

**KONINKLIJK NEDERLANDS
METEOROLOGISCH INSTITUUT**

WETENSCHAPPELIJK RAPPORT

SCIENTIFIC REPORT

W. R. 81 - 4

J. G. van der Vliet

**De invloed van de mast en de uithouders op de
windmeting te Cabauw.**

**The influence of the mast and the booms on
the wind measurements at Cabauw.**



De Bilt 1981

Publikatienummer: K.N.M.I. W.R. 81-4 (FM)

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

U.D.C.: 551.507.7 :
551.501.75

<u>Inhoud</u>	Pagina
Inleiding	
1. Beschrijving constructies meetplaatsen.	3
1.1. Het meetgebouw	3
1.2. De hoofdmast	6
1.3. Uithouders	6
2. Nevenmasten	7
2.1. 10 m - mast zuidelijk tuiblok	7
2.2. 2 m - mastje zuidelijk tuiblokterrein	10
2.3. 2 m - mastjes t.b.v. storingsonderzoek meetgebouw	10
2.4. Verplaatsbare 20 m mast	10
2.5. Verplaatsbare 10 m mast	10
2.6. Vaste 20 m - SE mast	10
2.7. 20 m mast NW-tuiblok	13
2.8. Mastje topbordes hoofdmast	13
3. Gebruikte instrumenten	14
3.1. Windsnelheid	14
3.1.1. Sensor routine registratie	14
3.1.2. Sensor speciale onderzoeken	14
3.1.3. IJking van de anemometers	14
3.1.3.1. Berekening ijkingen	15
3.1.3.2. IJkmethoden	15
3.1.4. Kwaliteitseisen en ijkfactoren	15
3.1.5. Registratiemethoden en bewerkingen	16
3.1.5.1. Routine registratie	16
3.1.5.2. Sodecoteller registratie	17
3.1.5.3. Minicomputer	19
3.2. Windrichting	20
3.2.1. Sensor hoofdmast	20
3.2.2. Sensor bijmast	20
3.2.3. IJking van de windvanen	20
3.2.4. Vastlegging positie vaanpluggen op de uithouders en richting uithouders	20
3.2.5. Registratie methoden en bewerking	21
3.2.5.1. Routine registratie	21
3.2.5.2. Minicomputer	22

	Pagina
4. Resultaten van diverse vergelijkingen	22
4.1. Vergelijking registratiesystemen	23
4.2. Windsnelheid 2 m hoogte	28
4.3. Windsnelheidsvergelijking 215 - 200 m	30
4.4. Windsnelheidsvergelijking 200 m-niveau	32
4.5. Windsnelheidsvergelijking 20 m-niveau	44
4.6. Windsnelheidsvergelijking 20 m-niveau, zomer en herfst 1978	51
5. Enkele opmerkingen over het beschikbare materiaal	59
6. Samenvatting en conclusies	59
6.1. Meetmethoden	59
6.2. Beïnvloeding door meetgebouw en terrein	60
6.3. Beïnvloeding door mast en uithouders	61
6.4. Windmeetfout in de gegevensbestanden 1973, 1977 t/m 1979	64
7. Referenties	71
8. Overzicht grafieken die met de directe storingen te maken hebben	73
9. Abstract	74

Inleiding

Sinds december 1972 is de 213 m hoge meetmast van het K.N.M.I. te Cabauw in gebruik (Van Ulden et al., 1976; Driedonks et al., 1978). In het ontwerpstadium bleek al hoe moeilijk het was om aan een gesloten mast "goede" windsnelheden te meten. Praktijkvoorbeelden waren nauwelijks aanwezig. Theoretisch werd alles zo goed mogelijk voorbereid. Toch bleek dat, toen enig waarnemingsmateriaal beschikbaar kwam, de gemeten windsnelheden door de uithouders zelf werden beïnvloed.

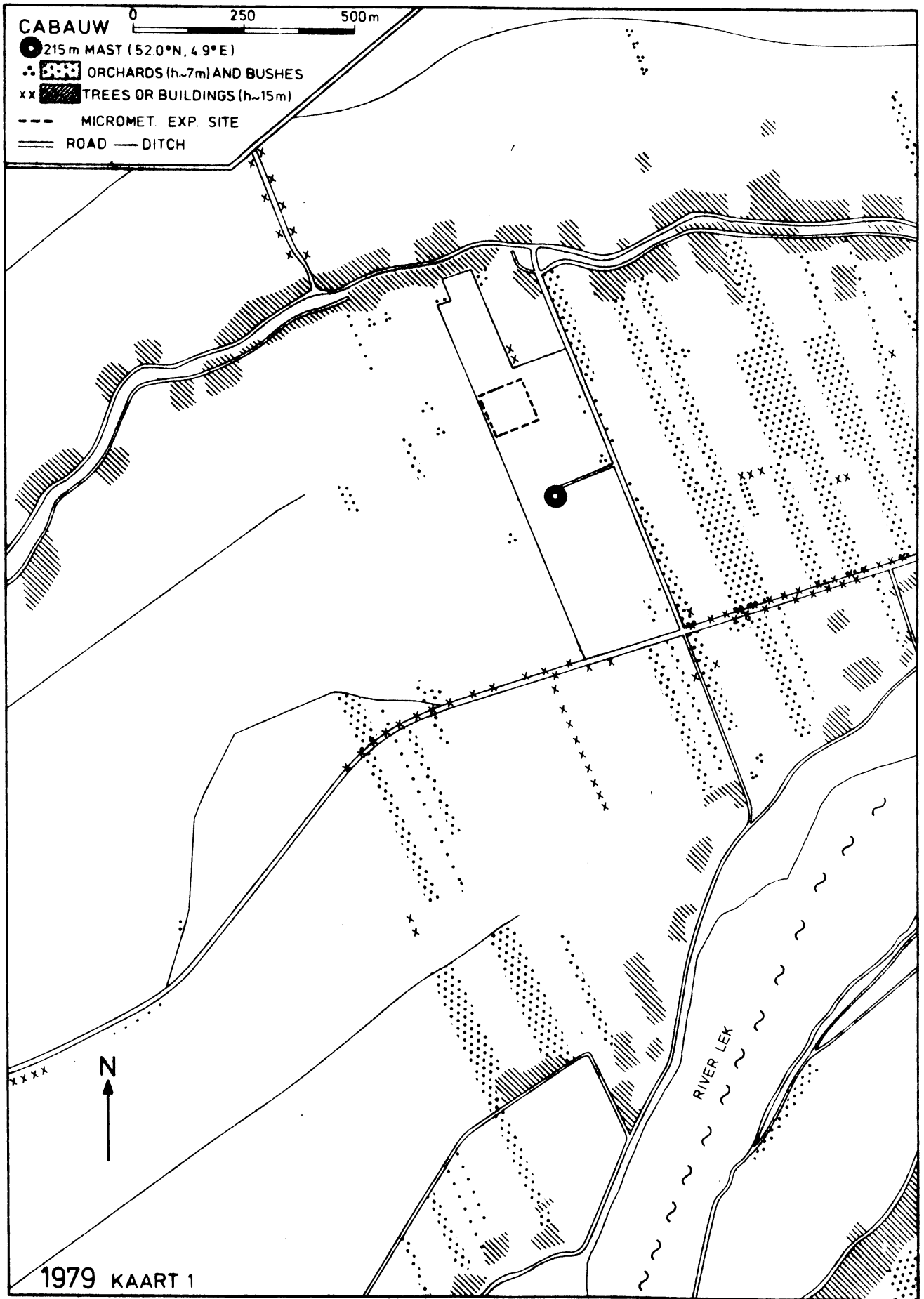
Om na te gaan in hoeverre de uithouderstoring kon worden verminderd, werden in de jaren 1974 tot en met 1978 diverse vergelijkende metingen uitgevoerd. Het resultaat hiervan was dat sinds 1977 de anemometers en de windvanen op verlengbuisjes van 50 cm lengte werden opgesteld. De fout in de windsnelheidsmetingen werd daardoor tot het acceptabele niveau van $\pm 1,5\%$, over een windrichtingsgebied van ca 120 graden, terug gebracht. Tevens is aangegeven op welke wijze de windmetingen in de jaren 1977 t/m 1979 gecorrigeerd kunnen worden. Om eventuele terreinstoringen, welke van invloed zouden kunnen zijn op de metingen op de lagere niveaus te onderkennen, werden ook vergelijkingen uitgevoerd op de 20 m uithouders, de top van de 20 m SE-mast en de 20 m NW-paal. Door terreineffecten, bomen en dergelijke, is het niet goed mogelijk gebleken met deze opstellingen een acceptabele analyse van de gegevens te maken.

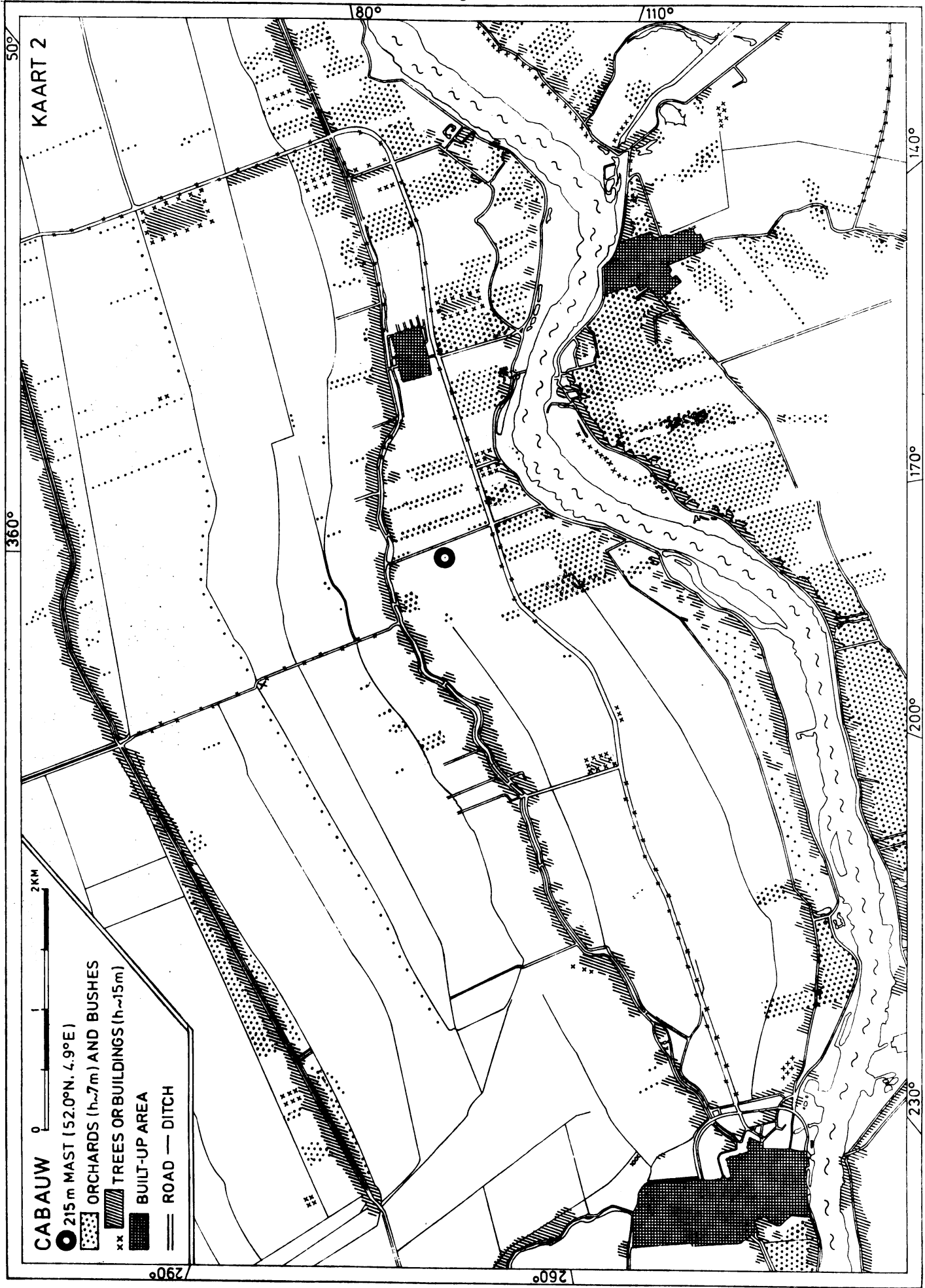
Voorts worden in dit verslag de meetsystemen, opstellingsplaatsen en instrumentatie besproken zoals deze van december 1972 tot en met februari 1979 golden.

1. Beschrijving constructies meetplaatsen

1.1. Het meetgebouw

De mast is gebouwd in het centrum van een betonnen gebouwtje, dat geplaatst is in een landelijke omgeving. Zie voor de omgeving kaarten 1 en 2. Het gebouw is opgetrokken als een regelmatige achthoek met zijden van 7 m lengte en een hoogte van ca 3.75 m, de grootste breedte is 17.25 m.





1.2. Hoofdmast

De mast is uitgevoerd als een stalen cilindrische buismast met een diameter van 2 m. Het ligt voor de hand, dat de meetapparatuur zich op een zekere afstand van het mastlichaam moeten bevinden, opdat de metingen niet door de aanwezigheid van de mast zelf worden gestoord. Daarom zijn er op een onderlinge afstand van 20 m tussen 20 m en 200 m in de drie richtingen noord (N), zuidoost (SE) en zuidwest (SW) uithouders aangebracht waarop de meetapparatuur geplaatst kan worden (zie figuur 1, tekening mastgedeelte).

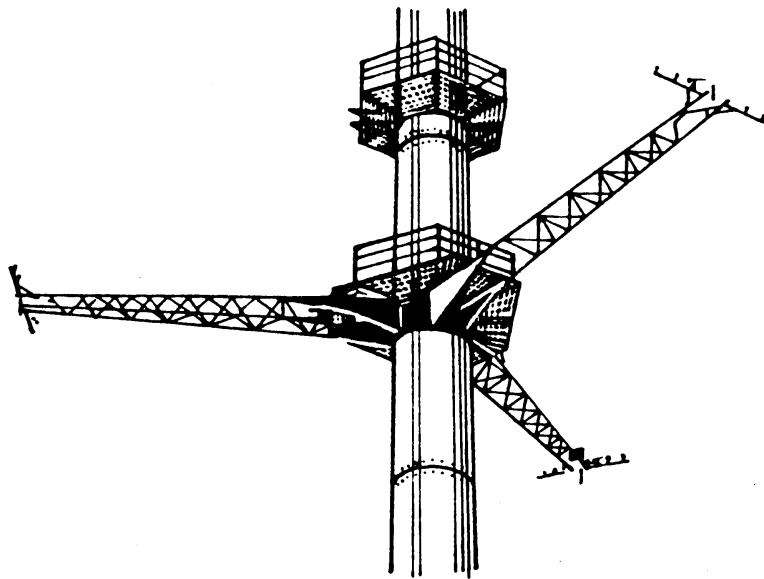


Fig.1

1.3. Uithouders

De uithouders hebben een lengte van 10,4 m ten opzichte van de mast. In de literatuur (Borovenko et al, 1963, Gill et al, 1967) wordt als minimale afstand van de windsensoren aan de loefzijde van de mast tenminste vijf maal de mastdiameter aanbevolen om de mastbeïnvloeding op de metingen $\leq 1\%$ te doen zijn. Teneinde de uithouders zo min mogelijk tot de windverstoring te laten bijdragen werden ze uitgevoerd als ijle maar toch stijve vakwerkconstructies met driehoekige doorsnede.

De twee buisvormige bovenliggers worden gebruikt om de bundels signaalkabels van de mast naar de uiteinden van de uithouders te voeren. Aan het einde van de uithouder bevinden zich twee flenzen op een afstand van 50 cm met een doorsnede van 22 cm waaraan een aansluitkast wordt bevestigd van 24x12x11.8 cm. De aansluitkast wordt, op een afstand van 16 cm, voorzien van een ronde dwarsarm van 139 cm lang en een doorsnede van 6 cm waarop drie pluggen met een hoogte van 7 cm en een onderlinge afstand van 50 cm zijn gemonteerd (zie figuur 2, uithouder met dwarsarm en figuur 3, constructie tekening).

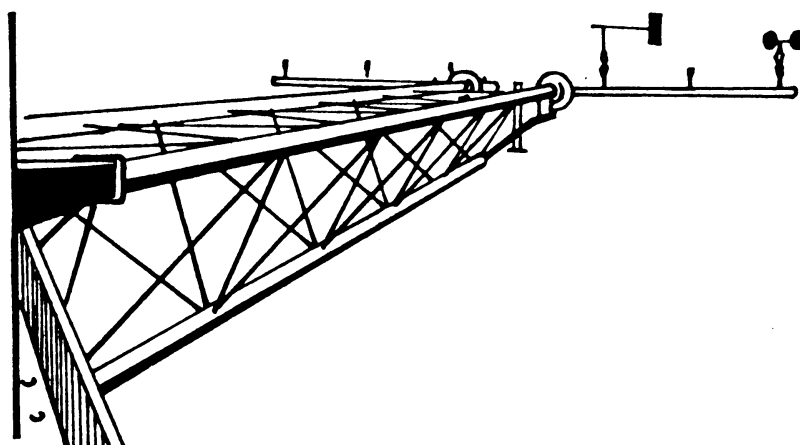
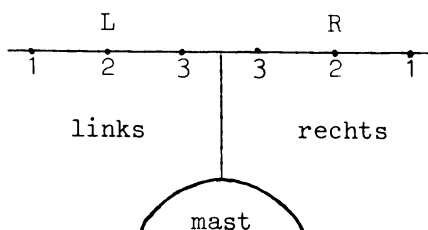


Fig. 2

De pluggen hebben de volgende nummering:

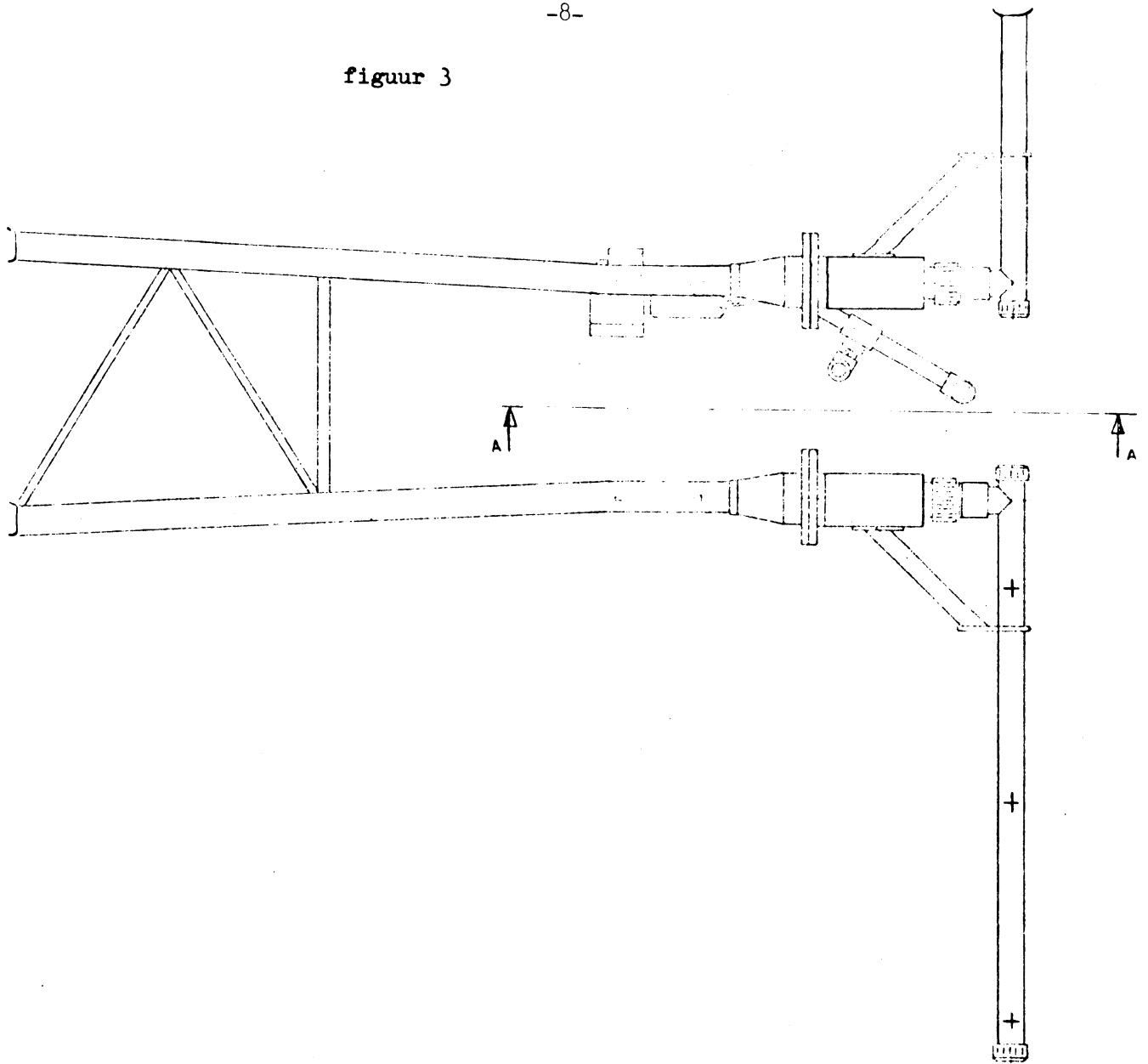


2. Nevenmasten (zie kaart 3)

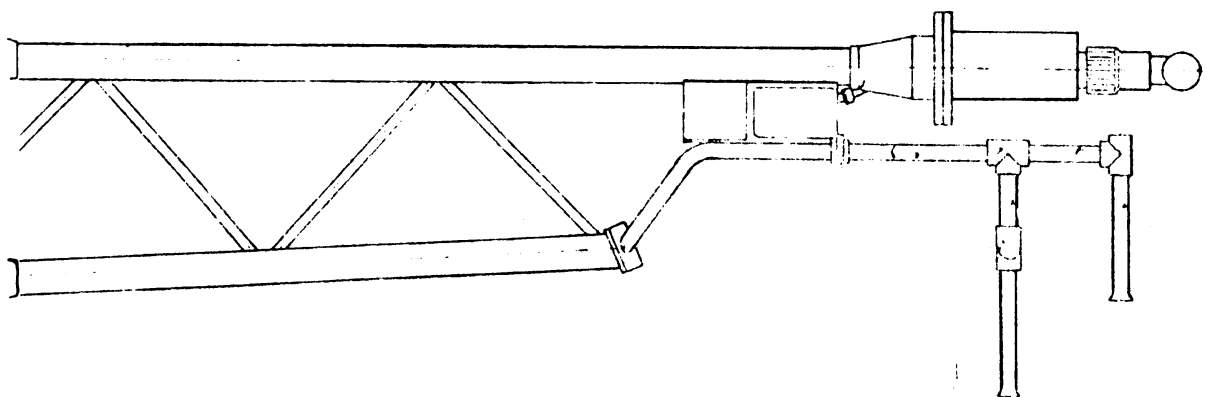
2.1. 10 m-mast zuidelijk tuiblok

Op het zuidelijk tuiblok, op een afstand van 72 m uit het midden van de hoofdmast, staat een stijve stalen mast van ca 10 m lengte. De hierop geplaatste anemometer bevindt zich met het midden van de cups op een hoogte van 10.36 m boven het tuiblok (zie foto 1, rechts).

figuur 3



Aanzicht A-A



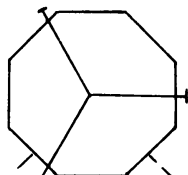
0 25 50 75 100 cm

Detail-tekening uithouder Cabauw
Detail of a boom tip

KAART 3



20 m SE-mast
(§ 2.6)

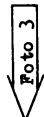


+ mastje a
(§ 2.3)

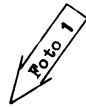
(§ 2.7)
5 m + 10 m
20 m NW-mast

Zuidelijk tuiblok

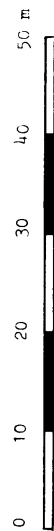
(§ 2.4)
20 m + 10 m
(§ 2.1)
10 m + 10 m verplaatsbaar
(§ 2.5)



+ mastje b
(§ 2.3)



+ 2 m
(§ 2.2)



Wind measurements up to 20 m.
Opstelling windapparatuur
Cebu 1972-1979

Ook in het vervolg wordt de hoogte van de anemometers gerefereerd aan het midden van de cups. Op dezelfde mast en hoogte was op een afstand van ca 1 m in E-lijke richting een windvaan opgesteld.

2.2. 2 m-mastje zuidelijk tuiblok terrein

Op 22 mei 1974 werd op het zuidelijk-tuiblok terrein, op een afstand van 91 m uit het midden van de hoofdmast een paaltje geplaatst met een anemometer op 1.90 m boven het maaiveld (zie foto 1 links).

Deze opstelling heeft tot 28 februari 1978 dienst gedaan.

2.3. 2 meter mastjes ten behoeve van storingsonderzoek meetgebouw

In de periode 5 november 1974 tot en met 18 februari 1975 stonden in het verlengde van de SW-uthouder 2 tweemeter-mastjes opgesteld. De beide anemometercups bevonden zich op een hoogte van 2.05 m boven het maaiveld. Mastje a bevond zich op een afstand van 9.8 m en mastje b op een afstand van 40.9 m van de voet van het meetgebouw.

2.4. Verplaatsbare 20 m mast

In de periode 23 juni 1975 tot en met 17 mei 1976 stond nabij het zuidelijk tuiblok een vakwerkmast van 20 m lengte opgesteld. De mast stond op een afstand van 65.4 m vanaf het midden van de 200 m-mast (zie foto 1).

2.5. Verplaatsbare 10 m mast

In de periode van 23 maart 1976 tot en met 17 mei 1976 stond nabij het zuidelijk tuiblok een vakwerkmast van 10 m lengte opgesteld. De mast stond op een afstand van 7.5 m ten SSE vanaf de 10 m mast (2.1.).

2.6. Vaste 20 m SE-mast (B-mast)

Vanaf 13 september 1975 staat in het verlengde van de SE-uthouder een vaste, open vakwerk mast (zie foto 2). Het midden van de mast bevindt zich op 29 m vanaf het midden van de hoofdmast. De afmetingen van de mast zijn 2 x 1.60 m. De uthouders bevinden zich aan de zijde van 1.60 m. De totale lengte is 19.65 m. De anemometers bevinden zich op een afstand van 5.47 m van het midden van de mast. Dit met uitzondering van de 20 m opstelling; deze bevindt zich ca 3 m uit het midden van de mast.

