \frac{(\langle G(\theta) \rangle - 1 + A - f_T A)}{(A f_T E_{Ut})} \quad (37)$$

$$\ln(z_s/z_{os}) = \frac{(A f_T E_{Ut})}{(\langle G(\theta) \rangle - 1 + A - f_T A)}$$

$$z_s/z_{os} = \text{Exp} \frac{(A f_T E_{Ut})}{\langle G(\theta) \rangle - 1 + A - f_T A}$$

$$z_{os} = z_s \text{Exp} \left(- \frac{(A f_T E_{Ut})}{\langle G(\theta) \rangle - 1 + A - f_T A} \right) \quad (38)$$

Er zijn misschien nog andere uitschrijfmethode om tot een berekende z_{os} te komen (probeer zelf). Als we nu (15) combineren met (36) dan krijgen we de volgende relatie voor de beschuttingscorrectiefactor $F(\theta)$, geldig voor de open-terrein-wind op 10 m hoogte, de potentiële wind $U_{WMO} \equiv U_p$:

$$F(\theta) = 0.764 \times (\ln 60 - \ln z_{os}) \times \frac{1}{\ln(z_s/z_{os})} \quad (39)$$

In het programma voor de programmeerbare Texas Instruments 59 rekenmachine (T.I. 59), dat verderop in de bijlage staat, wordt de F met behulp van (39) en z_{os} met behulp van (35) en (36) uitgerekend. De formules (26) en (29) zijn tevens in het programma verwerkt. De potentiële windsnelheid (U_p) is de windsnelheid op 10 m hoogte boven open terrein ($z_0 = 0.03$ m) en kan dus nu berekend worden.

Potentiële windsnelheid = gemeten windsnelheid \times beschuttingscorrectiefactor.

In formule $U_p = U_s \times F(\theta)$, ofwel

$$U_p = U_s (0.764 \ln(60/z_{os}) / \ln(z_s/z_{os})) \quad (40)$$

Formule (39) kan als volgt nader worden uitgewerkt tot een rekenversie:

$$\frac{F(\theta)}{0.764} = \frac{\ln 60 - \ln z_{os} + \ln z_s - \ln z_s}{\ln z_s - \ln z_{os}} = \frac{\ln(60/z_s)}{\ln(z_s/z_{os})} + 1$$

Substitueer hierin (37):

$$\begin{aligned} \frac{F(\theta)}{0.764} &= \frac{\langle G(\theta) \rangle - 1 + A - f_T A \ln(60/z_s)}{A f_T E_{Ut}} + 1 \\ &= \frac{\ln(60/z_s)}{A f_T E_{Ut}} \langle G(\theta) \rangle + \frac{\ln(60/z_s) (A - A f_T - 1)}{A f_T E_{Ut}} + 1 \end{aligned}$$

Noteer nu: $a \equiv 0.764 / (A f_T E_{Ut})$
 $b \equiv a (A - A f_T - 1)$

Dan resulteert:

$$F(\theta) = a \ln(60/z_s) \langle G(\theta) \rangle + b \ln(60/z_s) + 0.764 \quad (41)$$

Het voordeel van deze ontwikkelde formulering is, dat de instrumentenfactoren (a en b) en de meethoogte z_s gesplitst voorkomen in een formule, die lineair is in de gemeten vlaagfaktor. Dit vereenvoudigt praktijkberekeningen sterk.

Met dezelfde notatie is (38) herschrijfbaar tot:

$$z_{os} = z_s \exp\left(-\frac{0.764}{a \langle G(\theta) \rangle + b}\right) \quad (42)$$

11. Vergelijking berekende ruwheid met terrein.

Er is een duidelijk verschil tussen de windsnelheid in werkelijk open terrein en de windsnelheid in "gewoon" terrein met begroeiing en obstakels. Per definitie is voor werkelijk open terrein $z_0 = 0.03$ m; in de classificatie is dit klasse 3, "weideland of braakliggend bouwland met vrijwel geen bomen of boerderijen; startbanen van vliegvelden" (zie tabel 1, blz. 9). Hoe we de ruwheid kunnen bepalen zagen we reeds in paragraaf 10. De relatie tussen de ruwheid z_0 en de beschuttingscorrectiefactor $F(\theta)$ wordt gegeven in de formules (39) en (41); in de stationswaarde van $F(\theta)$ is naast ruwheid ook de meethoogte verwerkt.

Stel nu dat we uit de beschikbare gegevens van een windstation z_0 en $F(\theta)$ al hebben berekend uit gemeten vlagfactoren. Zoals gewoonlijk bij correcte toepassing van formules hebben de z_0 en $F(\theta)$ formules getallen opgeleverd. Nu is het zaak deze getallen op zinnigheid te controleren. Deze controle kunnen we uitvoeren als we de beschikking hebben over een goede beschrijving inclusief foto's, tekeningen, schetsen etc. van de omgeving van het terrein, waarop de windmast staat/ stond.

Als voorbeeld van een dergelijke controle wordt aan dit diktaat toegevoegd de beschuttings-analyse van het station Twente (nr.290).

Op Nederlandse stations wordt sinds 1 januari 1971 routinematig de maximale vlag van het afgelopen uur afgelezen uit de registratie, en opgenomen in het magneetband-bestand van stationsgegevens. Dit betekent dat zonder meer een computer-analyse van vlagfactoren mogelijk is.

Voor een dergelijke berekening van beschuttingscorrectiefactoren en ruwheden uit de beschikbare vlagen en gemiddelden op de Burroughs is het WKSCHUFAKT1 programma ontwikkeld door de heren G.J. Yperlaan (KD) en J.M. Koopstra (AIV). In sommige rapporten wordt het daarom wel aangeduid als YPEG-KOOJ. Wegens tijdgebrek is het programma in gebruik genomen zodra het althans betrouwbaar was, waarbij voor verdere optimalisering dus nog mogelijkheden bestaan. Een list van de symbol-versie van het programma is aan dit diktaat toegevoegd (Bijlage V). Hieronder volgt een kort overzicht van de benodigde invoergegevens.

Het programma WKSCHUFAKT1 vraagt twee soorten vooraf-informatie :

- identifikatie van het station (naam, nummer en geografische N.B.- en O.L.-coördinaten), en begindatum en einddatum van de te analyseren periode (N.B. Neem de periode liefst niet korter dan 1 jaar om voldoende gevallen met oostenwind > 6 m/s te hebben);
- karakteristieken van de windmeetopstelling op het station, te weten de meethoogte z_s (in het programma h genaamd) en de responsieconstanten a en b van anemometer en registratie gezamenlijk (zie blz.22).

De analyse gaat er van uit dat de vlagen en gemiddelden zijn gegeven voor een middelingsperiode van 1 uur. (Onthoud goed, dat we NOOIT de uurlijkse vlag moeten vergelijken met de gemiddelde wind over 10 minuten !). De berekeningen worden verricht over 20-graden richtings-sektoren, waarbij de synoptische windrichting als invoergegeven is

gebruikt. Dit betekent dat de printout-notatie 13-14 (of 130-140) de sektor 125°-144° betreft.

Het programma geeft twee bladen printout. De berekeningen worden steeds afzonderlijk gedaan voor de winter (november t/m april), de zomer (mei t/m oktober) en het gehele jaar. De reden hiervan is, dat eenvoudige (rijen) loofbomen in de zomer een hogere obstakelruwheid geven dan in de winter. Ook sommige gewassen (bijv. graan) doen dit.

Het eerste printout-blad geeft een serie frekwentieverdelingen (in percentiel-vorm) voor mediaanberekening. De expliciete a-, b- en h-waarden worden bovenaan vermeld. Horizontaal staan de richtingssectoren (W.R.) en vertikaal de percentielen : het 50-percentiel is de mediaan. Uit de mediaan wordt de beschuttingsfaktor (B.F.) berekend. Tevens wordt het aantal gebruikte uurperiodes gegeven (N) als aanwijzing voor statistische betrouwbaarheid. De zwakke-wind-grens is in het programma gesteld op een gemiddelde windsnelheid van 5.5 m/s, omdat anders bij korte meetreeksen te weinig uurperiodes met oostelijke wind voorkwamen.

In het tweede printout-blad worden F- en z_0 -bepalingen gegeven. Aan het begin van dit blad wordt onder "response constants" een regel tekst gegeven bij enige veel voorkomende a- en b-waarden:

a = 0.393, b = -0.427: slow cup, slow recorder, hourly maximum gust

a = 0.313, b = -0.341: fast cup, fast recorder, hourly maximum gust

a = 0.329, b = -0.359: fast cup, fast recorder, hourly maximum gust

a = 0.362, b = -0.394: Dines, hourly maximum gust

Bij andere a- en b-waarden wordt op dit blad geen tekst gegeven, maar open regel. (Zie voor nadere informatie over a- en b-waarden tevens de desbetreffende tabellen in paragraaf 12.)

De F-waarden worden ook grafisch uitgezet : W geeft de winterwaarde en S de zomerwaarde. Indien W en S samenvallen, dan wordt Y (year) geprint. Verder wordt met x, + en * aangegeven welke F-waarden overeenkomen met de 16- en 84-percentielen, om een indruk te geven van de spreiding van de meetwaarden. Ook hier worden samenvallende x en + tot * gecombineerd.

Op de twee volgende bladzijden wordt het analyseresultaat gegeven van Twente voor de periode 1976/1977 (a= 0.393, b= -0.427, $z_s = h = 10$).

VLAAGFAKTOREN STATION 290 VAN 19760101 TOT 19771231

A=0.393 B=-0.427 H=10 M

PERCENTIELEN

W.R. 1-2 3-4 5-6 7-8 9-10 11-12 13-14 15-16 17-18 19-20 21-22 23-24 25-26 27-28 29-30 31-32 33-34 35-36

WINTER WINDSMELHEID GELIJK OF GROTER DAN 5.5

5	1.393	1.409	1.400	1.547	1.447	1.416	1.387	1.333	1.270	1.356	1.501	1.553	1.510	1.465	1.402	1.313	1.359	1.272
16	1.546	1.503	1.497	1.578	1.514	1.522	1.499	1.462	1.399	1.453	1.618	1.662	1.636	1.549	1.468	1.437	1.446	1.571
50	1.669	1.645	1.538	1.685	1.662	1.597	1.642	1.573	1.513	1.600	1.777	1.822	1.808	1.704	1.623	1.554	1.665	1.747
84	1.844	1.765	1.810	1.830	1.745	1.826	1.749	1.689	1.673	1.793	1.950	2.011	2.011	1.898	1.813	1.753	1.873	1.922
95	2.056	1.870	1.906	1.909	1.921	1.914	1.912	1.815	1.828	1.951	2.140	2.158	2.217	2.022	2.074	1.929	2.007	2.088

B.F.	1.174	1.157	1.152	1.185	1.170	1.124	1.156	1.107	1.068	1.126	1.250	1.282	1.272	1.199	1.140	1.093	1.171	1.229
------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

N	19	46	96	72	49	14	15	39	122	289	250	335	164	222	195	116	32	18
---	----	----	----	----	----	----	----	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	----	----

ZOMER WINDSMELHEID GELIJK OF GROTER DAN 5.5

5	1.636	1.440	1.490	1.433	1.516	1.492	1.641	1.385	1.400	1.362	1.486	1.499	1.435	1.425	1.397	1.329	1.330	1.492
16	1.640	1.491	1.535	1.520	1.637	1.509	1.654	1.475	1.459	1.437	1.571	1.574	1.529	1.531	1.445	1.424	1.438	1.509
50	1.650	1.530	1.732	1.740	1.702	1.642	1.755	1.579	1.564	1.614	1.730	1.731	1.744	1.729	1.547	1.556	1.577	1.567
84	1.660	1.797	1.869	1.914	1.841	1.911	2.015	1.689	1.692	1.764	1.929	1.921	2.003	1.909	1.691	1.634	1.736	1.739
95	1.663	1.630	2.094	2.009	1.924	1.927	2.022	1.934	1.827	1.927	2.112	2.103	2.081	2.085	1.915	1.913	1.828	1.750

B.F.	1.161	1.076	1.218	1.224	1.195	1.156	1.235	1.106	1.100	1.135	1.217	1.218	1.227	1.216	1.088	1.095	1.110	1.103
------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

N	1	10	54	51	21	5	4	27	84	115	104	68	53	60	67	104	33	10
---	---	----	----	----	----	---	---	----	----	-----	-----	----	----	----	----	-----	----	----

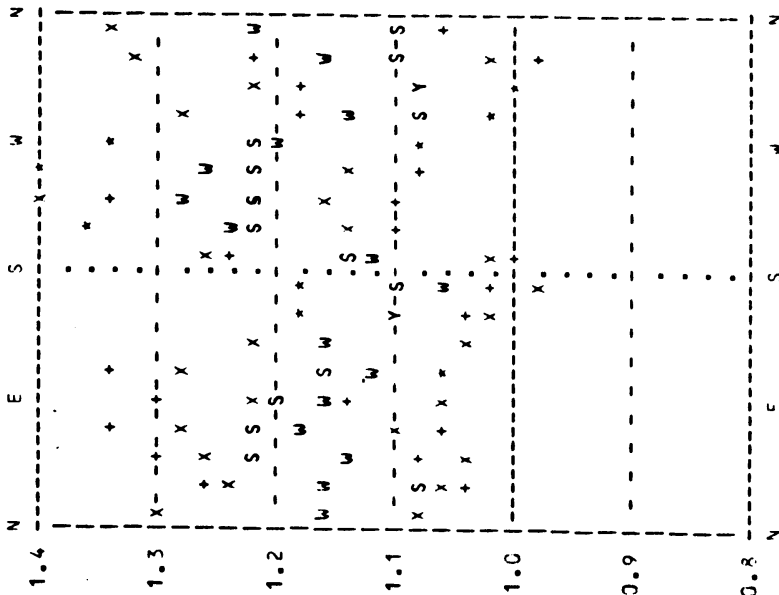
JAAR WINDSMELHEID GELIJK OF GROTER DAN 5.5

5	1.395	1.412	1.412	1.493	1.647	1.423	1.393	1.334	1.336	1.358	1.494	1.537	1.489	1.458	1.400	1.324	1.347	1.489
16	1.543	1.498	1.512	1.568	1.543	1.516	1.505	1.471	1.415	1.449	1.604	1.649	1.595	1.550	1.460	1.432	1.429	1.548
50	1.665	1.635	1.693	1.726	1.667	1.601	1.667	1.573	1.543	1.634	1.755	1.811	1.786	1.709	1.596	1.555	1.596	1.729
84	1.839	1.771	1.835	1.840	1.779	1.829	1.844	1.433	1.654	1.728	1.934	2.007	2.010	1.900	1.785	1.739	1.828	1.891
95	1.935	1.863	1.929	1.931	1.924	1.921	2.011	1.825	1.823	1.934	2.132	2.154	2.207	2.025	2.016	1.922	1.922	2.013

