

KONINKLIJK NEDERLANDS
METEOROLOGISCH INSTITUUT

De Bilt

Verslagen

V - 253

A.G.M. Driedonks

Windsnelheidsijking in de KNMI-windtunnel

De Bilt, 1974

Kon. Ned. Meteor. Inst.
De Bilt

~~BLINDAANMETSING~~

Publikationsnummer: K.N.M.I. V-253 (M.O.-B)

Inhoud

- I. Inleiding.
- II. Opzet van het onderzoek.
 - a. de KNMI-ijkingen.
 - b. de NLR-ijkingen.
 - c. identifikatie en gebruikte afkortingen.
- III. Bewerking van de metingen.
- IV. De NLR-ijkingen.
 - IV.A. de cupanemometers.
 - IV.B. de trivaan.
- V. De KNMI-ijkingen.
 - V.A. de vleugelradijkingen.
 - V.B. de pitotbuis-ijkingen.
 - V.Ba. cupanemometer tegen pitotbuis.
 - V.Bb. trivaan tegen pitotbuis.
- VI. Combinatie NLR-ijkingen en KNMI-ijkingen.
 - VI.A. cupanemometers en vleugelrad.
 - VI.B. ijking van de pitotbuizen bij aanwezigheid van een cupanemometer.
 - VI.Ba. oude pitotbuis en cupanemometer.
 - VI.Bb. nieuwe pitotbuis en cupanemometer.
 - VI.C. ijking van de pitotbuizen bij aanwezigheid van een trivaan.
 - VI.Ca. oude pitotbuis en trivaan.
 - VI.Cb. nieuwe pitotbuis en trivaan.
- VII. Samenvatting en discussie.
- VIII. Konklusie.

- tabel 1. NLR-ijkingen - cupanemometers.
tabel 2. NLR-ijkingen - trivanen.
tabel 3. KNMI-ijkingen - cupanemometers tegen vleugelrad.
tabel 4. Gekombineerde vóór- en naijking cupanemometers tegen vleugelrad.
tabel 5. IJkingen cupanemometers tegen oude pitotbuis.
tabel 6. IJkingen cupanemometers tegen nieuwe pitotbuis.
tabel 7. Gekombineerde vóór- en naijking cupanemometers tegen oude pitotbuis.
tabel 8. Gekombineerde vóór- en naijking cupanemometers tegen nieuwe pitotbuis.
tabel 9. Trivanen tegen oude pitotbuis.
tabel 10. Trivanen tegen nieuwe pitotbuis.
tabel 11. Gekombineerde vóór- en naijking trivanen tegen oude pitotbuis.
tabel 12. Gekombineerde vóór- en naijking trivanen tegen nieuwe pitotbuis.
tabel 13. Samenvatting ijkresultaten.

- figuur 1. KNMI-opstelling vleugelrad + cupanemometer.
figuur 2. KNMI-opstelling pitotbuis + trivaan.
figuur 3. NLR-opstelling trivaan + pitotbuis (zijaanzicht).
figuur 4. NLR-opstelling trivaan + pitotbuis (bovenaanzicht)

- appendix A. Tekst computerprogramma KNMI-WIEJ-310771-flevo 13.
appendix B. Tekst computerprogramma KNMI-WIEJ-311271-MUILWIJK.

Windsnelheidsijking in de KNMI-windtunnel

door

A.G.M. Driedonks

I. Inleiding

Ter bepaling van de windsnelheid in de KNMI-windtunnel, bij aanwezigheid van een anemometer, uit de aflezing van pitotbuis of vleugelrad, zijn in november 1966 door Ir. Rietman en Dr. Wieringa vergelijkingsmetingen uitgevoerd met de lage snelheidstunnel van het NLR en in 1968 met de windtunnel te Bracknell. De resultaten van dit onderzoek zijn neergelegd in Verslag V-211-VI (augustus 1968).

Trivanen kunnen vanwege hun afmetingen slechts geijkt worden tegen de pitotbuis. Deze is in juli 1969 beschadigd en gerepareerd, terwijl tevens een nieuw exemplaar is aangeschaft. Sinds die tijd kunnen instrumenten, welke groter zijn dan cupanemometers, slechts relatief geijkt worden tegen de pitotbuizen, terwijl de werkelijke snelheid onzeker is.

Binnenkort zal de windtunnel worden verplaatst naar de nieuwe vleugel.

Om alle trivaanijkingen, die sinds 1969 zijn gedaan (de in Vlaardingen en bij JONSWAP gebruikte) veilig te stellen, diende vóór de tunnelverplaatsing de met de pitotbuisaanwijzing overeenkomende werkelijke snelheid te worden vastgesteld. Daartoe werd een ijkingsonderzoek gedaan waarin ook de vleugelradanemometer weer werd betrokken.

Voor dit onderzoek werden gebruikt vier cupanemometers en drie trivanen, alle gerevideerd.

Deze instrumenten werden in de periode mei/juni 1973 op nauwkeurige wijze in de KNMI-windtunnel geijkt tegen vleugelrad, oude en nieuwe pitotbuis (v.w.b. de cupanemometers), resp. tegen oude en nieuwe pitotbuis (v.w.b. de trivanen). Vervolgens werden ze getransporteerd naar het NLR, alwaar ze in de lage snelheidstunnel geijkt werden tegen de daar aanwezige pitotbuis (10-11 juli 1973).

Daarna vond transport terug naar het KNMI plaats en werden opnieuw alle ijkingen uitgevoerd ter controle op eventuele effecten van het vervoer (augustus-september 1973).

Alle ijkingen werden uitgevoerd door A. van Londen, die ook zorg droeg voor zo zorgvuldig mogelijke behandeling van de anemometers. C. Engeldal verrichtte assistentie bij de verwerking van de gegevens. De wijze waarop de ijkingen in de NLR-tunnel konden worden verricht en de daarbij verleende assistentie werden zeer gewaardeerd.

Van de resultaten van bovenstaand programma is verslag gedaan in de hoofdstukken II t/m VIII.

Na uitvoering van dit ijkprogramma werden de gebruikte cupanemometers en trivanen zorgvuldig opgeborgen. Deze zullen weer worden gebruikt om na verplaatsing van de tunnel de ijkingen van vleugelrad en pitotbuizen te bepalen.

De resultaten zullen als aanvulling op dit verslag verschijnen.

II. Opzet van het onderzoek

a. De KNMI-ijkingen

De KNMI-windtunnel heeft een gesloten meetruimte; de meetsectie heeft een dwarsdoorsnede die 0.4 m breed is.

De ijkinstrumenten (pitotbuizen, vleugelrad) worden opgesteld aan de bovenwindse, de te ijken instrumenten (cupanometers, trivanen) aan de benedenwindse zijde van de meetruimte.

Het statief waarop de anemometers geplaatst worden, is horizontaal in twee mogelijke posities vast te zetten. Daarvan werd steeds de meest centraal gelegene gekozen. Vertikaal is het statief continu verstelbaar. Er werd voor gezorgd dat de cupnaaf van de cupanometers, dan wel het draaipunt van de trivanen, ter hoogte van de as van de meetruimte lag. (Zie fig. 1, 2).