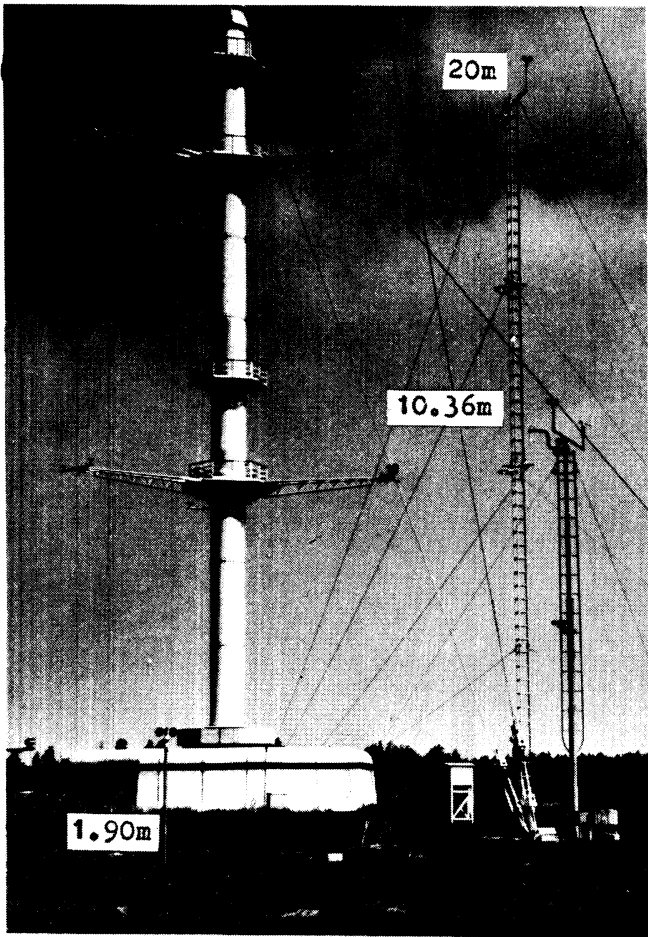


foto 1

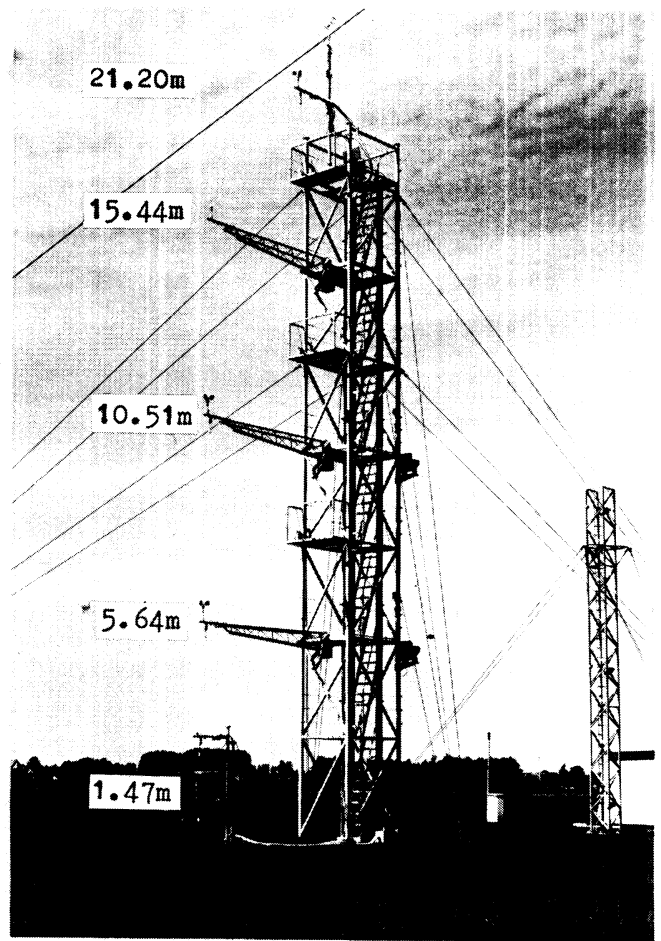


foto 2

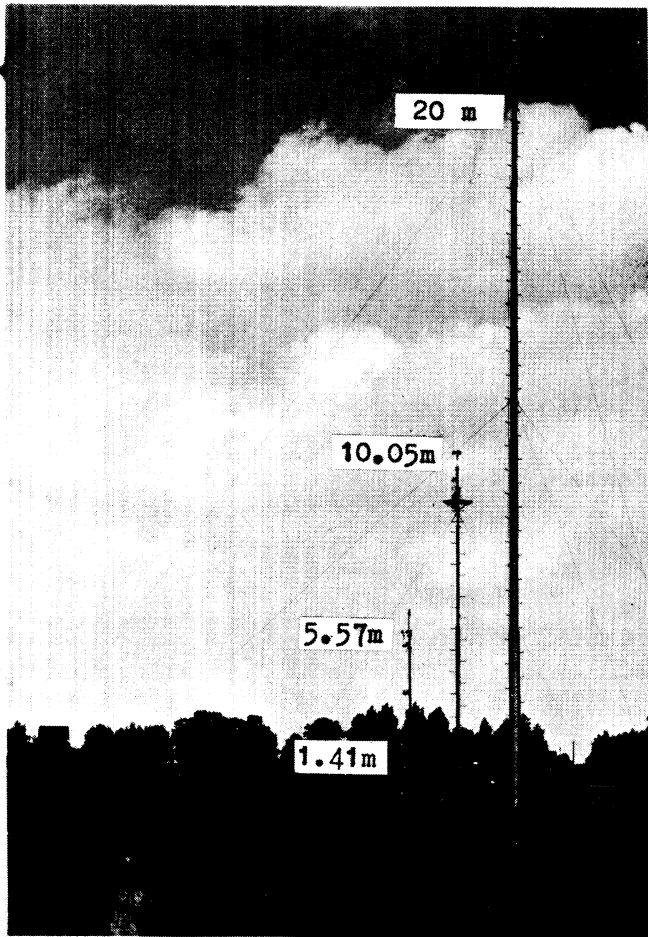


foto 3

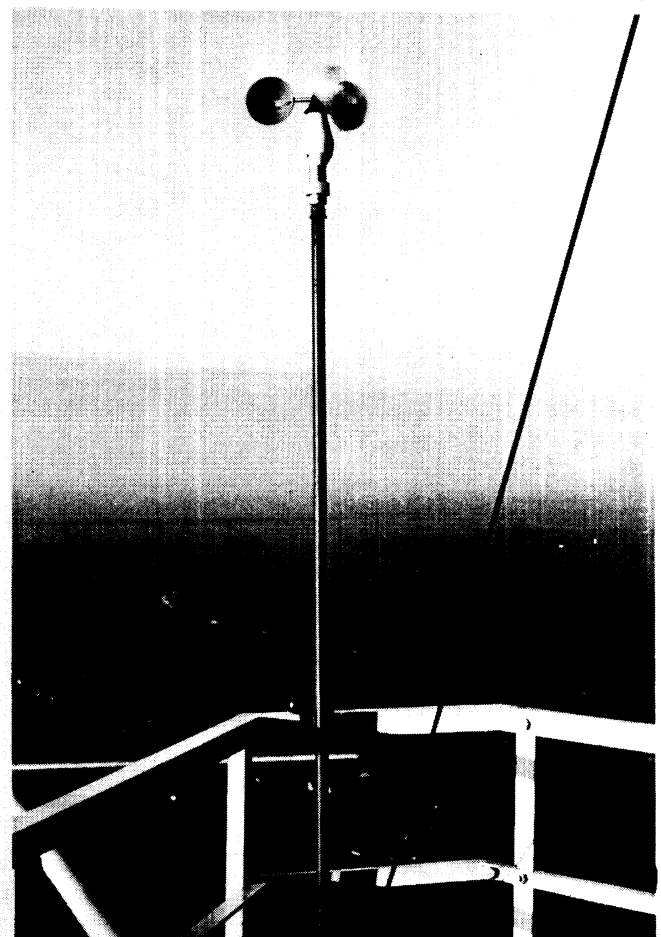


foto 4



foto 5

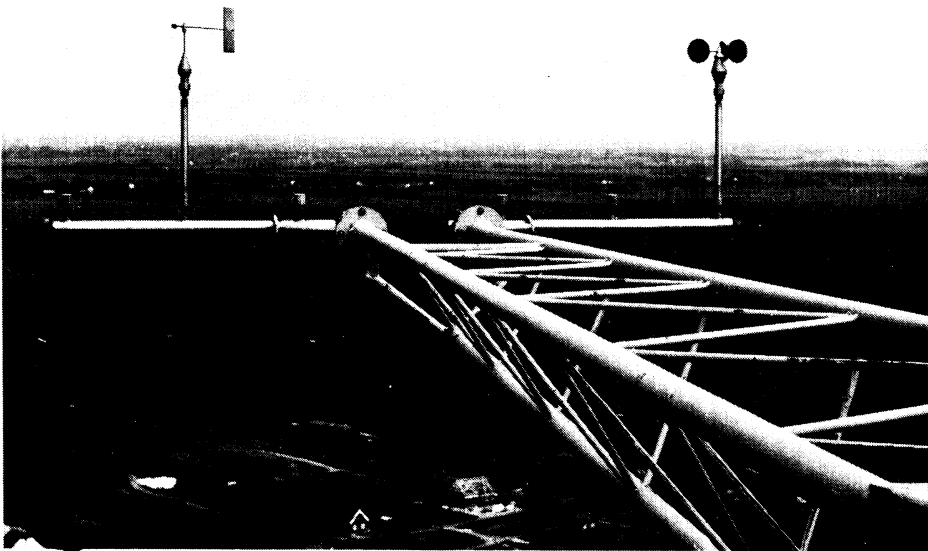


foto 6

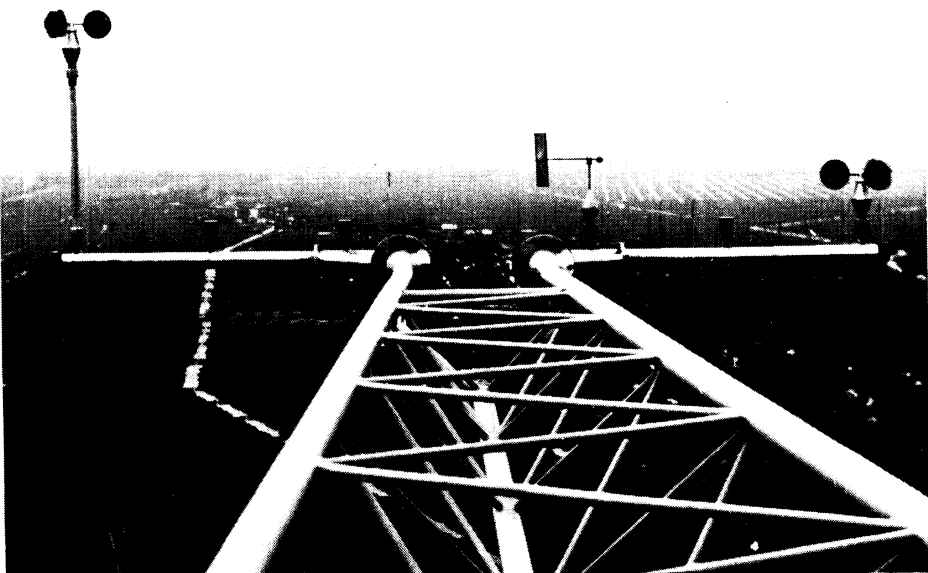


foto 7

De cups van de anemometers bevinden zich op resp. 5.64 m, 10.61 m en ca 21.20 m hoogte boven het maaiveld.

Op ca 15.44 m hoogte bevindt zich het midden van het vaanblad van de windrichtingssensor. Onder de uithouders is zodanig een 2 m-mastje geplaatst, dat de windsensoren zich in één verticale lijn bevinden. De hoogte van de anemometercups is 1.47 m boven het maaiveld.

2.7. 20 m-mast NW tuiblok

Vanaf 1 maart 1977 staat op het eerste tuiblok in NW-lijke richting op een afstand van ca 73 m van het midden van de hoofdmast een slanke getuide zogenaamde Floodlight mast van 18.75 m (zie foto 3).

Boven op deze mast staat een standaarduithouder van 80 cm lengte. De anemometer-cups bevinden zich op ca 20.0 m boven het maaiveld.

In het verlengde van de genoemde 20 m-mast staat in NW-lijke richting op een afstand van 6.40 m een 10 m-mast. De anemometer-cups bevinden zich op een hoogte van ca 10.05 m.

Tevens staat in het verlengde van de 20 m-mast op een afstand van 13.47 m in NW-lijke richting een mastje van 5 m lengte voorzien van een aantal standaard uithouders van ca 0.90 m lengte wijzend in NW-lijke richting. Hierop bevinden de anemometer-cups zich op resp. ca. 5.57 m en 1.41 m boven het maaiveld (zie kaart 2).

2.8. Mastje topbordes hoofdmast

In de periode december 1970 tot en met 22 mei 1973 stond op het topbordes aan de SW-zijde van de balustrade, die ca 1.10 m hoog is, een anemometer opgesteld op een mastje ca 2 m lengte.

Aan de NE-zijde van de meetopstelling stond op een afstand van ca 3 m een verticale bliksemafleider met een doorsnede van ca 0.15 m. (Zie foto 4). Wegens de grote hoeveelheid onderbrekingen in de registratie van 215 m hoogte konden alleen de gegevens van april 1973 worden gebruikt.

3. Gebruikte instrumenten

3.1. Windsnelheid

3.1.1. Sensor routine registratie

De windsnelheid, in de operationele opstelling, werd gemeten met behulp van een cupanemometer type KNMI 01.00.018 (Monna, 1978; Monna et al., 1979).

Het windsnelheidssignaal wordt opgewekt door een foto diode, waardoor per omwenteling 32 pulsen worden afgegeven.

Tot en met mei 1976 stonden de anemometers aan de hoofdmast op de rechterdwarsarm op plug positie 1 (zie foto 5). Het midden van de cups was 23.5 cm boven de bovenkant van de dwarsarm. Vanaf maart 1977 stonden de anemometers ca 73.5 cm boven de bovenkant van de dwarsarm (zie foto 6).

Voor de juiste positie raadplege men Nieuwendijk et al., 1978. Zie voor de juiste anemometer hoogte op de nevenmasten 2.1 tot en met 2.8.

3.1.2. Sensor speciale onderzoeken

Voor speciale onderzoeken wordt het zelfde type anemometer gebruikt. Het windsnelheidssignaal wordt echter opgewekt door middel van een magneetschakelaar (reedcontact) welke 8 maal per omwenteling wordt gesloten. Deze anemometers zijn tot mei 1976 in gebruik geweest en bevonden zich zowel op 23.5 cm als op 73.5 cm boven sommige uithouders van de hoofdmast (zie foto 7). Zie voor de juiste hoogte van de bijmasten 2.1. tot en met 2.8.

3.1.3. Ijking van de anemometers

De anemometers worden geijkt in de windtunnel van het KNMI (Wieringa, 1968; Driedonks, 1974).

In de loop van de tijd zijn de ijkmethoden en de bewerkingen van de ijkingen nog al eens veranderd.

3.1.3.1. Berekening ijkingen

Wat altijd is gebleven, was de eis dat met behulp van de kleinste kwadratische methode de lineaire repressie werd berekend tussen output ijkinstrument en output te ijken instrument. Met de lijn $y = ax+b$ worden de meetwaarden omgerekend naar windsnelheden. Tot en met juni 1975 werden de ijkingen berekend met behulp van het computer-programma KNMI-wiej 310770-wijk. Tussen juni 1975 en juli 1976 met behulp van de Wang-tafelcomputer en vanaf augustus 1976 met behulp van het computerprogramma Lincab/Vlietcab.

3.1.3.2. IJkmethoden

Tot en met augustus 1976 vond de ijking plaats van m/min van de vleugelradanemometer en het gemiddelde van een serie van tien pulsen/10 s. van het te ijken instrument.

Vanaf februari 1977 vindt de ijking plaats door de pulsen van de vleugelradanemometer te tellen en de tijdsduur te meten van het equivalente aantal pulsen van de te ijken anemometer.

Het snelheidsgebied waarover geijkt werd veranderde ook wel eens. Dit gebeurde vooral tot februari 1976. Het heeft geen zin dit in details te bespreken daar de gevolgen hiervan niet op de routine metingen van invloed zijn (zie 3.1.4.).

Vanaf maart 1976 wordt over het gebied van 1 tot en met ca 23 m/s op 10 à 14 punten geijkt.

3.1.4. Kwaliteitseisen en ijkfactoren

Als voorwaarde voor een "goede" anemometer werd geëist dat de aanloopsnelheid maximaal 0,6 m/s bedroeg en de standaarddeviatie van de ijkpunten ten opzichte van een lineaire benadering minder dan 1% was; numeriek < 0.02 .

Het was tevens de bedoeling dat ieder halfjaar de anemometers verwisseld zouden worden om daarna herijkt te worden om al te grote afwijkingen te onderkennen.

Wegens het geringe bestand, zeker tot 1978, is het in de praktijk niet altijd mogelijk gebleken de periode van een half jaar te handhaven. Herijkingen vonden echter altijd plaats. Voor wat betreft de routine metingen tot en met mei 1976 werd als lineaire ijkfactor (a) in de vorm: parameter = a x output + b, 1,920 aangehouden en als constante (b) 0. Parameter is in dit geval de windsnelheid en output de spanning van de frequentiemeter.

De faktor (a) was berekend als gemiddelde van 7 anemometer ijkingen. Later bleek dat het nauwkeuriger was om de individuele factoren a en b van de anemometer in het bewerkingprogramma in te voeren. Vanaf maart 1977 is dat op routinebasis gedaan.

De lineaire faktor a bedroeg toen gemiddeld over 25 anemometers n.l. 1.928 met als standaarddeviatie 0.023, voor de constante (b) was dat resp. 0.17 met als standaarddeviatie 0.029.

De meetwaarden verkregen bij de speciale onderzoeken werden alle omgerekend met behulp van de bij het instrument behorende factoren a en b.

3.1.5. Registratie methoden en bewerkingen

3.1.5.1. Routine registratie

Het anemometersignaal wordt via een frequentiemeter en een universele versterker aangeboden aan een digitale data-opslagautomaat (Van Gorp, 1976).

De sample tijd bedraagt 2 minuten terwijl een afvlakschakeling is aangebracht met een RC-tijd van $(38 \pm 0,2)$ seconde. Ieder halfuur vak kunnen we dus over 15 meetwaarden beschikken.

Halvuurgemiddelden werden alleen bepaald indien er tenminste 10-tweeminuut waarden aanwezig waren. In het bewerkingprogramma van de routineregistratie dient de digitale input omgerekend te worden naar windsnelheden.

Het gehele registratiesysteem is gebaseerd op het vastleggen, op bijv. een ponsband, van spanningen tussen 0 en 10 volt.

Voor de windsnelheid zijn 3 posities beschikbaar, 999 digits komen dus overeen met 9.99 Volt.

De afregeling van het systeem is zodanig dat 400 Hz overeenkomt met 480 digits = 4.8 Volt. De anemometer geeft per omwenteling 32 pulsen af. In de periode januari 1973 tot en met mei 1976 werd als lineaire ijkfactor (a) 1.92 gebruikt en als constante (b) 0, (zie 3.1.4.).

De windsnelheid werd toen als volgt berekend:

$$\begin{aligned} u &= a \cdot R \cdot s^{-1} + b & (1) & \text{waarin } a = \text{lineaire ijk-} \\ & & & \text{faktor.} \\ u &= a \cdot \frac{1}{32} \cdot p \cdot s^{-1} + b & (2) & \\ u &= a \cdot \frac{1}{32} \cdot \frac{400}{480} d + b & (3) & \text{R} \cdot \text{s}^{-1} = \text{rotatie per seconde} \\ & & & b = \text{constante ijkfactor} \\ u &= A d + B & (4) & p \cdot \text{s}^{-1} = \text{pulsen per seconde} \\ & & & d = \text{gedigitaliseerde} \\ & & & \text{meetwaarde} \\ A &= a \cdot \frac{1}{32} \cdot \frac{400}{480} & (5) & \\ B &= b = 0 & (6) & A = \text{omrekeningsfactor} \\ A &= 1.92 \cdot \frac{1}{32} \cdot \frac{400}{480} & (7) & B = \text{constante ijkfactor} \\ A &= 0.05 & (8) & \end{aligned}$$

We substitueren (6) en (8) in (4) en zien dan dat:

$$u = 0.05 \times d.$$

In het bewerkingsprogramma van de routineregistratie (Nieuwendijk et al., 1978) worden vanaf maart 1977 de individuele ijkfactoren ingevoerd.

De digitale input wordt nu als volgt omgerekend naar windsnelheden:

$$u = \frac{a}{1.92} \times 0.05 d + b$$

a = lineaire ijkfactor
individuele anemometer
d = aantal digits
b = constante van de ijkfactor.

3.1.5.2. Sodecoteller-registratie

Voor speciale onderzoeken in de periode januari 1973 tot en met mei 1976 werd gebruik gemaakt van hetzelfde type anemometer (zie 3.1.2.).

De registratie hiervan vond plaats op een teller-unit (sodecoteller). Deze was voorzien van een zogenaamde 160-deler. Dat wil zeggen dat alle vermelde waarden met 160 vermenigvuldigd moesten worden. Per uurvak werd per 10 minuten cumulatief het aantal pulsen, gedeeld door 160, vermeld. Aan het einde van een uurvak werd de teller op 0 gesteld. De berekening van de halfuurgemiddelden van de windsnelheid (in m/s) vond als volgt plaats:

$$u = 160 \times t^{-1} \times p \cdot s^{-1} \times a + b$$

$u = \frac{1}{2}$ uurgemiddelde windsnelheid (in m/s)

$t =$ tijd in seconden (1800 in een $\frac{1}{2}$ uurvak)

$p =$ halfuurtotaal sodecoteller

$s =$ aantal pulsen per rotatie = 8

$a =$ lineaire ijkfactor

$b =$ constante van de ijkfactor

De bewerkingen werden uitgevoerd met een Wang-tafel-computer. Daarin werden achtereenvolgens uitgevoerd:

a programmanummer 21.23

b datum

c nummer anemometer

d lineaire ijkfactor (a)

e constante ijkfactor (b)

f start uur

g halfuurwaarde sodecoprinter

- Als uitvoer volgt, dan het halfuurgemiddelde van de windsnelheid (in m/s) 1e halfuurvak

h uurwaarde sodecoprinter

- Als uitvoer volgt, dan het halfuurgemiddelde van de windsnelheid (in m/s) 2e halfuurvak.

Ten gevolge van de genoemde verschillende meetmethoden ontstaan onzekerheden in de uitkomsten (persoonlijke mededeling Driedonks).

Men kan bijvoorbeeld vergelijken:

a. De digitale registratie met een sample-tijd van 2 minuten en een tijdconstante van (38 ± 0.2) sec.

b. Een tellerregistratie (sodecoteller met 160-deler).

We kunnen er van uitgaan dat de sodecotellerregistratie bij benadering het "ware" halfuurgemiddelde geeft. Het digitale halfuurgemiddelde is berekend uit 15 tweeminuten waarden. Een spreiding in de verschillen tussen beide meetmethoden gevonden gemiddelden, kan theoretisch $\pm 1.5\%$ bedragen, hetgeen goed overeenkomt met de praktijk. Tijdens een vergelijkingsproef in de periode 20 mei 1975 tot 3 juni 1975 bedroeg het gemiddelde quotient 1.018 met een standaarddeviatie van 0.021 (zie grafiek 1 en 4.1.1.).

3.1.5.3. Minicomputer

Tijdens speciale onderzoeken, na maart 1977, vond de registratie van de windsnelheid en windrichting plaats op een Hewlett-Packard computer systeem, de HP 21 MX.

De sample-frequentie bedroeg 1Hz.

De omrekening van het anemometer-sigitaal naar windsnelheden, vindt als volgt plaats:

$$u = V \times p.s^{-1} \times a + b$$

u = windsnelheid (in m/s)

V = volt per Hz

p.s⁻¹ = pulsen per seconde (1 rotatie p/s = 1/32 p.s⁻¹)

a = lineaire ijkfactor

b = constante van de ijkfactor

De afregeling van het systeem is zodanig dat

$$400 \text{ Hz} = 400 \text{ p.s}^{-1} \text{ hetgeen overeenkomt met } 4,80 \text{ V.}$$

De lineaire ijkfactoren van de anemometers moeten dus vermenigvuldigd worden met:

$$\frac{1}{32} \times \frac{480}{4.80} = 2.604.$$

Hieruit volgt:

$$u = 2.604 \cdot a + b$$

Om enig inzicht te krijgen in het onderlinge verband tussen de digitale registratie methoden, werd evenals bij punt 3.1.5.2. een vergelijking uitgevoerd tussen de beide digitale systemen (zie grafiek 2).

Het gemiddelde quotient bedroeg 0.994 met een standaard deviatie van 0.0104.

3.2. Windrichting

3.2.1. Sensor hoofdmast

De windrichting van de hoofdmast werd gemeten met behulp van het windvaantype KNMI 01.00.521 (Monna, 1978). Het midden van het vaanblad bevond zich tot en met mei 1976, op $26\frac{1}{2}$ cm boven de dwarsarm op plugpositie rechts 3. Na maart 1977 was de hoogte boven de dwarsarm $76\frac{1}{2}$ cm (Nieuwendijk et al., 1978).

3.2.2. Sensor bijmast

De windvaan van de 10-m mast op het zuidelijk tuiblok (2.1) is van het type KNMI VII (Wieringa, 1967).

3.2.3. IJking van de windvanen

De windvanen zijn uitgerust met een potentiometer die een lineairiteitstolerantie heeft van $\pm 0.2\%$ (gerekend ten opzichte van 360°).

Met behulp van een afregel-apparaat wordt één vaste instelling verkregen van zowel vaanblad, potentiometerloper en instrument-plug. De nauwkeurigheid bedraagt $\pm 0.3^\circ$. De instrumentpluggen laten plaatsing van het instrument op de plug van de uithouder slechts op één wijze toe (zie 3.2.4.).

Verwisseling van vanen in de opstelling leidt daardoor niet tot wijziging van de omrekeningsfaktor.

Vanaf maart 1977 zijn alle windvanen niet alleen getest op het afregelapparaat maar ook voorzien van geijkte potentiometers. Als algehele contrôle werden de vanen ook nog getest in de wind-tunnel bij een windsnelheid van ca 6.5 m/s. De vanen werden zodanig opgesteld dat vergelijkingen werden uitgevoerd bij ca. 125° en ca 205° . De waarden werden vergeleken met een "standaardvaan" welke geselecteerd was uit een collectie van 11 exemplaren. Grotere afwijkingen dan $\pm 1^\circ$ ten opzichte van de standaardvaan werden niet geaccepteerd.

3.2.4. Vastlegging positie vaanpluggen op de uithouders

Voor de vastlegging van de positie van de vaanpluggen op de dwarsarmen, is gebruik gemaakt van een "uitrichtvizier" dat geplaatst werd op de te meten vaanplug op de dwarsarm. Vooraf is het uitrichtvizier op het reeds eerder genoemde vaanafregelapparaat zodanig uitgericht, dat de richting van het vizier overeenkomt met de nulpositie van de looper in de vaanpotentiometer.

Na plaatsing van het uitrichtvizier op de te meten vaanplug, werd een theodoliet opgesteld in het verlengde van het vizier (op het niveau waar de plug zich bevindt). Met de theodoliet werd de vizier-richting in hoekmeting vastgelegd ten opzichte van een aantal verweg liggende, vaste punten, zoals kerk-, watertorens, in het terrein. Via intekening van de aldus verkregen resultaten in stafkaarten, kan na berekening de positie van iedere vaanplug worden uitgedrukt ten opzichte van het kaartnoorden van de stafkaart. In het computer bewerkingsprogramma wordt de genoemde positie van de vaanplugrichting ingevoerd onder B (zie 3.2.5.).

De positie van de 200 m mast is $51^{\circ}58'16''N$ en $04^{\circ}55'36''E$. Vaste punten vanaf de mast gezien ten opzichte van het kaartnoorden zijn vanaf 1980:

TV mast IJsselstein	63.1°	(64.0°)
Kerktoeren Ameijde	120.5°	(121.3°)
Watertorens Meerkerk	140.7°	(141.5°)
Torens H.K. Schoonhoven	242.7°	(243.7°)
Kerktoeren Cabauw	253.1°	(254.1°)
Watertorens Polsbroek	327.0°	(327.8°)
Kerktoeren Oudewater	327.6°	(328.4°)
Torens R.K.Kerk Woerden	348.1°	(349.0°)

Tussen haakjes zijn de waarden aangegeven die gebruikt zijn tussen 1973 en 1979.

Het is tevens van belang de juiste richtingen van de uithouders te weten. Hieronder volgen de richtingen in graden van de middens van de uithouders ten opzichte van het kaartnoorden.

Hoogte	uithouder		
	noord	zuidoost	zuidwest
20 m	9°	129°	249°
40 m	8°	128°	248°
80 m	8°	129°	248°
120 m	8°	129°	248°
160 m	9°	128°	249°
200 m	12°	132°	252°

3.2.5. Registratie methoden en bewerking

3.2.5.1. Routine registratie

Het signaal afkomstig van de windvaan wordt via de nodige electronica-units aangeboden aan een digitale data-opslagautomaat (Van Gorp, 1976).