B.F.	1.171	1.150	1.170	1.214	1.175	1.126	1.148	1.106	1.085	1.128	1.235	1.274	1.257	1.202	1.122	1.094	1.122	1.217
------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

N	20	56	150	123	70	19	19	66	206	404	354	404	217	282	262	220	55	28
---	----	----	-----	-----	----	----	----	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	----	----

TWENTHE = STATION 290
01/01/76 31/12/77



RESPONSE PARAMETERS A= 0.393 B=-0.427
FAST CUP, SLOW RECORDER, HOURLY MAXIMUM GUST
MEASURING HEIGHT 10 M.
STATION COORDINATES 52 17 NORTH 06 54 EAST

AZIMUTH	WINTER			SUMMER			YEAR		
	F	Z	O	F	Z	O	F	Z	O
010-020	1.174	.354	19	1.076	.124	1	1.171	.347	20
030-040	1.157	.307	46	1.218	.491	10	1.150	.288	56
050-060	1.152	.294	96	1.224	.510	54	1.170	.342	150
070-080	1.185	.348	72	1.195	.426	51	1.214	.477	123
090-100	1.170	.342	49	1.156	.303	21	1.173	.352	70
110-120	1.124	.222	14	1.23	.545	5	1.125	.229	19
130-140	1.156	.323	15	1.106	.182	4	1.168	.337	19
150-160	1.107	.184	39	1.100	.171	27	1.106	.183	66
170-180	1.068	.110	122	1.135	.250	94	1.085	.141	206
190-200	1.126	.227	289	1.217	.486	115	1.128	.233	404
210-220	1.250	.595	250	1.218	.489	104	1.235	.545	354
230-240	1.282	.710	336	1.227	.519	68	1.274	.682	404
250-260	1.272	.676	164	1.216	.484	53	1.257	.621	217
270-280	1.199	.429	222	1.098	.146	60	1.202	.439	282
290-300	1.140	.261	195	1.095	.159	67	1.122	.219	262
310-320	1.093	.150	115	1.110	.190	104	1.094	.157	220
330-340	1.171	.347	32	1.103	.175	33	1.122	.219	65
350-360	1.225	.528	114			10	1.217	.485	28

X W X WINTER
+ S + SUMMER
* Y * YEAR

Voor dit station is er geen aanleiding om afzonderlijke winter- en zomerwaarden te gebruiken, omdat het in naaldbos ligt. Hieronder wordt het jaar-analyseresultaat vergeleken met het terrein. De berekende F-factoren zijn vrij hoog, omdat écht open terrein hier ontbreekt.

Beschrijving van de omgeving van het terrein kan men vaak vinden in het stationsarchief. Soms is navraag bij het station nodig, bijv. om extra foto's. Voor militaire stations (zoals Twente), waar fotografie niet mag, is een speciaal stationsbezoek steeds nodig, na uitvoering van de voorlopige terrein-analyse. Voor andere stations is dit ook wenselijk; foto's zijn niet altijd even informatief (Van der Hoeven, 1978). Voor de globale terreinsituatie te Twente verwijzen we naar Wieringa en Van der Veer (1976), blz.55.

TWENTE. Periode: 01-01-1976 / 31-12-1977, $z_s = 10$ m

Wind- richting (dekgraden)	Beschuttingskorrektie- faktor (in procenten) F	Karakteristiek van bovenwinds terrein
01,02	117	
03,04	115	aan overkant van rolbaan 8m hoog bos en gebouwen bos 't meest nabij
05,06	117	
07,08	121	
09,10	117	
11,12	115	
13,14	113	
15,16	109	startbaan met in de verte 8m hoog bos
17,18	108	
19,20	113	
21,22	124	
23,24	127	op korte afstand 8m hoog bos
25,26	126	
27,28	120	
29,30	112	
31,32	109	brede brandgang tussen bossen
33,34	112	
35,36	122	op korte afstand 6m hoog bos

We weten uit ervaring, dat de responsie-eigenschappen van de apparatuur op dergelijke militaire stations vrijwel steeds dezelfde zijn, en van andere militaire stations (die in opener terrein liggen) weten we dat de berekende F- en z_0 -waarden realistisch zijn. Hier kunnen we helaas niet controleren op écht open terrein (bijv. de lengterichting van een

startbaan), maar overigens lijken de berekende beschuttingskorrektiefactoren in hoofdzaak te kloppen met de terrein-beschrijving. Bovendien wist de meteo, dat de vliegers klaagden dat de opgegeven windsnelheden bij ongunstige richtingen (bijv. ZW) ongeveer 20% tot 30% lager waren dan zij afschatten uit het gedrag van het vliegtuig bij start of landing. De conclusie was dus dat deze F-waarden aanvaardbaar zijn, met een onzekerheidsmarge van $\pm 5\%$.

Interessant is overigens, dat voor de sector 23-24 in de periode 1970/1973, toen de bomen slechts enige meters hoog waren, slechts $F=118$ werd berekend, en voor de periode 1974/1975 vonden we $F=122$. Met andere woorden, je ziet de bomen groeien

12. Bepaling van responsieparameters van windmeetketens.

In paragraaf 10 gebruikten wij bij de berekeningen van z_0 twee grootheden om de gemeten maximumvraag te karakteriseren, namelijk de vlaaggolflengte U_t en de registratie-verzwakkingsfactor A . Deze vlaagparameters werden op hun beurt afgeleid uit de responsie-constanten van anemometer en recorder. Het is dus nodig om deze responsie te kennen, voordat men een vlaaganalyse kan uitvoeren.

De reactiesnelheid van een anemometer wordt uitgedrukt in zijn responsielengte λ , gedefinieerd als de windweg (= produkt van gemiddelde windsnelheid en tijdsduur) welke na een sprongsgewijze windsnelheidsverandering moet zijn gepasseerd, voordat de output van de anemometer voor 63% is aangepast aan de nieuwe windsnelheid. Deze grootheid is voor de meeste anemometers vrijwel constant, en de bepaling ervan wordt verricht in de windtunnel (zie bijv. Monna, 1978). Voor de anemometers welke op het KNMI in gebruik zijn geldt:

Type	Omschrijving	$\lambda(m)$	Referentie
011,014	metalen cups	~ 4	
015,016	witte pvc cups	1.9	Wieringa (1972)
018	zwarte pvc cups	2.9	Monna (1978)
Dines	pitotbuis-vaan	0.1	Wieringa (1980a)

Voor sommige oudere buitenlandse anemometertypen worden responsielengten opgegeven door Mazzarella (1972). De Engelse Munro-anemometer heeft een responsielengte van ~ 7 m (Pearce, ongepubl. Met. Off. rapp.), de Thiess-anemometer heeft een responsielengte van ~ 5 m.

De reactiesnelheid van de registratieapparatuur wordt bij deze berekeningen ingebracht in de vorm van een responsietijd t_{RC} , hetgeen impliceert dat we veronderstellen dat het registratiesysteem beschreven kan worden als een analoog systeem van de eerste orde (Gill, 1967). Bij klassieke recorders (Metrawatt, Heath, Kipp) is dit in het algemeen een bruikbare benadering. Voor de responsie van digitale registratie wordt verwezen naar Beljaars (1983).

De responsietijd wordt ook hier gedefinieerd als de tijd, die nodig is om een sprongsgewijze signaalverandering tot op 63% ($= 1 - e^{-1}$) te volgen. Men kan afleiden, dat een registratiesysteem met gegeven t_{RC} de amplitude van een sinusoidaal variërend signaal met periode t zal verzwakken met een factor

$$A(t) = [1 + (2\pi t_{RC}/t)]^{-1/2} \quad (43)$$

In onderstaande tabel worden waarden van de verzwakkingsfactor gegeven als functie van de verhouding van t en t_{RC} .

t/t_{RC}	19	13	10	8.3	6.2
A	0.95	0.90	0.85	0.80	0.70

Aangezien we uiteindelijk geïnteresseerd zijn in de uitwerking van vlaagregistraties, moeten we de responsietijd van een recorder bepalen over de bijbehorende registratiebreedte. Een registratiestrook heeft gewoonlijk een werkrange van 50 m/s, en aangezien we bij een gemiddelde windsnelheid van ~ 10 m/s vlaagfactoren van 1.4 tot 1.8 willen bepalen, volgt hieruit dat de breedte van het bijbehorende registratiespoor niet meer de 20% tot 30% van de strookbreedte is. We moeten dus t_{RC} bepalen voor deze signaalamplitude -- zouden we de volle strookbreedte nemen, dan zouden we een irrelevante hogere t_{RC} -waarde krijgen.

De beste methode van t_{RC} -bepalen voor een recorder is de invoer van een sinussignaal uit een golfgenerator met zeer lage frequentie (≤ 0.02 Hz) en een amplitude die $\sim 30\%$ van de strook beschrijft.

Gaan we nu de frequentie stapsgewijze opvoeren, dan zien we de amplitude bij hogere frequenties afnemen omdat de recorder de variaties niet meer snel genoeg kan volgen. Door gebruik van bovenstaande formule en tabel kan men uit de geregistreeerde verzwakkingen en de bijbehorende $(t/t_{0.02\text{Hz}})$ -waarden de t_{RC} van de recorder berekenen. Men moet deze meting doen voor het verzwakkingstraject 95%-70%, omdat dat relevant is voor laagverzwakkingen.

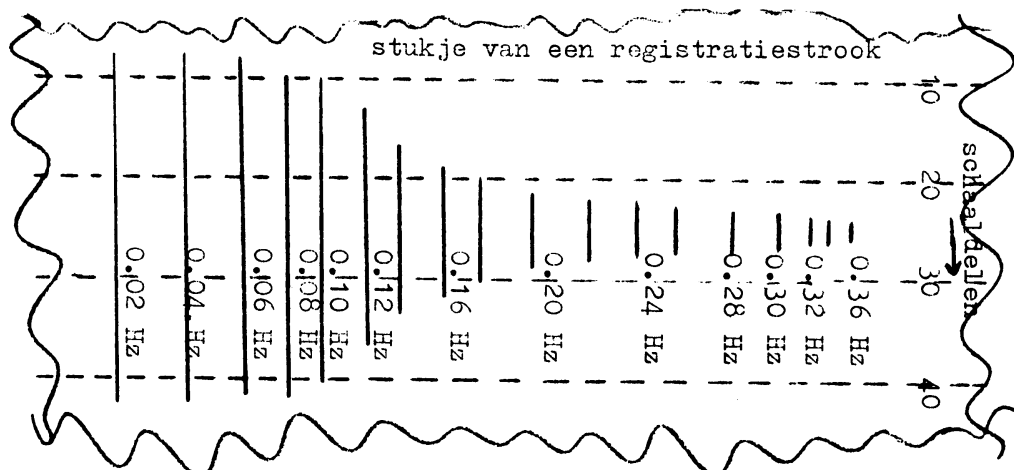
Voor de op het KNMI veel gebruikte recorders gelden de volgende t_{RC} -waarden (in seconden):

Nieaf of Metrawatt	:	$0.5 \lesssim t_{RC} \lesssim 1.0$
Dines-vlotterrecorder:		$t_{RC} = 0.6$
Camil Bauer	:	$t_{RC} = 0.2$
Heath of Kipp	:	$t_{RC} \leq 0.1$

Bij de Metrawatt/Nieaf-recorders is de responsie mede afhankelijk van een juiste instelling van de pendruk en van de papierrutheid. Voor een representatieve serie Metrawatts werd gemiddeld $t_{RC} = 0.83$ s gevonden.

Deze t_{RC} waarden mogen alleen worden gebruikt, wanneer aannemelijk is dat de signaaloverdracht tussen anemometer en recorder geen extra demping geeft. In bijzondere gevallen verdient het aanbeveling om de gehele meetketen door te meten met een golfgenerator ter plaatse van de anemometer.

Als voorbeeld wordt hierbij een dergelijke meting uitgewerkt voor de windmeter van Cadzand, welke geregistreerd wordt te Vlissingen op een Kipp-recorder. Bij 0.02 Hz werd te Cadzand een sinussignaal ingevoerd van een amplitude, die te Vlissingen een registratie van $\sim 30\%$ van de strookbreedte gaf. Vervolgens werd de strook iets verder gedraaid, waarna een iets hoger frequent signaal werd gegeven van dezelfde amplitude. De output zag er z6 uit :



De resultaten waren als volgt:

Inputfrequentie (Hz)	0.04	0.08	0.12	0.16
Outputamplitude				

Amplitude bij 0.02 Hz	0.99	0.874	0.676	0.363
t/t_{RC} volgens formule	niet relevant	11.3	5.8	niet relevant
t_{RC} (s)	-	1.11	1.44	-

Aangezien een verzwakking van 68% in de praktijk al erg veel is voor maximumvlagen, schatten we hier $t_{RC} = 1.2$ s. Bij doorrekening hiermee bleek te Cadzand uit de vlagen van de zeezijde inderdaad een aanvaardbare zee-ruwheid te volgen, hetgeen de bruikbaarheid van de geschatte responsietijd bevestigde.

Een uitprobeer-aanpak met doorrekening van gemeten vlaagfactoren is ook vaak nodig, als men geen enkele bruikbare informatie over registratie en signaaltransmissie heeft. Een voorbeeld is Valkenburg, waar een uitermate zwaar lopende Lambrecht-recorder met gemetalliseerd papier werd gebruikt (zie Wieringa en Van der Veer, 1976). Uit gemeten vlagen voor twee terreinsectoren werden z_0 -waarden bepaald met verschillende keuze van t_{RC} (N.B. bekend was: $\lambda = 3.5$ m, $T = 60$ min, $z = 10$ m).

Resultaat:	<G>	$t_{RC} = 2.5$ s	$t_{RC} = 3.0$ s	$t_{RC} = 3.5$ s
Open-terrein-sector	1.31	$z_0 = 0.03$	0.06	0.095
Hangar op 200 m	1.41	$z_0 = 0.16$	0.26	0.36

($x/H = 13$)

De ruwheden lijken aanvaardbaar voor $t_{RC} = 3.0$ s. $z_0 = 0.16$ m is te laag voor een z_0 nabije hangar, terwijl voor het open terrein $z_0 \sim 0.1$ m wat hoog is.

Bij het berekenen van golflengte U_t en verzwakking A van maximale geregistreeerde vlagen voor een gegeven anemometer-recorder-combinatie dient men te beseffen, dat de U_t -waarde varieert met de gemiddelde windsnelheid, wanneer we een trage recorder hebben ($t_{RC} > 0.3$ s). De oorzaak hiervan is, dat een recorder een tijd-constante responsie heeft en een anemometer een windweg-constante responsie (zie Wieringa en Van der Veer, 1976). Omdat we voor vlaagfactor-analyse ons beperken tot metingen bij krachtige wind ($U > 6.5$ m/s) wordt in dat geval de U_t -

waarde voor $U = 9$ m/s gebruikt -- een realistisch gemiddelde voor typische vlaagbestanden.