De vleugelradanemometer (Lambrecht 1405 a/31973) heeft op de as een wijzerplaat met aanwijzing in m/min. Een ingebouwd uurwerk doet de wijzer ± 6 seconden na het overhalen van een hefboom starten en precies 1 minuut later stoppen. Hierdoor is een stopwatch overbodig. De aflezing geschiedt door een venstertje in de lijzijde van het tunnelhuis. De pitotbuizen worden afgelezen m.b.v. een differentiaalmanometer met helling 1:25 of 1:10. Voor elke aflezing van de differentiaalmanometer werd de nulstelling van de druk gecontroleerd.

De rotatiesnelheden van de te ijken instrumenten worden bepaald uit het aantal afgegeven pulsen per 10 s en het aantal pulsen per omwenteling (bij deze instrumenten steeds 32).

Bij elke windsnelheid worden 10 metingen verricht, terwijl het ijkinstrument ervoor en erna wordt afgelezen.

De snelheidsintervallen bedragen ca. 0,5 m/s. De aanvangssnelheid was voor het vleugelrad ca. 1 m/s, voor de pitotbuis bij een helling 1:25 ca. 2 m/s. De hoogste snelheid was ca. 15 m/s.

b. De NLR-ijkingen

De lage snelheidswindtunnel van het NLR heeft een open meetsectie met oppervlak $1.2 \times 1.2 \text{ m}^2$. De maximaal bereikbare windsnelheid is ca. 40 m/s.

De snelheden worden gemeten m.b.v. een pitotbuis met een opgegeven nauwkeurigheid van $\pm 0.05 \text{ m/s}$ boven 6 m/s.

De pitotbuis en het te ijken instrument worden symmetrisch aan weerszijden van de tunnelas opgesteld, zodanig dat de "statische gaatjes" van de pitotbuis zich op dezelfde hoogte bevinden als het draaipunt van de cups resp. propeller (zie fig. 3 en 4).

De instrumenten werden zorgvuldig vertikaal opgesteld m.b.v. schietlood en hellingmeter. De instelling en aflezing van de tunnelsnelheid geschieden door een medewerker van het NLR, de bepaling van rotatiesnelheden van cups en propeller geschiedde op dezelfde wijze als bij de KNMI-ijkingen.

Vanwege stromingseigenschappen van de NLR-tunnel wordt de pitotbuis daar niet gebruikt voor snelheden lager dan ca. 6 m/s.

De laagste snelheid voor de ijkingen werd daarom gesteld op 5 m/s.

Vervolgens werd met intervallen van ± 0.5 m/s geijkt tot ± 10 m/s. Verdere ijkpunten lagen bij 11, 12, 13, 14, 15, 17, 20 m/s voor de trivanen en bovendien nog bij 25, 30, 35 m-s voor de cupanemometers. Bij elke snelheid was de procedure gelijk aan die, gevolgd bij de KNMI-ijkingen.

c. Identifikatie en gebruikte afkortingen

De cupanemometers zijn aangeduid d.m.v. de laatste vier cijfers van hun KNMI-kodenummer, waarbij niet significante nullen zijn weggelaten, bijvoorbeeld 01.00. 018.011 \rightarrow 1811.

De trivanen zijn aangeduid met het nummer van het trivaanhuis en het nummer van de propeller, bijvoorbeeld 412 is trivaan 4 met propeller 12.

Verder zijn voor de ijkingen de volgende symbolen gebruikt:

u_{nlr}	ware (NLR) windsnelheid.
v	aanwijzing wijzerplaat KNMI-vleugelrad na 1 minuut.
R	aantal omwentelingen per seconde van cups of propeller
$u_{p1c}^{(I,II)}$	vierkantwortel uit de drukaanwijzing van de <u>oude</u> pitotbuis in de KNMI-tunnel met manometerhelling 1:25, resp. vóór (I) en ná (II) transport naar het NLR en bij aanwezigheid van een cupanemometer (c) in de tunnel.
$u_{p1t}^{(I,II)}$	als $u_{p1c}^{(I,II)}$, maar nu met een trivaan in de tunnel.
$u_{p2c}^{(I,II)}$	als $u_{p1c}^{(I,II)}$, maar nu met manometerhelling 1:10.
$u_{p2t}^{(I,II)}$	als $u_{p1t}^{(I,II)}$, maar nu met manometerhelling 1:10.
$u_{qij}^{(I,II)}$	als $u_{pij}^{(I,II)}$, maar nu voor de <u>nieuwe</u> pitotbuis.
$u_v^{(I,II)}$	snelheid bepaald uit aanwijzing KNMI-vleugelrad ($= \frac{1}{60} v$)
$u_{p1c}, u_{p2c}, u_{q1c}, u_{q2c}$	gekombineerde resultaten van I en II. (zie hfdst. III).
$u_{p1t}, u_{p2t}, u_{q1t}, u_{q2t}$	
u_v	

III. Bewerking van de metingen

Theoretisch is het drukverschil dat afgelezen wordt bij pitotbuis-metingen gelijk aan $\frac{1}{2} \rho u^2$. Tussen de werkelijke snelheid en de wortel uit het drukverschil zal dus een goed lineair verband verwacht worden.

Voor het vleugelrad is uit theoretische beschouwingen te verwachten dat er een sterke mate van lineair verband zal zijn tussen toerental en werkelijke snelheid.

Voor een triwaanpropeller, met zijn aerodynamisch vrij simpele konstruktie, is een lineair verband tussen rotatiesnelheid en wind eveneens een goede benadering.

Voor cupanemometers is vanwege de asymmetrische konstruktie lineari-
teit van het verband tussen toerental en werkelijke windsnelheid
niet theoretisch voorspelbaar. Toch blijkt experimenteel over een
groot snelheidsgebied een grote mate van lineariteit te bestaan
(zie V-211), waarmee bedoeld wordt dat de resterende standaard-
deviatie van de meetpunten t.o.v. de lineaire regressielijn van
dezelfde orde is als de meetfout. Dit betekent dat een hogere orde
aanpassing, waardoor de resterende standaardafwijking verkleind
wordt en dus meer deviatie "verklaard" wordt, zinloos is, gezien
de meetnauwkeurigheid.

Van alle verrichte ijkingen werd m.b.v. de kleinste kwadraten methode
de lineaire regressie berekend tussen output ijkinstrument en output
te ijken instrument. Dit geschiedde d.m.v. het computer-programma
met kodenaam KNMI-WIEJ-310771-flevo 13. De werkwijze van dit program-
ma is als volgt:

- bepaal lineaire regressie door alle punten;
- bepaal resterende standaardafwijking;
- bepaal welke punten een grotere excentriciteit hebben dan
een toegestane. Deze toegestane excentriciteit wordt vooraf
bepaald uit het aantal metingen;
- elimineer deze punten en bereken opnieuw de lineaire regressie
door de overgebleven punten.

Op deze manier wordt het grootst mogelijke lineariteitsgebied bepaald.
Indien dan blijkt dat de punten aan de uiteinden van het lineariteits-
gebied een duidelijk monotone trend vertonen (positief dan wel nega-
tief), kan men deze ook elimineren en de lineaire regressie opnieuw
berekenen door de overblijvende punten.

Het programma bepaalt tevens de standaardafwijking voor helling en
konstante.

De ijkingen werden als goed geaccepteerd indien ze voldeden aan de
volgende eisen:

- a. standaardafwijking voor de helling $\leq 0.5\%$ voor vleugelrad en
pitotbuis met helling 1:25, dan wel $\leq 1\%$ voor pitotbuis met
helling 1:10.
- b. geen duidelijke trend aan de uiteinden van het lineariteitsgebied.
- c. resterende standaarddeviatie van de dezelfde orde als de meet-
fout (~ 0.05 m/s).

d. verdeling van de gemeten punten t.o.v. de regressielijn moet willekeurig zijn.