De sample tijd bedraagt 2 minuten terwijl een afvlak-schakeling is aangebracht met een RC-tijd van (38 ± 0.2) seconde. Ieder halfuurvak kunnen we over 15 meetwaarden beschikken. Halfuurgemiddelden, van een continu gemaakte reeks, werden alleen bepaald indien er tenminste 10 twee-minuten waarden aanwezig waren. Problemen met het bepalen van de gemiddelden waren er niet omdat de gap van de potentiometers naar de mast gericht was.

In het bewerkingsprogramma van de routineregistratie (Nieuwendijk et al., 1978), wordt de digitale input als volgt omgerekend naar

windrichtingen:

$$DD = \text{dig} \times a + b$$

DD = windrichting in graden.

dig = aantal digits

a = faktor 0.36

b = positie vaanplug-richting.

3.2.5.2. Minicomputer

Tijdens speciale onderzoeken, na maart 1977, vond de registratie van de windrichting ook plaats op een Hewlett-Packard computer systeem, de HP 21 MX.

De sample tijd bedroeg 1Hz.

Met uitzondering van de uithouderselectie vond de omrekening van het windrichtingssignaal naar windrichtingen (in $^{\circ}$) op identieke wijze plaats als genoemd onder 3.2.5.1.

4. Resultaten van diverse vergelijkingen

Ten einde na te gaan hoe het verloop van de storingen van de 200 m-mast en zijn uithouders is op de gemeten windsnelheden, zijn er verschillende vergelijkende metingen uitgevoerd in de periode november 1974 tot en met november 1978.

Van zoveel mogelijk metingen zijn de resultaten in grafische vorm vermeld, tevens wordt iedere grafiek van commentaar voorzien.

We kunnen de volgende vergelijkingen onderscheiden:

- 4.1. Vergelijking registratie systemen
- 4.2. Windsnelheid 2 m hoogte
- 4.3. Windsnelheidsvergelijking 215-200 m
- 4.4. Windsnelheidsvergelijking 200 m niveau

4.5. Windsnelheidsvergelijking 20 m niveau

4.6. Windsnelheidsvergelijking 20 m niveau zomer en herfst 1978.

4.1. Vergelijking registratiesystemen

4.1.1. Grafiek 1

Doel : vergelijking sodecoteller-registratie met 2 minuten registratie digitale apparatuur

Periode : 20 mei 1975 tot en met 3 juni 1975

Opstelling : paaltje 2 m hoogte zuidelijk tuiblokterrein

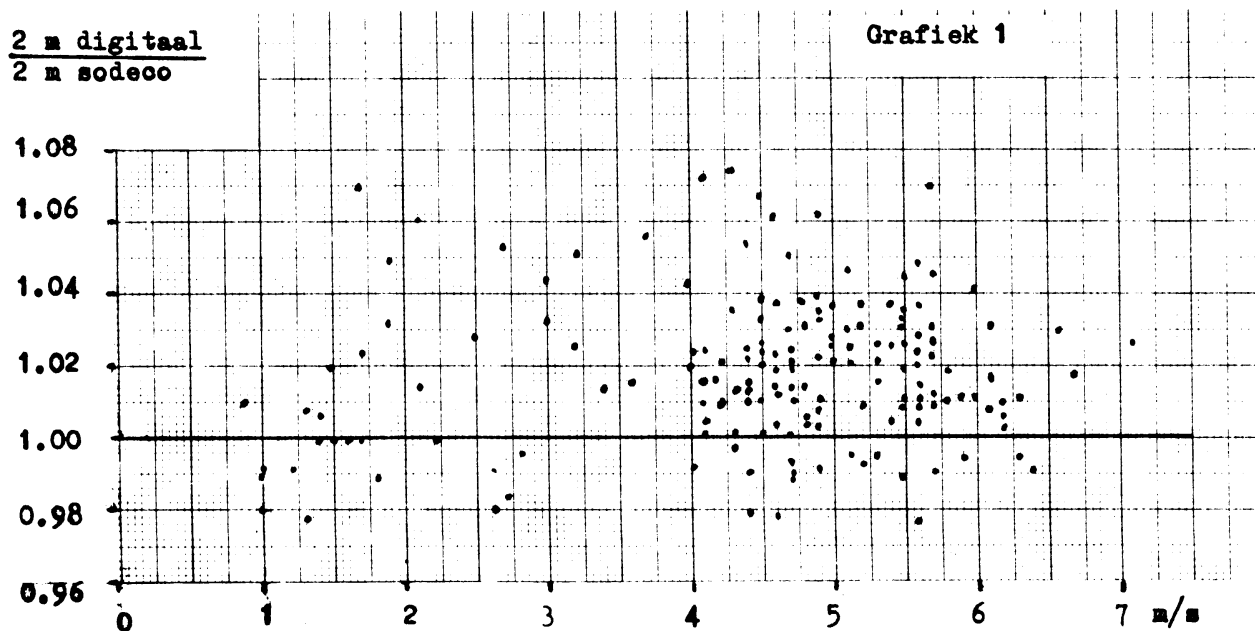
Sensor : fotodiode anemometer

Registratie : digitaal en sodecoteller van dezelfde sensor

Bewerking : quotienten $\frac{1}{2}$ uur gemiddelden van zowel digitale registratie als sodecoteller.

Het gemiddelde quotient bedraagt 0.018 met als standaard deviatie 0.021

Opmerking : zie 3.1.5.2.



4.1.2. Grafiek 2

Doel : vergelijking 2 minuten registratie digitale
apparatuur met HP-registratie

Periode : 1 - 2 november 1978

Opstelling : 20 m hoogte SE-mast

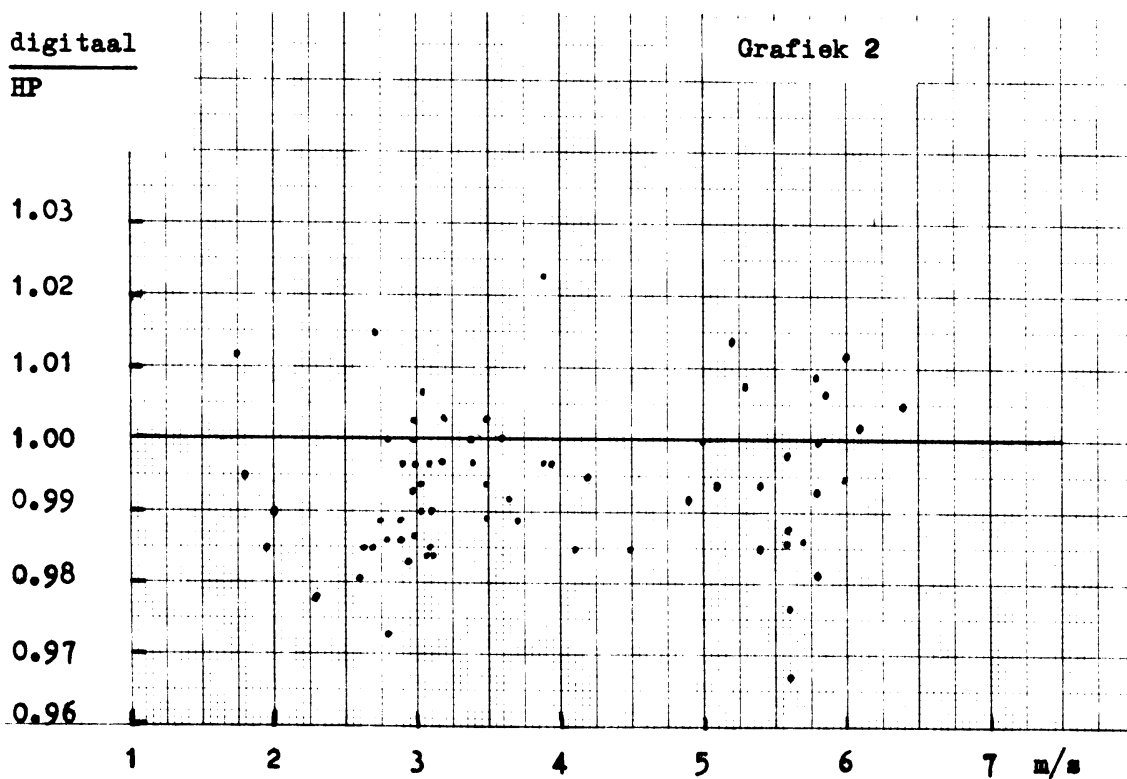
Sensor : fotodiode anemometer

Registratie : digitaal

Bewerking : quotienten $\frac{1}{2}$ uur gemiddelden van zowel 2 min.
digitaal als HP-digitaal, als functie van de
windsnelheid.

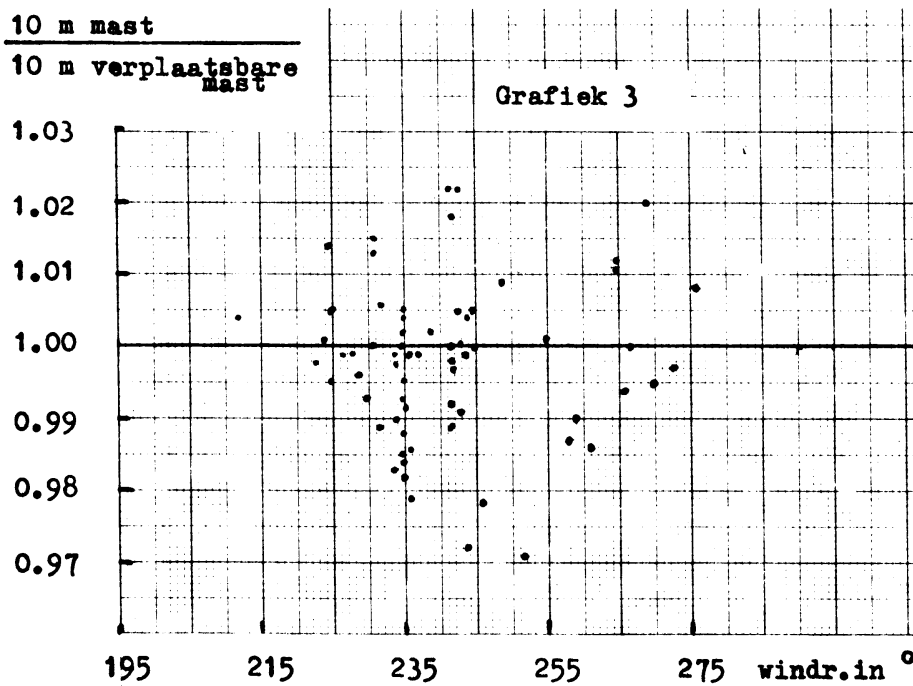
Het gemiddelde quotient bedraagt 0.994 met als
standaard deviatie 0.0104.

Opmerking : zie 3.1.5.3.



4.1.3. Grafiek 3

- Doel : vergelijking standaard opstelling met verplaatsbare mast op een afstand van 7.5 m
- Periode : 24 - 26 maart 1976
- Opstelling : a. 10 m mast zuidelijk tuiblokterrein
b. 10 m verplaatsbare mast op 7,5 m afstand van tuiblok mast
- Sensor : a. fotodiode anemometer
b. reedcontact anemometer
- Registratie : a. digitaal (2 minuten)
b. sodecoteller
- Bewerking : quotienten van halfuur gemiddelden in die gevallen dat $a > 5$ m/s was, als functie van de windrichting.
Het gemiddelde quotient bedraagt 0.9978 met als standaard deviatie 0.0104.
- Opmerking : zie 2.5.



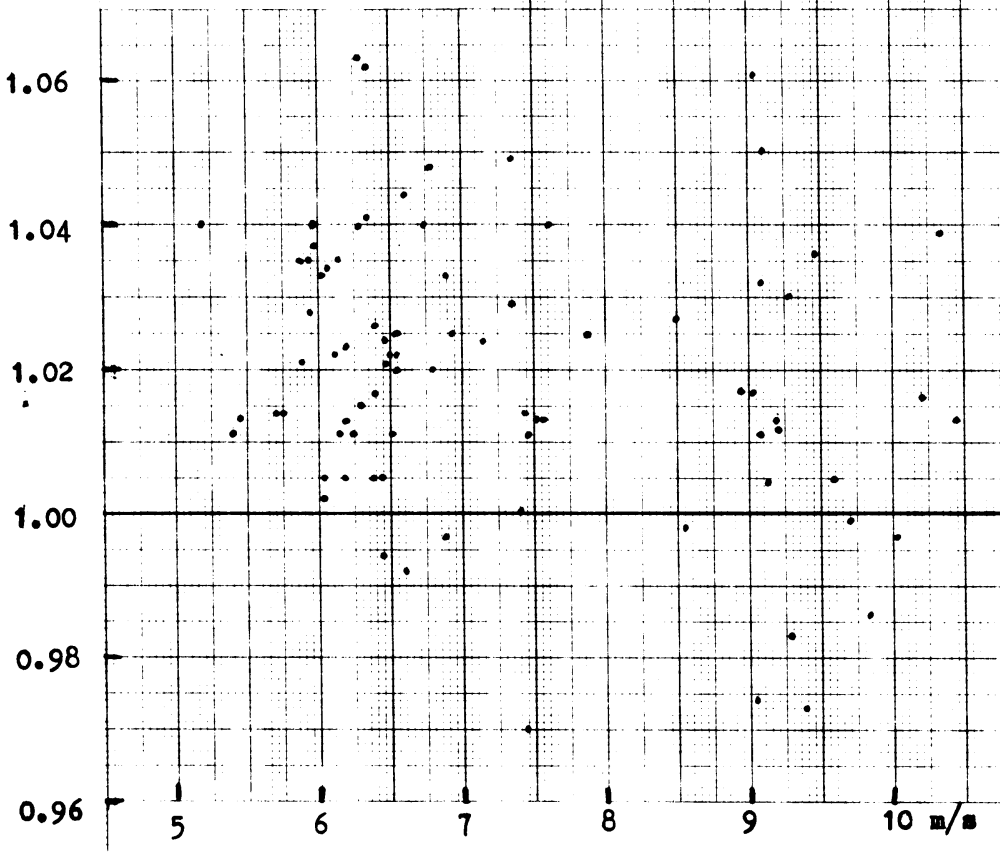
4.1.4. Grafieken 4 en 5

- Doel : de invloed na te gaan van het hoogfrequent-
veld, veroorzaakt door het zenderpark bij
IJsselstein, op de sodecoteller-registratie
- Periode : 21 tot en met 28 december 1975
- Opstelling : a. 20 m niveau SW positie links 1
b. 20 m mast (zie 2.4.)
- Sensor : a. fotodiode anemometer
b. reedcontact-anemometer
- Registratie : a. digitaal 2 minuten registratie
b. sodecoteller
- Bewerking : quotienten van de $\frac{1}{2}$ uur gemiddelden
als functie van de windsnelheid op 20 m
niveau, alleen die gevallen dat de windrich-
ting tussen 220° en 240° was.
- Opmerking : grafiek 4 met condensator over de ingang van
de sodecoteller
grafiek 5 zonder condensator over de ingang
van de sodecoteller
De aanleiding van deze vergelijking was een
onverwacht grote spreiding in de registraties.
Bij fluxmeting was de HF-storing wel merk-
baar indien er geen voldoende afscherming was.

20 m SW-links

20 m mast

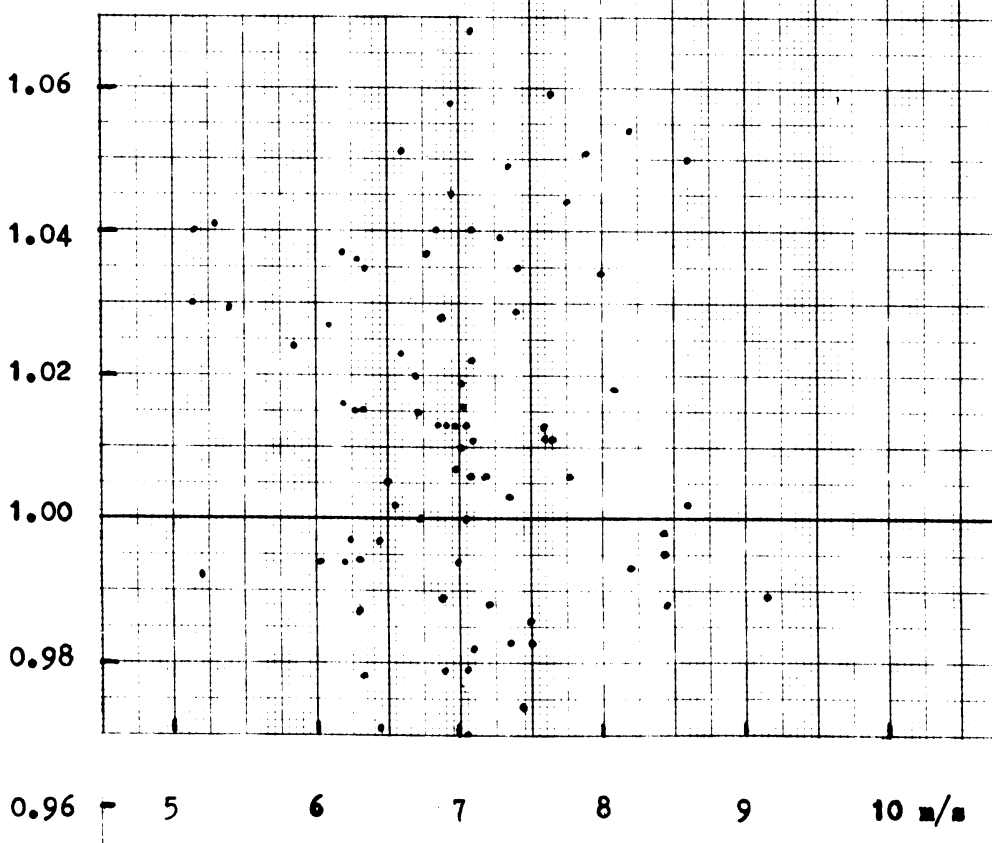
Grafiek 4



20 m SW-links

20 m mast

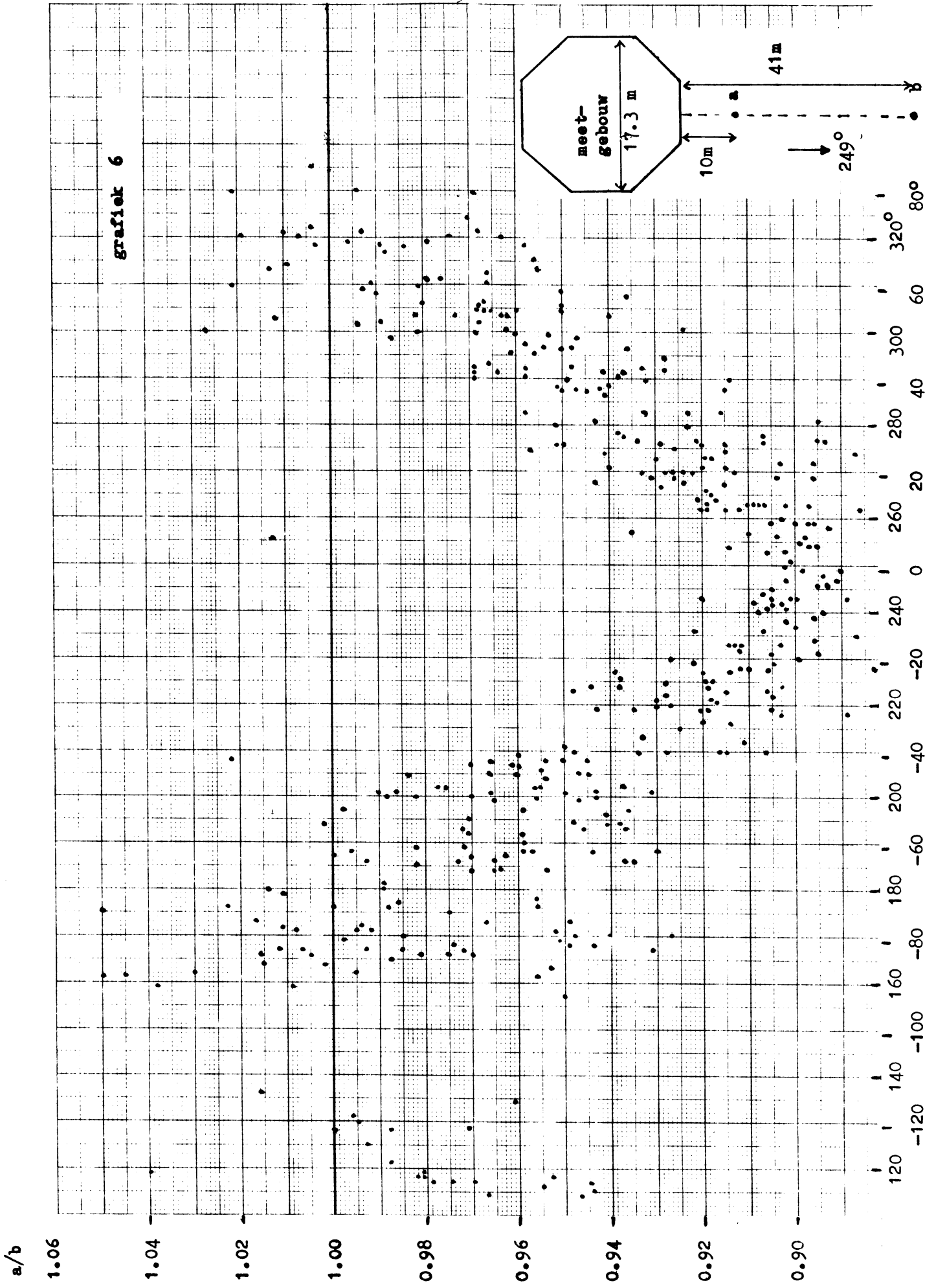
Grafiek 5



4.2. Windsnelheid 2 m hoogte

4.2.1. Grafiek 6

- Doel : storingen op het windveld veroorzaakt door het meetgebouw
- Periode : 5 november 1974 tot en met 18 februari 1975
- Opstelling : a. mastje op 9.8 m vanaf voet meetgebouw
b. mastje op 40.9 m vanaf voet meetgebouw
Beide in het verlengde van de SW-uthouder
- Sensoren : reedcontact anemometers, hoogte van het midden van de cups 2.05 m boven het maai-veld
- Registratie : sodecotellers
- Bewerking : quotienten van de halfuur gemiddelden
in die gevallen dat de windsnelheid op 10 m hoogte > 4 m/s was. De quotienten zijn uitgezet als functie van de windrichting op 10 m hoogte
- Opmerking : zie 2.3.



4.3. Windsnelheids vergelijking 215 - 200 m

4.3.1. Grafiek 7

Doel : vergelijking windsnelheid op de uithouders
en de windsnelheid op het topbordes

Periode : april 1973

Opstelling : a. mastje van 2 m lengte aan SW-zijde top-
bordes
b. standaard opstelling op uithouders 200 m
niveau

Sensoren : a. fotodiode anemometer
b. fotodiode anemometers

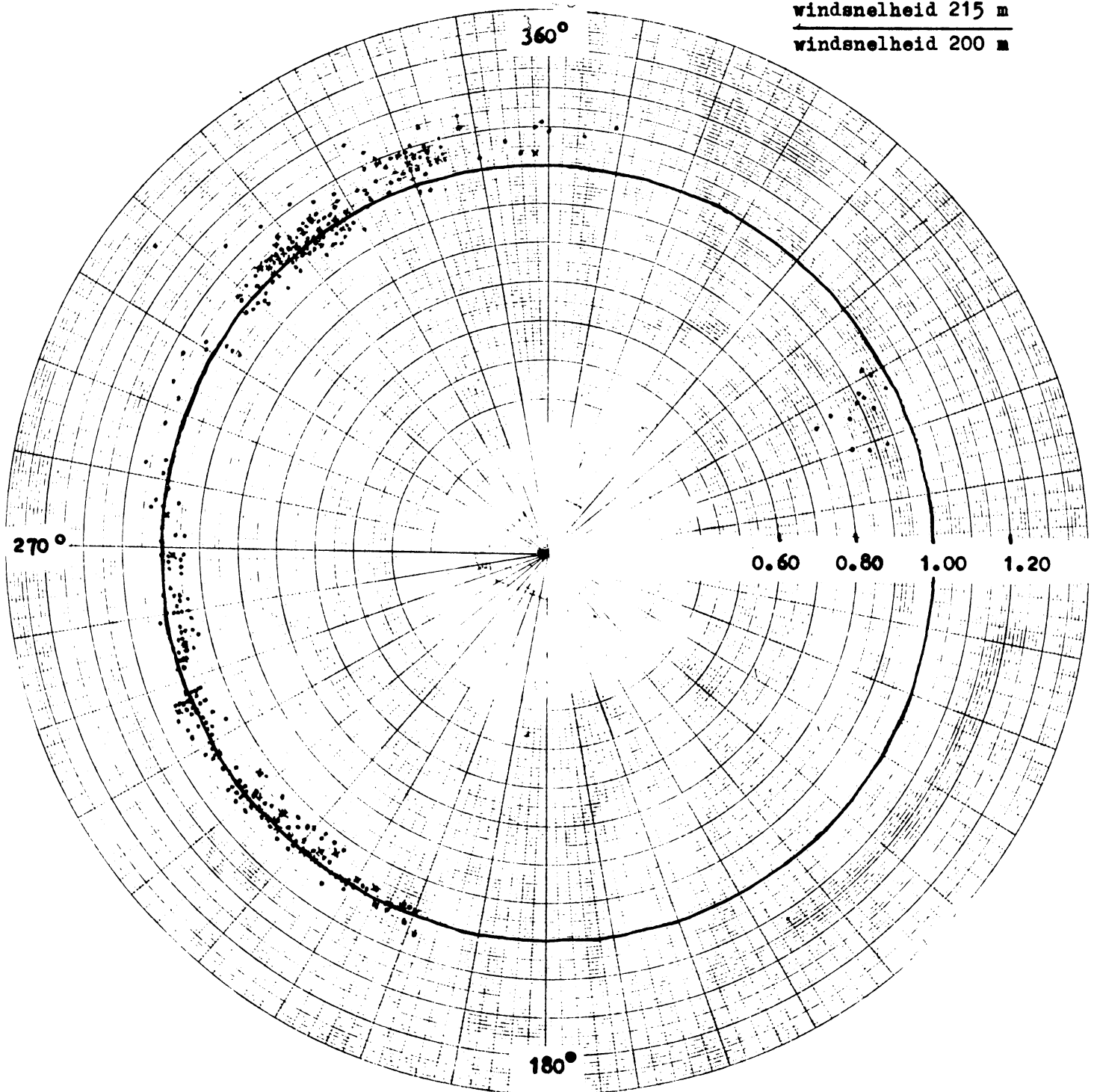
Registratie : a. op Kipp - recorder
b. digitaal 2 minuten registratie

Bewerking : quotienten van de 10 minuten gemiddelden
(a) afgelezen van de recorderstrook en
(b) 10 minuten gemiddelden van de digitale re-
gistratie . Het quotient werd bepaald indien
de windsnelheid in de westsector > 8 m/s was
en als de windsnelheid in de oostsector
> 5.5 m/s was.

Opmerking : zie 2.8.