De theoretische basis van de U_t -berekening bij gegeven λ en t_{RC} wordt elders vermeld (Wieringa, 1976), en in bijlagen III en IV worden HP-25 en HP-41-programma's gegeven om een dergelijke berekening uit te voeren. We beperken ons hier tot een opgave van de uitkomsten voor enige veel voorkomende combinaties. Naast U_t en A worden ook de hieruit berekende instrumentenconstanten a en b (blz.22) opgegeven voor $T = 1$ uur.

	$U_t(m)$	A	a	b
Cupanemometer (willekeurig type), Metrawatt-recorder ($t_{RC} = 0.8$ s)	~ 86	0.87	0.393	-0.427
015-cupanemometer ($\lambda = 1.9$ m), Heath/Kipp-recorder ($t_{RC} = 0.1$ s)	32	0.92	0.313	-0.341
018-cupanemometer ($\lambda = 2.9$ m), Heath/Kipp-recorder ($t_{RC} = 0.1$ s)	45	0.92	0.329	-0.359
018 cupanemometer ($\lambda = 2.9$ m), Camille Bauer recorder ($t_{RC} = 0.2$ s)	50	0.92	0.335	-0.366
Dines-pitot-anemometer ($\lambda = 0.1$ m, $t_{RC} = 0.6$ s)	68	0.90	0.362	-0.394

Samenvatting.

In de vorige paragraaf, aan het einde van dit rapport, is iets behandeld waarmee we eigenlijk zouden moeten beginnen, namelijk de precieze specificatie van de instrumenten waarmee we de wind meten. Voor een goed overzicht van de gehele methodiek volgt daarom nu een stap-voor-stap beschrijving van de handelingen, die nodig zijn om van een gegeven station de beschuttingscorrecties te bepalen. Achtereenvolgens zijn dit:

- (1) Bepaal de responsieparameters van anemometer (λ) en registratie (t_{RC}), en reken vervolgens de vlaaggolfhoogte U_t en de verzwakkingsfactor A uit (zie paragraaf 12 en blz.19). Bepaal ook meethoogte z_s .
- (2) Bereken de excentriciteit van de maximale vlaag met formule (29), en bepaal uit de windmiddelingstijd T (10 of 60 minuten) met formule (26) de factor f_T . Bereken desgewenst ook de instrumentenfactoren a en b (zie blz.22) indien gelineariseerde F - en z_0 -formules worden gebruikt.

- (3) Bepaal uit het bestand van stationsmetingen voor alle richtings-sektoren (θ) de mediane gemeten vlagfaktor $\langle G \rangle$; kies de sektorbreedte niet smaller dan 20° en niet breder dan 45° . Verzamel nu per sektor minstens een dozijn meetperioden met $U > 6$ m/s zonder onweer of sterke trend (frontpassage) -- als er voor de sektor meer dan ~ 50 perioden zijn, dan zijn een paar onweten of fronten geen probleem. Bereken per sektor de vlagfactoren $G = u_{\text{mx}} / U$ voor alle perioden, en bepaal de mediaan $\langle G \rangle$. Bij weinig G's bepaalt men de mediaan door ze te rangschikken volgens grootte en de middelste te nemen; bij veel G's doet men dit via een cumulatieve frekwentieverdeling (zie ref's blz.17).
- (4) Bereken per sektor de ruweidslengte $z_0(\theta)$ en de beschuttings-correctiefactor $F(\theta)$. Gebruik hiervoor hetzij de volledige formules (35), (36) en (39), hetzij de gelineariseerde formules (41) en (42).
- (5) Ga na hoe de omgeving van de stationsanemometer er uit ziet met behulp van kaarten en foto's; bezoek zo nodig het station. Zoek enige sektoren uit, waarvoor een zinnige ruweidsschatting te maken is met behulp van de klassifikatietabel op blz.9 (of de uitgebreidere tabel op blz.62 van "Windklimaat van Nederland"). Vergelijk deze geschatte ruweiden met de ruweidslengten die berekend zijn uit de gemeten vlagfactoren (zie paragraaf 11). Bij onvoldoende overeenstemming is waarschijnlijk de stationsinstrumentatie verkeerd gespecificeerd; meet dan zo mogelijk opnieuw de responsie, in het bijzonder van de totale registratie-keten (zie paragraaf 12). Slechts in noodgevallen (bijv.: betere specificaties niet achterhaalbaar) dient een subjektieve aanpassing van de constanten (paragraaf 12) te worden overwogen.

Indien bevredigende overeenstemming van de berekende ruweidslengten z_0 met de terreinkarakteristieken van enige sektoren is verkregen, dan kan men voor alle sektoren de berekende beschuttingsfactoren F benutten, zowel voor berekening van de potentiële windsnelheid $U_p = F \times U_s$ als voor transformatie van gemeten wind naar een willekeurige hoogte (z) boven willekeurig terrein (z_0). Dit transformeren doet men met formule (9), die met gebruik van F -notatie eenvoudiger kan worden genoteerd :

$$U(z, z_0) = U_s \left(\frac{F(\theta) \ln(z/z_0)}{0.764 \ln(60/z_0)} \right) \quad (44)$$

Als alternatief voor transformatie kan het nomogram van blz.14 dienen.

Referenties

- Beljaars, A.C.M. (1983): De invloed van meetsystemen op de waarnemingen van gemiddelden, standaarddeviaties en maxima. KNMI-W.R.83-2.
- Beljaars, A.C.M. en Wieringa, J. (1984): Specification and determination of gustiness by classical and digital wind stations (WMO-TECEMO Conf., Sept.1984). KNMI-memo FM-84-7.
- Gill, G.C. (1967): On the dynamic response of meteorological sensors and recorders. Proc. First Canadian Conf. on Micrometeorology, Toronto (KNMI-bibl.no.II.u.129) Vol.1, 1-27.
- van der Hoeven, P.C.T. (1978): Fotodocumentatie van meetposten. KNMI-memo FM-78-808.
- Klug, W. (1963): Zum vertikalen Windprofil. Beitr.Phys.Atm. 36, 226-253.
- KNMI (1979): Luchtverontreiniging en weer (2e druk).
Uitg. Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage.
- Mazzarella, D.A. (1972): An inventory of specifications for wind measuring instruments. Bull. Am. Meteor. Soc. 53, 860-871.
- Monna, W.A.A. (1978): Comparative investigations of dynamic properties of some propeller vanes. KNMI-W.R. 78-11.
- Nieuwstadt, F.T.M. (1975): Profielen en stabiliteitsklassen. KNMI W.R. 75-3.
- Oemraw, B. (1982): Stationsbeschrijving windwaarneming Schiphol, Leeuwarden en Eindhoven. KNMI-T.R. 5a, 28, 29.
- Spiegel, M.R. (1961): Theory and problems of statistics. Schaum's outline series, McGraw-Hill Book Company, New York.
- Wieringa, J. (1972): Tilt errors and precipitation effects in trivane measurements of turbulent fluxes over open water. Boundary-Layer Meteor. 2, 406-426.
- Wieringa, J. (1973): Gust factors over open water and built-up country. Bound.-Layer Met., 3, 424-441.
- Wieringa, J. en Van der Veer, P.J.M. (1976): Nederlandse windstations 1971-1974. KNMI-V-278.
- Wieringa, J. (1976): An objective exposure correction method for average wind speeds measured at a sheltered location. Quart. J. Roy. Met. Soc., 102, 241-253.
- Wieringa, J. (1977a): Wind representativity increase due to an exposure correction, obtainable from past analog station wind records. WMO No. 480 (Proc. TECIMO Conf.) 39-44.
- Wieringa, J. (1977b): Berekening van de mediaan en andere percentielen uit een gegeven frekwentieverdeling. KNMI-memo MO-77-662.
- Wieringa, J. (1980a): Het mysterie van de hikkende Dines-windmeter. KNMI-V-356.
- Wieringa, J. (1980b): Representativeness of wind observations at airports. Bull. Am. Meteor. Soc., 61, 962-971.
- Wieringa, J. (1982 a,b,c): De atmosferische grenslaag -- deel 1, 2 en 3 (VVM-cursus 1982). KNMI-memo's FM-82-28, FM-82-31 en FM-82-34.
- Wieringa, J. (1983): Description requirements for assessment of non-ideal wind stations -- for example Aachen. J. Wind Engin. Industr. Aerodyn., 11, 121-131 (tevens bijlage).
- Wieringa, J. en Rijkooft, P.J. (1983): Windklimaat van Nederland. Uitg. Staatsuitgeverij, Den Haag.
- Wieringa, J. (1984): Beschuttingscorrecties van windstations, die vóór 1978 bestonden en die eind 1980 nog niet waren verplaatst of gewijzigd. KNMI-memo FM-84-4.
- WMO (1964): Windbreaks and shelterbelts. WMO Tech. Note 59.

Bijlage IProgrammaoverzicht TI-59; (232 stappen)Vlaagfaktor $\langle G(\theta) \rangle$

1. Beschuttingskorrektiefactor $F(\theta)$.
2. Ruwheidslengte z_{0s} .

a. Inlezen programma:

Getal 1 aanslaan (1 in display), magneetkaartje in de pijlrichting 1 doorvoeren.

- doorvoeropening in de zijkant van de machine
- oppervlak van het magneetkaartje niet aanraken !
- kaartje na doorvoering in de map opbergen
- bij weigering (knipperende display) kaartje voorzichtig schoonmaken met warme zeepoplossing; bij verdere weigering overleggen met Oemraw.

b. Uitvoering van de berekening

[1] - Programma starten door op toets E te drukken:

- Op printeenheid op * GUST FACTOR * geprint.

Gegevens invoeren:

- [2] - Ut druk op toets R/S
- [3] - A druk op toets R/S
- [4] - T druk op toets R/S opm: $10 < T < 60$ minuten
- [5] - z_s druk op toets R/S

opm: Ut, A, T en z_s worden geprint.

[6] - $\langle G(\theta) \rangle$ druk op toets R/S

opm: Wacht nu enkele seconden. Hierna wordt F, $\ln z_0$ en z_0 geprint.

Na instructie [6] staat de machine nu gereed om een andere $\langle G(\theta) \rangle$ in te

voeren. Dus in de positie van instructie [6].

Wil men $F(\theta)$ en z_{0s} met een andere set U_t , A , T of z_s gaan rekenen, dan hoeft men slechts op toets E te drukken. De machine staat nu weer in positie [1], dus in zijn beginstand. Het hele programma kan nu uitgevoerd worden.

Voorbeeld-berekening

$U_t = 87 \text{ m}$ $A = 0.89$ $T = 60 \text{ min}$ $z_s = 10 \text{ m}$ en
 $\langle G(\theta) \rangle = 1.53$ geeft samen: $F = 1.068$ en $z_0 = 0.111 \text{ m}$.

* GUST FACTOR *

87.	UT
0.89	A
60.	T
10.	ZS
1.53	G
1.068323052	F
-2.195609267	LNZO
0.111290735	ZO

Programma TI-59:

Uitgaande van U_t , A , T , z_g en $\langle G(\theta) \rangle$ wordt F , $\ln z_0$ en z_0 berekend.

+ GUST FACTOR *

000	76	LBL							
001	15	E							
002	98	ADV							
003	69	DP							
004	00	00							
005	47	CMS							
006	05	5							
007	01	1							
008	00	0							
009	00	0							
010	02	2							
011	02	2							
012	04	4							
013	01	1							
014	03	3							
015	06	6							
016	69	DP							
017	01	01							
018	03	3							
019	07	7							
020	00	0							
021	00	0							
022	02	2							
023	01	1							
024	01	1							
025	03	3							
026	01	1							
027	05	5							
028	69	DP							
029	02	02							
030	03	3							
031	07	7							
032	03	3							
033	02	2							
034	03	3							
035	05	5							
036	00	0							
037	00	0							
038	05	5							
039	01	1							
040	69	DP							
041	03	03							
042	69	DP							
043	05	05							
044	98	ADV							
045	91	R/S							
046	42	STD							
047	14	14							
048	25	CLR							
049	04	4							
050	01	1							
051	03	3							
052	07	7							
053	69	DP							
054	04	04							
055	43	RCL							
056	14	14							
057	69	DP							
058	06	06							
059	55	+							
060	03	3							
061	22	INV							
062	28	LDG							
063	95	=							
064	35	1/X							
065	75	-							
066	04	4							
067	95	=							
068	23	LN \times							
069	65	\times							
070	93	.							
071	03	3							
072	00	0							
073	01	1							
074	85	+							
075	01	1							
076	93	.							
077	04	4							
078	02	2							
079	95	=							
080	42	STD							
081	18	18							
082	91	R/S							
083	42	STD							
084	15	15							
085	25	CLR							
086	01	1							
087	03	3							
088	69	DP							
089	04	04							
090	43	RCL							
091	15	15							
092	69	DP							
093	06	06							
094	91	R/S							
095	42	STD							
096	16	16							
097	25	CLR							
098	03	3							
099	07	7							
100	69	DP							
101	04	04							
102	43	RCL							
103	16	16							
104	69	DP							
105	06	06							
106	65	\times							
107	93	.							
108	00	0							
109	00	0							
110	02	2							
111	85	+							
112	93	.							
113	09	9							
114	08	8							
115	95	=							
116	42	STD							
117	17	17							
118	49	PRD							
119	18	18							
120	91	R/S							
121	42	STD							
122	13	13							
123	25	CLR							
124	04	4							
125	06	6							
126	03	3							
127	06	6							
128	69	DP							
129	04	04							
130	43	RCL							
131	13	13							
132	69	DP							
133	06	06							
134	76	LBL							
135	11	R							
136	98	ADV							
137	91	R/S							
138	42	STD							
139	12	12							
140	25	CLR							
141	02	2							
142	02	2							
143	69	DP							
144	04	04							
145	43	RCL							
146	12	12							
147	69	DP							
148	06	06							
149	75	-							
150	01	1							

151	95	=	201	02	2
152	55	÷	202	07	7
153	43	RCL	203	03	3
154	15	15	204	01	1
155	85	+	205	04	4
156	01	1	206	06	6
157	75	-	207	00	0
158	43	RCL	208	01	1
159	17	17	209	69	DP
160	95	=	210	04	04
161	55	÷	211	43	RCL
162	43	RCL	212	10	10
163	18	18	213	69	DP
164	95	=	214	06	06
165	42	STD	215	22	INV
166	11	11	216	23	LN _X
167	35	1/X	217	42	STD
168	94	+/-	218	19	19
169	85	+	219	25	CLR
170	43	RCL	220	04	4
171	13	13	221	06	6
172	23	LN _X	222	00	0
173	95	=	223	01	1
174	42	STD	224	69	DP
175	10	10	225	04	04
176	06	6	226	43	RCL
177	00	0	227	19	19
178	23	LN _X	228	69	DP
179	75	-	229	06	06
180	43	RCL	230	61	GTD
181	10	10	231	11	A
182	95	=			
183	49	PRD			
184	11	11			
185	93	.			
186	07	7			
187	06	6			
188	04	4			
189	49	PRD			
190	11	11			
191	25	CLR			
192	02	2			
193	01	1			
194	69	DP			
195	04	04			
196	43	RCL			
197	11	11			
198	69	DP			
199	06	06			
200	25	CLR			

Bijlage II

Programma-overzicht Texas Instruments SR-56 (100 stappen) voor het berekenen van de beschuttingscorrectie en ruwheidslengte uit $\langle G(\theta) \rangle$.