Dit wordt getest m.b.v. de "run test". Daartoe wordt het aantal groepen bepaald van opeenvolgende punten waarvan de afwijking tot de lijn hetzelfde teken heeft. Vervolgens wordt dit aantal getoetst met een 5% significantiegrens tegen de verdeling voor een willekeurige variabele (zie Bendat & Piersol, blz. 156).

Na doorrekening van alle KNMI-ijkingen I en II op deze manier, werden de overeenkomende ijkingen van vóór en na NLR gekombineerd tot één resulterende ijking. Dit geschiedde m.b.v. het computer-programma met kodenaam KNMI-WIEJ-311271-MULTIWLK, waarmee het zwaartepunt van elke wolk ijkpunten bepaald wordt en de coördinaten van elk ijkpunt t.o.v. het bijbehorende zwaartepunt. Vervolgens worden beide aldus verkregen verzamelingen punten gekombineerd en wordt de lineaire regressie hierdoor bepaald. Dit geeft de helling van de resulterende ijking. De konstante wordt bepaald uit het gemiddelde van de y-coördinaten van beide zwaartepunten en de helling.

Na al deze bewerkingen verkrijgen we voor elke anemometer een optimaal lineair verband tussen output KNMI-ijkinstrument en aantal rotaties per seconde. Laat dit verband bijvoorbeeld voor het vleugelrad gegeven worden door $u_v = aR + B$ voor een zekere anemometer. Aan de andere kant is voor dezelfde anemometer ook het verband bekend tussen werkelijke snelheid en aantal rotaties per seconde. Laat dit verband gegeven worden door $u_{nlr} = AR + B$. Dan wordt het uiteindelijk gezochte verband tussen werkelijke snelheid en vleugelradaanwijzing gegeven door:

$$u_{nlr} = \frac{A}{a} u_v - \frac{A}{a} b + B.$$

Hierbij moet nog worden aangetekend dat de pitotbuisaanwijzing in het NLR in eenheden van mm H₂O was. Om deze om te rekenen naar een u_{nlr} werd de volgende methode gevolgd:

theoretisch is het verband tussen de dynamische druk q en de snelheid u_{nlr} gegeven door: $q = \frac{1}{2} \rho u_{nlr}^2$.

Nu is q mm H₂O $\equiv q \times g \times Nm^2$ bij kamertemperatuur.

$$= R_d^{-1} T^{-1} p \times 13,6 \times g \times kg \ m^{-3}.$$

waarin p nu in mm Hg en $R_d = 287 \ Nm \ kg^{-1} \ K^{-1}$.

$$\text{Dus is } u_{nlr} = \sqrt{\frac{574 T}{13,6 p}} \cdot \sqrt{q} \quad \text{met } \begin{array}{l} q \text{ in mm H}_2\text{O} \\ p \text{ in mm Hg} \\ T \text{ in } ^\circ\text{K} \\ u_{nlr} \text{ in m/s} \end{array}$$

Omdat de NLR-tunnel een gesloten circuit heeft, is de temperatuurverandering tijdens een ijking niet onbelangrijk. De temperatuur werd dan ook verschillende malen tijdens de ijking gemeten en via lineaire interpolatie werd de T bepaald, die bij elke afzonderlijke meting in bovenstaande formule gesubstitueerd moet worden. Voor p werd de gemiddelde luchtdruk gebruikt van metingen vóór en na de ijking.

IV. De NLR-ijkingen

Allereerst zullen we de NLR-ijkingen behandelen, aangezien hiermee de absolute snelheidsmaatstaf wordt vastgelegd. Voor al deze ijkingen geldt dat geen meting is gebruikt onder de 6.5 m/s, omdat de snelheidsaanwijzing door de pitotbuis daar niet betrouwbaar geacht moet worden.

IV.A. De cupanemometers

De resultaten van de verwerking van deze ijkingen met het regressieprogramma gaven een duidelijke non-lineaire trend te zien in het gebied van hoge snelheden (20 m/s en meer). Daarom werden voor alle cupanemeterijkingen de meetpunten boven de 20 m/s geëlimineerd, waarna opnieuw een regressieberekening volgde.

De resultaten van deze berekeningen waren:

1. een standaardafwijking voor de helling die steeds $< 0.2\%$ was;
2. geen duidelijke non-lineaire trend aan de uiteinden;
3. resterende standaardafwijking < 0.03 m/s, dus binnen de meetnauwkeurigheid;
4. geen enkele ijking werd door de run test verworpen.

Daarom werden de aldus verkregen ijkrechten geaccepteerd als zijnde de optimale lineaire ijkingen over een snelheidsgebied van 6.5-20 m/s (tabel 1).

nr.	optimale lineaire ijking (6.5-20 m/s)
1821	$u_{nlr} = (1.884 \pm 0.003) R + (0.05 \pm 0.02) \text{ m/s}$
1809	$u_{nlr} = (1.914 \pm 0.003) R + (0.05 \pm 0.02) \text{ m/s}$
1811	$u_{nlr} = (1.916 \pm 0.002) R + (0.03 \pm 0.02) \text{ m/s}$
1810	$u_{nlr} = (1.917 \pm 0.002) R + (0.02 \pm 0.02) \text{ m/s}$

Tabel 1. NLR-ijkingen cupanemometers.

Opm.: De ijkingen in het NLR zijn alle uitgevoerd met vaste positie voor pitotbuis en anemometer (zie fig. 4). Ter controle op eventuele asymmetrieën in de tunnelstroming werd nr. 1821 nogmaals geijkt, maar nu met pitotbuis en anemometer precies van plaats verwisseld.

Binnen de bereikte meetnauwkeurigheden stemmen de beide ijkingen van no. 1821 overeen. Dientengevolge bestond er geen reden alle andere anemometers ook nog eens met verwisselde posities te ijken, wat een tijdrovende en kostbare procedure zou zijn geweest.

Boven de 20 m/s is de werkelijke snelheid groter dan de volgens deze ijkingen berekende. De gemiddelde afwijking bedroeg +0.20, +0.54, +0.84 m/s bij respectievelijk windsnelheden van 25, 30 en 35 m/s.

IV.B. De trivanen

De trivaanijkingen werden uitgevoerd in een snelheidsgebied van 5-20 m/s. Ook hier werden de metingen onder de 6.5 m/s niet meegenomen in de berekeningen.

Geen enkele ijking werd door de run test verworpen, noch was een duidelijke trend aan de uiteinden zichtbaar.

De standaardafwijking voor de helling was steeds $< 0.25\%$, de resterende deviatie t.o.v. de regressielijn steeds < 0.03 m/s.

De verkregen ijkrechten werden daarom als goed geaccepteerd (tabel 2).

nr.	optimale lineaire ijking (6.5-20 m/s)
412	$u_{nlr} = (1.886 \pm 0.002) R + (0.02 \pm 0.01) \text{ m/s}$
817	$u_{nlr} = (1.852 \pm 0.003) R - (0.08 \pm 0.02) \text{ m/s}$
110	$u_{nlr} = (2.061 \pm 0.005) R - (0.17 \pm 0.03) \text{ m/s}$

Tabel 2. NLR-ijkingen trivanen.