Grafiek 7

windsnelheid 215 m
windsnelheid 200 m

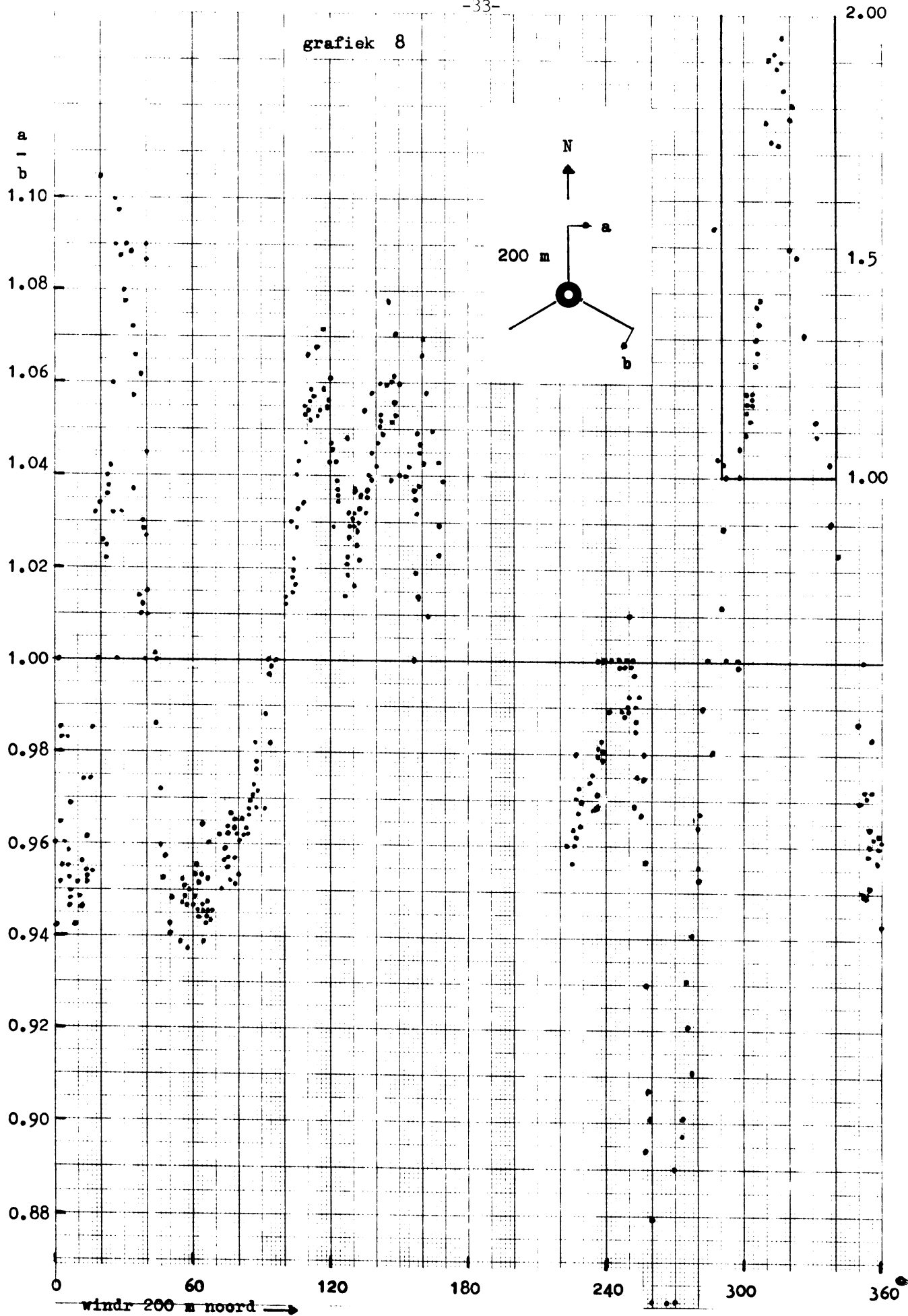


4.4. Windsnelheidsvergelijking 200 m niveau

4.4.1. Grafiek 8

Doel	: als eerste aanzet van het uithouder en mast storingsonderzoek, werd in de zomer van 1974 deze grafiek gemaakt
Periode	: zomer 1974
Opstelling	: standaard opstelling <u>a.</u> noorduithouder plaats rechts 1 <u>b.</u> SE-uithouder plaats rechts 1
Sensoren	: fotodiode anemometers
Registratie	: 2 minuten digitaal
Bewerking	: quotienten halfuur gemiddelden als functie van de windrichting op 200m, noorduithouder plaats rechts 3. Alleen die gevallen zijn gebruikt indien het $\frac{1}{2}$ uur gemiddelde van de windsnelheid op de noorduithouder > 5.0 m/s was

grafiek 8



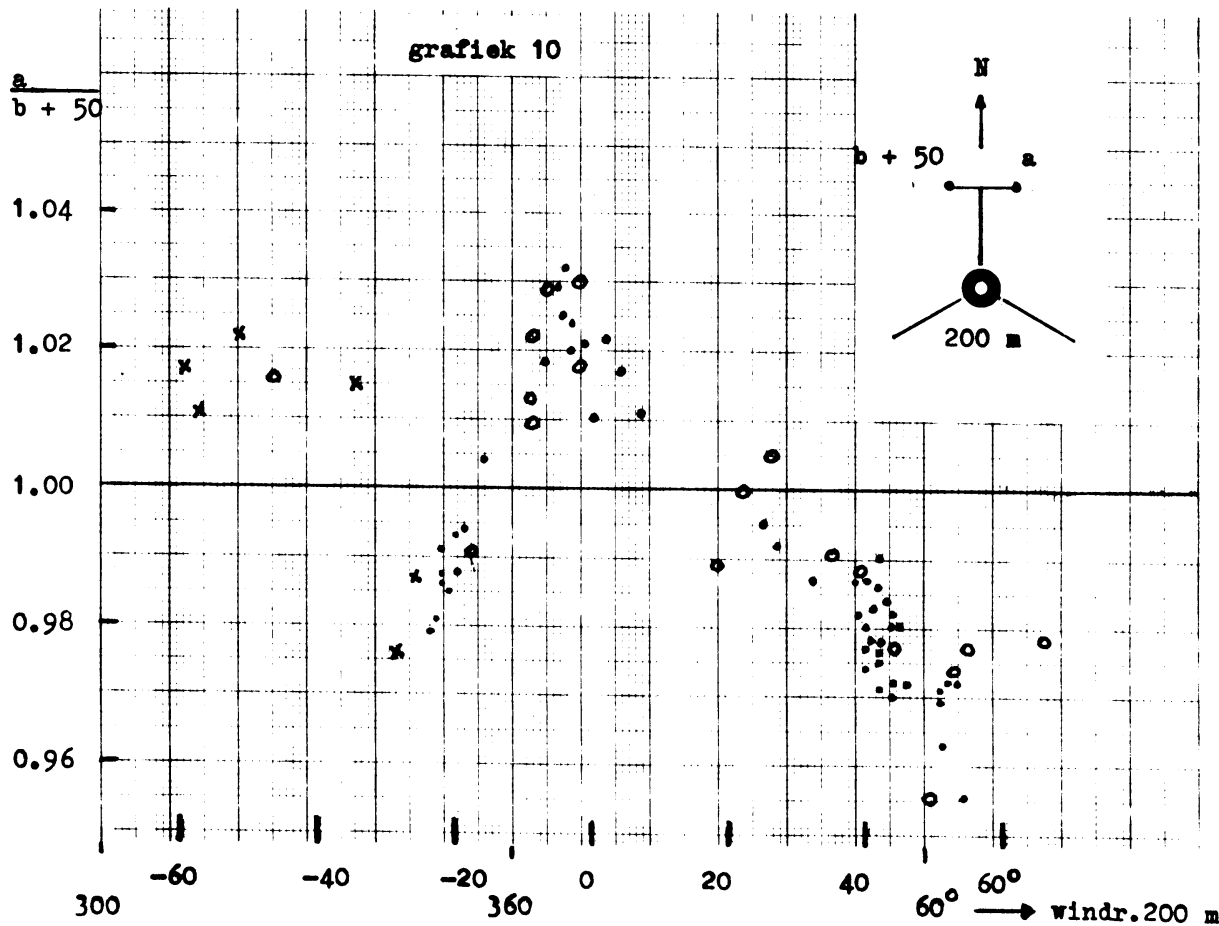
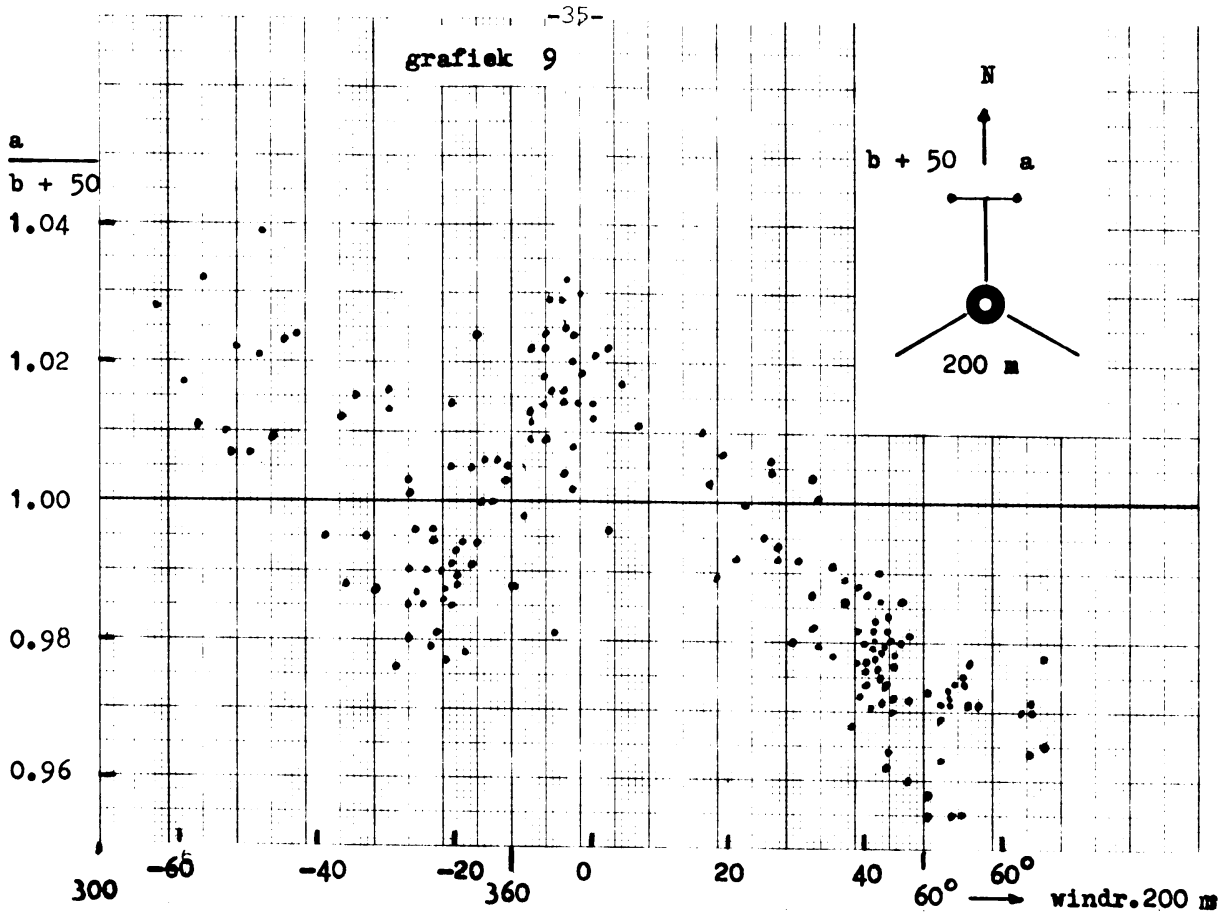
4.4.2. Grafiek 9

- Doel : vergelijking windsnelheid noorduithouder, hierbij werd voor het eerst gebruik gemaakt van verlengpijpjes voor de anemometers
- Periode : 13 - 18 maart 1975
- Opstelling : a. standaard opstelling noorduithouder positie rechts 1
b. noorduithouder positie links 1 + verlengpijpje van 50 cm
- Sensoren : a. fotodiode anemometer
b. reedcontact anemometer
- Registratie : a. 2 minuten registratie digitaal
b. sodecoteller
- Bewerking : quotienten halfuur gemiddelden als functie van de windrichting op 200 m noorduithouder positie rechts 3. Alleen die gevallen zijn gebruikt indien het halfuur gemiddelde van de windsnelheid noorduithouder plaats rechts 1 > 5.0 m/s was

4.4.3. Grafiek 10

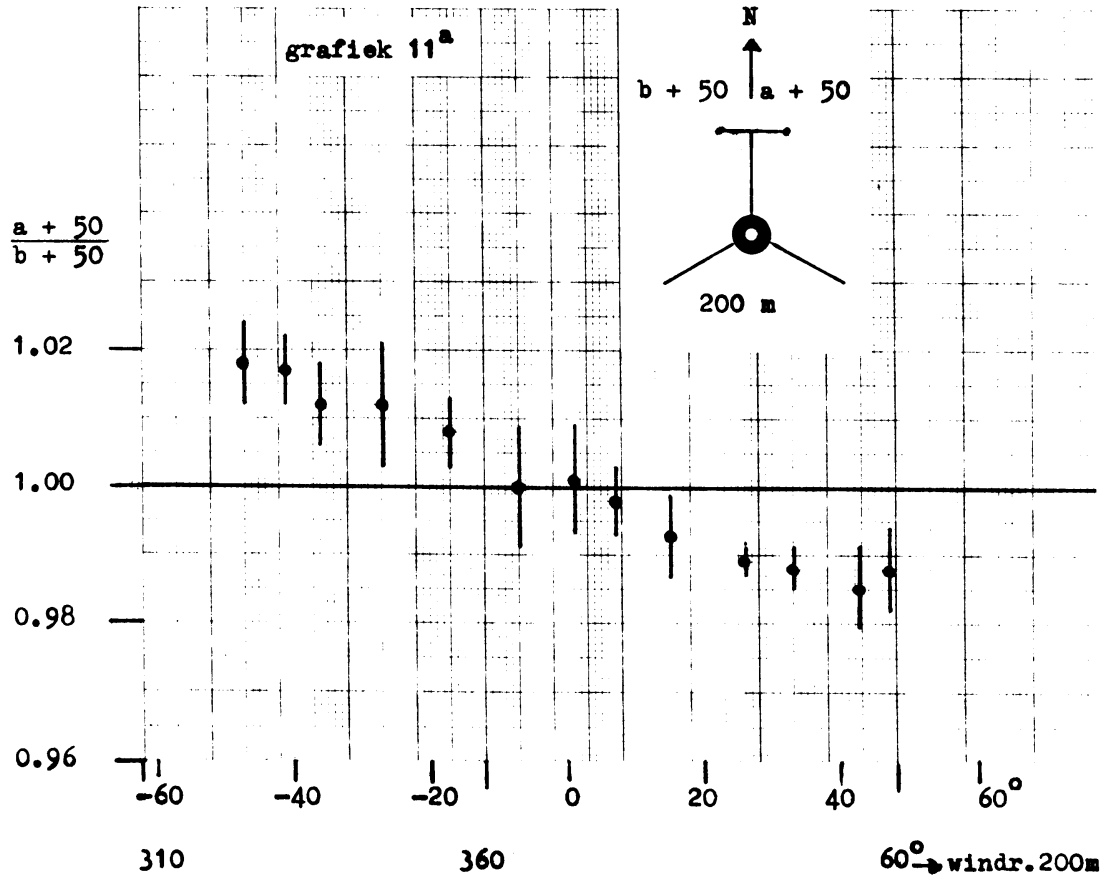
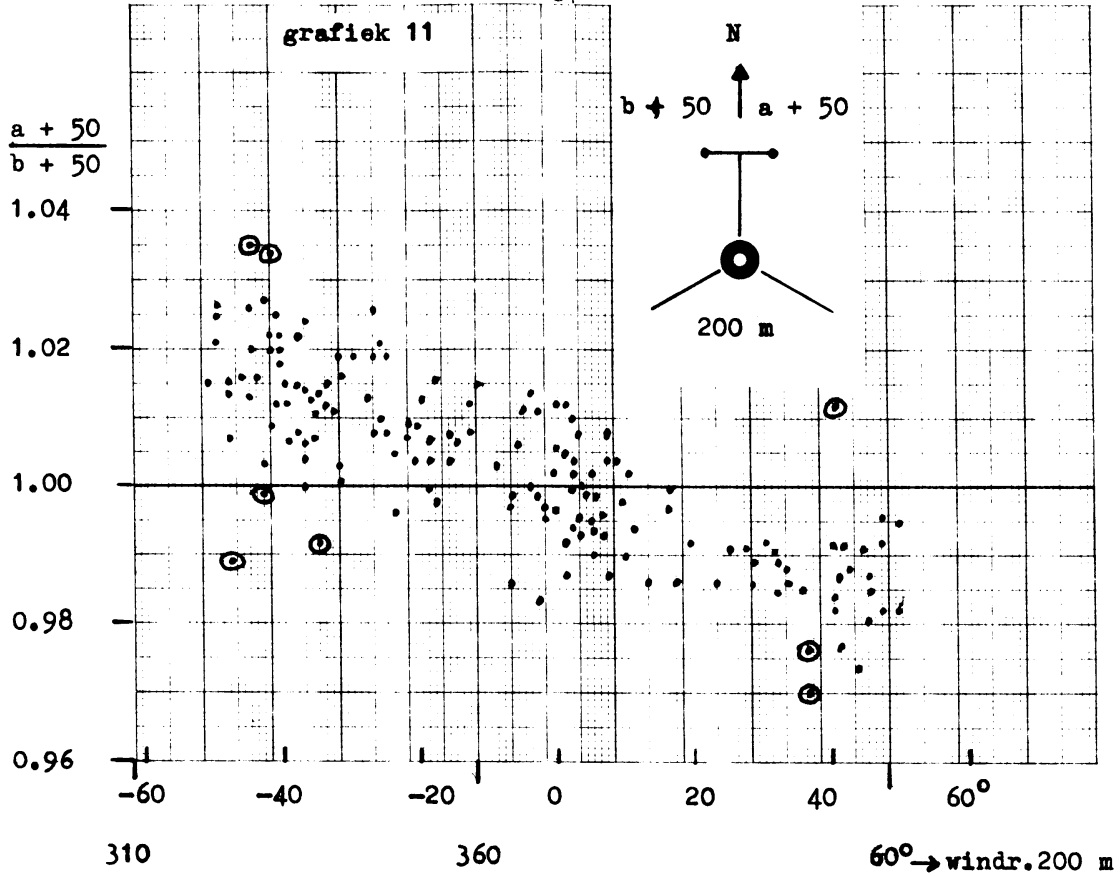
Dezelfde metingen als 4.4.2. alleen de bewerking is op een andere manier uitgevoerd.

- Bewerking : die quotienten zijn bepaald in de gevallen dat de windsnelheid noord positie rechts 1 de volgende waarden had:
- $a \geq 7.0$ m/s en standaarddeviatie windrichting $\leq 2^\circ$
 - $a = 7.0$ m/s en standaarddeviatie windrichting $\approx 3^\circ$
 - x a = tussen 5 en 7 m/s en standaarddeviatie windrichting $< 4^\circ$ en de windrichting $< 350^\circ$.



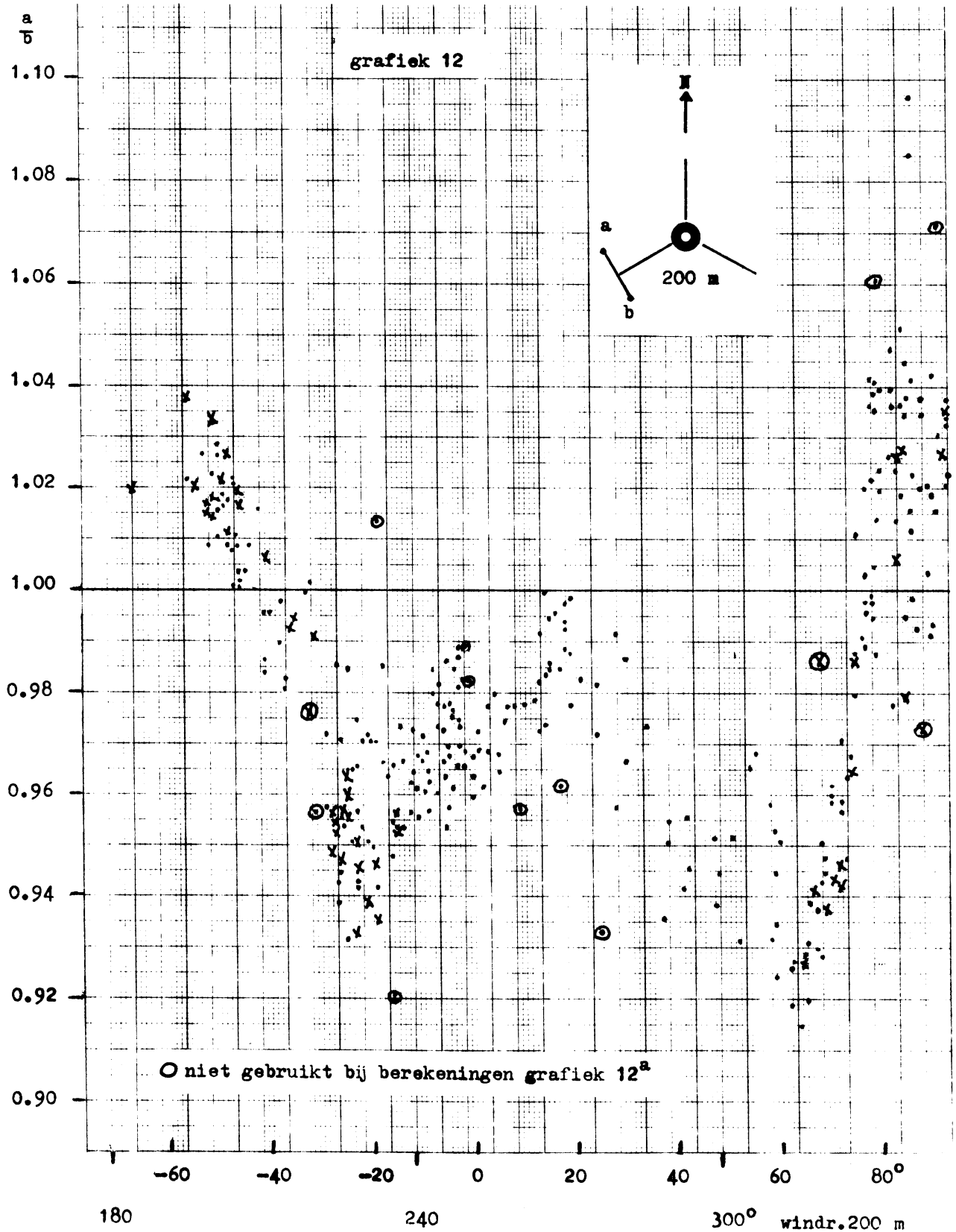
4.4.4. Grafiek 11

- Doel : invloed bepalen indien beide anemometers verhoogd, op buisjes van 50 cm, zijn opgesteld
- Periode : 22 april tot en met 5 mei 1975
- Opstelling : a. noorduithouder plaats rechts 1 + 50 cm
b. noorduithouder plaats links 1 + 50 cm
- Sensoren : a. fotodiode anemometer
b. reedcontact anemometer
- Registratie : a. 2 minuten registratie digitaal
b. sodecoteller
- Bewerking : quotienten halfuur gemiddelden als functie van de windrichting 200 m noord positie rechts 3.
Alleen die gevallen dat de windrichting tussen 320° en 60° was van de windsnelheid noord positie rechts 1 > 5 m/s.
De punten voorzien van een cirkeltje zijn niet gebruikt bij de berekeningen in grafiek 11a.



4.4.5. Grafiek 12

Doel : na te gaan of de storing om de SW-uthouder zich identiek gedraagt als om de N-uthouder
 Periode : 22 april tot en met 12 mei 1975
 Opstelling : standaardopstelling
 a. SW-uthouder plaats rechts 1
 b. SW-uthouder plaats links 1

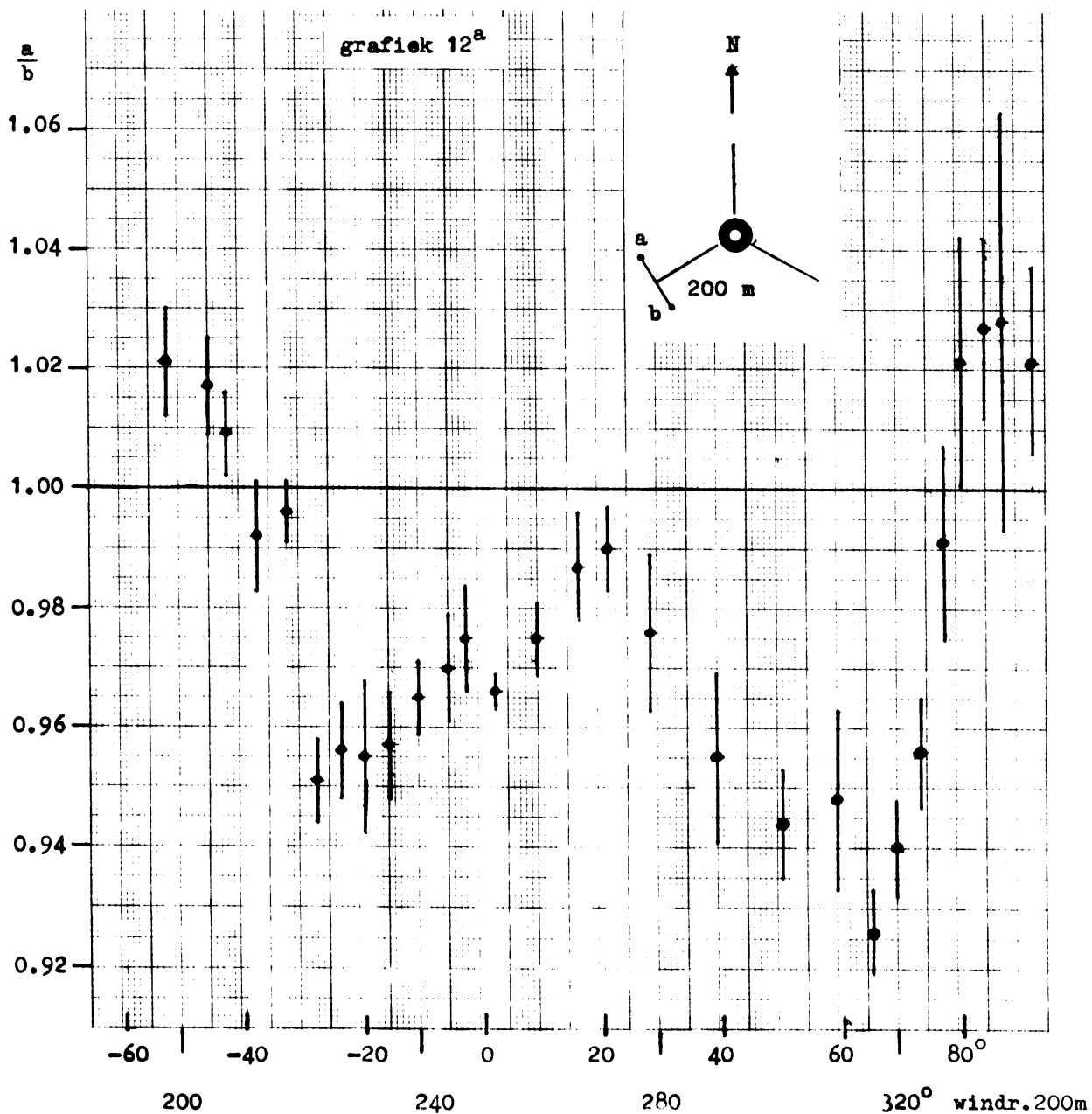


- Sensoren : a. fotodiode anemometer
 b. reedcontact anemometer
- Registratie : a. 2 minuten registratie digitaal
 b. sodecoteller
- Bewerking : quotienten halfuur gemiddelden

als functie van de windrichting

Alleen die waarden zijn gebruikt in het geval dat de gemiddelde windsnelheid > 6 m/s was.