Instructies :

- [1] Toets het programma in de calculator (LRN-mode). Fix 3 (decimalen).
- [2] RST (reset), CMs (wis geheugens).
- [3] Voer Ut in, toets R/S → uitvoer E_{Ut} .
- [4] Voer A in, toets R/S → uitvoer A.
- [5] Voer T in, toets R/S → uitvoer f_T .
- [6] Voer z_s in, toets R/S → uitvoer z_s .
- [7] Voer $\langle G(\theta) \rangle$ in, toets R/S → uitvoer beschuttingscorrectiefactor F.
- [8] RCL 0, toets e^x → uitvoer ruwheidslengte z_0 .

Wanneer voor hetzelfde station meerdere G-waarden doorgerekend moeten worden, begin dan opnieuw bij stap [7]. Wanneer een andere meethoogte of andere instrumenten moeten worden doorgerekend, begin dan bij stap [2].

Als controle op het juist intoetsen (stap [1]) kan de voorbeeldberekening van blz.36 worden uitgevoerd : die moet dan de aangegeven waarden van F en z_0 opleveren.

De geheugens 0 t/m 8 bevatten achtereenvolgens : $\ln z_0$, F, G, z_s , Ut, A, T, f_t en $f_T E_{Ut}$. Geheugen nr.9 wordt niet gebruikt.

Programma-tekst :

Code	Toets	Code	Toets	Code	Toets	Code	Toets	Code	Toets					
00	33	STO	20	02	2	40	33	STO	60	07	7	80	34	RCL
01	04	4	21	94	=	41	07	7	61	94	=	81	03	3
02	54	÷	22	33	STO	42	30	PROD	62	54	÷	82	94	=
03	03	3	23	08	8	43	08	8	63	34	RCL	83	13	ln x
04	19	10 ^x	24	41	R/S	44	41	R/S	64	08	8	84	30	PROD
05	94	=	25	33	STO	45	33	STO	65	94	=	85	01	1
06	20	1/x	26	05	5	46	03	3	66	33	STO	86	01	1
07	74	-	27	41	R/S	47	41	R/S	67	01	1	87	35	SUM
08	04	4	28	33	STO	48	33	STO	68	20	1/x	88	01	1
09	94	=	29	06	6	49	02	2	69	93	+/-	89	92	.
10	13	ln x	30	64	x	50	74	-	70	84	+	90	07	7
11	64	x	31	92	.	51	01	1	71	34	RCL	91	06	6
12	92	.	32	00	0	52	94	=	72	03	3	92	04	4
13	03	3	33	00	0	53	54	÷	73	13	ln x	93	30	PROD
14	00	0	34	02	2	54	34	RCL	74	94	=	94	01	1
15	01	1	35	84	+	55	05	5	75	33	STO	95	34	RCL
16	84	+	36	92	.	56	84	+	76	00	0	96	01	1
17	01	1	37	09	9	57	01	1	77	06	6	97	22	GTO
18	92	.	38	08	8	58	74	-	78	00	0	98	04	4
19	04	4	39	94	=	59	34	RCL	79	54	÷	99	07	7

Bijlage III

Programma-overzichten voor HP-25 en HP-33. Deze kleine Hewlett-Packard calculators hebben slechts 49 stappen, zodat het rekenwerk is gesplitst in twee programma's.

Programma III-A : Berekening van U_t en A uit λ en t_{RC} bij gegeven U .

Tekst programma, in kolommen:

STO 6	STO 5	1	x	3	.	+
.	RCL 0	+	x^2	10^x	3	\div
2	RCL 1	\sqrt{x}	1	RCL 5	x	RCL 6
STO+7	x	RCL 0	+	\div	1	$x \leftrightarrow y$
RCL 7	RCL 5	RCL 2	\sqrt{x}	4	.	$x \leq y$
RCL 3	\div	RCL 7	x	-	4	GTO 01
x	x^2	\div	STO 4	\ln	2	R/S

Instructies :

- [1] Toets het programma in, en fix 2 decimalen.
 - [2] GTO 00, en zet invoergegevens in registers : λ in R_1 , t_{RC} in R_2 en U in R_3 . Zet tevens $2 \pi = 6.2832$ in R_0 .
 - [3] Toets een zeer groot getal in (bijv. 10^{99}), en toets R/S. Wacht 3 tot 4 minuten (langer naarmate t_{RC} groter is), dan wordt een getal uitgevoerd. Dan staan de rekenresultaten in registers :
 - [4] RCL 4, toets $1/x \rightarrow$ uitvoer verzwakkingsfaktor A .
 - [5] RCL 5 \rightarrow uitvoer golflengte U_t van maximale vlag.
- In register nr.6 staat $1/(A E_{UT})$, en in register nr.7 t_{mX} (vlaagduur).

Als contrôle op het juist intoetsen van het programma kan de hieronder gegeven voorbeeld-berekening worden uitgevoerd, vóórdat met eigen instrumenten-gegevens verder wordt gerekend.

Voorbeeld-berekening : Invoer : $\lambda = 4$ m, $t_{RC} = 0.8$ s, $U = 8$ m/s.
 Uitvoer: $U_t = 93$ m, $A = 0.89$.

Bij grote t_{RC} (trage recorder) is het resultaat sterk afhankelijk van U . Voer in dat geval de berekening uit voor enige U -waarden (bijv. 6, 9 en 12 m/s) om een indruk te krijgen van het verloop van A en U_t .

Programma III-B (voor HP-25 of HP-33 calculator) :Berekening van de ruweidslengte z_0 uit $\langle G(\theta) \rangle$.

Tekst programma, in kolommen:

ENTER	9	3	.	+	x	+
.	8	10^x	3	x	CHS	+
0	+	÷	x	R/S	+	e^x
0	ENTER	1/x	1	ENTER	1	R/S
2	ENTER	4	.	R ↓	-	+
x	R/S	-	4	x	STO 1	1/x
.	ENTER	ln	2	R ↓	R/S	GTO 42

Instructies :

- [1] Toets het programma in, en fix 3 decimalen.
- [2] GTO 00.
- [3] Voer T in, toets R/S → uitvoer f_T .
- [4] Voer U_t in, toets R/S → uitvoer $E_{U_t} f_T$.
- [5] Voer A in, toets R/S → uitvoer $(A - f_T A - 1)$. Deze werk-grootheid wordt ook in register nr.1 bewaard (andere registers ongebruikt !).
- [6] Voer $\langle G(\theta) \rangle$ in, toets R/S → uitvoer (z_s/z_0) .
- [7] Voer z_s in, toets R/S → uitvoer z_0 .

Als contrôle op het juist intoetsen (stap [1]) kan de voorbeeldberekening van blz.36 worden uitgevoerd : die moet dan ongeveer de aldaar aangegeven waarden van F en z_0 opleveren.

Indien men de berekening wil voortzetten met andere G-waarden, dan hoeft men niet steeds opnieuw T, U_t en A in te voeren, als men gebruik maakt van het feit dat de werk-grootheid $E_{U_t} f_T A$ nog in de "stack" aanwezig is. Men kan dan de volgende procedure volgen :

- [8] Toets R ↓ , dan RCL 1. Ga vervolgens door met stap [6].

De HP-25 (of -33) heeft onvoldoende programmeergeheugen-ruimte om tegelijk óók nog de beschuttingscorrectie-faktor F te berekenen uit z_s en z_0 volgens formule (15). Tijdens de contrôle-berekeningen (paragraaf 11, blz.22) is echter z_0 -berekening van groter praktisch belang dan de berekening van F. Wanneer gebleken is dat de verkregen z_0 -waarden realistisch zijn, dan kan formule (15) eenvoudig worden geprogrammeerd (doe dit zelf) om éénmalig de bijbehorende F-waarden te berekenen.

Bijlage IVProgramma VLAAGZ₀ voor Hewlett-Packard calculator HP-41-CV :

- (a) Berekening van U_t en A uit λ en t_{RC} bij gegeven U voor maximaal drie U -waarden ineens;
- (b) Berekening van de instrumentenconstanten a en b (blz.22) voor toepassing in de lineaire formules (41) en (42) ter bepaling van F en van z_0 uit gegeven $\langle G(\theta) \rangle$, en ook directe berekening van de constanten in de F -formule (41). Invoergegevens zijn T en z_s , en hetzij ingevoerde waarden van U_t en A , hetzij dezelfde grootheden welke zojuist berekend zijn met behulp van programmadeel (a).
- (c) Als vervolg op programmadeel (b), berekening van z_0 -waarden uit ingevoerde waarden van $\langle G(\theta) \rangle$.

Programmauitvoer gebeurt steeds via de gewone calculator-uitlezing, maar indien een thermische printer is aangekoppeld, dan wordt deze uitlezing ook geprint zonder dat verdere actie van de gebruiker nodig is.

Invoer van het hier gegeven programma kan natuurlijk door intoetsing, maar het programma is ook op drie magneetkaartjes ondergebracht, omdat het intoetsen van een programma met 322 stappen zelden direct foutloos lukt. Invoer van deze magneetkaartjes gebeurt op dezelfde wijze als bij de T.I.59 (zie blz.35), dit wordt verder bekend verondersteld. Voor de uitvoering van het programma zijn 18 geheugens nodig (SIZE 018).

De gegevens-invoer voor het programma wordt in alphatekens gevraagd via de uitlezing -- in dat opzicht wijst het dus zelf de weg, en kan de uitleg kort zijn. De invoer gebeurt in onderstaande volgorde :

- [1] "L<AN+REG> ?" = U_t , golflengte maximale vlaag. Wanneer dit gegeven niet beschikbaar is, maar eerst nog berekend moet worden, voer dan geen getal in maar toets slechts R/S. Dan gaat het programma meteen door naar [3].
- [2] "A<AN+REG> ?" = A , verzwakkingsfaktor. Invoeren en R/S; het programma gaat dan meteen door naar [5].
- [3] "L-ANEM.=", oftewel λ , en "T-REG=" oftewel t_{RC} . Invoeren, R/S.
- [4] "WERK-U, M/S ?" = U , gemiddelde windsnelheid van het vlaaggegevensbestand. Drie werkwaarden van U zijn mogelijk met gelijke intervallen in m/s, bijv. 6.5, 9.0 en 11.5 m/s. Het interval wordt gevraagd in de volgende invoer-aanwijzing: "STAP WERK-U ?". Indien

men slechts bij één windsnelheid wil rekenen, dan negeert men de "STAP"-vraag door dan slechts R/S te toetsen; de berekening wordt dan alleen uitgevoerd voor de bij "WERK-U" ingevoerde windsnelheid. In geval van zo'n enkelvoudige berekening wordt gewoonlijk bij de vraag "WERK-U, M/S ?" het getal 9 (m/s) ingevoerd.

Na de R/S-toetsing volgend op "STAP WERK-U ?" rekt het programma enige tijd om U_t en A te bepalen. Als deze berekening na circa 2 minuten klaar is, dan wordt een meertonig geluidssignaal gegeven, en de vragen :

[5] "MIDD.TIJD U ?" = T in minuten (gewoonlijk 60, soms minder), daarna "Z-ANEM.=", d.w.z. z_s . Invoeren, R/S.

Vervolgens gaat het programma over tot :

[6] Uitvoer rekenresultaten (met specificatie van U). Eerst worden de waarden van "A" en van "L" = U_t gegeven, indien deze niet al te voren bekend waren. Vervolgens worden de waarden van de instrumenten- en formuleconstanten vermeld (met volledige opgave van formule (42)), en tenslotte komt de vraag :

[7] "G-WAARDE ?". Eventuele beschikbare $\langle G(\theta) \rangle$ -waarden kunnen nu worden ingevoerd: dan wordt de bijbehorende z_0 wordt berekend, waarna het programma opnieuw bij [7] begint. Indien bij [7] géén getal-invoer wordt gegeven maar alleen R/S, dan gaat het programma terug naar [6] indien eventueel voor een andere WERK-U de rekenresultaten nog niet zijn uitgevoerd. Anders begint het programma weer bij [1].

Typische (print-)uitvoer van het programma wordt hieronder gegeven voor het geval van een 018-anemometer en een Metrawatt-recorder. De listing van het programma staat op de volgende bladzijde.