Opm.: In eerste instantie verwacht men geen negatieve konstanten bij een lineaire ijking. Door verschillende keuzen voor te elimineren punten werd getracht na te gaan in hoeverre dit verschijnsel hardnekkig was. Bij elke eliminatie, zowel aan de voorkant als aan de achterkant van het ijkgebied, bleef de konstante negatief en veranderde weinig, terwijl ook de helling nagenoeg gelijk bleef. Daarom moet worden aangenomen, dat in het gebied waarin de ijkingen gedaan zijn (6.5-20 m/s) de konstanten voor nr. 817 en nr. 110 negatief zijn. (Zie ook de discussie in sectie VII.)

V. De KNMI-ijkingen

De KNMI-ijkingen kunnen worden onderscheiden in twee groepen:

1. de ijkingen vóór het transport naar het NLR;
2. de ijkingen ná het transport naar het NLR.

Beide groepen ijkingen zijn op dezelfde wijze uitgevoerd en kunnen worden vergeleken teneinde na te gaan in hoeverre het transport de ijking heeft verstoord.

V.A. De vleugelradanemometer-ijkingen

Vanwege de afmetingen van de trivaan is het niet mogelijk dit instrument te ijken tegen het vleugelrad, aangezien door de grote tunnelvulling de stroming te zeer wordt verstoord. Daarom zijn vleugelradijkingen (in de KNMI-tunnel) alleen tegen cupanemometers mogelijk.

De ondergrens van het ijkgebied lag hier reeds bij $+ 1$ m/s. Gebleken is dat bij alle cupanemometers en zowel bij vóór- als bij ná-ijking de eerste ijkpunten steeds onder de berekende regressielijn lagen. Daarom zijn bij alle vleugelradijkingen de eerste twee ijkpunten (ca. 1 m/s en ca. 1.5 m/s) vooraf geëlimineerd. Bij beide punten lag de werkelijke snelheid 0.08 m/s lager dan de volgens de ijklijn berekende.

Daarna zijn alle ijkingen met de run test getoetst, waarbij er geen enkele verworpen behoefde te worden.

De standaarddeviatie voor de helling en de resterende standaardafwijking van de meetpunten t.o.v. de optimale regressielijn voldeden ook ruim aan de gestelde eisen.

De uiteindelijke resultaten zijn te vinden in tabel 3, waarin geen nauwkeurigheidsmarge voor de konstante is aangegeven. Deze is steeds $\sim +0.01$ m/s.

nr.	vóór NLR	ná NLR
1811	$u_v(I) = (1.892 \pm 0.003)R + 0.09$	$u_v(II) = (1.888 \pm 0.003)R + 0.10$
1809	$u_v(I) = (1.907 \pm 0.002)R + 0.05$	$u_v(II) = (1.901 \pm 0.002)R + 0.07$
1810	$u_v(I) = (1.894 \pm 0.002)R + 0.06$	$u_v(II) = (1.895 \pm 0.003)R + 0.07$
1821*	$u_v(I) = (1.870 \pm 0.003)R + 0.06$	$u_v(II) = (1.859 \pm 0.002)R + 0.11$

Tabel 3. KNMI-ijkingen cupanemometers tegen vleugelrad.

Tussen vóór- en ná-ijking zien we bepaalde verschillen. De vraag is in hoeverre deze significant zijn als we toetsen met een 5% significantiegrens.

Stel dat $(h_1 \pm \Delta h_1)$ de helling is van de vóórijking en $(h_2 \pm \Delta h_2)$ die van de ná-ijking.

Dan vormt $\frac{h_1 - h_2}{\sqrt{(\Delta h_1)^2 + (\Delta h_2)^2}} = t$ een variabele met bekende

waarschijnlijkheidsverdeling. De grens voor t bij een 5% overschrijdingskans is afhankelijk van het aantal meetpunten. Voor het hier gebruikte aantal van ± 25 ligt deze grens bij $t \approx 2.06$.

We spreken dus van een verschil in vóór- en na-ijking, indien:

$$(h_1 - h_2) > 2.06 \sqrt{(\Delta h_1)^2 + (\Delta h_2)^2} .$$

Als we dit criterium op bovenstaande tabel toepassen, dan blijkt dat nr. 1821 een significant verschil vertoont tussen vóór- en na-ijking; nr. 1809 ook, maar marginaal. Aangenomen moet dus worden dat in ieder geval bij nr. 1821 door het transport een ijkverandering is opgetreden. Deze moet dan ook in de pitotbuis-ijkingen terug te vinden zijn, wat inderdaad zal blijken. Daarom is het beter nr. 1821 niet te gebruiken bij de uiteindelijke bepaling van de vleugelrad-ijking.

De vóór- en na-ijking van de nrs. 1810, 1811 en voorlopig ook 1809 worden nu beschouwd als ekwivalent.

Deze zijn gekombineerd, zodat er per anemometer één resulterende ijking bestaat (tabel 4).

nr.	resulterende ijking (2-15 m/s)
1811	$u_v = (1.890 \pm 0.002) R + (0.094 \pm 0.004) \text{ m/s}$
1810	$u_v = (1.894 \pm 0.002) R + (0.070 \pm 0.004) \text{ m/s}$
(1809)	$u_v = (1.906 \pm 0.002) R + (0.053 \pm 0.003) \text{ m/s}$
1821*	$u_v = 1.871 R + 0.06 \text{ m/s}$

Tabel 4. Gekombineerde vóór- en na-ijkingen cupanemometers tegen vleugelrad.

V.B. De pitotbuis-ijkingen

V.Ba. Cupanemometer tegen pitotbuis.

Alle cupanemometers zijn geijkt tegen oude en nieuwe pitotbuis (type Lambrecht) met manometerhellingen 1:25 en 1:10. Dit zowel vóór als na het transport.

Door de run test werd alleen de na-ijking van nr. 1821 met de oude pitotbuis verworpen. Door eliminatie van de eerste twee punten werd dit verholpen.

Bij enkele anemometers bestond een duidelijke trend in het teken van de afwijking. Door eliminatie van enkele punten aan het begin van het ijkgebied werd het gebied zodanig begrensd, dat dit niet meer het geval was. Standaardafwijkingen voor helling en meegerekende punten voldoen aan de eisen.

De resultaten zijn:

helling 1:25

nr.	vóór NLR	nà NLR
1811	$u_{p1c} (I) = (2.615 \pm 0.009)R + (0.41 \pm 0.03)$	$u_{p1c} (II) = (2.601 \pm 0.008)R + (0.37 \pm 0.02)$
(1809)	$u_{p1c} (I) = (2.642 \pm 0.007)R + (0.36 \pm 0.02)$	$u_{p1c} (II) = (2.649 \pm 0.005)R + (0.27 \pm 0.01)$
1810	$u_{p1c} (I) = (2.604 \pm 0.006)R + (0.42 \pm 0.02)$	$u_{p1c} (II) = (2.580 \pm 0.012)R + (0.31 \pm 0.04)$
(1821)	$u_{p1c} (I) = (2.581 \pm 0.010)R + (0.43 \pm 0.04)$	$u_{p1c} (II) = (2.551 \pm 0.013)R + (0.42 \pm 0.05)$

helling 1:10

nr.	vóór NLR	nà NLR
1811	$u_{p2c} (I) = (1.641 \pm 0.006)R + (0.50 \pm 0.04)$	$u_{p2c} (II) = (1.636 \pm 0.014)R + (0.32 \pm 0.09)$
1809*	$u_{p2c} (I) = (1.665 \pm 0.008)R + (0.36 \pm 0.05)$	$u_{p2c} (II) = (1.623 \pm 0.016)R + (0.46 \pm 0.10)$
1810	$u_{p2c} (I) = (1.683 \pm 0.011)R + (0.19 \pm 0.07)$	$u_{p2c} (II) = (1.647 \pm 0.017)R + (0.25 \pm 0.11)$
1821*	$u_{p2c} (I) = (1.651 \pm 0.009)R + (0.35 \pm 0.06)$	$u_{p2c} (II) = (1.590 \pm 0.016)R + (0.49 \pm 0.10)$