Om na te gaan of de verschillen afhankelijk waren van de stabiliteit van de atmosfeer, zijn de metingen onder stabiele omstandigheden (onbewolkt en temperatuur toename met de hoogte) met een kruisje aangegeven.

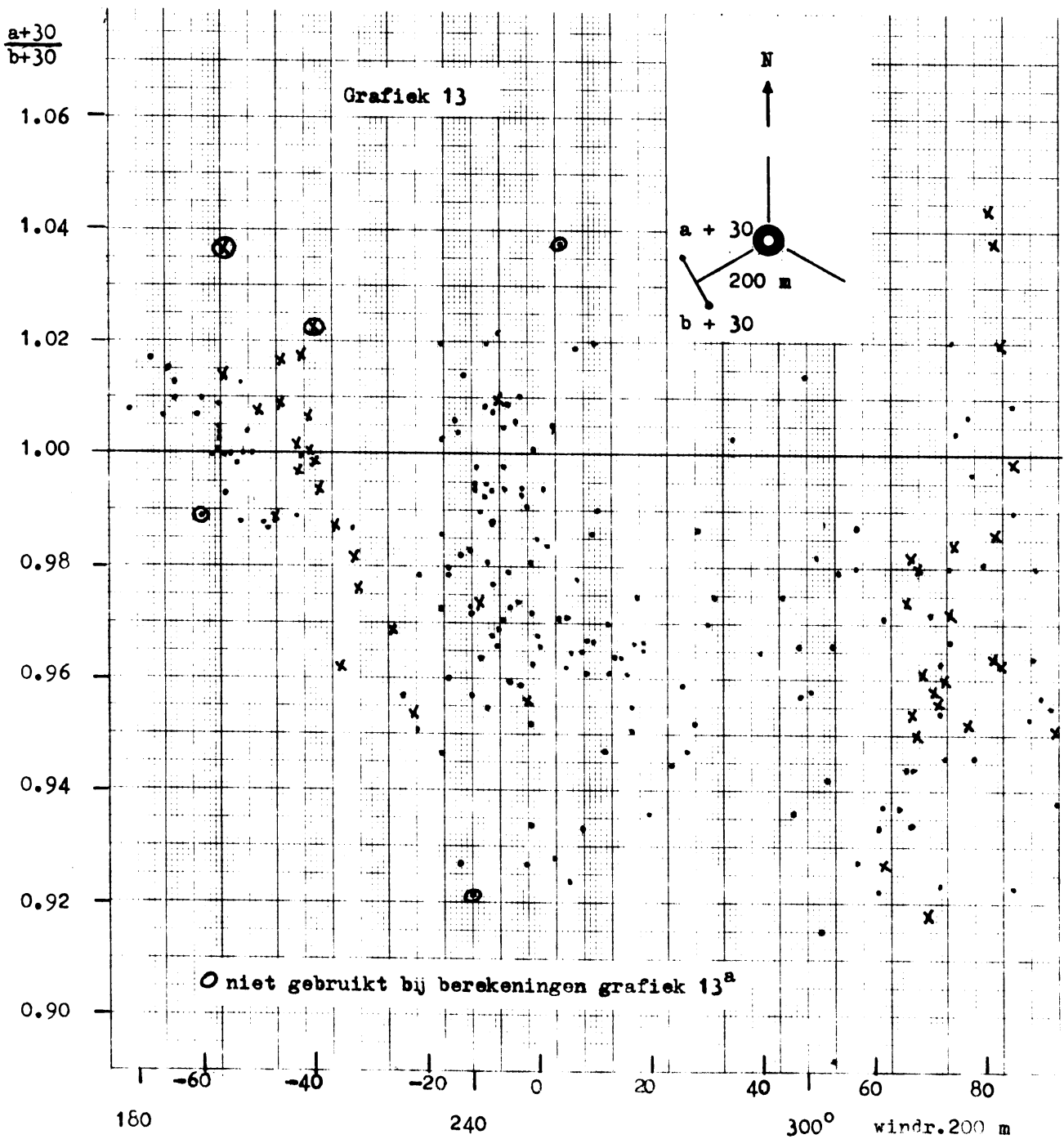


4.4.6. Grafiek 13

Doel : invloed bepalen indien beide anemometers verhoogd, op buisjes van 30 cm lengte, zijn opgesteld. De middens van de cups bevinden zich hierdoor op een hoogte van 53.5 cm boven de dwarsarm

Periode : 9 tot en met 18 april 1975

Opstelling : a. SW-uithouder plaats rechts 1 + 30 cm
b. SW-uithouder plaats links 1 + 30 cm

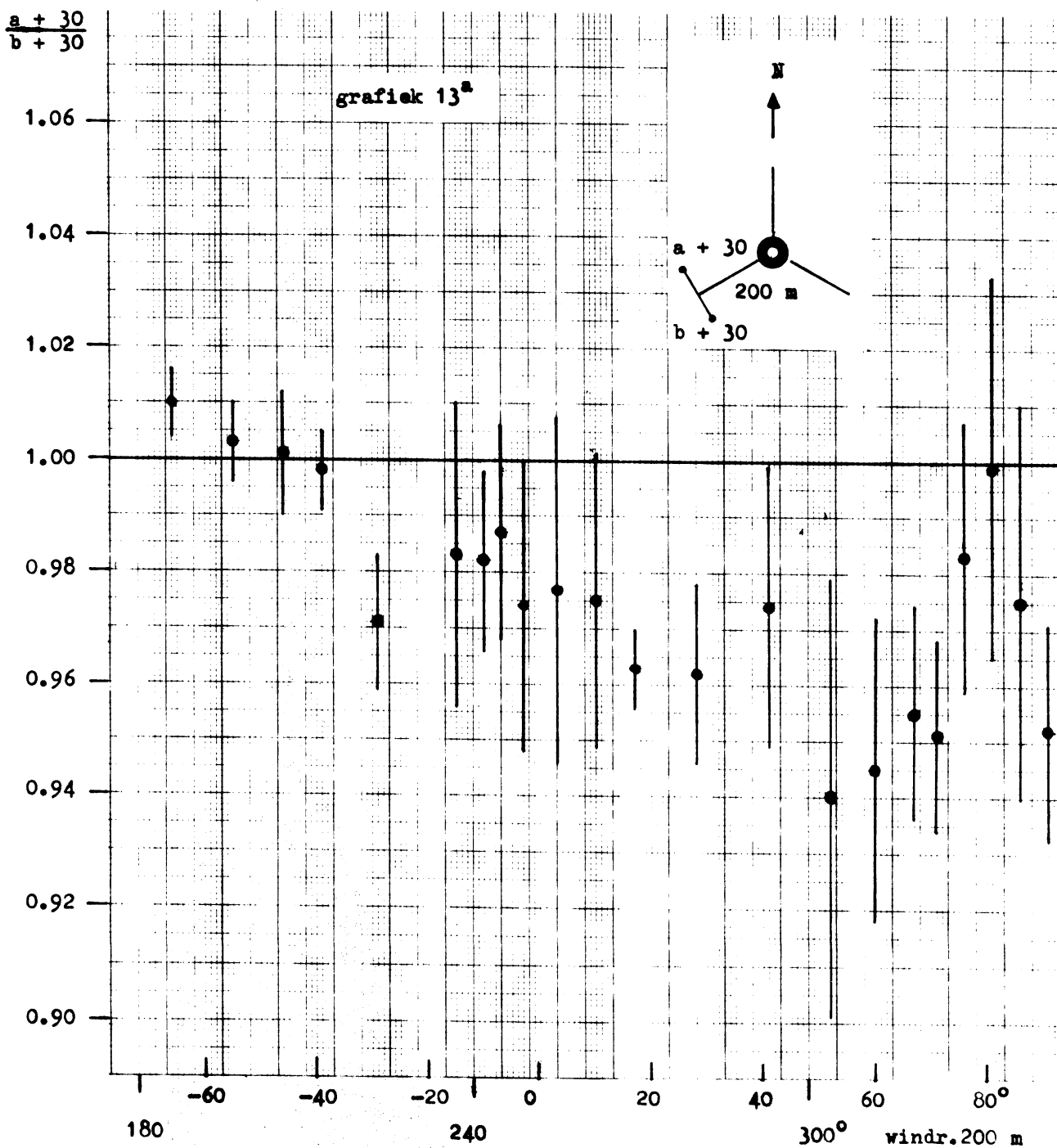


- Sensoren : a. fotodiode anemometer
 b. reedcontact anemometer
- Registratie : a. 2 minuten registratie digitaal
 b. sodecoteller
- Bewerking : quotienten halfuur gemiddelden

als functie van de windrichting

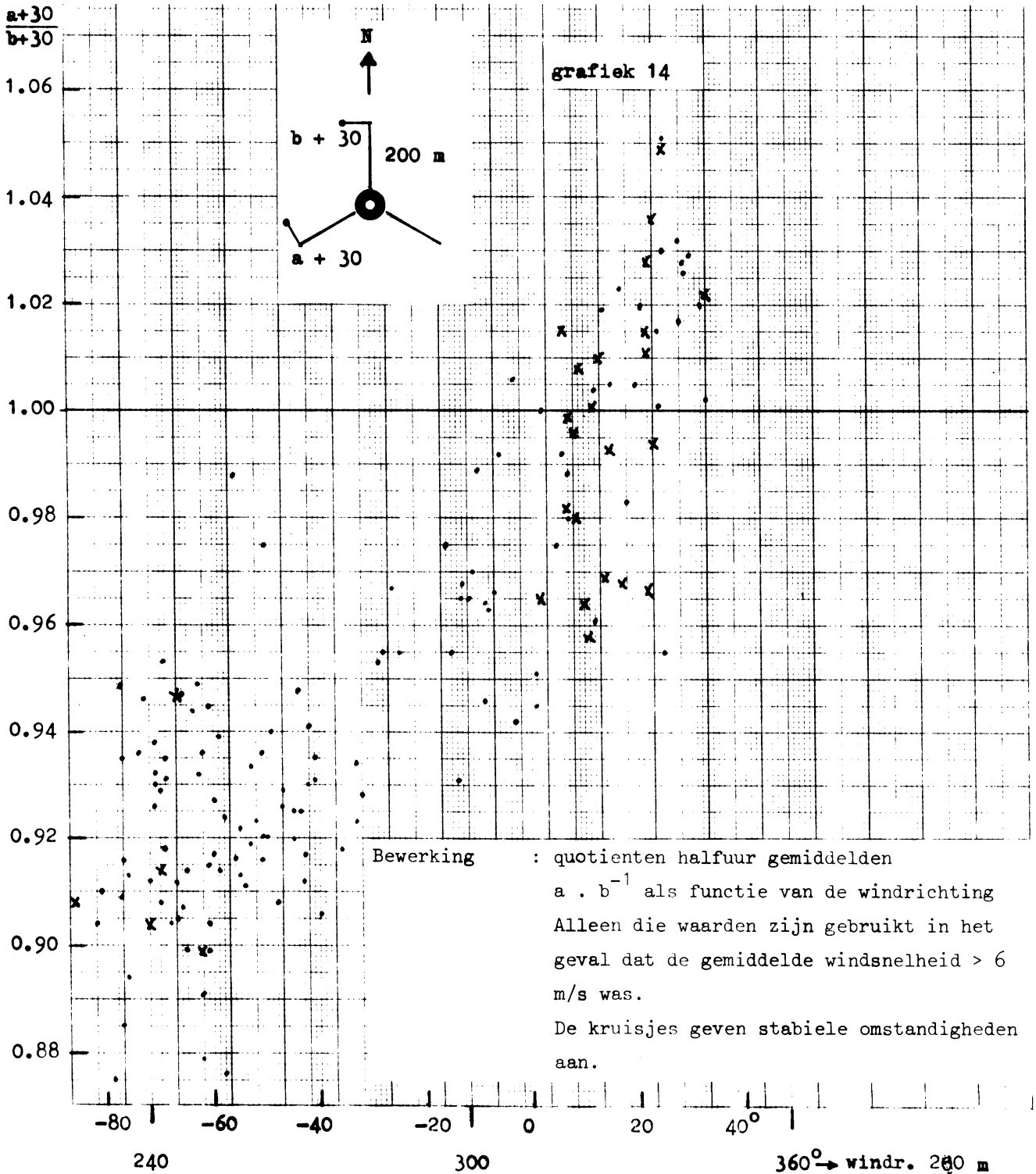
Alleen die waarden zijn gebruikt in het geval dat de gemiddelde windsnelheid > 6 m/s was.

De kruisjes geven stabiele omstandigheden aan.



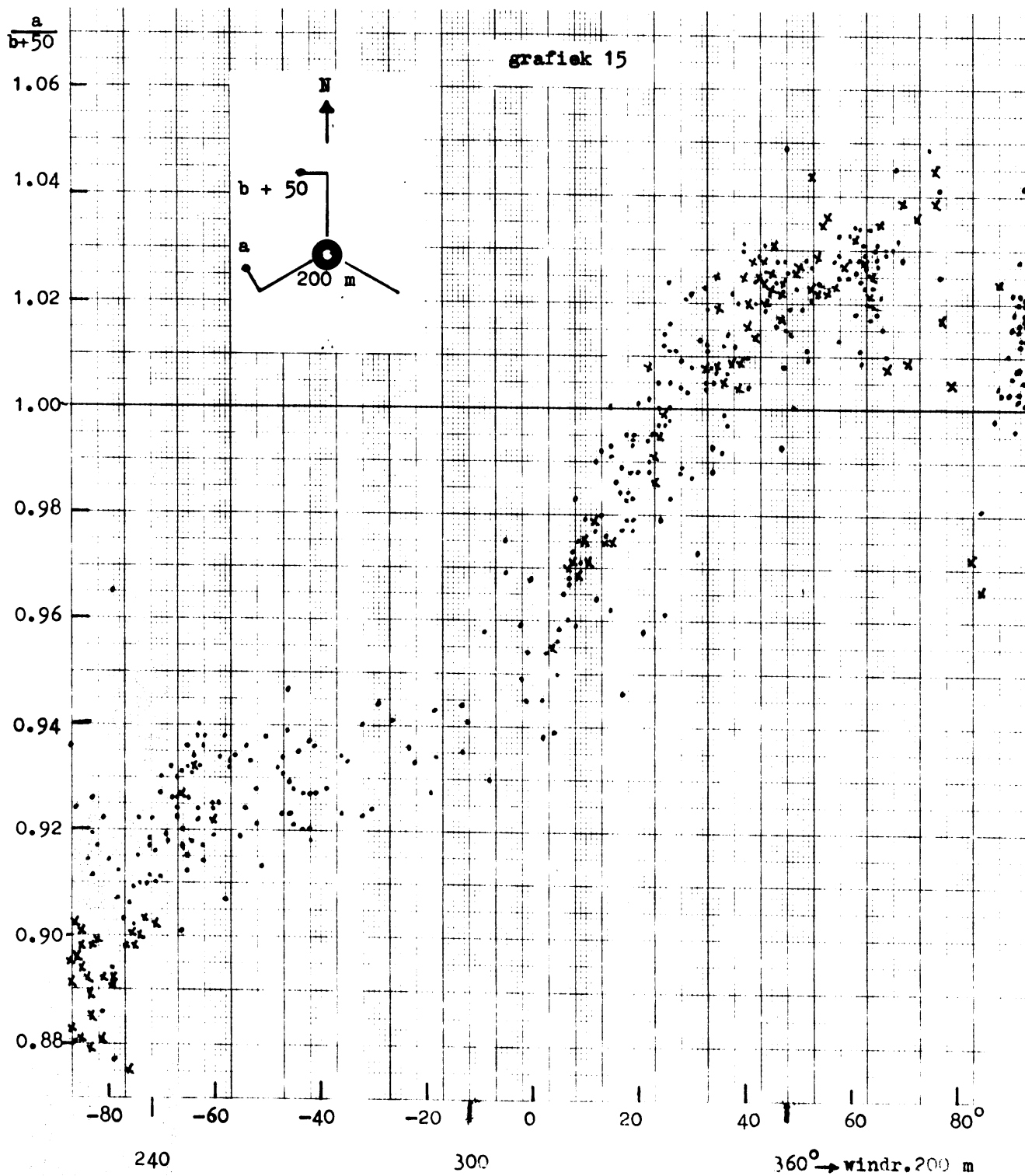
4.4.7. Grafiek 14

Doel : vergelijking N- en SW-uthouder
 Periode : 9 tot en met 8 april 1975
 Opstelling : a. SW-uthouder plaats rechts 1 + 30 cm
 b. N- uthouder plaats links 1 + 30 cm
 Sensoren : a. fotodiode anemometer
 b. reedcontact anemometer
 Registratie : a. 2 minuten registratie digitaal
 b. sodecoteller



4.4.8. Grafiek 15

Doel : vergelijking N- en SW-uthouders
Periode : 22 april tot en met 12 mei 1975
Opstelling : a. SW-uthouder plaats rechts 1,
standaardopstelling
b. N -uthouder plaats links 1 + 50 cm
Zie verder 4.4.7.



4.5. Windsnelheids vergelijking 20 m niveau

De vergelijkingen uitgevoerd op het 200 m niveau geven slechts inzicht in de beïnvloeding van de uithouders en mast op de metingen onderling. Daarom werd in de zomer van 1975 een 20-m mast opgesteld in de nabijheid van het zuidelijk tuiblok om als referentie te dienen ten opzichte van de uithouders op het 20-m niveau (zie 2.4.).

4.5.1. Grafiek 16

Doel : na te gaan of er verschillen bestaan tussen de storingen op het 200 m niveau en die op het 20 m niveau in verband met het terrein

Periode : 23 tot 25 september 1975

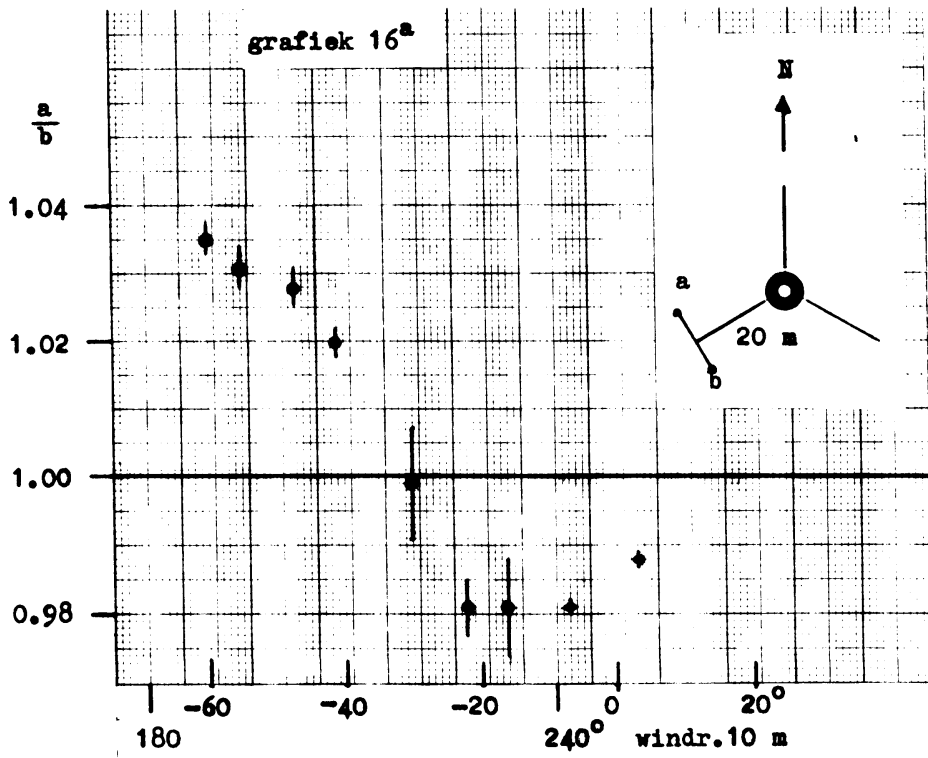
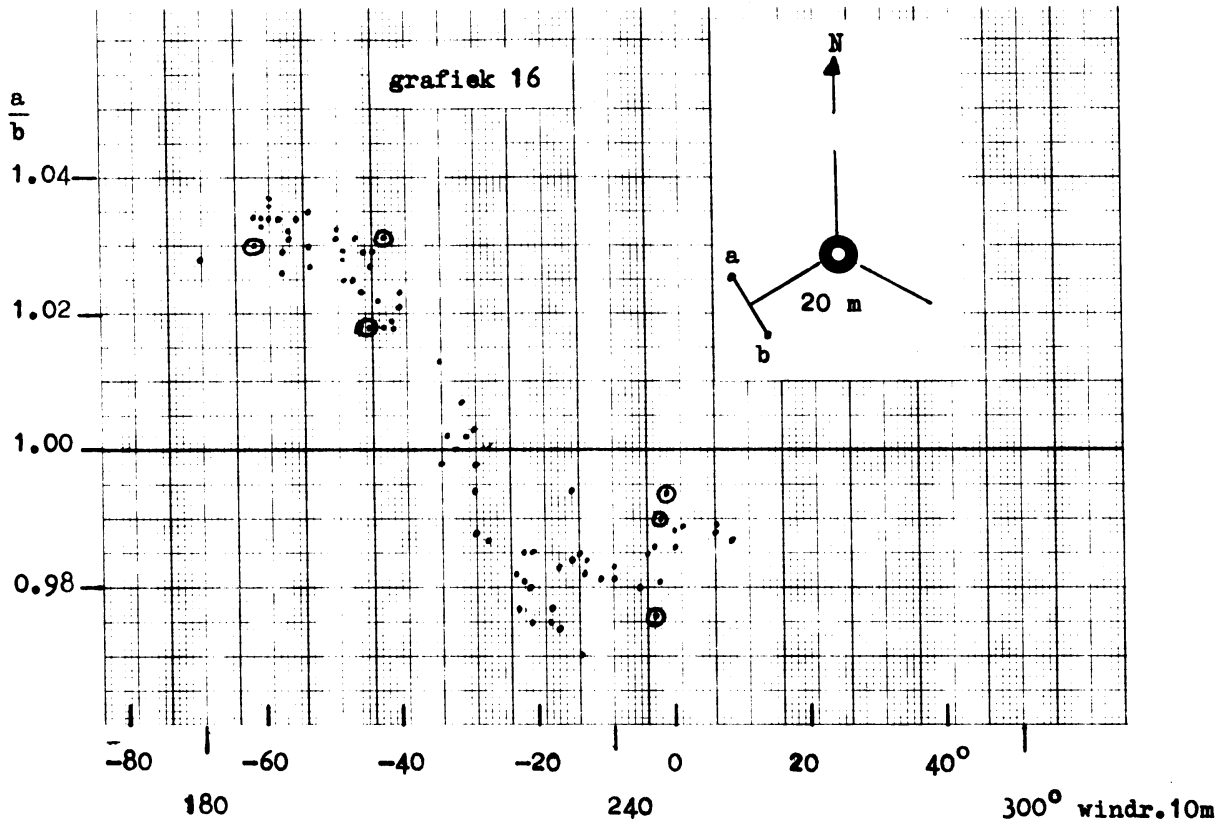
Opstelling : standaard opstelling
a. SW-uithouder plaats rechts 1
b. SW-uithouder plaats links 1

Sensoren : op beide posities stond een reedcontact anemometer

Registratie : beide sensoren registreerden op sodcotellers

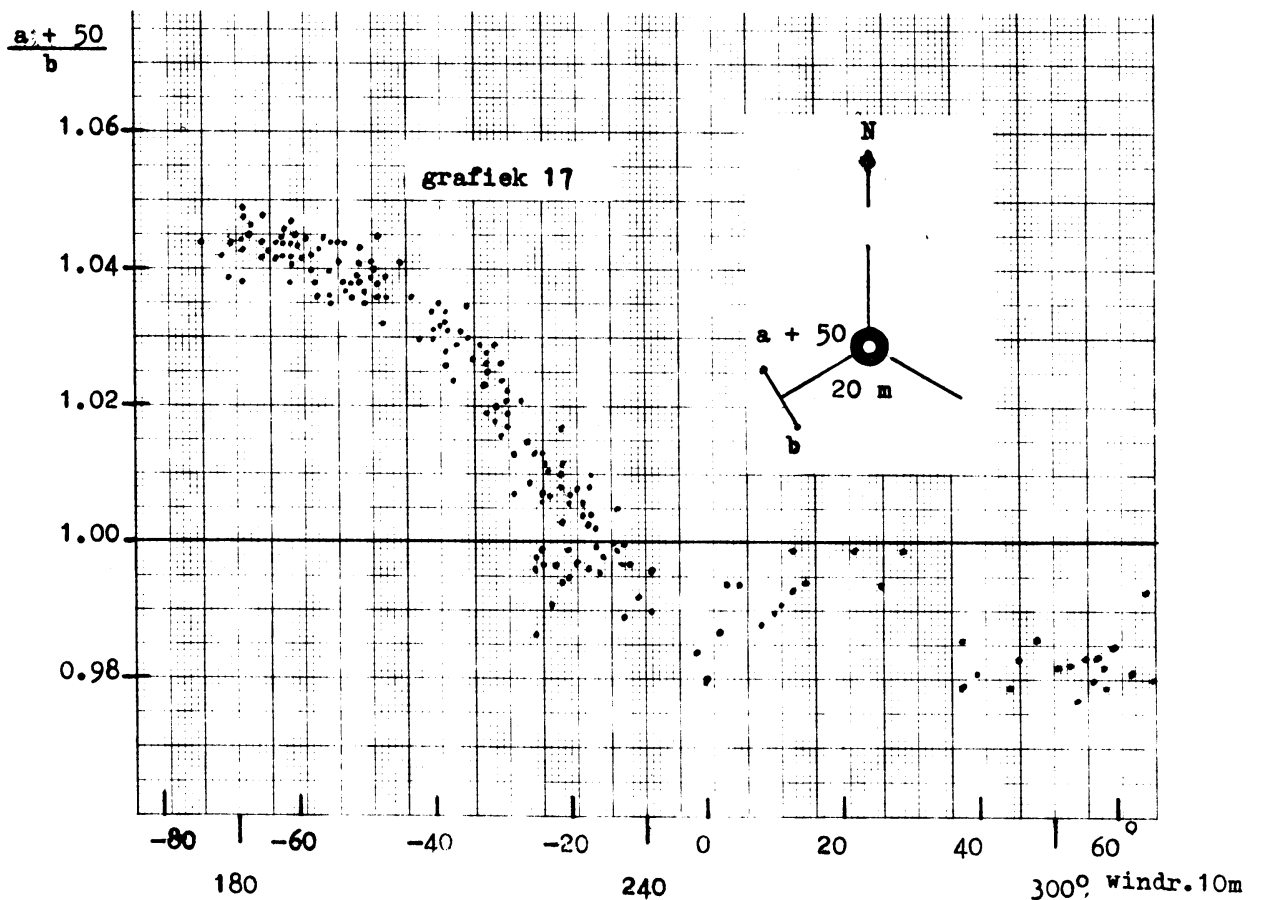
Bewerking : quotienten van de halfuur gemiddelden als functie van de windrichting op 10 m. Alleen die waarden zijn gebruikt in het geval dat de gemiddelde windsnelheid op 10 m hoogte > 5 m/s was

De punten voorzien van een cirkeltje zijn niet gebruikt bij de berekeningen in grafiek 16a



4.5.2. Grafiek 17

- Doel : invloed te bepalen indien 1 anemometer op een buisje van 50 cm staat
- Periode : 19 tot 20 november 1975 en 25 november tot en met 5 december 1975
- Opstelling : a. SW-uthouder plaats rechts 1 + 50 cm
b. standaard opstelling SW-uthouder plaats links 1
- Sensoren : op beide posities stond een reedcontact anemometer
- Registratie : beide sensoren registreerden op sodcotellers
- Bewerking : quotienten van de halfuur gemiddelden
als functie van de windrichting op 10 m hoogte
- Alleen die waarden zijn gebruikt in het geval dat de gemiddelde windsnelheid op 10 m hoogte > 5 m/s was.