L-ANEM.=2,9 M
T-REG=0,83 S
MIDD.T=60 MIN
Z-ANEM.=10 M

U=11,5: A=0,86
U=11,5: L=106
F=0,752*G-0,05
LN(Z/Z0)=
=,764/(a*G+b)
a:0,420, b:-0,456

U=9,0: A=0,88
U=9,0: L=94 M
F=0,712*G-0,01
LN(Z/Z0)=
=,764/(a*G+b)
a:0,397, b:-0,432

U=6,5: A=0,89
U=6,5: L=78 M
F=0,671*G+0,03
LN(Z/Z0)=
=,764/(a*G+b)
a:0,375, b:-0,400

1,40: Z0=0,030
1,60: Z0=0,29
1,80: Z0=0,78

1,40: Z0=0,021
1,60: Z0=0,23
1,80: Z0=0,67

1,40: Z0=0,0141
1,60: Z0=0,185
1,80: Z0=0,57

VLAAGZ0

656 BYTES

SIZE 010	63 "F S"	128 X?0?	193 ARCL IND 00	258*LBL 11
	64 AVIEW	129 STO 05	194 FC?0 05	259 XEQ 13
	65 "WERK-U, M/S ?"	130 X?Y?	195 "F M"	260 TONE 6
01*LBL "VLAAGZ0"	66 PROMPT	131 RCL 12	196 XEQ 13	261 "LN(Z/Z0)=-"
02*LBL 00	67 STO 09	132 X?Y?	197 XEQ 09	262 AVIEW
03 0	68 0	133 X?Y?	198 FS?0 03	263 PSE
04 "L<AN+REG??"	69 "STAP WERK-U?"	134 GTO 03	199 GTO 01	264 "=,764/(a+b)"
05 PROMPT	70 PROMPT	135 1	200 RCL 10	265 AVIEW
06 X=0?	71 STO 10	136 ST+ 14	201 ST- 09	266 PSE
07 GTO 01	72 X=0?	137 DSE 00	202 DSE 00	267 PSE
08 STO 14	73 SF 03	138 GTO 04	203 GTO 06	268 FIX 3
09 "A<AN+REG??"	74 1	139*LBL 05	204 GTO 01	269 "a."
10 PROMPT	75 STO 16	140 0	205*LBL 09	270 ARCL 15
11 STO 13	76*LBL 02	141 STO 00	206 RCL 13	271 "f, b:"
12 FIX 0	77 0	142 FS? 03	207 STO 16	272 ARCL 16
13 "L="	78 STO 00	143 GTO 10	208 RCL 12	273 XEQ 13
14 ARCL 14	79 STO 14	144 4	209 *	274 CLA
15 "FM, A="	80*LBL 03	145 RCL 16	210 1	275 AVIEW
16 FIX 2	81 STO 12	146 X?Y?	211 +	276*LBL 12
17 ARCL 13	82 ISG 00	147 GTO 10	212 ST- 16	277 0
18 AVIEW	83 ,	148 STO 00	213 ,764	278 "G-WARDE ?"
19 PSE	84*LBL 04	149 RCL 05	214 1 E3	279 TONE 9
20 XEQ 07	85 RCL 00	150 STO IND 00	215 RCL 14	280 PROMPT
21 XEQ 09	86 5	151 1	216 /	281 X*0?
22 GTO 00	87 /	152 ST+ 00	217 4	282 GTO 99
23*LBL 07	88 STO 13	153 RCL 06	218 -	283 CLA
24 "MIDD. TJDJ 0?"	89 RCL 09	154 STO IND 00	219 LN	284 AVIEW
25 PROMPT	90 *	155 2	220 ,301	285 RTN
26 FIX 0	91 STO 05	156 ST+ 16	221 *	286*LBL 13
27 "MIDD.T="	92 PI	157 RCL 10	222 1,42	287 FS? 55
28 ARCL X	93 2	158 ST+ 09	223 +	288 AVIEW
29 "F MIN"	94 *	159 GTO 02	224 RCL 12	289 FS? 55
30 AVIEW	95 STO 11	160*LBL 10	225 *	290 RTN
31 ,002	96 RCL 07	161 BEEP	226 RCL 13	291 TONE 6
32 *	97 *	162 6	227 *	292 PROMPT
33 ,90	98 RCL 05	163 STO 00	228 /	293 RTN
34 +	99 /	164 XEQ 07	229 STO 15	294*LBL 99
35 STO 12	100 X+2	165*LBL 06	230 ST* 16	295 STO Y
36 "Z-ANEM.="	101 1	166 CLA	231 00	296 RCL 15
37 TONE 9	102 +	167 AVIEW	232 RCL 11	297 *
38 PROMPT	103 SQRT	168 FIX 1	233 /	298 RCL 16
39 ARCL X	104 RCL 11	169 "U="	234 LN	299 +
40 "F M"	105 RCL 06	170 ARCL 09	235 STO 17	300 1/X
41 AVIEW	106 RCL 13	171 "f: A="	236 RCL 15	301 ,764
42 PSE	107 /	172 FIX 2	237 *	302 *
43 STO 11	108 *	173 RCL IND 00	238 FIX 3	303 E+X
44 RTN	109 X+2	174 STO 13	239 "F="	304 1/X
45*LBL 01	110 1	175 ARCL X	240 ARCL X	305 RCL 11
46 CLRG	111 +	176 XEQ 13	241 "f*G"	306 *
47 CLA	112 SQRT	177 1	242 FIX 2	307 FIX 2
48 AVIEW	113 *	178 ST- 00	243 RCL 16	308 CLA
49 "L-ANEM.="	114 1/X	179 9,9	244 RCL 17	309 ARCL Y
50 TONE 9	115 STO 06	180 RCL 09	245 *	310 "f: Z0="
51 PROMPT	116 1 E3	181 X?Y?	246 ,764	311 ENTER↑
52 STO 07	117 RCL 05	182 SF 05	247 +	312 LOG
53 FIX 1	118 /	183 RCL IND 00	248 STO Y	313 CHS
54 ARCL X	119 4	184 STO 14	249 X?0?	314 2,3
55 "F M"	120 -	185 99	250 SF 05	315 +
56 AVIEW	121 LN	186 X?Y?	251 ABS	316 X?0?
57 "T-REG="	122 ,301	187 CF 05	252 ,006	317 CLX
58 TONE 9	123 *	188 FIX 1	253 X?Y?	318 FIX IND X
59 PROMPT	124 1,42	189 "U="	254 GTO 11	319 ARCL Y
60 STO 08	125 +	190 ARCL 09	255 FS?0 05	320 XEQ 13
61 FIX 2	126 *	191 "f: L="	256 "f+"	321 GTO 12
62 ARCL X	127 RCL 14	192 FIX 0	257 ARCL Z	322 END

Bijlage V

4 K S C H U F A K T 1 0 N D I S K
 = = = = =

\$ SET LIST
 \$\$ SET PAGE SIZE 50
 956INX

\$ INCLUDE "STATISTIEKPAKKET"

DO VECTORMODE(A[1:],FOR N)
 * VECTORMODE IS NOT PORTABLE TO NON-VECTORMODE MACHINES.

W A R N I N G >>

```

00100000 000:0000:0
00100100 000:0000:0
00100500 000:0000:0
P-0000 IS SEGMENT 0003
1 00101000 003:0000:1
  ERROR IS SEGMENT 0005
  GEMIDDELDE IS SEGMENT 000C
  2 1 00016730 00C:0000:1
    GEMIDDELDE(00C) IS 0034 LONG
    PRINT IS SEGMENT 000D
    PRINT(009) IS 01C9 LONG
    FREQUENTIE IS SEGMENT 0011
    KLASSE IS SEGMENT 0012
    KLASSE(012) IS 003A LONG
    FREQUENTIE(011) IS 0221 LONG
    PERCENTIEL IS SEGMENT 0015
    PERCENTIEL(015) IS 0044 LONG
    FILLARRAY IS SEGMENT 0016
    FILLARRAY(016) IS 0029 LONG
  2 00102000 003:0014:1
    00103000 003:0014:1
    00104000 003:0014:1
    00105000 003:0014:1
    00106000 003:0014:1
    00107000 003:0014:1
    00108000 003:0014:1
    00109000 003:0014:1
    00110000 003:0017:1
    00111000 003:0017:1
      DATA IS 0022 LONG
      DATA IS 0003 LONG
    00112000 003:0017:1
      DATA IS 0010 LONG
    00113000 003:0017:1
    00114000 003:001A:1
    00115000 003:001A:1
    00116000 003:001D:4
    00117000 003:0020:4
    00118000 003:0024:0
    00119000 003:0024:0
  PICTURE IS SEGMENT 0019
    
```

```

***** VERGELI KOOL 330913, VOOR LEZEN DISKFILE(DATABASE) *****
INTEGER BOAT, EDAT, P, S, DR, HL, R, K, KL, X, Y, STR, S, T, V, II, JJ, X
D1, D2, A1, M2, J1, J2, LET, DIR, MTS, ANM, REC, MA, IND, HDR;
REAL H, CO, MA, BB, BE, PS, IGH, ZET;
BOOLEAN KLEIN, IOFST;
POINTER PTR;
LABEL TRJG, TLR, JOOR, UIT;
EBCDIC ARRAY BEZIJ:17],VELD[0:69],G:131],STANA[0:19],COOR[0:7];
EBCDIC ARRAY MEIR[0:559],HER[0:26];X
EBCDIC VALUE ARRAY SIMB(" I-+*(O)/XSWY");

VALUE ARRAY POSIM (0,9,11,9,5,3,11,3,2(10),12,10,5,3,11,3);

ARRAY TATIC[19],PPED[4],PER[0:17],REF[1:3,C:17],AL[0:9];X
ARRAY EALD[4];
ARRAY ANEC[5],SKIC[5],HK[0:5],GK[0:89],PK[0:71],BSAR,TAL[0:2,C:17],
  ZARE[2,C:17];
INTEGER ARRAY POSE[0:1,0:17,6:36];
POINTER PA;
PICTURE PT (AIA),
    
```

```

P2 (AIA(3)),
PK2 (AIA(2)),
P3 (AIA(3)),
P4 (P E(3)A),
PC1(P EIA(2)),
P2(P E(2)I(2)),
P3(P E(1)I(3)),
P4(P I(4));

DEFINE RUPS(X,Y,Z)=
  REPLACE VELD(X,Y) BY SIMB(Z) FOR 1 #,
  PRIOR=13*OR+(IF OR GTR 8 THEN 1 ELSE 0)#;
FILE BAND(KIND)=P:TAPPE,FILETYPE=7),X

SCHLJF(KIND=DISK,FILETYPE=7),XDISKFILE DATABASE SEGEVENS

LP(KIND=PRINTER,UNITS=CHARACTERS),
RECHLHP=REHOTE),

JOB(KIND=DISK,UNITS=CHARACTERS,MAXRECSIZE=21,
BLOCKSIZE=126,TITLE="INFOSCHUFA.");

PROCEDURE NAMEGRADENZ
BEGIN
  REAL DD;
  DD:=IF ULCR(II*23+11) NEQ "" THENX
    -ITZER(MEER(II*23+12),2) ELSE 999;X
  CASE DD OF%
  BEGIN%
    02: HDR:=02;X
    04: HDR:=04;X
    06: HDR:=07;X
    08: HDR:=09;X
    10: HDR:=11;X
    12: HDR:=14;X
    14: HDR:=16;X
    16: HDR:=13;X
    18: HDR:=20;X
    20: HDR:=23;X
    22: HDR:=25;X
    24: HDR:=27;X
    26: HDR:=29;X
    28: HDR:=31;X
    30: HDR:=34;X
    32: HDR:=36;X
  END%

```

```

00120000 019:0002:0
00121000 019:0004:0
00122000 019:0006:0
00123000 019:0009:0
00124000 019:0008:0
00125000 019:0000:0
00126000 019:000F:0
00127000 019:0011:0
PICTURE(019) IS 0013 LONG
00128000 003:0024:0
00129000 003:0024:0
00130000 003:0024:0
00131000 003:0024:0
      DATA IS 0005 LONG
00131500 003:0024:0
      DATA IS 0005 LONG
00132000 003:0024:0
      DATA IS 0004 LONG
00133000 003:0024:0
      DATA IS 0005 LONG
00134000 003:0024:0
00135000 003:0024:0
      DATA IS 0008 LONG
00135100 003:0024:0
00135110 003:0024:0
00135120 003:0024:0
00135130 003:0024:0
MARKGRADEN IS SEGMENT 001A
2 00135140 01A:0000:1
00135150 01A:0000:1
00135160 01A:0003:5
00135170 01A:0008:2
00135180 01A:0008:2
00135190 01A:0008:2
00135200 01A:000C:5
00135210 01A:000C:5
00135220 01A:000F:1
00135230 01A:0010:3
00135240 01A:0011:5
00135250 01A:0013:1
00135260 01A:0014:3
00135270 01A:0015:5
00135280 01A:0017:1
00135290 01A:0018:3
00135300 01A:0019:5
00135310 01A:001B:1
00135320 01A:001C:3
00135330 01A:001D:5
00135340 01A:001F:1

```



```

DR=0 OR DR=99 OR
FF LSS 55 THEN
BEGIN
  MIS:=TRUE;
  GO OVER;
END;
ARC01:=FF;
MN:=IF MYSELF.TASKVALUE=0 THEN INTEGER(WEER[4],2) ELSE
  INTEGER(HER[7],2);%
SE:=AR[11]:=IF MN LEQ 4 OR MN GEQ 11 THEN 1 ELSE 2;
ARC2:=DR;
ARC3:=FX/FF;
FOR S:=3-1,2 DO
  TALES,INTEGER(DR/2)-11:=**+1;
OVER:=
  IF MYSELF.TASKVALUE=0 THENX
  BEGIN
    II:=**+1;X
    IF II=24 THENX
    BEGIN
      II:=0;X
      UT:=READ(HAND,56),WEER);%
    END;X
    IF EDAT LSS INTEGER(WEER[1],8) THEN UIT:=TRUE;%
  END ELSEX
  BEGIN
    UIT:=READ(SCHIFF,27,WER);%
    IF EDAT LSS 1000000+INTEGER(WEER[4],7) THEN UIT:=TRUE;%
  END;X
  IF NOT UIT AND MIS THEN X
  GO BACK;X
  INPT:=UIT;
  END INPUT;

REPLACE SUZ[10] BY "WINTERZOMER JAAR ";
FILL PPT*3 WITH 5,16,30,34,95;
READ(DSK,<13,A13>,LET,STANA[1]);
READ(DSK,<14>,DIR); X
READ(DSK,<X1,213,F3.1>,AA,BB,HGM);
AA:=*/1000, BB:=*/1000;
CON:=LN(60/HGM);
READ(DSK,<X1,213>,BDAT,SDAT);
READ(DSK,<X1,213>,ANN,RIC);
READ(DSK,<X1,43>,COORD);
FILLARY(GK,6,975,787654321,45,0,03);
GKE 301:=10;
GKE[1]=0;
FILLARY(DK,1,937654321,13,2);
FILL SKE*3 WITH 5,1.5,1.6,2.5,5,2.5;
00158000 018:0063:2
00159000 018:0065:1
00160000 018:0066:1
00161000 018:0066:4
00162000 018:0067:2
00163000 018:0067:5
00164000 018:0067:5
00165000 018:0069:3
00165100 018:006E:0
00166000 018:0070:1
00167000 018:0075:3
00168000 018:0077:2
00169000 018:0079:4
00170000 018:007F:2
00171000 018:0085:3
00171100 018:0085:3
00171200 018:0087:3
00172000 018:0088:0
00173000 018:0089:2
00174000 018:0089:5
00175000 018:008A:2
00176000 018:008B:0
00177000 018:008F:4
00178000 018:008F:4
00178100 018:0092:4
00178150 018:0092:4
00178160 018:0093:1
00178200 018:0097:4
00178300 018:009D:0
00179000 018:009D:0
00180000 018:009E:0
00181000 018:009E:3
00182000 018:009F:2
INPUT(018) IS OUA2 LONG
00183000 003:0024:0
00184000 003:0026:1
00185000 003:002A:4
00186000 003:0034:2
00187000 003:003C:2
00188000 003:0048:2
00189000 003:0048:2
00190000 003:004D:2
00191000 003:0057:2
00192000 003:0061:2
00193000 003:0069:2
00194000 003:0071:1
00195000 003:0072:3
00196000 003:0075:3
00197000 003:0078:0