Tabel 5. IJkingen cupanemometers tegen oude pitotbuis.

helling 1:25

nr.	vóór NLR	nà NLR
1811	$u_{q1c} (I) = (2.580 \pm 0.007)R + (0.43 \pm 0.03)$	$u_{q1c} (II) = (2.579 \pm 0.011)R + (0.47 \pm 0.04)$
1809*	$u_{q1c} (I) = (2.593 \pm 0.008)R + (0.36 \pm 0.03)$	$u_{q1c} (II) = (2.625 \pm 0.011)R + (0.37 \pm 0.04)$
1810	$u_{q1c} (I) = (2.614 \pm 0.008)R + (0.38 \pm 0.03)$	$u_{q1c} (II) = (2.599 \pm 0.009)R + (0.37 \pm 0.03)$
1821*	$u_{q1c} (I) = (2.625 \pm 0.013)R + (0.35 \pm 0.05)$	$u_{q1c} (II) = (2.581 \pm 0.012)R + (0.43 \pm 0.04)$

helling 1:10

nr.	vóór NLR	nà NLR
1811	$u_{q2c} (I) = (1.658 \pm 0.005)R + (0.25 \pm 0.03)$	$u_{q2c} (II) = (1.653 \pm 0.011)R + (0.37 \pm 0.07)$
(1809)	$u_{q2c} (I) = (1.673 \pm 0.009)R + (0.16 \pm 0.06)$	$u_{q2c} (II) = (1.668 \pm 0.021)R + (0.33 \pm 0.13)$
1810	$u_{q2c} (I) = (1.673 \pm 0.009)R + (0.30 \pm 0.06)$	$u_{q2c} (II) = (1.667 \pm 0.013)R + (0.23 \pm 0.08)$
(1821)	$u_{q2c} (I) = (1.642 \pm 0.005)R + (0.37 \pm 0.03)$	$u_{q2c} (II) = (1.655 \pm 0.019)R + (0.25 \pm 0.12)$

Tabel 6. IJkingen cupanemometers tegen nieuwe pitotbuis.

Met behulp van de in het voorgaande besproken test werd nagegaan in hoeverre de verschillen tussen vóór- en naíjking significant zijn.

De volgende íjkingen bleken significante verschillen te vertonen:

oude pitotbuis, helling 1:10, nr. 1809, 1821;
nieuwe pitotbuis, helling 1:25, nr. 1809, 1821.

Deze íjkingen zijn met een * aangegeven in de tabellen 5 en 6. De andere íjkingen van deze nummers zijn tussen haakjes geplaatst.

De vleugelrad-íjking van nr. 1821 vertoonde ook al een significant verschil tussen vóór- en naíjking. Daarom is besloten de gehele 1821-íjking niet mee te laten doen bij de bepaling van het uiteindelijke resultaat. De vleugelrad-íjking van 1809 was al marginaal en ook hier levert deze weer problemen op. Daarom is besloten ook deze niet mee te laten tellen.

De vóór- en naíjkingen werden gekombineerd tot één resulterende íjking per anemometer (tabellen 7, 8).

helling 1:25	
nr.	resulterende ijking
1811	$u_{p1c} = (2.602 \pm 0.008) R + (0.41 \pm 0.04)$
(1809)	$u_{p1c} = (2.672 \pm 0.008) R + (0.24 \pm 0.02)$
1810	$u_{p1c} = (2.602 \pm 0.005) R + (0.33 \pm 0.03)$
(1821)	$u_{p1c} = (2.565 \pm 0.009) R + (0.44 \pm 0.05)$
helling 1:10	
nr.	resulterende ijking
1811	$u_{p2c} = (1.639 \pm 0.006) R + (0.40 \pm 0.08)$
1809*	$u_{p2c} = (1.653 \pm 0.008) R + (0.40 \pm 0.12)$
1810	$u_{p2c} = (1.666 \pm 0.011) R + (0.21 \pm 0.13)$
1821*	$u_{p2c} = (1.631 \pm 0.011) R + (0.36 \pm 0.04)$
Tabel 7. Gekombineerde vóór- en naíjking cupanometers tegen oude pitotbuis.	

helling 1:25	
nr.	resulterende ijking
1811	$u_{q1c} = (2.584 \pm 0.007) R + (0.45 \pm 0.03)$
1809*	$u_{q1c} = (2.609 \pm 0.008) R + (0.37 \pm 0.03)$
1810	$u_{q1c} = (2.607 \pm 0.008) R + (0.37 \pm 0.03)$
1821*	$u_{q1c} = (2.599 \pm 0.010) R + (0.41 \pm 0.05)$
helling 1:10	
nr.	resulterende ijking
1811	$u_{q2c} = (1.656 \pm 0.005) R + (0.31 \pm 0.07)$
(1809)	$u_{q2c} = (1.672 \pm 0.009) R + (0.24 \pm 0.14)$
1810	$u_{q2c} = (1.671 \pm 0.007) R + (0.26 \pm 0.09)$
(1821)	$u_{q2c} = (1.656 \pm 0.007) R + (0.26 \pm 0.03)$
Tabel 8. Gekombineerde vóór- en naíjking cupanometers tegen nieuwe pitotbuis.	

V.Bb. Trivaan tegen pitotbuis.

Ook de trivanen zijn voor en na het transport geijkt tegen de beide pitotbuizen.

Geen enkele ijking vertoonde een duidelijk niet-lineaire trend, noch werd er een verworpen door de run test.

Op voorhand waren alle ijkingen acceptabel (tabellen 9,10).

helling 1:25

nr.	vóór NLR	nà NLR
412	$u_{p1t}(I) = (2.494 \pm 0.006)R + (0.04 \pm 0.02)$	$u_{p1t}(II) = (2.499 \pm 0.006)R + (0.18 \pm 0.02)$
817	$u_{p1t}(I) = (2.407 \pm 0.006)R + (0.13 \pm 0.02)$	$u_{p1t}(II) = (2.399 \pm 0.005)R + (0.21 \pm 0.02)$
110*	$u_{p1t}(I) = (2.692 \pm 0.005)R + (0.06 \pm 0.02)$	$u_{p1t}(II) = (2.673 \pm 0.005)R + (0.11 \pm 0.02)$

helling 1:10

nr.	vóór NLR	nà NLR
412	$u_{p2t}(I) = (1.568 \pm 0.011)R + (0.28 \pm 0.08)$	$u_{p2t}(II) = (1.604 \pm 0.011)R + (0.08 \pm 0.07)$
817	$u_{p2t}(I) = (1.549 \pm 0.005)R + (0.10 \pm 0.04)$	$u_{p2t}(II) = (1.549 \pm 0.015)R + (0.10 \pm 0.10)$
110	$u_{p2t}(I) = (1.728 \pm 0.010)R + (0.04 \pm 0.06)$	$u_{p2t}(II) = (1.722 \pm 0.012)R + (0.11 \pm 0.07)$