4.5.3. Grafiek 18

Doel : vergelijking uithouder ten opzichte van "ongestoorde" mast M opstelling

Periode : 19 - 20 november 1975 en 25 november tot en met 5 december 1975

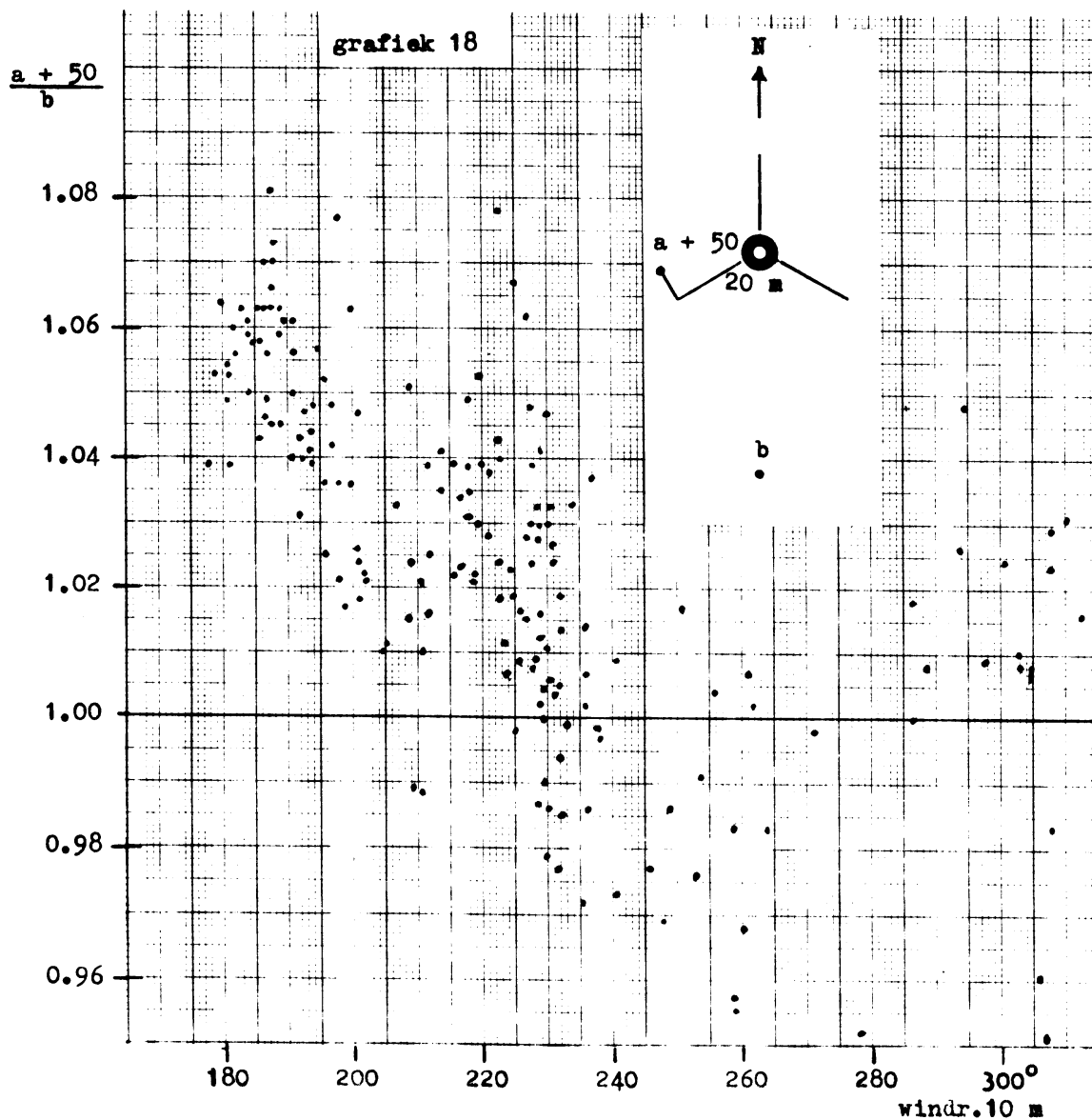
Opstelling : a. SW-uithouder plaats rechts 1 + 50 cm
b. 20 m mast

Sensoren : op beide posities stond een reedcontact anemometer

Registratie : beide sensoren registreerden op sodcotellers

Bewerking : quotienten van de halfuur gemiddelden als functie van de windrichting op 10 m hoogte

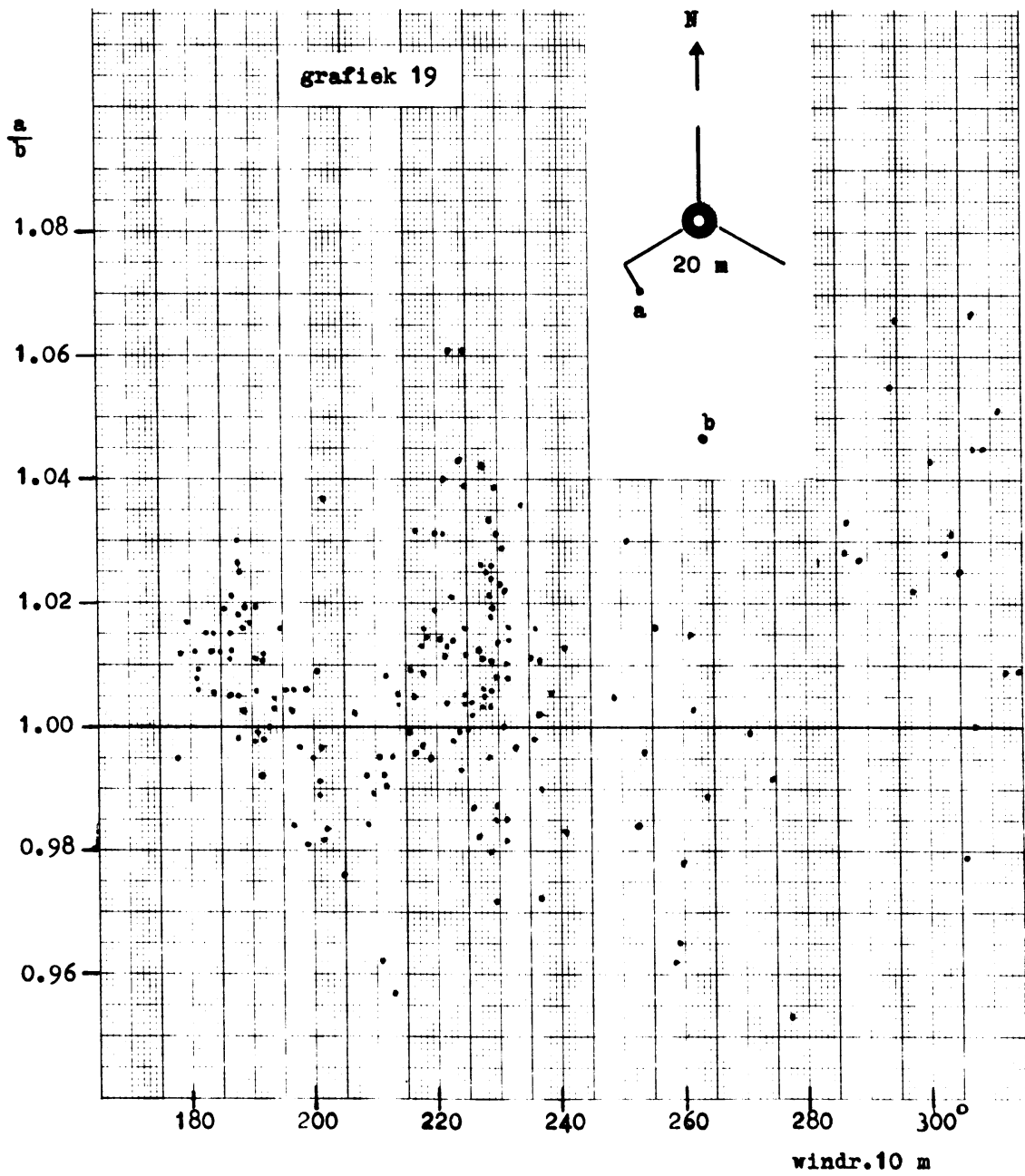
Alleen die waarden zijn gebruikt in het geval dat de gemiddelde windsnelheid op 10 m hoogte > 5 m/s was



4.5.4. Grafiek 19

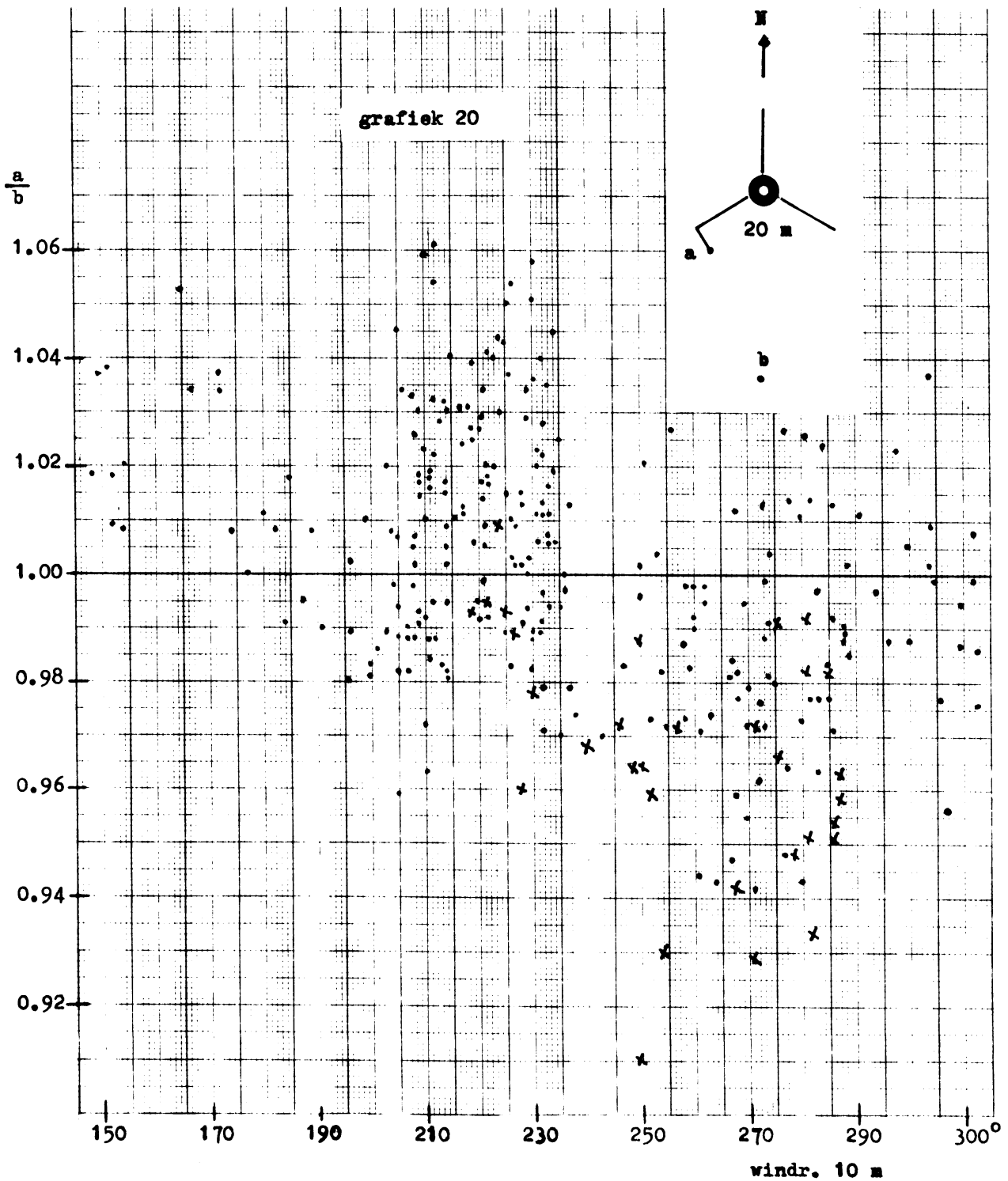
Zie 4.5.3. Alleen wijkt de opstelling af:

- Opstelling : a. standaard opstelling SW-uit houder plaats links 1
b. 20 m mast



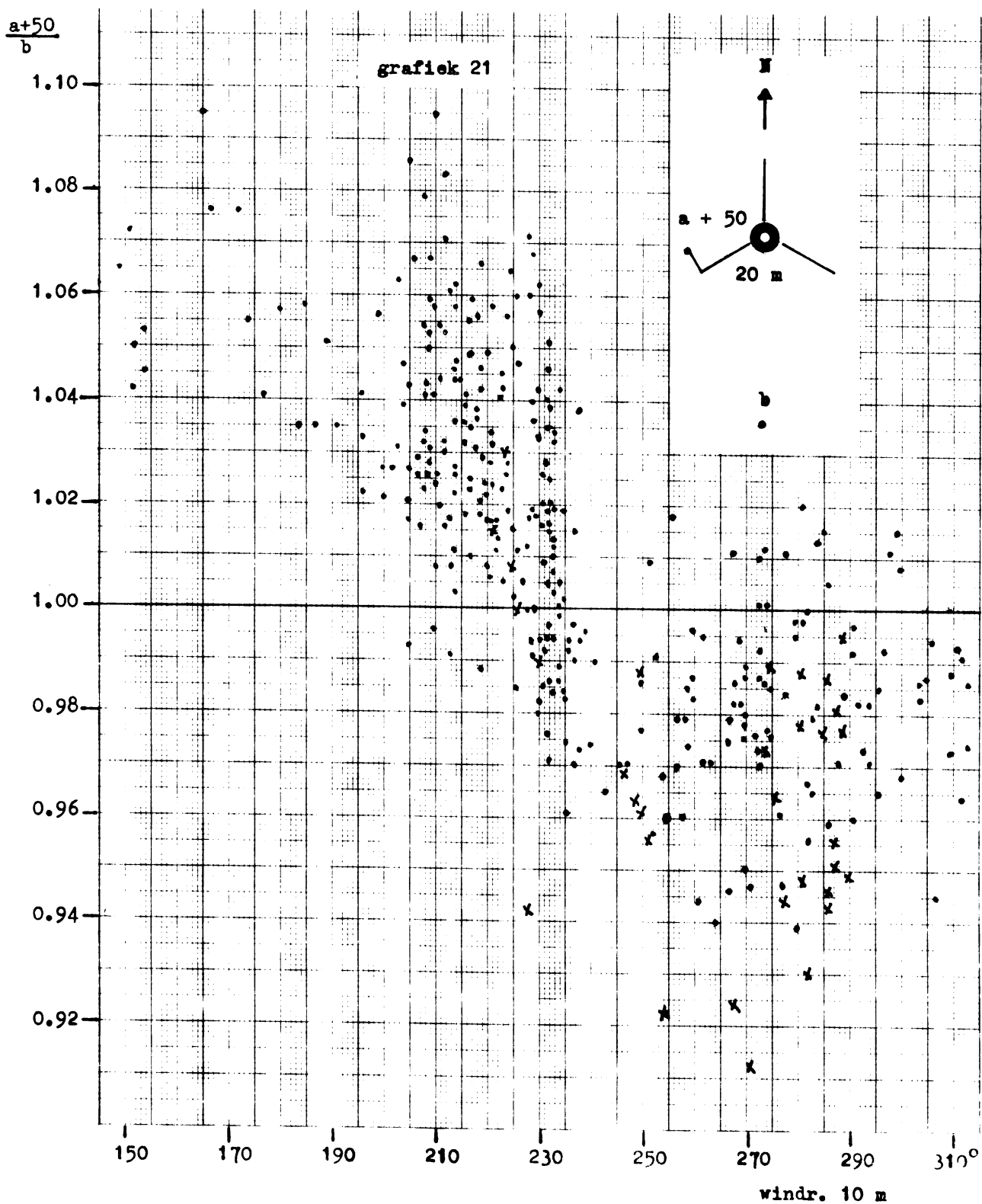
4.5.5. Grafiek 20

Zie 4.5.4. Echter nu over de periode 24 december 1975 tot en met 6 januari 1976, voorts zijn windsnelheden van > 15 m/s met een kruisje aangegeven.



4.5.6. Grafiek 21

Zie 4.5.3. Echter nu over de periode 24 december 1975 tot en met 6 jan. 1976, voorts zijn windsnelheden van > 15 m/s met een kruisje aangegeven.



4.6. Windsnelheids vergelijking 20 m niveau zomer en herfst 1978

De beide bij het onderzoek betrokken masten worden beschreven onder punten 2.6 en 2.7. De bewerking van het waarnemingsmateriaal gemeten in de zomer en herfst van 1978 werd bemoeilijkt door het gebruik van verschillende omrekeningsfactoren (zie 3.1.5.3.). Eerst vanaf 31 oktober 1978 werd op alle posities de juiste methode toegepast. Een bijkomende moeilijkheid was dat tijdens de bewerking van het materiaal bleek dat er niet altijd een voldoende synchronisatie was voor wat betreft de registratietijd tussen de digitale 2 minuut registratie en de HP-apparatuur.

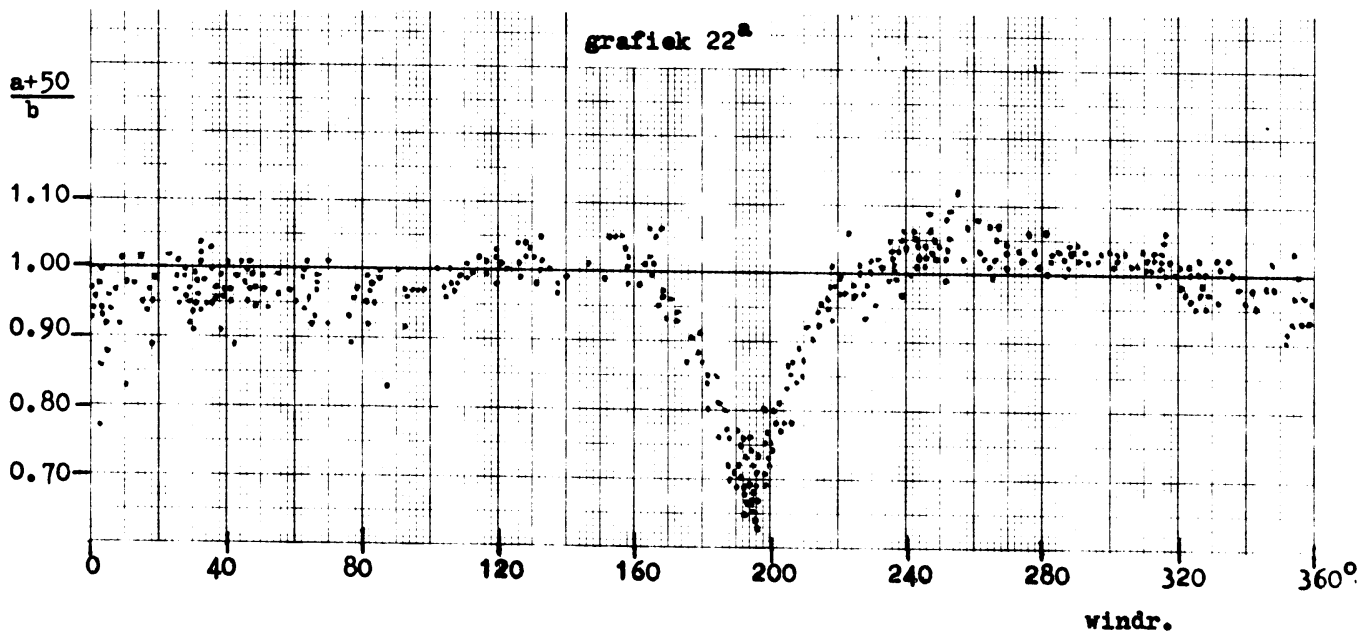
Na enige detail-onderzoekjes was het mogelijk de hierna genoemde vergelijkingen uit te voeren.

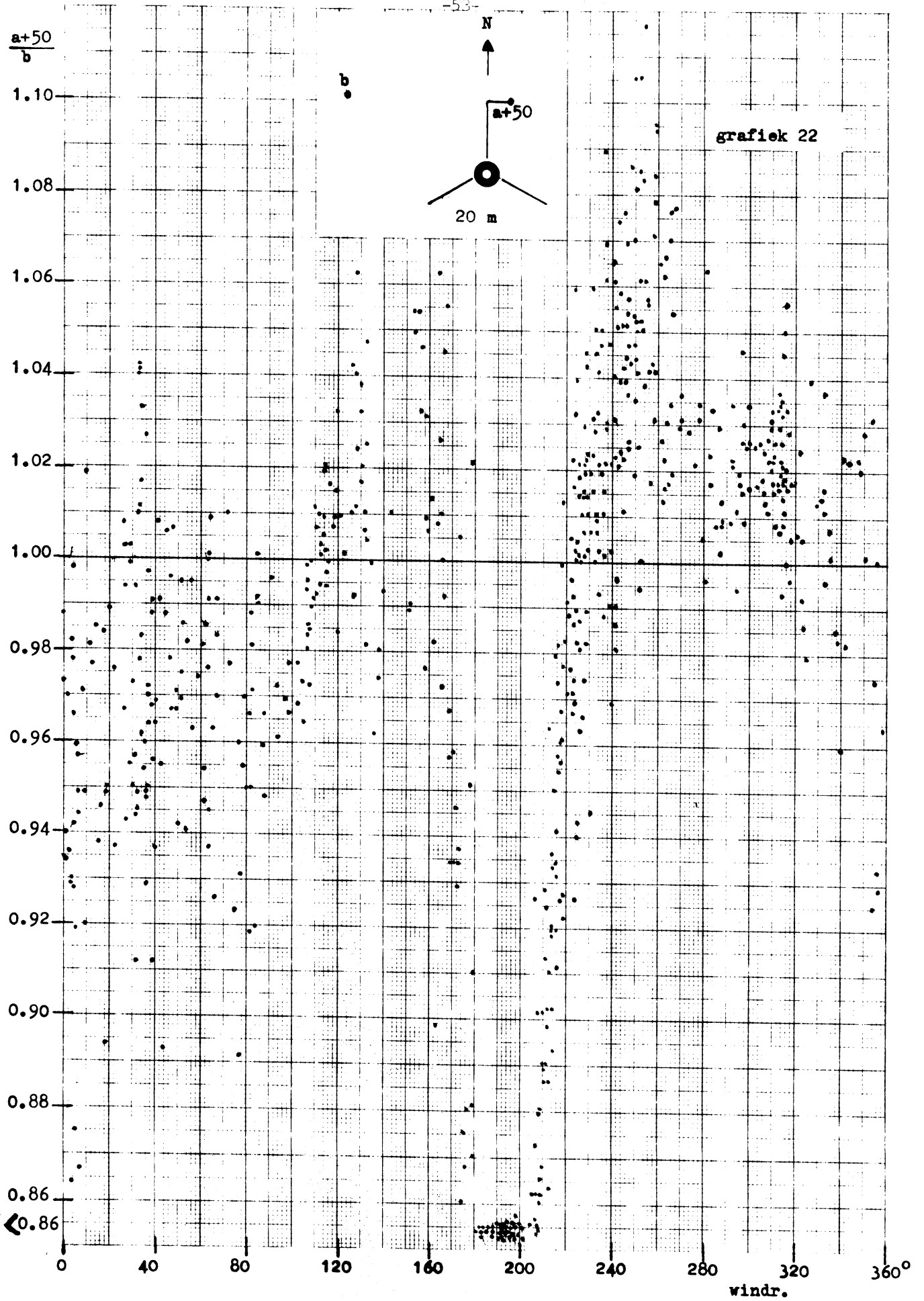
4.6.1. Grafiek 22

Doel : vergelijking uithouders ten opzichte van een "ongestoord" meetpunt in het veld
Periode : 14 juni tot en met 14 september 1978
Opstelling : a. N-uithouder plaats rechts 1 + 50 cm
 b. 20 m NW-paal
Sensoren : beide opstellingen hadden een fotodiode anemometer
Registratie : beide op HP-minicomputer
Bewerking : quotienten van de halfuur gemiddelden
 als functie van de windrichting op het 20 m niveau.
Alleen die windsnelheden zijn gebruikt indien zij > 4 m/s waren

4.6.4. Grafiek 22a

Dezelfde gegevens van 4.6.1., voor de verticale verdeling is 1 mm = 1% gebruikt



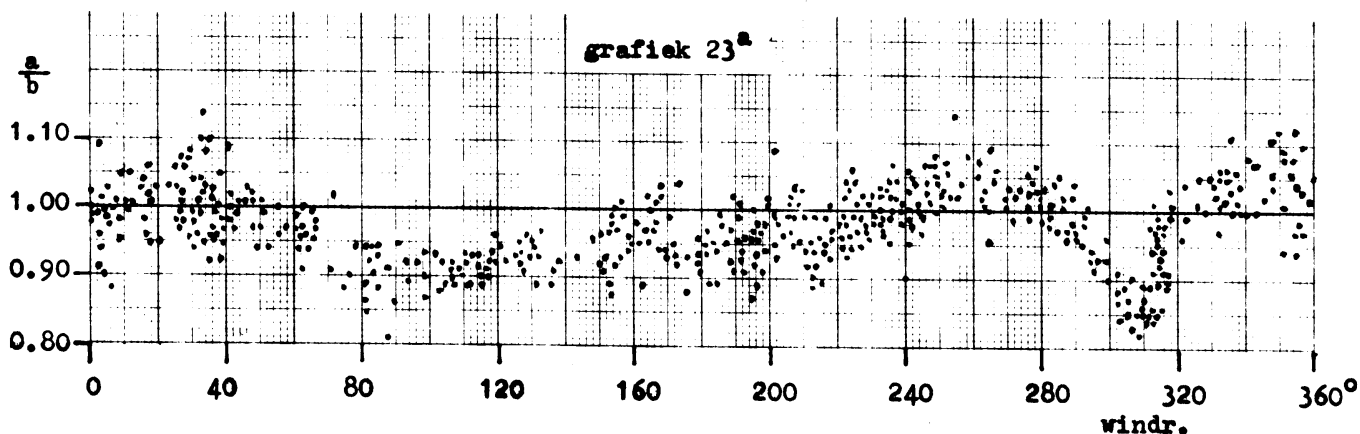


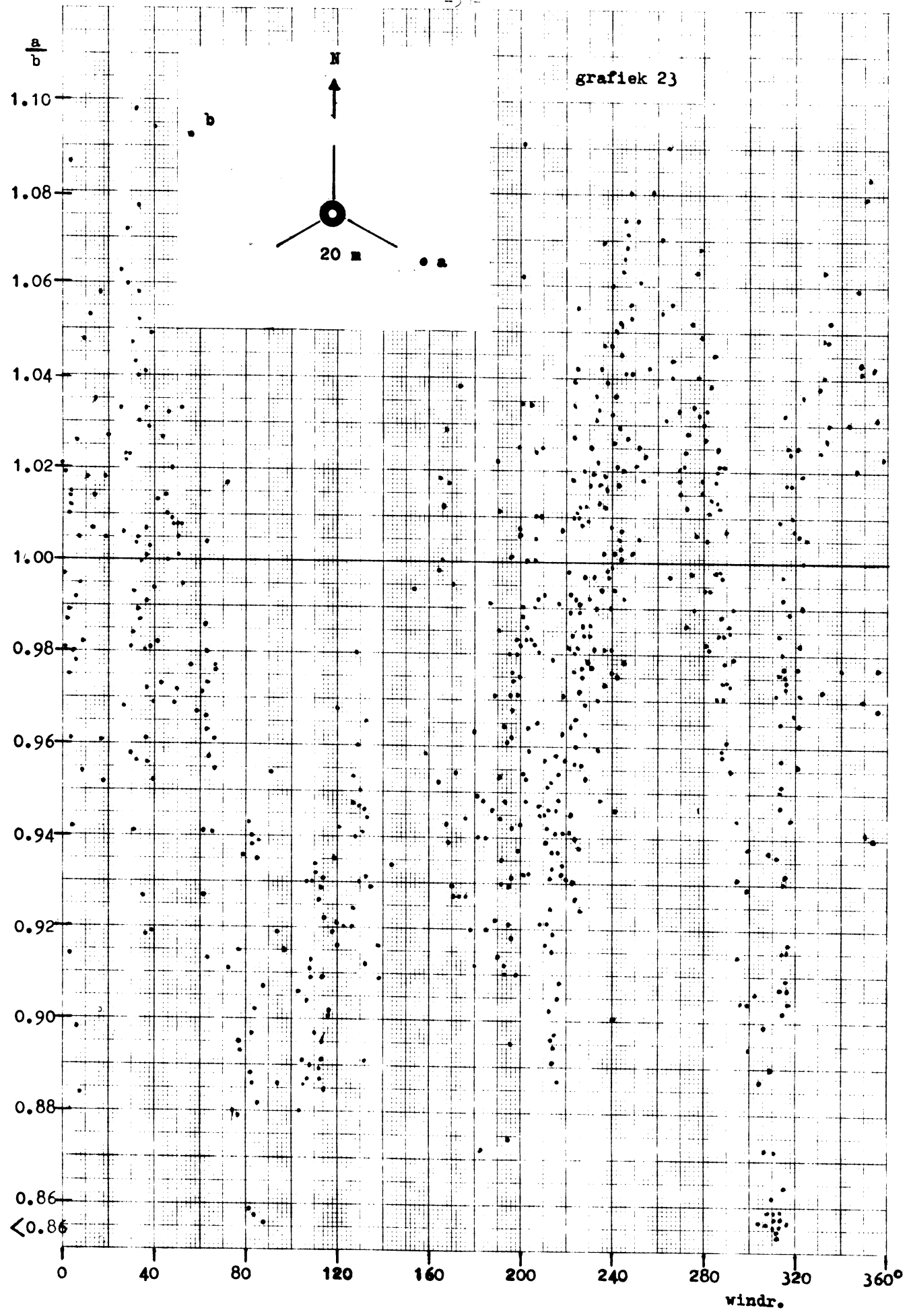
4.6.2. Grafiek 23

Doel : vergelijking 20 m SE-mast ten opzichte van een "ongestoord" meetpunt in het veld
Periode : 14 juni tot en met 14 september 1978
Opstelling : a. 20 m SE-mast
 b. 20 m NW-paal
Sensoren : beide opstellingen hadden een fotodiode anemometer
Registratie : beide op HP-minicomputer
Bewerking : quotienten van de halfuur gemiddelden als functie van de windrichting op het 20 m niveau.
Alleen die windsnelheden zijn gebruikt indien zij > 4 m/s waren.