```

```

FULL HKC*3 WITH 11,500,16,500;%
PTR:=POINTER(TXT);
WRITE(LENGTH SPACE 31);%
WRITE(LP,<<" VLAAGFAKTOREN STATION ",I3," VAN ",I8," TOT "
,I3/I,X5,"A=",F5.3,X5,"B=",F5.3,X5,"H=",I2," M"//"%PERCENTIELEN"//>>);
STRP,BDAT,EDAT,AA,BD,HGM);
FREQUENTIE(INPUT,AR,O,HK,0,
C,HK,0,
O,HK,0,
2,HK,0,
3,SK,1,
18,SK,2,
45,GK,3,
3,O,0);
WRITE(LP,<<" M.R. 1-2 3-4 5-6 7-8 9-10 11-12 "
"13-14 15-16 17-18 19-20 21-22 23-24 25-26 27-28 29-30 "
"31-32 33-34 35-36"//>>);
H:= 5.5;
FOR S1:=0,1,2 DO
BEGIN
WRITE(LP,<<"/X10,A6,X8,"WINDSNELHEID GELIJK OF GROTER DAN ",
F3.1//>>SEIZEN*3EJ,H);
FOR P:=0 STEP 1 UNTIL 4 DO
BEGIN
FOR DR:=0 STEP 1 UNTIL 17 DO
BEGIN
PERDR:=PERCENTIELL(4,O,J,O,HL,SE,DR,45,GK,PPEP]);
IF PERDR]=987634321 THEN PER[DR]=9.999;
END;
WRITE(LP,<<X2,I2,X2,6(DF6.3,X2)>>,PPEP],PER[*]);
BEGIN
FOR DR:=0 STEP 1 UNTIL 17 DO
BEGIN
RE:=PEP,DR];IF PERDR]=9.999 THEN -1 ELSE
AA*CON*PERDR]-BB*CON+.764;
IF SE NEQ 2 AND BE NEQ 9.999 THEN
IF TALESE,DR] GEQ 5 THEN
BEGIN
PS:=76.25-50*PE;
IF PS LSS 5 THEN PS:=6;
IF PS GTR 36 THEN PS:=36;
POSTSE,DR,PS]:=P;
END;
IF P=2 THEN
BARESE,DR]:=BE;
END;
IF P=2 THEN
IF P=2 THEN
FOR DR:=0 STEP 1 UNTIL 17 DO ZARESE,DR]:=

```

00198000 003:007C:3
00199000 003:0081:0
00199100 003:0082:3
00200000 003:0087:2
00201000 003:0089:1
00202000 003:0089:1
00203000 003:0095:2
00204000 003:00A0:4
00205000 003:00A1:4
00206000 003:00A2:4
00207000 003:00A3:5
00208000 003:00A5:0
00209000 003:00A6:2
00210000 003:00A7:4
00211000 003:00A8:3
00212000 003:00AA:2
00213000 003:00AA:2
00214000 003:00AD:2
00215000 003:00AF:3
00216000 003:00B6:2
00217000 003:00B6:2
00218000 003:00B8:1
00219000 003:00C0:2
00220000 003:00C1:0
00221000 003:00C1:0
00222000 003:00C1:4
00223000 003:00C1:4
00224000 003:00C7:3
00225000 003:00C0:1
00226000 003:00CF:3
00227000 003:00DA:2
00228000 003:00DC:0
00229000 003:00DC:3
00230000 003:00DD:1
00231000 003:00DD:1
00232000 003:00E2:3
00233000 003:00E7:5
00234000 003:00EB:2
00235000 003:00ED:4
00236000 003:00EE:1
00237000 003:00F1:3
00238000 003:00F3:2
00239000 003:00F5:3
00240000 003:00F8:3
00241000 003:00F8:3
00242000 003:00F9:2
00243000 003:00FB:4
00244000 003:00FE:0
00245000 003:00FE:5

2
3
4
4
4
5
6
6
5

```

04*EXP(LN(HGM)-(.764/(AA*PER[DR]-BB)));
END;
END;
WRITE(LP,</" B.F.",6(3F6.3,X2)>,BEF[2,*]);
WRITE(LP,</" N",X3,6(3I6,X2)>,TALISE,*);
END;
PA:=PJENTER(A);
FOR R:=0 STEP 1 UNTIL 60 DO
FOR K:=0 STEP 1 UNTIL 131 DO
REPS(R,K,0);
FOR R:=7 STEP 1 UNTIL 35 DO
REPS(R,33,4);
FOR K:=15,51 DO
FOR R:=7 STEP 1 UNTIL 35 DO
REPS(R,K,1);
FOR R:=0,36 DO
FOR K:=15 STEP 1 UNTIL 51 DO
REPS(R,K,2);
FOR K:=16 STEP 1 UNTIL 50 DO
REPS(26,K,2);
FOR R:=11,15,21,31 DO
FOR K:=17 STEP 2 UNTIL 49 DO
REPS(R,K,2);
KL:=14;
FOR R:=6 STEP 5 UNTIL 36 DO
BEGIN
REPLACE PA BY KL FOR 2 DIGITS;
REPLACE VLLDR,111 BY PA WITH P1;
KL:=*-1;
END;
J1:=(EDAT 100 06) DIV 34;
J2:=(EDAT 100 06) DIV 34;
M1:=(EDAT 100 04) DIV 100;
M2:=(EDAT 100 04) DIV 100;
D1:=EDAT 100 100;
D2:=EDAT 100 100;
REPLACE VLLD2,151 BY STANAL01 FOR LET;
REPLACE VLLD2,15+LETT BY " =STATION ";
REPLACE VLLD2,25+LETT BY STNR FOR 3 DIGITS;
REPLACE VLLD3,151 BY J1 FOR 2 DIGITS;
REPLACE VLLD3,181 BY M1 FOR 2 DIGITS;
REPLACE VLLD3,211 BY J1 FOR 2 DIGITS;
REPLACE VLLD3,231 BY D2 FOR 2 DIGITS;
REPLACE VLLD3,291 BY M2 FOR 2 DIGITS;
REPLACE VLLD3,311 BY J2 FOR 2 DIGITS;
FOR K:=17,20,27,30 DO
REPLACE VLLD3, K1 BY "/";
REPLACE VLLD6,611 BY "RESPONSE PARAMETERS A =",X
AA FOR 5 NUMERIC," B=-",BB FOR 5 NUMERIC;X
00246000 003:0101:1
00247000 003:0108:0
00248000 003:0108:0
00249000 003:0108:2
00250000 003:0116:2
00251000 003:011F:2
00252000 003:0122:3
00253000 003:0124:0
00254000 003:0124:4
00255000 003:0125:2
00256000 003:012C:2
00257000 003:012D:1
00258000 003:0132:0
00259000 003:0136:2
00260000 003:0137:1
00261000 003:013E:3
00262000 003:0142:5
00263000 003:0143:4
00264000 003:0148:3
00265000 003:014C:2
00266000 003:0151:1
00267000 003:015A:2
00268000 003:0158:1
00269000 003:0163:3
00270000 003:0164:2
00271000 003:0165:1
00272000 003:0165:1
00273000 003:0167:0
00274000 003:0169:4
00275000 003:0168:0
00276000 003:016D:3
00277000 003:0171:5
00278000 003:0176:5
00279000 003:017A:2
00280000 003:017D:2
00281000 003:017E:5
00282000 003:0180:2
00283000 003:0182:5
00284000 003:0188:5
00285000 003:018C:0
00286000 003:018E:4
00287000 003:0191:2
00288000 003:0194:0
00289000 003:0196:4
00290000 003:0199:2
00291000 003:019C:0
00292000 003:01A5:2
00293000 003:01AA:3
00293100 003:01AD:4

```

BURROJGHS W6300 ALGOL COMPILER, VERSION 32.360.174, MONDAY, 03/26/84, 02:45 PM, PAGE: 6.

```

CASE INTEGER(AA*1000) OF%
BEGIN%
  410:DO: REPLACE VELD[7,61] BY%
    "FAST CUP, FAST RECORDER, HOURLY MAXIMUM GUST";%
  361: REPLACE VELD[7,61] BY%
    "WINDS, HOURLY MAXIMUM GUST";%
  393: REPLACE VELD[7,61] BY%
    "FAST CUP, SLOW RECORDER, HOURLY MAXIMUM GUST";%
  402: REPLACE VELD[7,61] BY%
    "SLOW CUP, SLOW RECORDER, HOURLY MAXIMUM GUST";%
LMD;%
REPLACE VELD[3,61] BY "MEASURING HEIGHT ",%X
HGM FOR 5 "UTHERIC," H. "%X
REPLACE VELD[9,61] BY "STATION COORDINATES";
REPLACE VELD[9,38] BY "NORTH";
REPLACE VELD[9,104] BY "EAST";
FOR K:=31,34,37,100 DO
BEGIN
  REPLACE VELD[9,K] BY COORD[V] FOR 2;
  V:=**2.
END;
FOR R:=5,37 DO
BEGIN
  REPLACE VELD[R,15] BY "N";
  REPLACE VELD[R,24] BY "E";
  REPLACE VELD[R,33] BY "S";
  REPLACE VELD[R,42] BY "W";
  REPLACE VELD[R,51] BY "N";
  REPLACE VELD[R,59,15] BY "
    X W X WINTER";
  REPLACE VELD[R,1,15] BY "
    + S + SUMMER";
  REPLACE VELD[R,15] BY "
    * Y * YEAR";
END;
FOR JR:=0 STEP 1 UNTIL 17 DO
BEGIN
  K:=16+2*JR.
  FOR R:=6 STEP 1 UNTIL 36 DO
  BEGIN
    X:=POSTO,DR,RJ;
    Y:=POSET,DR,RJ;
    IF X NEQ 0 OR Y NEQ 0 THEN
      REPJ(R,K,POSIMCX+4*Y);
  END;
END;
REPLAC_ VELD[15,61] BY "AZIMUTH";
REPLACE VELD[12,73] BY "WINTER";
REPLACE VELD[12,92] BY "SUMMER";
REPLACE VELD[12,121] BY "YEAR";
PTR:=POINTER(A)
FOR K:=74,95,116 DO

```

```

00294000 003:01B6:0
00294100 003:01B7:1
00294200 003:01B7:1
00294300 003:01B8:0
00294400 003:01B8:4
00294500 003:01BE:3
00294600 003:01C0:1
00294650 003:01C2:0
00294700 003:01C3:4
00294800 003:01C5:3
00294900 003:01C7:1
00295000 003:01FB:4
00295100 003:01FE:5
00296000 003:0203:4
00297000 003:0206:4
00298000 003:020A:3
00299000 003:020B:3
00300000 003:0216:5
00302000 003:0216:5
00302000 003:0219:3
00303000 003:021B:0
00304000 003:021E:3
00305000 003:0222:5
00306000 003:0222:5
00307000 003:0225:2
00308000 003:0227:5
00309000 003:022A:2
00310000 003:022C:5
00311000 003:022F:2
00312000 003:0232:2
00313000 003:0235:2
00314000 003:0238:2
00315000 003:023B:3
00316000 003:023C:1
00317000 003:023C:1
00318000 003:023E:1
00319000 003:023F:0
00320000 003:023F:0
00321000 003:0241:5
00322000 003:0244:4
00323000 003:0246:1
00324000 003:024A:4
00325000 003:024D:0
00326000 003:024F:2
00327000 003:0253:4
00328000 003:0257:3
00329000 003:025A:3
00330000 003:025D:3
00331000 003:025F:0

```

2

2

2

2

2

2

2

3

3

2

```

REPLACE VELD[14,K] BY "F Z N";
FOR K:=81,102,125 DO
REPLACE VELD[15,K] BY "J";
FOR DR:=0 STEP 1 UNTIL 17 DO
FOR SE:=0,1,2 DO
BEGIN
IF TALESE,DR] GTR 1 THEN
BEGIN
REPLACE PTR BY DSARISE,DR]#93 FOR 4 DIGITS;
IF TALESE,DR] GEQ 5 THEN
REPLACE VELD[DR,21*SE+72] BY PTR WITH P2
ELSE
REPLACE VELD[DR,21*SE+72] BY PTR WITH PK2;
ZET:=ZARISE,DR];
IF ZET LEQ 0-5 THEN
REPLACE VELD[DR,21*SE+77] BY " SMALL"
ELSE
IF ZET GTR 999 THEN
BEGIN
REPLACE PTR BY ZET FOR 6 DIGITS;
REPLACE VELD[DR,21*SE+77] BY PTR WITH PC2;
END
ELSE
IF ZET GTR 999 THEN
BEGIN
REPLACE PTR BY ZET FOR 5 DIGITS;
REPLACE VELD[DR,21*SE+77] BY PTR WITH PC3;
END
ELSE
IF ZET GTR 99 THEN
BEGIN
REPLACE PTR BY ZET FOR 4 DIGITS;
REPLACE VELD[DR,21*SE+78] BY PTR WITH PC4;
END
ELSE
BEGIN
MAG:=Z;
ZET:=10*ZET;
MA:=MA+1;
END
END
TLR:=IF ZET LSS 10 THEN
BEGIN
ZET:=10*ZET;
MA:=MA+1;
END
ELSE
GO DOOR;
GO TLR;
DOOR:=REPLACE PTR BY ZET FOR 3 DIGITS;
R:=DRTOR;
REPLACE VELD[DR,21*SE+77] BY PTR WITH PC1;
REPLACE VELD[DR,21*SE+81] BY "-";

```

```

00332600 003:0265:5
00333000 003:0268:3
00334000 003:0272:2
00335000 003:0277:3
00336000 003:0278:1
00337000 003:027E:5
00338000 003:027E:5
00339000 003:0280:3
00340000 003:0281:0
00341000 003:0285:1
00342000 003:0287:0
00343000 003:028E:0
00344000 003:028E:1
00345000 003:0295:2
00346000 003:0297:1
00347000 003:0299:1
00348000 003:029E:5
00349000 003:02A0:3
00350000 003:02A2:0
00351000 003:02A2:3
00352000 003:02A4:2
00353000 003:02AB:0
00354000 003:02AB:0
00355000 003:02AB:0
00356000 003:02AC:3
00357000 003:02AD:0
00358000 003:02AE:5
00359000 003:02B5:3
00360000 003:02B5:3
00361000 003:02B5:3
00362000 003:02B6:5
00363000 003:02B7:2
00364000 003:02B9:1
00365000 003:02BF:5
00366000 003:02BF:5
00367000 003:02BF:5
00368000 003:02C0:2
00369000 003:02C1:1
00370000 003:02C2:0
00371000 003:02C2:3
00372000 003:02C3:5
00373000 003:02C5:1
00374000 003:02C5:1
00375000 003:02C5:1
00376000 003:02C5:1
00377000 003:02C5:4
00378000 003:02C7:3
00379000 003:02CB:2
00380000 003:02CE:5

```



```

REPLACE VELDOR,21*SL+82] BY MA FOR 1 DIGITS;
END.
LND;
REPLACE PTR BY TALISC,DKJ FOR 4 DIGITS;
REPLACE VELDORTOR,21*SL+34] BY PTR WITH P4;
END.
FOR DR:=0 STEP 1 UNTIL 17 DO
BEGIN
DIR:=20*DR+1J,
REPLACE VELDORTOR,61] BY DIR FOR 3 DIGITS;
DIR:=**+10;
REPLACE VELDORTOR,65] BY DIR FOR 3 DIGITS;
REPLACE VLDEORTOR,64] BY " ";
END.
WRITE(LPDISK,1J),
WRITE(LPSPACE,5J),
FOR R:=0 STEP 1 UNTIL 60 DO
WRITE(-P,<A1R>,VELDOR,UJ);
UIT;
END.