Tabel 9. Trivanen tegen oude pitotbuis.

helling 1:25

nr.	vóór NLR	nà NLR
412	$u_{q1t}(I) = (2.463 \pm 0.006)R + (0.12 \pm 0.02)$	$u_{q1t}(II) = (2.454 \pm 0.006)R + (0.17 \pm 0.02)$
817	$u_{q1t}(I) = (2.395 \pm 0.004)R + (0.10 \pm 0.02)$	$u_{q1t}(II) = (2.396 \pm 0.003)R + (0.19 \pm 0.01)$
110*	$u_{q1t}(I) = (2.719 \pm 0.006)R + (0.15 \pm 0.02)$	$u_{q1t}(II) = (2.685 \pm 0.004)R + (0.01 \pm 0.01)$

helling 1:10

nr.	vóór NLR	nà NLR
412	$u_{q2t}(I) = (1.566 \pm 0.006)R + (0.20 \pm 0.04)$	$u_{q2t}(II) = (1.563 \pm 0.012)R + (0.23 \pm 0.08)$
817*	$u_{q2t}(I) = (1.549 \pm 0.003)R + (0.03 \pm 0.02)$	$u_{q2t}(II) = (1.328 \pm 0.10)R + (1.6 \pm 0.7)$
110	$u_{q2t}(I) = (1.724 \pm 0.009)R + (0.08 \pm 0.06)$	$u_{q2t}(II) = (1.728 \pm 0.018)R + (0.06 \pm 0.11)$

Tabel 10. Trivanen tegen nieuwe pitotbuis.

Met behulp van de in het voorgaande besproken t-test werd weer nagegaan in hoeverre de verschillen tussen vóór- en naíjking significant zijn. Daarbij bleek dat de volgende íjkingen werkelijke verschillen vertoonden:

oude pitotbuis, helling 1:25, nr. 110;
nieuwe pitotbuis, helling 1:25, nr. 110;
nieuwe pitotbuis, helling 1:10, nr. 817.

Deze íjkingen zijn met een * aangegeven in de tabellen 9 en 10.

Wat betreft het verschil tussen vóór- en naíjking van nr. 817 bij de nieuwe pitotbuis met helling 1:10, kan worden opgemerkt, dat dit zo groot is dat niet meer gedacht moet worden aan een transporteffekt, maar eerder aan een íjkfout. Vandaar dat de andere 817-íjkingen wel gebruikt worden voor verdere berekeningen.

Het lijkt verstandig af te zien van gebruik van de niet door de t-test verworpen íjkingen van nr. 110, aangezien deze toch verdacht zijn.

De íjkingen zijn gekombineerd tot één resulterende íjking per trivaan (tabellen 11, 12).

helling 1:25	
nr.	resulterende ijking
412	$u_{p1t} = (2.496 \pm 0.005) R + (0.11 \pm 0.04)$
817	$u_{p1t} = (2.404 \pm 0.005) R + (0.19 \pm 0.06)$
110*	$u_{p1t} = (2.678 \pm 0.005) R + (0.10 \pm 0.02)$
helling 1:10	
nr.	resulterende ijking
412	$u_{p2t} = (1.588 \pm 0.007) R + (0.16 \pm 0.03)$
817	$u_{p2t} = (1.549 \pm 0.011) R + (0.10 \pm 0.10)$
(110)	$u_{p2t} = (1.727 \pm 0.006) R + (0.07 \pm 0.02)$

Tabel 11. Gekombineerde vóór- en naíjking trivanen tegen oude pitotbuis.

helling 1:25	
nr.	resulterende ijking
412	$u_{q1t} = (2.458 \pm 0.004) R + (0.15 \pm 0.03)$
817	$u_{q1t} = (2.396 \pm 0.002) R + (0.14 \pm 0.03)$
110*	$u_{q1t} = (2.699 \pm 0.005) R - (0.06 \pm 0.03)$
helling 1:10	
nr.	resulterende ijking
412	$u_{q2t} = (1.565 \pm 0.006) R + (0.22 \pm 0.02)$
817*	$u_{q2t} = (1.553 \pm 0.007) R + (0.04 \pm 0.3)$
(110)	$u_{q2t} = (1.725 \pm 0.008) R + (0.08 \pm 0.03)$

Tabel 12. Gekombineerde vóór- en naíjking trivanen tegen nieuwe pitotbuis.

VI. Kombinatie NLR-ijkingen en KNMI-ijkingen

Nu de NLR-ijkingen (hfdst. IV) en de KNMI-ijkingen (hfdst. V) zijn berekend en daarbij een zorgvuldige selectie heeft plaatsgevonden, is het mogelijk een ijking te bepalen van vleugelradanemometer in de KNMI-windtunnel bij aanwezigheid van een cupanemometer, van de beide pitotbuizen bij aanwezigheid van een cupanemometer alsmede bij aanwezigheid van een trivaan.

De hierbij gevolgde procedure is algemeen:

laat $u_{nlr} = A R + B$ de NLR-ijking van een bepaalde anemometer zijn,

laat $u_k = aR + b$ de KNMI-ijking zijn van dezelfde anemometer tegen een bepaald ikinstrument (bijv. vleugelrad), waarvan u_k de output is. Dan is het verband tussen u_{nlr} en u_k bepaald dit:

$$u_{nlr} = \frac{A}{a} u_k - \frac{A}{a} b + B.$$

VI.A. Cupanemometers en vleugelrad

De nummers 1821 en 1809 werden niet gebruikt voor de bepaling van de uiteindelijke vleugelradijking om eerdergenoemde redenen.

Uit de ijkingen van de wel betrouwbare anemometers werd het volgende verband tussen "ware" windsnelheid en vleugelrad-output bepaald: (berekend m.b.v. de tabellen 1 en 4).

$$\text{via 1811 : } u_{nlr} = (0.01690 \pm 0.00005) V - (0.07 \pm 0.02) \text{ m/s}$$

$$\text{via 1810 : } u_{nlr} = (0.01687 \pm 0.00005) V - (0.05 \pm 0.02) \text{ m/s}$$

Het gemiddelde hiervan vormt de uiteindelijke ijking voor de vleugelradanemometer in de KNMI-windtunnel bij aanwezigheid van een cupanemometer

$$u_{nlr} = (0.01689 \pm 0.00004) V - (0.06 \pm 0.02) \text{ m/s}$$

Deze ijking heeft een geldigheidsgebied van $\pm 1,5 \text{ m/s} - 15 \text{ m/s}$. Boven 15 m/s wordt, zoals door Wieringa in V-211 onderzocht, de stroming om de cupanemometer door het vleugelrad te zeer verstoord, terwijl bovendien de KNMI-tunnel bij hogere snelheden een niet meer homogeen stromingspatroon vertoont.

VI.B. Ijking der pitotbuizen bij aanwezigheid van een cupanemometer

VI.Ba. Oude pitotbuis en cupanemometer.