4.6.5. Grafiek 23a

Dezelfde gegevens van 4.6.2., voor de verticale verdeling is 1 mm = 1% gebruikt.





graflek 23

20

b

windr.

< 0.86

4.6.3. Grafiek 24

Doel : Vergelijking SW-uthouder ten opzichte van een "ongestoord" meetpunt in het veld.

Periode : 14 juni tot en met 14 september 1978

Opstelling : a. SW-uthouder plaats links 1
b. 20 m NW-paal

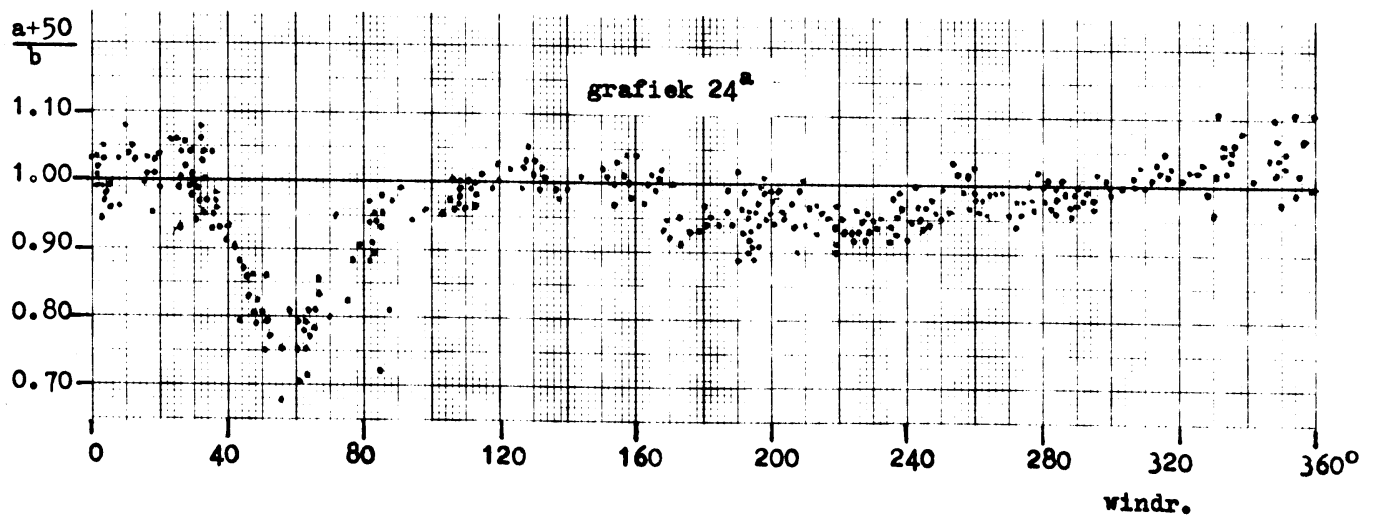
Sensoren : beide opstellingen hadden een fotodiode anemometer

Registratie : beide op HP-minicomputer

Bewerking : quotienten van de halfuur gemiddelden als functie van de windrichting op het 20 m niveau.
Alleen die windsnelheden zijn gebruikt indien zij > 4 m/s waren

4.6.6. Grafiek 24a

Dezelfde gegevens van 4.6.3., voor de verticale verdeling is 1 mm = 1% gebruikt.



$\frac{a+50}{b}$

1.08

1.06

1.04

1.02

1.00

0.98

0.96

0.94

0.92

0.90

0.88

0.86

<0.86

grafiek 24

b

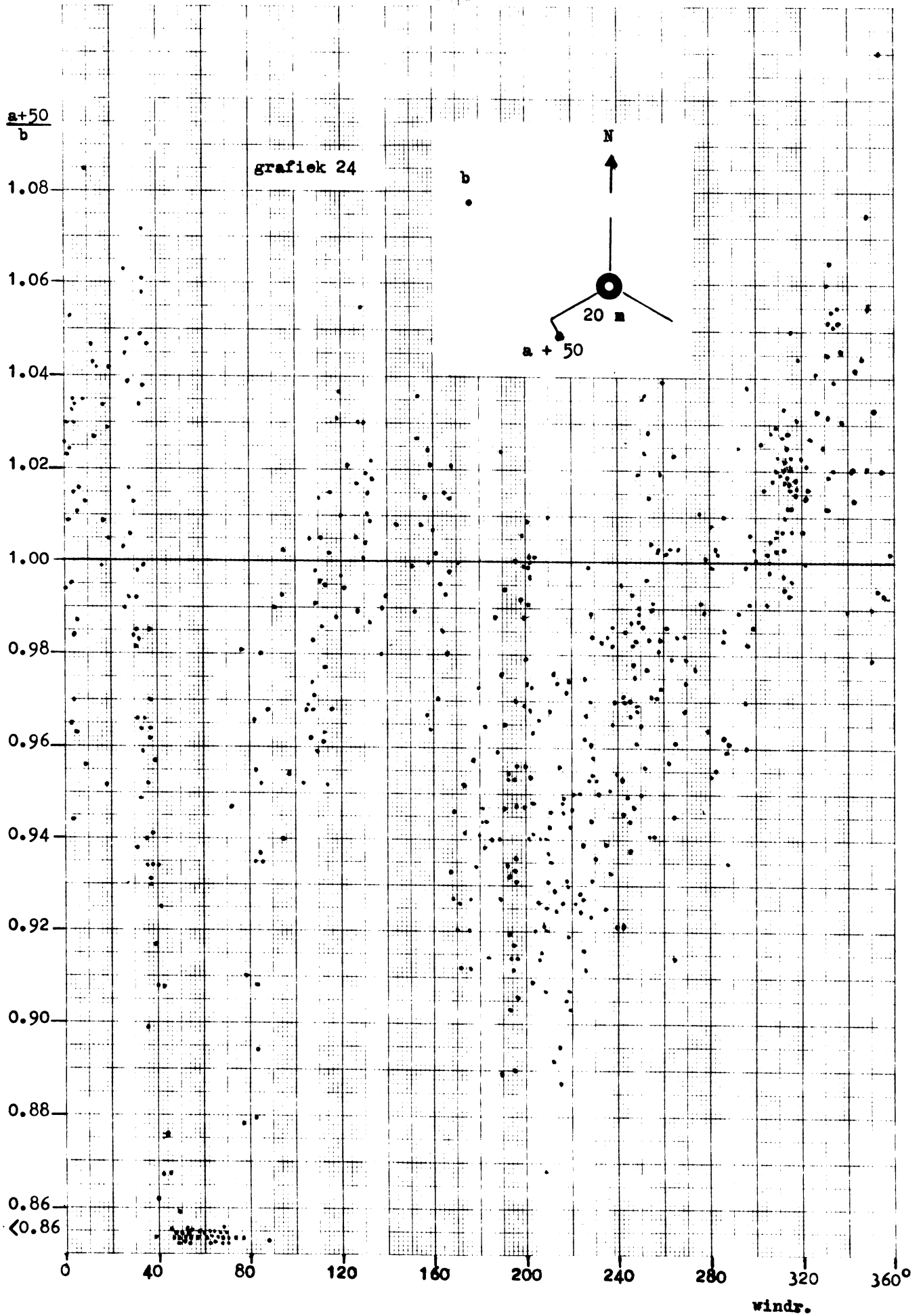
N

a + 50

20 m

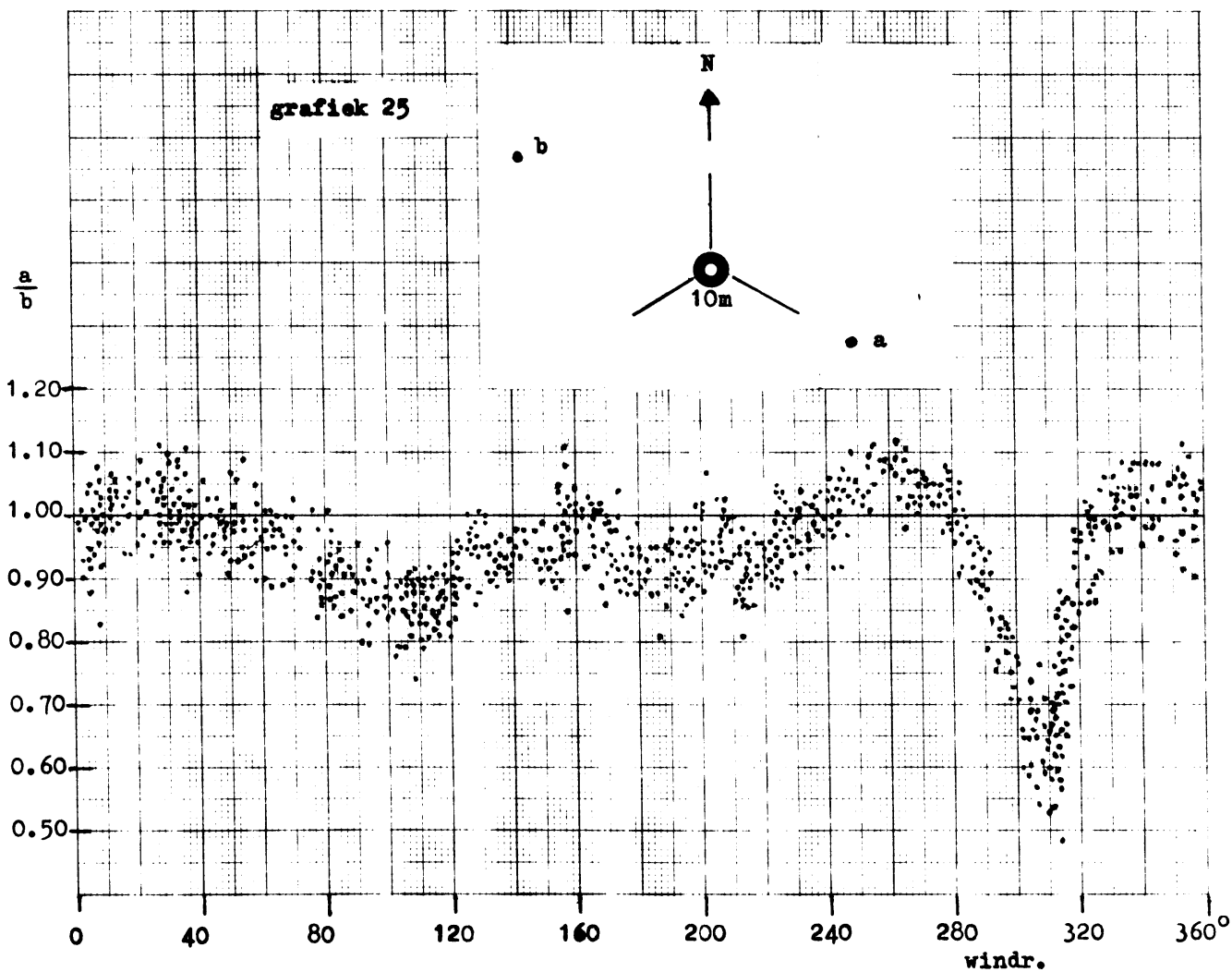
0 40 80 120 160 200 240 280 320 360°

windr.



4.6.7. Grafiek 25

Doel : vergelijking 10 m niveau
Periode : 14 juni tot en met 14 september 1978
Opstelling : a. 10 m niveau SE-mast
 b. 10 m NW-mast
Sensoren : beide opstellingen hadden een fotodiode anemometer
Registratie : beide op 2 minuten digitale registratie
Bewerking : quotienten van de halfuur gemiddelden
 als functie van de windrichting op 20 m niveau.
 Alleen die windsnelheden zijn gebruikt indien zij > 4 m/s waren



5. Enkele opmerkingen over het beschikbare materiaal

- 5.1. Het is jammer dat het beschikbare materiaal, van de extra metingen, tot en met 1977 alleen maar voorhanden was in analoge vorm. Eerst vanaf de zomer van 1978 werden alle elementen digitaal geregistreerd maar het basisbestand is nog niet "geschoond" van onder andere niet juiste omrekeningsfactoren en tijdsverschuivingen; zodat min of meer uitgebreide computerbewerkingen niet verantwoord waren.
- 5.2. De meeste vergelijkingen zijn uitgevoerd met verschillende type sensoren en registratie systemen. Daarom was het noodzakelijk kleine deelonderzoekjes uit te voeren om mogelijke afwijkingen ten gevolge van de inhomogene instrumentatie te onderkennen.
- 5.3. Het was niet altijd mogelijk, direct na afloop van de extra metingen, vergelijkingen uit te voeren zodat, na later bleek, wel eens te weinig gegevens beschikbaar waren.

6. Samenvatting en conclusie

We kunnen de volgende factoren onderscheiden die de windsnelheidsmetingen op en nabij de 200 m-mast beïnvloeden:

- 6.1. meetmethoden
- 6.2. beïnvloeding door meetgebouw en terrein
- 6.3. beïnvloeding door mast en uithouders
- 6.4. Windmeetfout in de gegevensbestanden 1973, 1977 t/m 1979

6.1. Meetmethoden

6.1.1. IJking anemometers

De tot en met mei 1976 gevolgde methode om een gemiddelde ijkfactor te gebruiken, kan verschillen van de gemiddelde windsnelheid op de diverse posities tot gevolg gehad hebben van ca 4%. (Zie 3.1.4.).

6.1.2. Sodecoteller - digitale registratie

De vergelijking van de sodecoteller registratie en de digitale 2 minuut registratie, kan in het gemiddelde tot verschillen leiden van $\pm 1,5\%$, terwijl de standaard afwijking ca 2% bedraagt. (Zie 3.1.5.2. en 4.1.1. grafiek 1).

6.1.3. HP-registratie - digitale registratie

Vergelijking van de HP-registratie en de digitale 2 minuut registratie, geven een identiek beeld te zien als de sodeco-digitale vergelijking. (Zie 3.1.5.3. en 4.1.2. grafiek 2)

6.1.4. Twee anemometers op "korte" afstand

De vergelijking van 2 anemometers op 10 m hoogte en op een afstand van 7,5 m geven een verschil te zien dat binnen de meetfout ligt. (Zie 4.1.3. grafiek 3 en 6.1.2.)

6.1.5. Hoogfrequentie storing

De invloed van hoogfrequentie-velden op de registratie van een reedcontact-anemometer op een sodecoteller is niet aantoonbaar. De vergelijking van de situaties met een condensator over de ingang van een sodecoteller en zonder deze capaciteit, geven geen verschil te zien (zie 4.1.4. grafieken 4 en 5)

6.2. Beïnvloeding door meetgebouw en terrein

6.2.1. Loodrechte aanstroming op meetgebouw

Bij loodrechte aanstroming op 2 m hoogte neemt de windsnelheid over een afstand van 31.1 m tot op 9.8 m van het gebouw met ca $10 \pm 2\%$ af. Dit gebeurt over een hoek van ca 70° . De storing vertoont overeenkomst met die welke Frost et al., 1974 berekenden voor een semi-ellipsoïdaal obstakel (zie 4.2.1. grafiek 6).

6.2.2. Invloed van de ruwheid van het terrein op de spreiding van de quotienten

De spreiding, per 10 graadsvak, van de quotienten bepaald op 10 m hoogte kan oplopen tot ca 15% (zie 4.6.7.) op 20 m hoogte tot ca 10% (zie 4.6.1., 4.6.2, 4.6.3.), terwijl deze op 200 m hoogte ca 5% bedraagt (zie onder andere 4.4.5.). De grotere spreiding op lagere hoogte wordt waarschijnlijk veroorzaakt door variaties in terrein-ruwheid en obstakels. De grafieken 18 tot en met 25 zijn daarom alleen te gebruiken om een indruk te krijgen van de terrein effecten. Een duidelijke bepaling van de storingsfout is derhalve uit deze metingen niet mogelijk.

6.3. Beïnvloeding door mast en uithouders

6.3.1. Storing veroorzaakt door de mast

Uit resultaten van vergelijking van mastmetingen op verschillende uithouders blijkt, dat het mastzog invloed heeft op snelheidsmetingen in een gebied dat ca $2 \times 25^{\circ}$ breed is. (Zie 4.3. en 4.6.4.).

Het gebruik van verlengbuisjes heeft hierop geen invloed.

6.3.2. Storingen veroorzaakt door de uithouders

Als eerste aanzet van het uithouder- en maststoringsonderzoek werd in de zomer van 1974 een vergelijking gemaakt van de windsnelheids registraties op de Noord- en SE-uithouders op 200 m hoogte (zie 4.4.1.). Daaruit bleek, dat over een betrekkelijk klein windrichtingsgebied grote verschillen in de windsnelheid voorkwamen. Deze afwijkingen konden niet allen door het mastzog worden verklaard. Er moest naar een andere oorzaak worden gezocht. Daarom werden diverse vergelijkingen gemaakt, die niet alle expliciet beschreven zullen worden, hoewel ze wel in dit verslag zijn opgenomen.

6.3.2.1. Vergelijking van de windsnelheid op de dwarsarmen van één uithouder

Om een betere interpretatie van de grafieken mogelijk te maken, zijn van de grafieken 11, 12, 13 en 16 met behulp van een HP-29c-programma, per ongeveer 10-graadsvakken gemiddelden en standaarddeviaties berekend.

De resultaten hiervan zijn in de grafieken 11a, 12a, en 13a weergegeven. Hieruit blijkt dat, volgens grafiek 12a, een niet verhoogde opstelling een afwijking in de gemiddelde windsnelheid geeft tussen de beide dwarsarmen. Die afwijking is niet symmetrisch om de aanstroomrichting evenwijdig aan de richting van de uithouder. Een mogelijke oorzaak hiervan kan zijn, dat de stroming naar de anemometer "vrijer" is in verband met de draairichting van de cups. Deze is namelijk vanuit de mast gezien rechts om (zie omstreeks de -20 en +20 graden).

De resultaten van grafiek 13a wijzen erop dat indien de beide anemometers op buisjes van 30 cm geplaatst worden, de spreiding in de gemiddelden toeneemt, maar dat het totale beeld van de toppen en dalen minder wordt.

Als mogelijke oorzaak van de toename van de spreiding in de gemiddelden, moet gedacht worden aan de mogelijkheid van het nu en dan verstoord zijn van het snelheidspatroon door de vakwerkuithouder en de relatief grote aansluitkast.

Grafiek 11a laat de resultaten zien van de vergelijking van de twee anemometers, die geplaatst zijn op buisjes van 50 cm lengte. Onderling vertonen ze nog veel verschillen maar de spreiding van $\pm 1\%$ is tot een acceptabel niveau terug gebracht. Het bovenwindse exemplaar heeft last van schering, die opzij gericht is. De storing is zo regelmatig dat hij relatief geen invloed op de turbulentie metingen zal hebben.

De conclusie is dan ook dat verlengbuisjes van 50 cm lengte voldoende lang zijn om de storing tot een acceptabel niveau terug te brengen.

Vergelijken we de resultaten van de opstellingen op 200 m (grafiek 12a) en 20 m (grafiek 16a) met elkaar, dan mogen we verwachten dat de storingen op een lager gelegen niveau zich identiek gedragen met die op 200 m hoogte.

6.3.2.2. Anemometers op verschillende hoogten op één uithouder

De grafieken 9, 10 en 17 geven de resultaten weer van de vergelijkingen van de windsnelheden op één uithouder. Een van de anemometers is echter op een verlengbuisje van 50 cm geplaatst. De grafieken 9 en 10 zijn gemaakt uit hetzelfde waarnemingsmateriaal. In grafiek 10 zijn echter grenzen gesteld aan het te bewerken materiaal (zie 4.4.3.). Zo te zien zijn er nauwelijks verschillen te constateren; zodat we alleen grafiek 9 in de beschouwing zullen betrekken.

Bij grafiek 9 staat de linker anemometer op een buisje van 50 cm en bij grafiek 17 is dat met de rechter anemometer het geval.

De afwijkingen gedragen zich vrijwel identiek. Bij een aanstroming vrijwel evenwijdig aan de uithouder, registreert de niet verhoogde anemometer een hogere windsnelheid dan de verhoogde sensor.

Stroomt de lucht aan uit de "vrije" atmosfeer, dan geeft de niet verhoogde anemometer minder aan dan het verhoogde exemplaar. Hieruit zou blijken dat de aanstromingsrichting geen invloed heeft op de draairichting van de anemometer. Het effect wordt dus waarschijnlijk alleen veroorzaakt door de dwarsarm zelf.

6.3.2.3. Anemometers op twee uithouders

De grafieken 14 en 15 geven de resultaten weer van de vergelijkingen van de windsnelheden op twee verschillende uithouders. In grafiek 14 staan beide anemometers op verlengpijpjes van 30 cm lengte. Evenals in grafiek 13a, waar beide anemometers ook op buisjes van 30 cm staan, krijgen we hier ook een grote spreiding in de quotienten te zien. Uit grafiek 15 blijkt, dat bij windrichtingen vanaf ca 340° , de SW-uithouder een zodanige stuwung van het mastzog ondervindt, dat de snelheid niet bruikbaar is. Vergelijken we echter grafiek 8 met 15, dan valt nog op dat in het windrichtingsgebied rond 72 graden van grafiek 8 de verschillen ongeveer gelijk zijn.

Verder is het verloop van de verschillen in grafiek 15 wel regelmatigiger dan bij grafiek 8. Hieruit volgt dat dus het gebruik van de 50 cm buisjes zo slecht nog niet is. Overigens is weinig concreets uit deze grafieken te concluderen.

6.4. Windmeetfout in de gegevens bestanden 1973, 1977 t/m 1979

6.4.1. Grootte van de windmeetfout

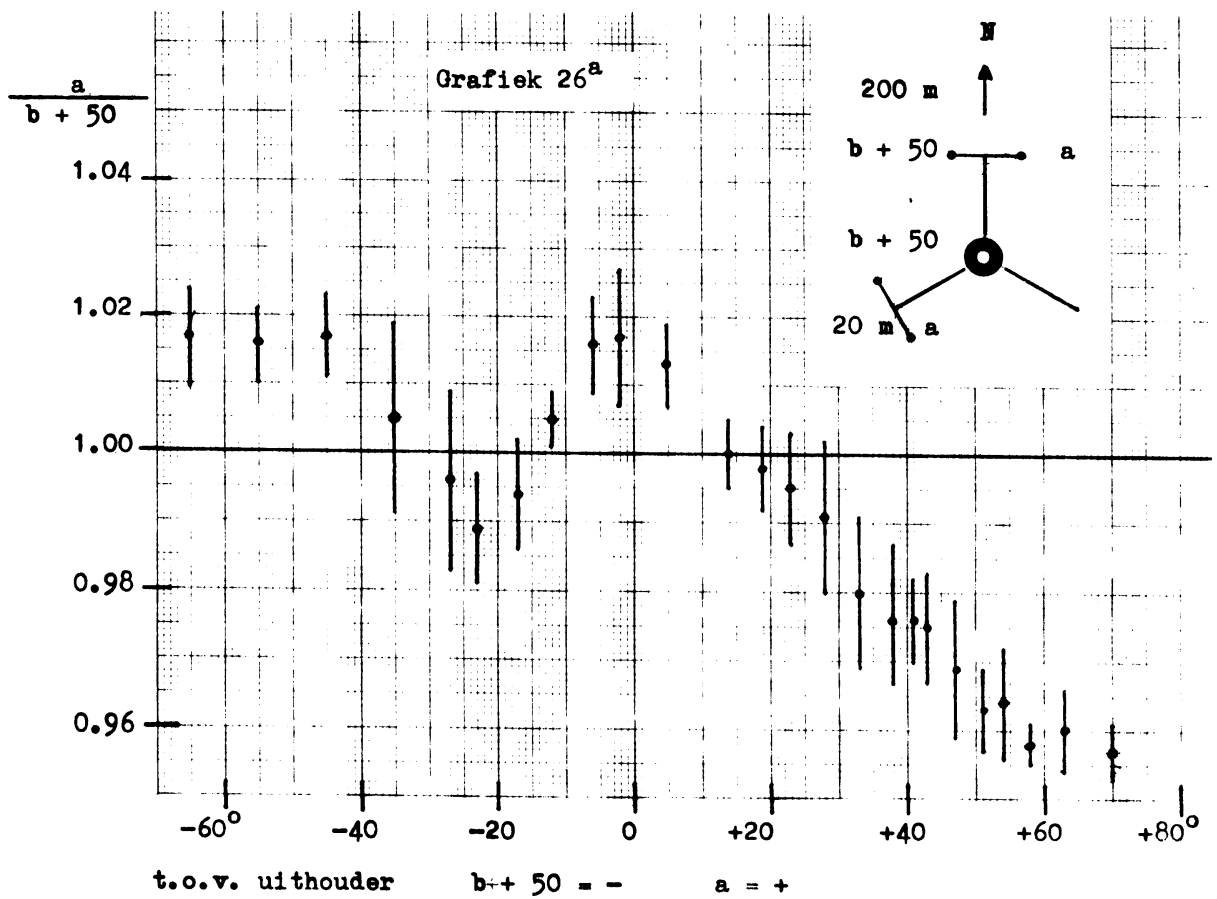
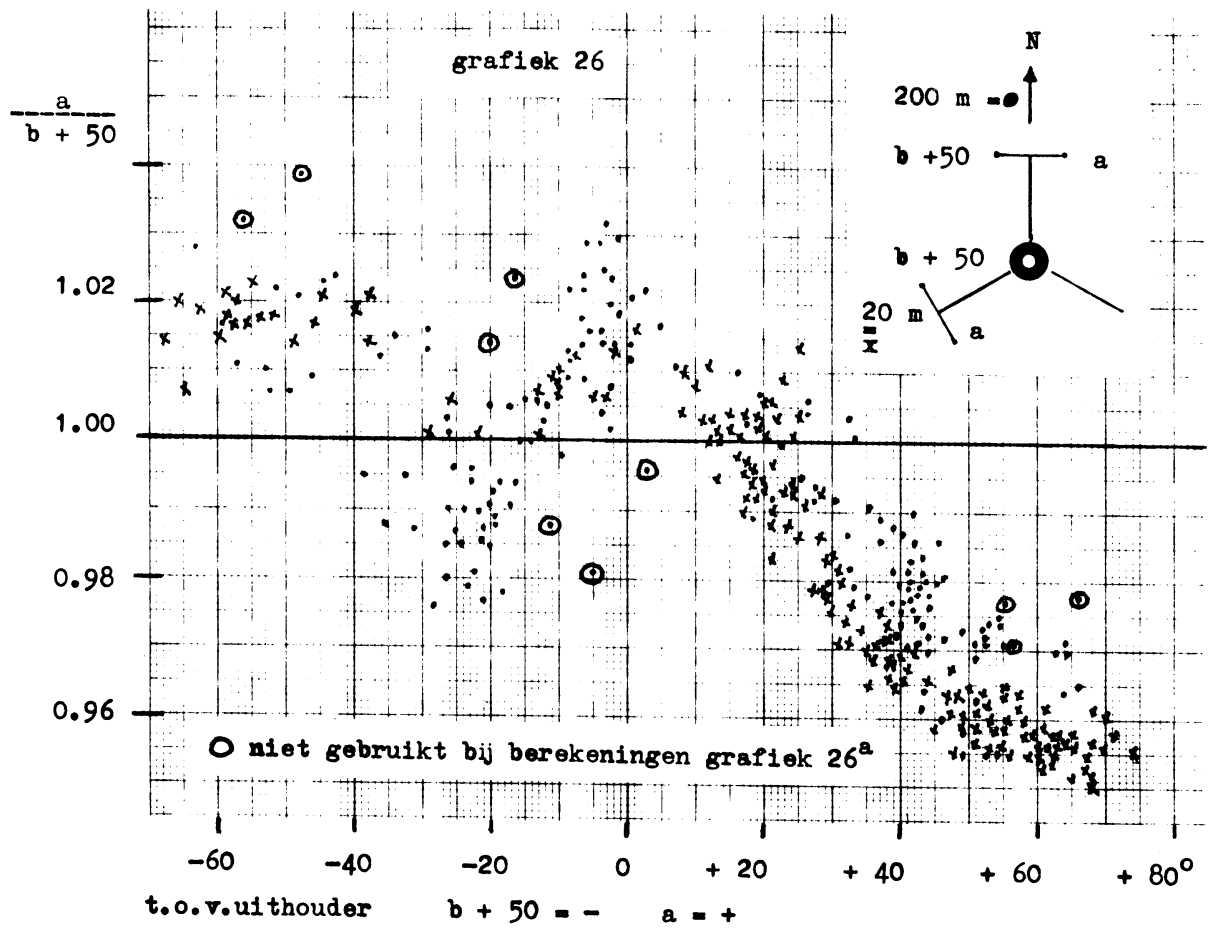
Teneinde een indruk te krijgen van de windmeetfout zijn de grafieken 9 en 17 zodanig samengevoegd dat hieruit grafiek 26 is ontstaan. Tevens is hierop de bewerking toegepast zoals beschreven is in 6.3.2.1. De uitkomst daarvan is weergegeven in grafiek 26a. Dezelfde bewerkingen zijn uitgevoerd met de grafieken 12 en 16; de resultaten hiervan zijn vermeld in de grafieken 27 en 27a.