```

```

0038100J 003:02D2:2
00382000 003:02D5:5
00383000 003:02D5:5
00384000 003:02D5:5
00385000 003:02D8:4
00386000 003:02DF:2
00387000 003:02E4:5
00388000 003:02E5:3
00389000 003:02E5:3
00390000 003:02E7:3
00391000 003:02EE:0
00392000 003:02EE:3
00393000 003:02F4:0
00394000 003:02F9:2
00395000 003:02FB:4
00396000 003:030U:2
00397000 003:0305:2
0039800J 003:0306:0
00399000 003:0310:4
00400000 003:031U:4
R,000U(U03) IS 0312 LONG
STACKCODE IS SEGMENT 0023
STACKCODE(023) IS 006A LONG
DATA IS 00C7 LONG

```

```

***** THIS PROGRAM IS NOT EXECUTABLE BECAUSE OF COMPILING FOR SYNTAX ONLY. *****
*****THIS PROGRAM IS NOT PORTABLE DUE TO VECTORMODE STATEMENTS .*****
NUMBER OF ERRORS DETECTED = 0.
NUMBER OF WARNINGS ISSUED = 1. LAST WARNING AT SEQUENCE NUMBER "00016700".
NUMBER OF SEGMENTS = 33. TOTAL SEGMENT SIZE = 3151 WORDS. CORE ESTIMATE = 5844 WORDS. STACK ESTIMATE = 238
PROGRAM SIZE = 991 CARDS (73 OMITTED CARDS), 7956 SYNTACTIC ITEMS, 240 DISK SEGMENTS.
PROGRAM FILE NAME: WKSCHUFMT1 ON DISK.
COMPILATION TIME = 34.003 SECONDS ELAPSED; 11.169 SECONDS PROCESSING; 2.588 SECONDS I/O.

```


Bijlage VI

Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 11 (1983) 121–131
Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam — Printed in The Netherlands

121

DESCRIPTION REQUIREMENTS FOR ASSESSMENT OF
NON-IDEAL WIND STATIONS — FOR EXAMPLE AACHEN.

J. Wieringa

Royal Netherlands Meteorological
Institute, De Bilt, Netherlands

ABSTRACT

It is shown that wind data of many non-ideally located stations can be made regionally representative only if sufficient information is available about the site and the instrumentation. An information checklist is given. As example the Aachen wind station site is described.

1. INTRODUCTION

Wind data are rather like eggs: the way in which they are gathered and packaged is essential for their usefulness to you. A difference in comparison with eggs is, that with wind data a disaster is not immediately apparent, but must be found out from analysis.

However, for analysis of the quality of wind station data usually insufficient centralized information is available. For our own research purposes I have at various times tried to obtain wind station data from Belgium, the Federal Republic of Germany, the U.S.A. and Great Britain. The German data were accompanied by brief station descriptions, of which two examples are given below. The other countries had less or no summarized information available. This experience has prompted me to give here a survey of the minimum information, which is required for the proper data quality analysis of a wind station.

2. AN EXAMPLE OF SITE EFFECT EVALUATION

The information requirements for assessing wind stations will be derived here from an example. The station Vlissingen (51.5°N , 3.6°E) has been chosen for illustration, because it was assessed three times independently. Some years ago a German wind energy research group wanted to evaluate data from Vlissingen in order to compare the results with their studies of German wind climate. An excellent site study by Van der Hoeven (ref. 11) was not accessible to them because of language difficulties. So they conscientiously came over for a visit and discussions, and afterwards described the station in a format, which was quite similar to the German wind station descriptions they used. Freely but truly translated, their complete description reads:

"Vlissingen harbour, on river mouth. Until January 1972 wind was measured at 10 m height on a jetty ~ 300 m SW from the meteo station. Then the mast was relocated

to the flat roof of the 14 m high meteo building, with the anemometer at 24 m above ground. The neighbourhood (harbour) is loosely built up, the city of Vlissingen approaches the station closely at the NW side" (ref. 4). It was indicated that they would evaluate separately the periods 1969-1971 and 1972-1975.

Previous studies of the wind climate in the Netherlands had shown that Vlissingen posed some analysis problems. While elsewhere on the coast extreme wind speeds occur both during NW and SW storms, at this station they were restricted to the SW sector. Also the two locations, though only 400 m apart, showed differences in their extreme wind statistics which exceeded by far the effect of their height differences. It was statistically not admissible to make a joint Gumbel analysis.

For a proper assessment of possible site effects more information is needed than the above citation provides. First, we need some map. Fig. 1a shows that SW winds have free access to both sites because of the great width of the river mouth. This accounts for the relative exaggeration of SW storms in the original observations.

Second, a quantitative analysis was made of the exposure for each location per azimuth sector. This can be done from a relatively short data series (1 year of hourly data is plenty) by analyzing the average gustiness for each sector. Winds from a rough sector (e.g. a city) show both a large gustiness and a sizeable retardation of the average wind speed, and the relation between gustiness and retardation can be quantified (refs. 12, 13). The results are shown in figure 1b.

The basic step in such a gustiness analysis is evaluation of the effective sector roughness parameter z_0 from observed gustiness parameters, which are individually normalized with the simultaneous average wind speed U . One possible gustiness parameter is the standard deviation of wind speed, σ_u , determined over a 0.2-0.002 Hz bandwidth. The "poor-man's" alternative is the gust factor $G = u_{\text{mx}}/U$, where u_{mx} is the largest gust observed during the averaging period T .

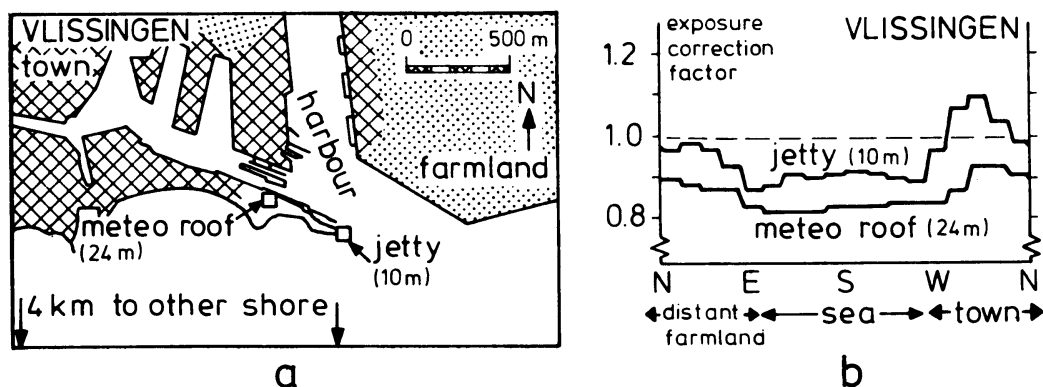


Fig. 1. (a) Anemometer locations at Vlissingen. (b) Azimuth dependence of gustiness-derived exposure correction factors for elimination of non-representative retardation induced by the local terrain.

For an anemometer height of z_s (m) above ground the used relation is:

$$[\ln(z_s/z_o)]^{-1} = \sigma_u/U = \frac{(\langle G \rangle / f_T) - 1 - A (f_T - 1)}{f_T A E_L} \quad (1)$$

where $\langle G \rangle$ is the median average of at least a dozen G -values observed with $U > 6$ m/s in the considered azimuth sector (refs. 12, 13). Other specified parameters are instrumentation-dependent constants. First, f_T is 1.0 for $T=10$ min, and 1.1 for $T=1$ hour. Next, E_L is a statistical parameter (~ 2) solely dependent on the typical duration of the largest recorded gusts (usually ~ 10 sec). Last, A is the average attenuation (~ 0.9) of the largest recorded gusts.

Though for further details one should refer to the original publications, (1) is given here because it clearly shows that a gustiness analysis requires more information about the local observation set-up than just the anemometer height. The dynamic response of both anemometer and recorder (and transmission) is necessary to obtain A and E_L , and also the averaging period T must be known.

Roughness lengths z_o derived in this fashion prove to depend on the upwind terrain features up to a few km distance from the anemometer. Both nearby obstacles (single trees or buildings) and more general terrain features (crops, distant forests or built-up areas) are accounted for in an integrated fashion. As a result, the z_o -values obtained are somewhat larger than those listed in micrometeorological handbooks, where usually results from short wind profile masts in homogeneous terrain are tabulated. The gustiness-derived z_o -values agree better with those given by Davenport (ref. 3) in his pioneering effort to classify terrain types according to roughness. This may be because in assessing rough terrain types Davenport used data from sufficiently high masts. Since Davenport's original classification is in terms of power-law exponents and thus not compatible with proper boundary-layer analysis, a z_o -adapted version (ref. 14) is given here in Table 1.

TABLE 1

Roughness classification of terrain types, adapted from Davenport.

Class	Short terrain description	z_o (m)
1	Open water, fetch at least 5 km	0.0002
2	Mud flats, snow; no vegetation, no obstacles	0.005
3	Open flat terrain; grass, few isolated obstacles	0.03
4	Low crops; occasional large obstacles, $x/h > 20$	0.10
5	High crops; scattered obstacles, $15 < x/h < 20$	0.25
6	Parkland, bushes; numerous obstacles, $x/h \sim 10$	0.5
7	Regular large obstacle coverage (suburb, forest)	1.0
8	City centre with high- and low-rise buildings	?

Note: Here x is a typical upwind obstacle distance, and h the height of the corresponding major obstacles.

The final purpose of all this is to make the station data representative for the region. When application of the wind statistics at a distant site is required, the azimuth-dependent obstacle effects at that site itself are already enough of a problem. It is then worthwhile to eliminate in advance from the station-measured data any purely local obstacle-caused retardations before translating them to the user's site. This can be done by transforming the measured wind U_s to the value, which it would have had if the upwind sector were flat open terrain ($z_o = 0.03$ m) instead of having its actually observed roughness z_{os} . Such a practice is in full accordance with the W.M.O. requirement: "Measurements of wind for synoptic purposes should refer to a height of 10 m in an unobstructed area".

This hypothetical 10m-wind over nearby open terrain, which corresponds to an actually measured wind at the station location, seems to be well described by the term "potential wind" (U_p). Its derivation from a station-measured wind U_s at height z_s , coming from an azimuth sector with roughness z_{os} , is given by:

$$U_p = U_s \left[0.764 \ln(60/z_{os}) / \ln(z_s/z_{os}) \right] . \quad (2)$$

This relation has been checked experimentally for various terrain situations (refs. 12, 13, 14). Generally the exposure correction factor U_p/U_s will be > 1 , but for large z_s -values or for smooth upwind terrain (e.g. open water) it may be < 1 .

The exposure correction factors obtained for the two Vlissingen locations are given in Fig. 1b. Their values agree well with an earlier site effect study (ref. 11) made through climatological comparison with simultaneous Beaufort wind estimates at the nearest light vessel. It must be remarked, that comparison of neighbouring stations is generally not a proper method to evaluate site effects. One reason is that regional homogeneity is object of study and cannot be assumed beforehand for station calibration purposes. Another reason is, that even in a homogeneous region the compared stations usually each have local problems of exposure, and that the causes of differences are difficult to assign.

After exposure correction, the NW storm winds again are on a par with SW storms, as it should be. Other beneficial results of exposure correction are listed in Table 2, both for the yearly averages U_y and for Gumbel estimates of the largest

TABLE 2
Effects of exposure correction on Vlissingen wind statistics.

location	before correction		after correction	
	jetty	meteo roof	jetty	meteo roof
\overline{U}_y (m/s)	5.65	6.18	5.32	5.30
$\sigma(U_y)$	0.16	0.22	0.14	0.14
U_{\max} ($\overline{\text{hr}}$, 25 y)	25.0 ± 0.6	30.2 ± 2.4	23.2 ± 1.2	25.8 ± 2.2

hourly average in 25 years from yearly maxima. For this 10 years of jetty data and 9 years of meteo roof data were used. It is evident that after correction the joint evaluation of the data from the two locations is fully justified. Analysis results, given here for open terrain, can simply be transformed to other roughnesses and other heights than 10 m by applying a modification of (2) (refs. 12, 13, 14).

Analysis of exposure also pays off for non-relocated stations. E.g. airport anemometers, so often considered unquestionably ideal, are often severely sheltered at one side by airport buildings and may have exposure correction factors up to 1.3 for those azimuth sectors, together with $U_p/U_s \sim 1.0$ for winds coming from the runway. Aeronautical operations would even justify a real-time correction for such large unrepresentativeness.

3. A CHECKLIST FOR WIND STATION DOCUMENTATION

It must be noted that the above analysis of Vlissingen was fully objective. The dynamic response of the anemometer and recorder, and the properties of the transmission between these two, were well known and thus reliable values of E_L and A were available. A check was provided by evaluating the winds coming from the South: for both locations this gave $z_0 \sim 0.0002$ m, as expected for open water. Incidentally this shows, that measurement at 10 m above the 4 m wide meteo roof was high enough to escape the wind distortion caused by the building.

Yet for many stations, particularly those which are no longer active, the instrumentation specifications are insufficiently known. Even if some specifications are available, they may be incomplete because of hidden errors of the system. For instance, the signal transmission between anemometer and recorder may have caused extra damping of gusts, or the recorder pen may have suffered severe friction on the chart paper. The only redeeming point is that such instrumental traps usually are persistent in their effects.

Therefore it is always necessary in gustiness analysis, whether the instrumentation information seems sufficient or not, to "calibrate" the used constants E_L and A by way of analysis of at least one sector for which the roughness is estimable from Table 1 with some certainty. If z_0 comes out much different, then a (subjective) trial-and-error adjustment of the constants is necessary until the gustiness evaluation gives an acceptable z_0 for that sector. Then the less homogeneous sectors can be analyzed with these adjusted constants.

If no gustiness data are available for analysis, then it becomes even more necessary to obtain a good description of the terrain around the anemometer. When the terrain information is sufficient to estimate for each azimuth sector a roughness class from Table 1, then an approximate correction for obstacle- and terrain-caused wind retardation is still "roughly" feasible in flat terrain. In rolling (gently undulating) country such an estimation is less reliable, since uphill winds

are overestimated and downhill winds are underestimated. Gustiness analysis implies some automatic correction for such slope effects (ref. 13), but in the absence of gust data it may prove very difficult to transform wind measurements in hilly terrain to their potential value over flat open terrain.

In any case, a more extensive description of the station surroundings must be available than was e.g. provided by the description of Vlissingen cited above. That description was useful insofar that it showed the existence of a site problem, but it provided no means to solve it. It provided neither an instrumentation specification, nor a clear description of the surroundings with azimuth identifications.