Voor de beide definitief betrouwbare cupanemometers is de ijking van de oude pitotbuis bepaald met de volgende resultaten: (berekend m.b.v. de tabellen 1 en 7).

helling 1:25

$$\text{via 1811 : } u_{nlr} = (0.7364 \pm 0.0025) u_{p1c} - (0.27 \pm 0.04)$$

$$\text{via 1810 : } u_{nlr} = (0.7365 \pm 0.0025) u_{p1c} - (0.22 \pm 0.04)$$

helling 1:10

$$\text{via 1811 : } u_{nlr} = (1.169 \pm 0.005) u_{p2c} - (0.44 \pm 0.10)$$

$$\text{via 1810 : } u_{nlr} = (1.151 \pm 0.008) u_{p2c} - (0.22 \pm 0.15)$$

De uiteindelijke ijking van de oude pitotbuis in de KNMI-tunnel bij aanwezigheid van een cupanemometer is als volgt vastgelegd: (niet geldig onder 2,5 m/s)

$$\text{helling 1:25 : } u_{nlr} = (0.7365 \pm 0.0018) u_{p1c} - (0.25 \pm 0.03)$$

$$\text{helling 1:10 : } u_{nlr} = (1.160 \pm 0.005) u_{p2c} - (0.33 \pm 0.09)$$

VI.Bb. Nieuwe pitotbuis en cupanemometer.

Voor de nieuwe pitotbuis zijn de uit de twee betrouwbare cupanemometers berekende ijkingen:

helling 1:25

$$\text{via 1811 : } u_{nlr} = (0.7415 \pm 0.0025) u_{q1c} - (0.30 \pm 0.03)$$

$$\text{via 1810 : } u_{nlr} = (0.7353 \pm 0.0025) u_{q1c} - (0.25 \pm 0.03)$$

helling 1:10

$$\text{via 1811 : } u_{nlr} = (1.157 \pm 0.004) u_{q2c} - (0.33 \pm 0.08)$$

$$\text{via 1810 : } u_{nlr} = (1.147 \pm 0.004) u_{q2c} - (0.28 \pm 0.10)$$

De uiteindelijke ijking van de nieuwe pitotbuis in de KNMI-tunnel bij aanwezigheid van een cupanemometer is als volgt vastgesteld:

$$\text{helling 1:25 : } u_{nlr} = (0.7384 \pm 0.0018) u_{q1c} - (0.28 \pm 0.03)$$

$$\text{helling 1:10 : } u_{nlr} = (1.152 \pm 0.003) u_{q2c} - (0.31 \pm 0.06)$$

VI.C. Ijking der pitotbuizen bij aanwezigheid van een trivaan

VI.Ca. Oude pitotbuis en trivaan.

Voor elk van de betrouwbare trivaanijkingen is het verband bepaald tussen ware windshelheid en pitotbuis-output.

helling 1:25

$$\text{via 412 : } u_{nlr} = (0.7656 \pm 0.0017) u_{p1t} - (0.06 \pm 0.03)$$

$$\text{via 817 : } u_{nlr} = (0.7703 \pm 0.0020) u_{p1t} - (0.23 \pm 0.05)$$

helling 1:10

$$\text{via 412 : } u_{nlr} = (1.188 \pm 0.005) u_{p2t} - (0.17 \pm 0.05)$$

$$\text{via 817 : } u_{nlr} = (1.196 \pm 0.009) u_{p2t} - (0.20 \pm 0.05)$$

De resulterende ijking van de oude pitotbuis in de KNMI-windtunnel bij aanwezigheid van een trivaan wordt:

$$\text{helling 1:25 : } u_{nlr} = (0.7680 \pm 0.0013) u_{p1t} - (0.15 \pm 0.04)$$

$$\text{helling 1:10 : } u_{nlr} = (1.192 \pm 0.005) u_{p2t} - (0.19 \pm 0.04)$$

VI.Cb. Nieuwe pitotbuis en trivaan.

Op analoge wijze zijn voor de nieuwe pitotbuis uit de betrouwbare trivaanmetingen de volgende ijkingen berekend:

helling 1:25

$$\text{via 412 : } u_{nlr} = (0.7673 \pm 0.0019) u_{q1t} - (0.10 \pm 0.03)$$

$$\text{via 817 : } u_{nlr} = (0.7730 \pm 0.0019) u_{q1t} - (0.19 \pm 0.03)$$

helling 1:10

$$\text{via 412 : } u_{nlr} = (1.205 \pm 0.004) u_{q2t} - (0.25 \pm 0.03)$$

De uiteindelijke ijking van de nieuwe pitotbuis in de KNMI-windtunnel bij aanwezigheid van een trivaan is:

$$\text{helling 1:25 : } u_{nlr} = (0.7702 \pm 0.0013) u_{q1t} - (0.15 \pm 0.03)$$

$$\text{helling 1:10 : } u_{nlr} = (1.205 \pm 0.004) u_{q2t} - (0.25 \pm 0.03)$$

VII. Samenvatting en konklusie

De volgende tabel geeft een samenvatting van de ijkresultaten, zoals ze gebruikt moeten worden voor alle ijkingen van anemometers, die uitgevoerd zijn vóór de verhuizing van de KNMI-windtunnel naar de nieuwe vleugel. (Deze verhuizing vindt plaats in december 1973).

tunnelvulling		geldende ijk	
VI.A	vleugelrad + cupanemometer		$u=(0.01689\pm 0.00004) v - (0.06\pm 0.02)$
VI.Ba.	oude pitotbuis + cupanemometer	1:25	$u=(0.7365\pm 0.0018) u_{p1c} - (0.25\pm 0.03)$
		1:10	$u=(1.160 \pm 0.005) u_{p2c} - (0.33\pm 0.09)$
VI.Bb.	nieuwe pitotbuis + cupanemometer	1:25	$u=(0.7384\pm 0.0018) u_{q1c} - (0.28\pm 0.03)$
		1:10	$u=(1.152 \pm 0.005) u_{q2c} - (0.31\pm 0.06)$
VI.Ca.	oude pitotbuis + trivaan	1:25	$u=(0.7680\pm 0.0013) u_{p1t} - (0.15\pm 0.03)$
		1:10	$u=(1.192 \pm 0.005) u_{p2t} - (0.19\pm 0.04)$
VI.Cb.	nieuwe pitotbuis + trivaan	1:25	$u=(0.7702\pm 0.0013) u_{q1t} - (0.15\pm 0.03)$
		1:10	$u=(1.205 \pm 0.004) u_{q2t} - (0.25\pm 0.03)$

Tabel 13. Samenvatting ijkresultaten.

Het eerste wat opvalt bij het bekijken van deze tabel is het feit dat de konstante voor elk ijkinstrument negatief is. Rekentechnisch is de oorzaak hiervan dat de konstante bij de KNMI-ijkingen aanzienlijk groter is dan die bij de NLR-ijkingen. De fysische oorzaak is, door de geringe theoretische kennis die er bestaat over de cupanemometer, niet eenvoudig aan te geven. In eerste instantie werd gedacht dat effecten aan de randen van het ijkgebied hiervan de oorzaak zouden zijn. Daarom werden alle ijkingen teruggebracht tot eenzelfde snelheidsgebied, d.w.z. voor de KNMI-ijkingen werden alle punten beneden de 6,5 m/s weggelaten, voor de NLR-ijkingen alle punten boven de hoogste snelheid in de korresponderende KNMI-ijking. De resultaten hiervan vertoonden nauwelijks enig verschil met die uit bovenstaande tabel. Helling en konstante veranderden slechts weinig; de laatste bleef ook steeds negatief. Niet-lineaire randeffecten zijn dus in het onderhavige ijkgebied niet van belang. Hoe het ook zij, speciaal de pitotbuizen hebben blijkbaar de neiging de werkelijke snelheid ter

plaatse van de anemometers iets te overschatten. Men moet wel bedenken, dat deze ijkingen geldig zijn in een gebied van 3-15 m/s en dus niet doorgetrokken mogen worden tot lagere of hogere snelheden.