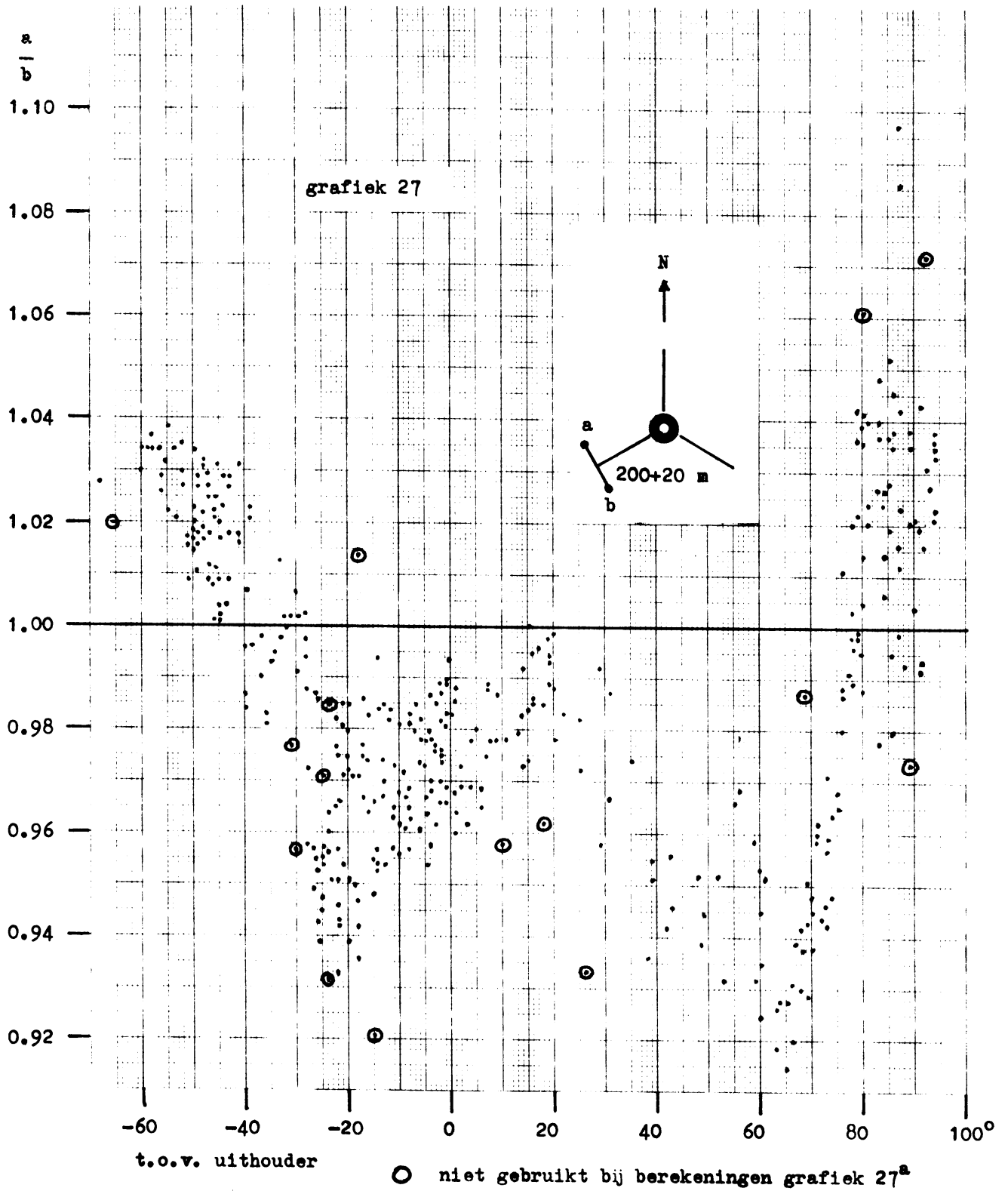
In het kader van dit rapport is het mogelijk om een definitieve bepaling te maken van de grootte van de windmeetfout voor de 1977-opstelling. De anemometercups stonden toen op ~ 0.80 m boven de as van de dwarsarm. In 1973 was de afstand tussen het cupmidden en de hartlijn van de dwarsarm ~ 0.30 m.

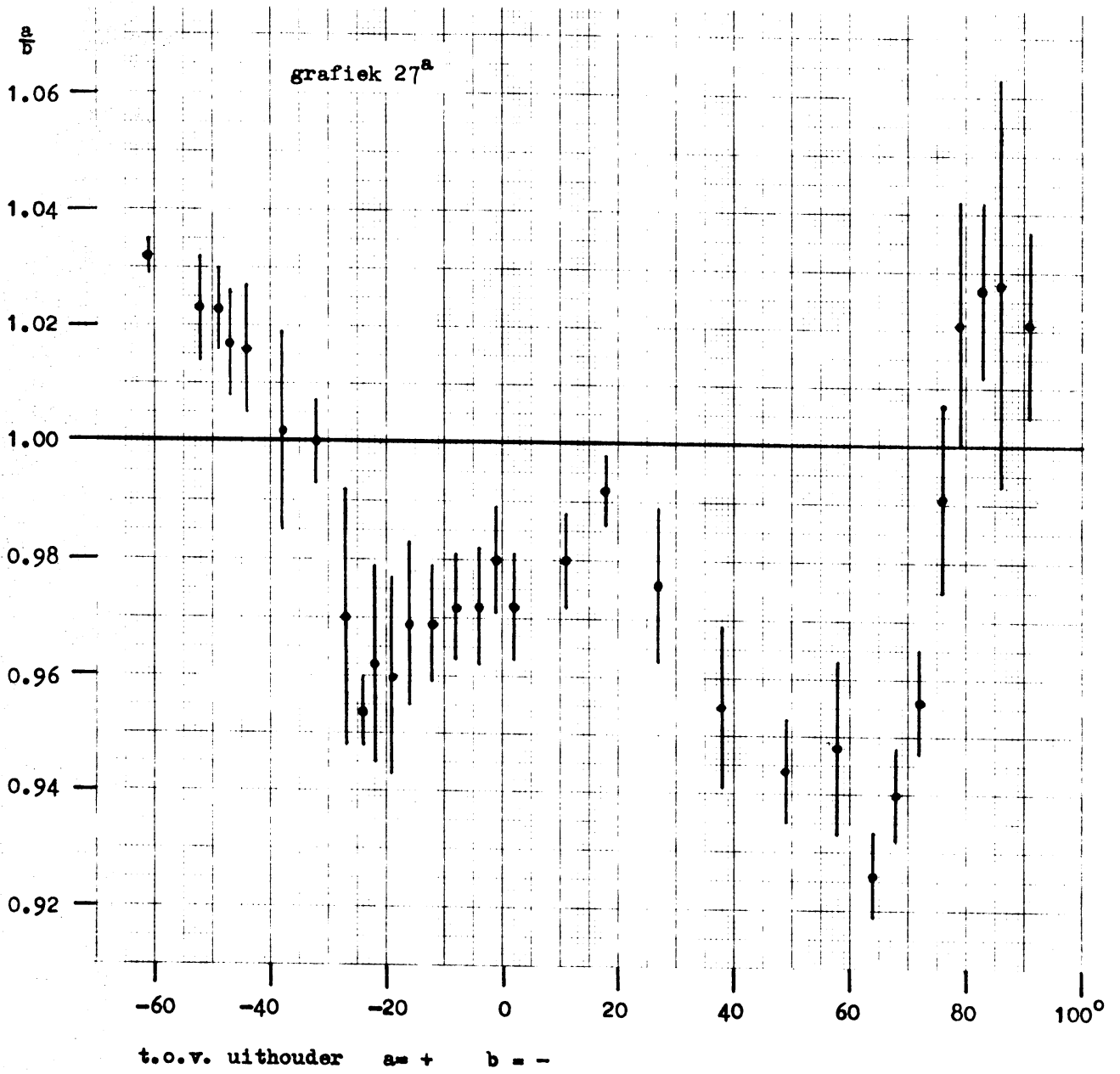
Hierdoor is het zonder verder theoretisch rekenwerk onmogelijk de grootte van de windmeetfout te bepalen. Voor deze lage 1973-opstelling zien we bijv. in grafiek 12a, dat twee anemometers op respectievelijk positie a en b een niet-verwaarloosbaar ($>2\%$) verschil in output vertonen wanneer de windrichting parallel aan de uithouder is. Dit betekent dat we bijv. moeten kijken naar de wisselwerking tussen rotatierichting cups en asymmetrische opstelling op de dwarsarm.

Een dergelijk probleem doet zich niet voor bij de hoge 1977-opstelling, waar in grafiek 11a het meetverschil tussen de twee hoge anemometers nul is wanneer de wind evenwijdig aan de uithouder is.

We zullen ons thans uitsluitend beperken tot de verhoogde opstelling. De eerste vraag is: wordt de windrichting gestoord door het vakwerklichaam van de uithouder.







We noemen de hoek tussen de windrichting en uithouder δ , positief wanneer de windrichting geruimd is ten opzichte van de uithouderrichting.

In geval dat voor $\delta = 0^\circ$ het uithoudervakwerk niet stoort, dan blijft slechts over de storing door de dwarsarm. De straal van de dwarsarm is 0.03 m. Ter hoogte van de cups, deze bevinden zich op ca. 26.5 maal de straal grootte boven de dwarsarm, is dan de theoretische storing door een oneindig lange cilindrische dwarsarm niet groter dan + 0.5%.

Voor de lage opstelling, op slechts 10 dwarsarmstralen boven de hartlijn, bedraagt de theoretische cilindrische storing 3.4%. In grafiek 26a bedraagt het verschil tussen hoge- en lageopstelling voor $\delta = 0^\circ$ slechts 1.7%, en dit ondersteunt de aanname dat voor wind parallel aan de uithouder de hoge opstelling niet noemenswaard is gestoord en de lage opstelling slechts de storing ondervindt van de dwarsarm aan één kant. Beide opstellingen meten in deze situatie bovendien $\sim 1\%$ te weinig omdat ze bovenwinds zijn van de hoofdmast op ca 10 maststralen afstand van het midden. Dit is in het verschil niet merkbaar en het lijkt weinig realistisch om een grotere nauwkeurigheid dan $\pm 1\%$ na te streven vanwege de aanwezigheid van ijkfouten en dergelijke.

Wanneer $\delta > 0^\circ$, dan staat de anemometer in de operationele gebruikspositie R1 bovenwinds van de uithouder, zodat de wind ter hoogte van R1 enigszins opgestuwd en vertraagd wordt. (Zie 1.3.). De opgestuwde lucht vloeit ondermeer terzijde af langs de kop van de uithouder. Bij positie L1 treedt dan een relatieve verhoging van de windsnelheid op. Daardoor wordt het quotient (U_{R1}/U_{L1}) kleiner dan 1 voor $\delta > 0^\circ$ (zie grafiek 11a). Het verband tussen quotient en δ is over een range van 120° keurig lineair (correl. coëff. - 0.985) volgens de kleinste kwadratisch bepaalde relatie:

$$U_{R1}/U_{L1} = 1 - (0.00036 \pm 0.00002) \delta \pm 0.0006 \quad (1)$$

Nemen we aan dat voor $\delta = 0^\circ$ de hoge opstelling ongestoord is en dat voor $\delta \neq 0^\circ$ de afwijkingen ten gevolge van vertraging bij de ene en versnelling bij de andere anemometer gelijk zijn, dan volgt hieruit dat de ongestoorde windsnelheid U_0 voor de hoge opstelling R1 gegeven wordt door:

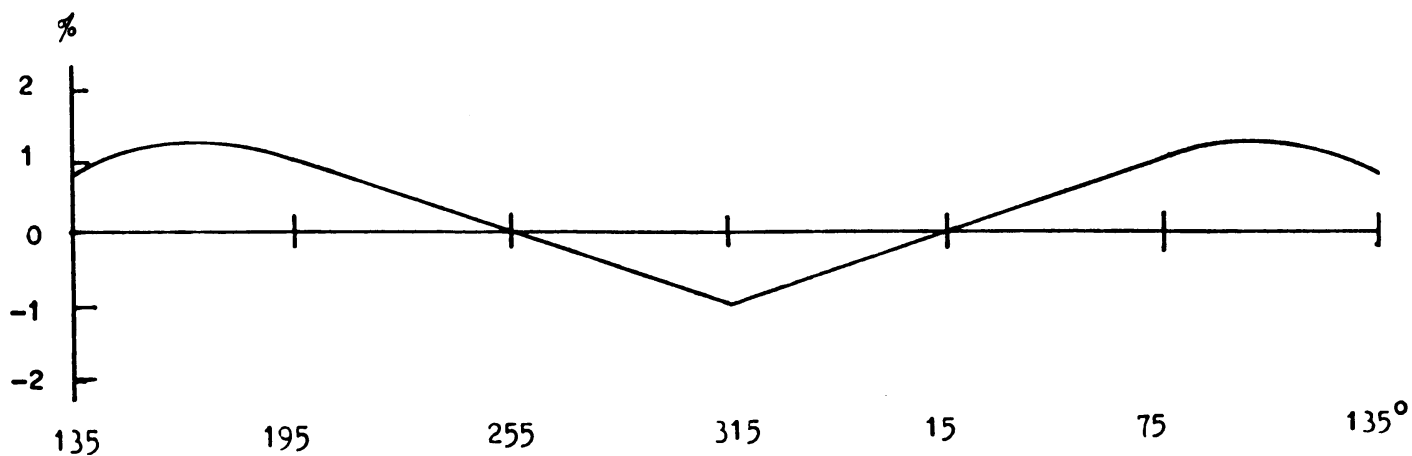
$$U_0 \approx (1 + 0.0002 \delta) U_{R1} \quad (2)$$

met δ in graden. Deze fout bedraagt voor $\delta \sim 50^\circ$ ongeveer één procent en is dus voor de meeste doeleinden verwaarloosbaar.

6.4.2. Toepassing van correcties op het waarnemingsmateriaal 1977-1979

Uit het bovenstaande blijkt dat het mogelijk is met de formule (2) de windsnelheidsgegevens te corrigeren, die gemeten zijn aan de hoofdmast in de jaren 1977 t/m 1979. Hierbij dient men wel goed het teken van de hoek δ in de gaten te houden. Gedurende die jaren stonden n.l. de anemometers tussen 20 en 200 m op de noord- uithouder op positie R1 en tussen 40 en 200 m op de SW-uithouders op positie L1, terwijl op de SE-uithouders geen anemometers aanwezig waren (Nieuwendijk et al., 1978).

In onderstaande figuur is schematisch het verloop van de correctie weergegeven. Hierbij moet worden opgemerkt dat de 0-punts doorgangen op de X-as afhankelijk zijn van de uithouder richtingen die per hoogte en richting niet dezelfde zijn.



Dankbetuiging

Dank is verschuldigd aan: de heren A.G.M. Driedonks, A.P. van Ulden, H.R.A. Wessels en J. Wieringa, voor hun waardevolle adviezen en het kritisch doorlezen van de tekst;

de medewerkers van de Buitendienst van de afdeling Insa voor hun medewerking bij het realiseren van de metingen, en

de heren H.E. Carolus en P.J.M. van der Veer van de afdeling FM voor hun assistentie bij de bewerking van de metingen.

7. Referenties

1. Borovento E.V., Volkovitskii O.A. Zolotarev I.M., Isaeva S.A. (1963): "Estimation of the effect of the 300-m meteorological mast structure on the wind-gauge readings". pp 83-92 in Investigation of the bottom 300-m layer of the atmosphere (ed. N.L. Byzova), Izd. AK Nauk SSSR; transl. Isr. Progr. Sc. Tr. Jerusalem 1965.
2. Driedonks, A.G.M. (1974)
Windsnelheidsijkingen in de K.N.M.I. windtunnel. K.N.M.I. V 253-1974.
3. Driedonks, A.G.M., Van Dop, H. and Kohsiek, W. (1978):
Meteorological observations on the 213 m mast at Cabauw in the Netherlands.
Proc. of the 4th Symposium on Meteorological observations and instrumentation of the AMS. Denver. Colorado, 41-46.
4. Frost, W., Maus J.R., Fichtl, G.H., (1974):
A boundary-layer analysis of atmospheric motion over a semi-elliptical surface obstruction.
Boundary-Layer, Vol 7, 165-184.
5. Gill, G.C., Olssen, L.I., Sela, J., Suda, M. (1967): "Accuracy of wind measurements on towers or stacks". Bull. Am. Met. Soc. 48. 665-674.
6. Monna, W.A.A. (1978). Comparative investigation of dynamic properties of some propeller vanes. K.N.M.I.-WR 78-11.
7. Monna, W.A.A., and Driedonks, A.G.M. (1979).
Experimental data on the dynamic properties of several propeller vanes.
Journ. Appl. Meteor. 18, 699-702.
8. Nieuwendijk, P.A.T., Van der Vliet, J.G. (1978). Beschrijving van het programmapakket ten behoeve van de routineregistratie te Cabauw. K.N.M.I. V-306.

9. Van Ulden, A.P., Van der Vliet, J.G. and Wieringa, J. (1976).
Temperature and wind observations at heights from 2 in to 200 m
at Cabauw in 1973.
K.N.M.I. Scientific Report. 76-7.
10. Wieringa, J. (1968). Nauwkeurigheid van anemometerijkingen in
K.N.M.I. windtunnel. K.N.M.I.-V211-VI-68.
11. Wieringa, J. (1967):
Evaluation and design of wind vanes.
Journ. Appl. Meteor. 6, 1114-1122.

8. Overzicht grafieken

<u>200 m niveau</u>		<u>20 m niveau</u>	
8	$\frac{\text{Noord R1}}{\text{SE R1}}$	16,16a	$\frac{\text{SW R1}}{\text{SW L1}}$
9	$\frac{\text{Noord R1}}{\text{Noord L1} + 50}$	17	$\frac{\text{SW R1} + 50}{\text{SW L1}}$
10	$\frac{\text{Noord R1}}{\text{Noord L1} + 50}$	18	$\frac{\text{SW R1} + 50}{\text{M}}$
11,11a	$\frac{\text{Noord R1} + 50}{\text{Noord L1} + 50}$	19	$\frac{\text{SW L1}}{\text{M}}$
12,12a	$\frac{\text{SW R1}}{\text{SW L1}}$	20	$\frac{\text{SW L1}}{\text{M}}$
13,13a	$\frac{\text{SW R1} + 30}{\text{SW L1} + 30}$	21	$\frac{\text{SW R} + 50}{\text{M}}$
14	$\frac{\text{SW R1} + 30}{\text{Noord L1} + 30}$	22,22a	$\frac{\text{Noord R1} + 50}{\text{NW-paal}}$
15	$\frac{\text{SW R1}}{\text{Noord L1} + 50}$	23,23a	$\frac{\text{SE-mast}}{\text{NW-paal}}$
		24,24a	$\frac{\text{SW L1}}{\text{NW-paal}}$
	<u>10 m niveau</u>	26, 26a, 27 en 27a samen gestelde grafieken t.b.v. bepaling windmeetfout. Ze bevinden zich bij hoofdstuk 6.4.	
25	$\frac{10 \text{ m NW-mast}}{10 \text{ m SE-mast}}$		

9. Abstract

From December 1972 onwards measurements have been carried out along the 213 m meteorological mast at Cabauw. The construction of the mast and the instrumentation of the 1973 observations have been described by Van Ulden et al., 1976. At that time no conclusive information about the accuracy of the wind measurements could be given because detailed instrument comparisons were still in progress.

In 1977 these studies led to the decision to increase the height of the cups and vanes above the booms by inserting 50 cm extension tubes (Photo 6). (Photo 5 = 1973; Photo 6 = 1977).

This report contains an account of all intercomparison measurements made from 1974-1978. Sections 1 and 2 describe the instrument locations for the regular observations (See also Van Ulden et al., 1976) and the auxiliary measurements respectively. Photos 1-3 and Map 3 show the instrument positions for the measurements up to 20 meters. Included are the 2 m mast described in Section 2.2 and the 2 m mast a and b described in Section 2.3. A separate anemometer above the top platform hand-rail is shown in Photo 4. (Results in Graph 7 with e.g. the wake of the central lightning conductor).

The calibration procedures and the conversion factors and the conversion from measurements voltage to numbers are reviewed in Section 3. Calibration errors remained below one per cent of the wind velocity. A point of concern were the sampling errors caused by the digital registration method. Half-hourly averages were composed from 15 samples. Theoretically therefore average wind speed errors of 1.5 per cent (with a standard deviation of 2 per cent) may be expected. This was verified experimentally by comparing the 2-min analog averaged data with unbiased pulse counter registrations from the same instrument (Graph 1). These sampling errors are present in most of the data used here. Wind direction measurements too are subject to many errors like instrument-misorientation, non-linearity of the potentiometer used as direction sensor, etc. In the measuring year 1973 these errors were probably less than one degree.

Section 4 and the graphs contain the results of the comparisons. Graphs 3, 6 and 8 to 25 all show half-hourly ratios of wind speeds, measured with two instruments at different locations, as a function of wind direction.

The measuring position and the possible presence of extension tubes (+ 30 and + 50) are shown along the left side of the graphs and in the small sketches inserted. The sensors, the period of measurement, the type of registration, etc. are described in the Sections 4.1.3 - 4.6.7 accompanying the graphs. In these sections also information is given about the wind velocity class accepted for the comparisons: usually above $4-6 \text{ ms}^{-1}$.

The low-level disturbance caused by the main building is demonstrated by Graph 6. The velocity reduction at 10 m distance upstream is comparable with the results computed by Frost et al., 1974.

The wake disturbance of the main mast is shown in Graph 8, where for direction 200 instrument a is in the wake and for azimuth 320 instrument b. The wind speed reduction is present for a 2×25 deg. sector and amounts up to 50%. Wake effects of the booms and the connection boxes mounted at their end can also be discerned, at 30° for b and at 270° for a. Of course the selection procedure of the routine program accepts only upstream data.

Upstream data also contain errors due to flow disturbance by the booms and their side extensions. These errors can be judged by comparing the instrument in question with a better located instrument, i.e. on an extension tube. Examples are given in Graphs 9, 15 and 17. Graph 10 shows the same data as Graph 9, but classes of different wind velocity and/or uniform wind direction are indicated separately.

The anemometers on extension tubes at their turn were compared to instruments on auxiliary masts: Graphs 18, 21 and 22. Finally, the anemometers without extension tubes were compared to the instruments on auxiliary masts: Graphs 19 and 20. The spread in these observations however is quite large. The standard deviation of the wind speed ratios is apparently increasing with larger distance between the instruments. This is probably due to the influence of surface inhomogeneities on these low-level measurements. The largest scatter occurs in Graphs 23-25, where the horizontal distance is of the order of 100 meters. This impedes a thorough quantitative analysis of these data. An exception may be the study of wake effects at various ranges.

The disturbance by the boom and its extensions can only be evaluated from measurements along the main mast. For this purpose a limited number of suitable graphs has been redrawn to indicate average values and standard deviations for narrow azimuth sectors. (Graphs 11a, 12a, 13a, 16a). More complete coverage of azimuth was obtained by combining the results for different boom-directions and/or levels. Graph 26 is such a combination of Graph 12 and 16. The angle δ between wind direction and boom direction is now taken as the abscissa. Graph 26 clearly shows an asymmetric behaviour with respect to the value $\delta = 0$, which might be ascribed to the clockwise rotation of the anemometer cups. For $\delta = 0^\circ$ the cups of "b" will pass over the side-boom with the wind, but for "a" against the wind, so the velocity of "b" is increased relative to "a". Computations with potential flow suggest a velocity augmentation by 3.4 per cent.

In Graph 26 (combining 9 and 17) the elevated anemometer "b" is used as a reference. However, "b" not exactly represents the undisturbed air velocity (Graph 11a). The elevated anemometer apparently is too low by $0.02 * \delta$ per cent (δ in deg.).

The measurements for 1977 and later will therefore be accurate to within 1% or even better if a correction depending on δ is applied. This estimate includes the upstream deceleration caused by the main mast with a maximum of 1% for $\delta = 0$ deg.

Evidently, the results for 1973 can be in error up to .4 per cent for a sector $\delta = \pm 60$ deg. Usually the selection procedure deletes observations with larger δ -values.