In my opinion, the following information is minimally required for a wind station, if a reliable analysis is to be made.

3.1. SITE SPECIFICATION

3.1.1 Anemometer location

Not only the height above ground, but also the placement must be known: is it a free-standing mast or a mast located on a building? In the latter case we should record both the height and the horizontal dimensions of the building, the shape of the building roof (flat or e.g. gabled), the length of the anemometer mast and the eccentricity of its placement on the roof. On a wide roof a short mast (< 1 roof width) can place the anemometer in the vortex caused by the upwind roof edge, making the measurement unfit for interpretation.

Recent investigations (refs. 5, 7, 10) show that an anemometer at one roofwidth height above the roof still may experience a roof-induced overspeeding of the order of 15%, depending on roof shape. Our experience shows, that for 10 m field masts also the measured wind may overestimate the real wind by +6% through the presence of a small (3 m high) observation hut at the mast foot. The presence of such a hut also augments the gustiness above it: σ_u increases by $\sim 10\%$ (see e.g. ref. 15).

3.1.2 Local map

For description of the immediate station surroundings a map of scale 1:10 000 is ordinarily necessary, since significant terrain features, obstacles and contour lines must be entered on a horizontal scale of less than 100 m, in addition to vegetation types (and heights). The Vlissingen map in Fig. 1a ($\sim 1:25\ 000$) is too coarse for many cases, the Aachen map below (Fig. 5b) is more informative. Another example of a good map is given in ref. 8. In addition to a map description of terrain within a few km of the station, some description is needed of the occurrence of major orographic features, coastlines, urbanized areas etcetera on a larger scale.

3.1.3 Explicit description of the surroundings and their changes

In station logbooks (if any) there is a tendency to record in detail all minor instrumentation adjustments, but not to mention at all when e.g. a big nearby building was erected (how big ? in what direction ?), or when the next-door farmer started to grow maize instead of low crops, or how the trees have grown. It is advisable to note every significant change in obstacle situation or land use within ~ 2 km radius as soon as it occurs, for the benefit of future analysis.

For station description photographs are very valuable, provided that not just a close-up of the wind mast is made, but that the station is depicted in its surroundings. Very useful are overlapping pictures in all directions (not just 4 or 8) taken from the viewpoint of the anemometer, in the top of the mast — taking care to note in which direction each photo was made. A possible alternative for cases where photography is forbidden or impossible is to classify the roughness of each direction sector according to Davenport (Table 1).

3.2. INSTRUMENTATION DESCRIPTION

For meteorological instruments it is usually insufficient to know the brand name and type number, since gust analysis requires information on the dynamic instrument behaviour, which is seldom listed by the manufacturer (ref. 9). For instance, of the Fuess 90z windmeter nobody, not even the factory, has reported anywhere its response length or its starting threshold. Often there is no alternative to carrying out by oneself some calibrations — an experience which can be quite sobering. Generally, one ought to know about:

- (a) anemometer step response distance (ref.9);
- (b) anemometer starting threshold (upkeep-dependent!);
- (c) distance and manner of signal transport and transformation;
- (d) response time of the recorder to a sinusoidal signal of an amplitude equivalent to a wind speed change of ± 5 m/s. A rule of thumb is that this is $\sim 8\%$ of the period of a signal which is recorded for 90% of its real amplitude;
- (e) calibration procedures and maintenance intervals.

3.3. OBSERVATION AND RECORDING PROCEDURE

"Hourly" data can be true digital averages, or log entries obtained by a quick look at a dial pointer at the turn of the hour, or hairline evaluations of a continuous chart record, etcetera. The procedures are usually similar for a particular class of local stations, but usually are considered so self-evident that nobody ever bothers to record them for posterity. Log entries in particular tend to suffer from the very common observer's predilection for even numbers (ref. 6).

Often the largest gust observed in 24 hours is logged routinely. However, this can only be used for gust analysis if the record also contains the hour of its



Fig. 2. The Aachen Observatory seen from the West side.

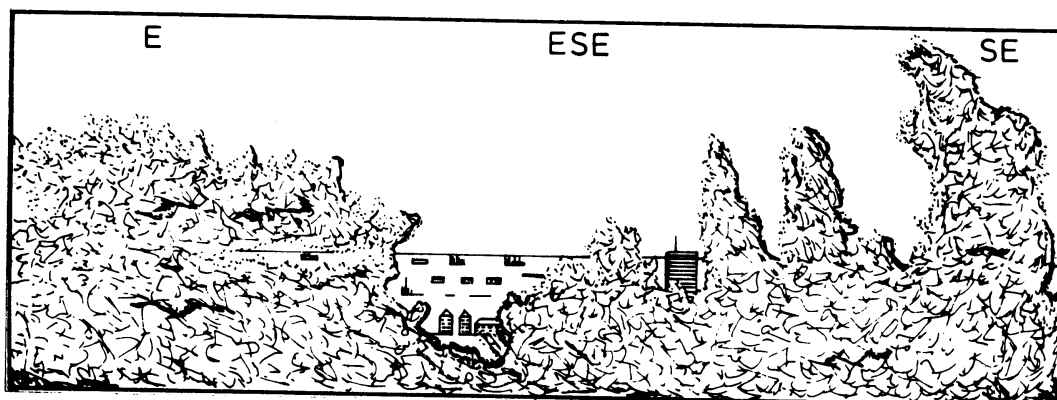


Fig. 3. Aachen, Eastward view from the top of the wind mast.

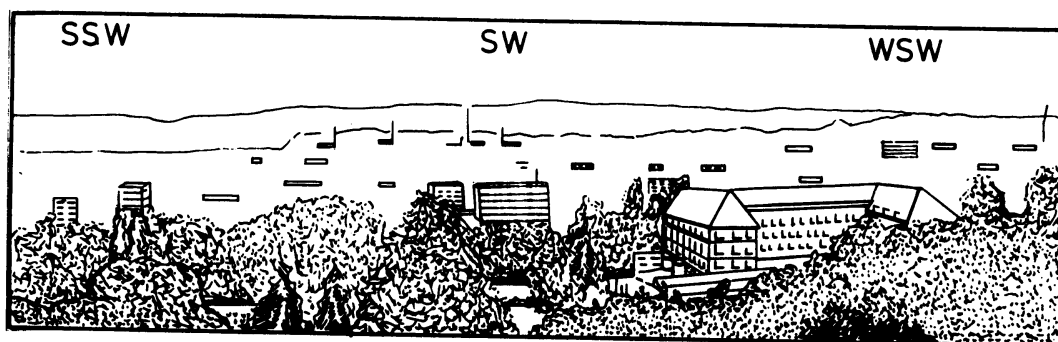


Fig. 4. Aachen, view from the top of the wind mast towards SW.

occurrence, because it must be normalized with the simultaneous hourly average and has to be assigned to a specified azimuth sector.

Finally, it should be known how the wind data for nighttime and on weekends are obtained. Sometimes the central data management also checks for missing or erroneous data (ref. 1).

With information on the above subjects (site, instrumentation, and observation procedure) station data can usually be made regionally representative for wind energy surveys (ref. 2), for reliable estimation of extreme wind speeds, and many other purposes.

4. AACHEN SITE DESCRIPTION

While the sections 3.2 and 3.3 of the above checklist deal with well-published subjects, a brief example of site description according to section 3.1 seems useful. In the context of the Aachen colloquium on wind engineering it seems apt to choose for this purpose the wind station Aachen, which has been at the same site for over thirty years -- a nice long series.

As noted in the Introduction, German wind stations have the uncommon asset that some station description is actually available. The official description, freely translated, reads as follows: "The station is located at the Northern edge of the city on the Wingertsberg, one of the hills which enclose the Aachen valley, situated in the city park quarter. The anemometer is at 16 m height, only 4 m above the rooftop of the observation building but otherwise unobstructed. The neighbourhood is loosely built up with much vegetation. Windmeter until June 1972 Fuess 82a, afterwards Fuess 90z. Representative for similar locations in Aachen hill country" The last entry shows that the German Weather Service has firm doubts about the usefulness of the station. Unfortunately, weather services are seldom free to choose their station sites in an optimal fashion, and have to take the imperfect opportunities available.

During a visit to the station in June 1980 some photos were taken, of which a selection is reproduced in Figs. 2 to 5a. The observation building in its surroundings is shown in Fig. 2, and two things are immediately apparent. First, the asymmetrically placed wind mast (on the lefthand side in the picture) is short compared to the width of the building, and it is not impossible that for southerly winds the anemometer is well within the roof vortex. Second, the "vegetation" looks uncomfortably high, and "unobstructed" may well be ancient history. This idea was confirmed by the view from the top of the roof mast: for the sector N-E-S the horizon is almost totally obstructed by tree tops, as shown e.g. in Fig. 3. Reliable measurement of the wind from those directions is impossible.

In the SW direction the anemometer has a nice view (Fig. 4) over the town of Aachen and the distant hills. It is quite likely that winds from that direction will

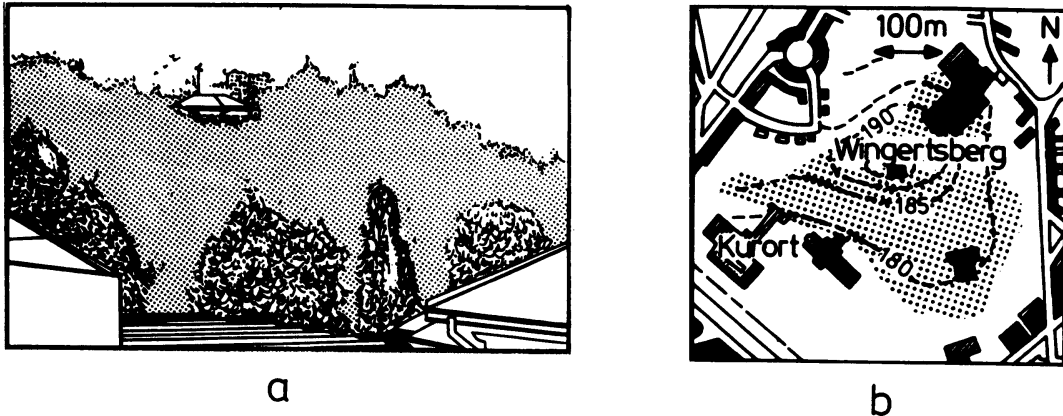


Fig. 5. (a) View from the WSW side towards Aachen wind station, seen from the top floor of the Kurort. (b) Map of the immediate surroundings of the Aachen wind station (in the map centre). The shaded area on the map indicates densely planted trees of ~ 15 m height; buildings on the map have mostly a height of 10 to 15 m. The city centre (Dom) is in the SW direction. Contour lines in m above sea level.

suffer from upslope acceleration. Finally it is noted that in no direction the "terrain" is sufficiently homogeneous for calibration of a gustiness evaluation.

The only vantage point permitting a distant view of the station was provided by the big Kurhaus building seen in Fig. 4 on the right. Fig. 5a confirms, that the wind mast can hardly be distinguished among the tree silhouettes, and that the phrase "anemometer 16 m above ground" is meaningless here for several reasons. A summary of the total situation is given in the map of Fig. 5b; in this particular case there is no reason to enter the height of individual buildings.

It may be concluded, that winds from the directions S to W may be overestimated, and that winds from other directions will be slightly to severely underestimated. There is no hope for a reasoned correction of these errors. As it is, the Aachen station is only representative for itself, as was already hinted at in the official description.

5. DISCUSSION

It is quite accidental that the given Aachen example of station site description deals with a low-quality wind station. The example was primarily given to illustrate the type of information which is needed to arrive at a quality judgement. If a station produces nonsensical wind data, it is better to know so in advance, for then the most perfect statistical analysis will still produce nonsense results.

There are many such stations around the world, of which the reliability can only be checked if sufficient documentation is collected and made available to data users. With proper information it appears even possible to correct objectively for the effects of station relocation, if both locations are reasonably good and close

together. The possibility of obtaining climatological wind series of useful length is thereby enhanced.

ACKNOWLEDGEMENTS

I am indebted to A. van Engelen for coining the elegant term "potential wind" for the verbose "reference wind speed at 10 m height over open terrain". Thanks are due to Dr. G. Jurksch of the Deutsche Wetterdienst for providing information. The assistance of B. Oenraw and the drawing skill of R.J. Meijer have been of great help.

REFERENCES

- 1 G.W. Bryant, "Quality control of anemograph data", *Meteorol. Mag.*, 108 (1979) 260-267.
- 2 N.J. Cherry, "Wind energy resource survey methodology", *J. Industr. Aerodyn.*, 5 (1980) 247-280.
- 3 A.G. Davenport, "Rationale for determining design wind velocities", *J. Atm. Soc. Civ. Eng. (Struct. Div.)*, 86 (1960) 39-68.
- 4 W. Dub and H. Pape, "Die Windverhältnisse in den Niederlanden", Univ. Regensburg Internal Report, 1980, 16 pp.
- 5 R.A. Evans and B.E. Lee, "The problems of anemometer exposure in urban areas -- a windtunnel study", with Comment by F. Singleton, *Meteorol. Mag.*, 110 (1981) 188-199 and 329-330.
- 6 G.C. Holzworth, "A note on surface wind-speed observations", *Monthly Weath. Rev.*, 93 (1965) 323-325.
- 7 J. Kondo and G. Naito, "Disturbed wind fields around the obstacle in sheared flow near the ground surface", *J. Meteorol. Soc. Japan*, 50 (1972) 346-354.
- 8 A. Korrell, H.A. Panofsky and R.J. Rossi, "Wind profiles at the Boulder Tower", *Boundary-Layer Meteorol.* 22 (1982) 295-312.
- 9 D.A. Mazzarella, "An inventory of specifications for wind measuring instruments" *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 53 (1972) 860-871.
- 10 H.W. Teunissen, "Windtunnel investigation of the air flow over a model apartment building", *Atmos. Environ. Canada Internal Rep. MSRB-80-2*, 1980, 41 pp.
- 11 P.C.T. van der Hoeven, "Windmetingen in het Deltagebied", *Kon. Nederl. Meteorol. Inst. Sc. Rep. WR-75-5*, 1975, 121 pp.
- 12 J. Wieringa, "An objective exposure correction method for average wind speeds measured at a sheltered location", *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.*, 102 (1976) 241-253.
- 13 J. Wieringa, "Wind representativity increase due to an exposure correction, obtainable from past analog station wind records", *Proceedings of the WMO Technical Conference on Instruments and Methods of Observation*, World Meteorological Organization, Geneva, No. 480, 1977, 39-44.
- 14 J. Wieringa, "Representativeness of wind observations at airports", *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 61 (1980) 962-971.
- 15 J.C. Wyngaard, "The effects of probe-induced flow distortion on atmospheric turbulence measurements", *J. Appl. Meteorol.*, 20 (1981) 784-794.