Algemene konklusie: de windsnelheid ter plaatse van de ijkinstrumenten (pitotbuis en vleugelrad) is hoger dan die ter plaatse van de anemometer. M.a.w. er is sprake van stromingsinhomogeniteiten, niet vreemd bij een doorsnede van 0,4 m.

Een tweede punt wat bespreking verdient, is de nauwkeurigheid. Voor het vleugelrad is de nauwkeurigheid voor de helling ongeveer 0.25%, voor de konstante ca. 0.02 m/s.

Voor de oude en nieuwe pitotbuis met manometerhelling 1:25 is de nauwkeurigheid procentueel voor de helling en absoluut voor de konstante vrijwel gelijk aan die van het vleugelrad, zowel bij aanwezigheid van een cupanemometer als van een trivaan.

Met manometerhelling 1:10 is de nauwkeurigheid ongeveer 0.5% voor de helling en 0.03-0.09 m/s voor de konstante.

Al deze behaalde nauwkeurigheden kunnen als zeer goed bestempeld worden.

Tot slot een vergelijking tussen deze resultaten en die van Wieringa (ref. 1). Vergelijkbaar zijn VI.A en VI.Ba. Wieringa vond voor deze ijkingen de volgende resultaten:

vleugelrad		$u = (0.01684 \pm 0.00009) v + (0.12 \pm 0.02)$
oude pitotbuis	1:25	$u = (0.984 \pm 0.005) v_{p1} + (0.03 \pm 0.02)$
+ cupanemometer	1:10	$u = (0.95 \quad \quad \quad) v_{p2} + (0.4 \quad \quad \quad)$

De v_{p1} , v_{p2} , die Wieringa gebruikt, zijn de tot snelheden omgerekende drukverschillen van de pitotbuis. Dit kan via de formule: $\frac{1}{2} \rho v^2 = q$.

In dit geval wordt het drukverschil afgelezen in mm alcohol (s.g. = 0.8) en wanneer we nemen $T = 300$ °K, $p = 760$ mm Hg, $R = 287$ Nm°K⁻¹kg⁻¹, dan wordt het verband tussen snelheid (in m/s) en drukverschil

$$\begin{aligned} \text{(in mm alc) gegeven door: } v &= \sqrt{\frac{574 \times 300}{760} \times \frac{0.8}{13.6} \times \sqrt{q}} \\ &= 3.651 \sqrt{q} \end{aligned}$$

De manometer wordt echter afgelezen via een helling 1:25 of 1:10.

$$\text{Dus is } u_{p1c} = \frac{1}{5} \sqrt{q} \quad \text{en} \quad u_{p2c} = \frac{1}{\sqrt{10}} \sqrt{q}$$

$$\text{Dan is } v_{p1} = 0.7302 u_{p1c} \quad \text{en} \quad v_{p2} = 1.155 u_{p2c}.$$

Omgerekend wordt dus de ijking van de oude pitotbuis + cupanemometer, zoals door Wieringa bepaald:

$$\text{helling 1:25} \quad u = 0.7185 u_{p1c} + 0.03$$

$$\text{helling 1:10} \quad u = 1.097 u_{p2c} + 0.4$$

Deze ijkingen zijn nu vergelijkbaar met die uit tabel 13. De helling van de vleugelradijking is niet veranderd, de konstante wel. Bij hetzelfde aantal meters/minuut is de werkelijke snelheid nu ca. 0.18 m/s lager dan volgens de ijking van Wieringa. Dit kan niet aan de ijkprocedure liggen, maar moet een ijkverandering van het vleugelrad zijn.

De pitotbuisijkingen vertonen wel duidelijke verschillen in helling en ook in konstante. Doordat deze verschillen elkaar gedeeltelijk compenseren, zal het uiteindelijke verschil niet groot zijn. De oorzaak van de verandering moet gezocht worden in de tussentijdse reparatie van de pitotbuis.

VIII. Konklusie

In de voorgaande hoofdstukken werd besproken hoe de ijkingen van de verschillende instrumenten werden uitgevoerd en tot welke resultaten dit leidde.

De uiteindelijke ijkingen voor vleugelradanemometer en pitotbuizen bij aanwezigheid in de windtunnel van een cupanemometer of trivaan zijn te vinden in tabel 13 (blz. 19).

De hiervermelde ijkingen moeten worden gebruikt voor alle instrumenten, die na 1969 in de KNMI-windtunnel geijkt zijn.

De gebruikte cupanemometers zijn zorgvuldig opgeborgen en kunnen worden gebruikt om na verplaatsing van de tunnel opnieuw de ijkingen voor vleugelrad en pitotbuizen te bepalen.

Referenties

1. J. Wieringa Nauwkeurigheid van anemometerijkingen in de KNMI-windtunnel.
KNMI-verslag V211-VI, augustus '68.
2. Bendat & Piersol Measurement and analysis of random data.
J. Wiley & Sons, N.Y. (1966).

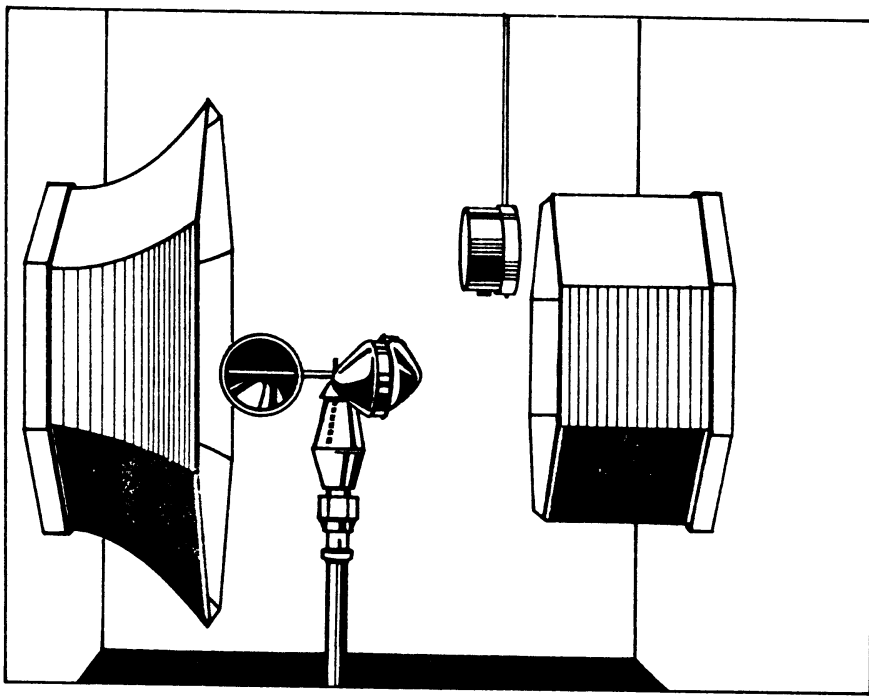


Fig.1

K.N.M.I.- opstelling vleugelrad + cupanemometer.

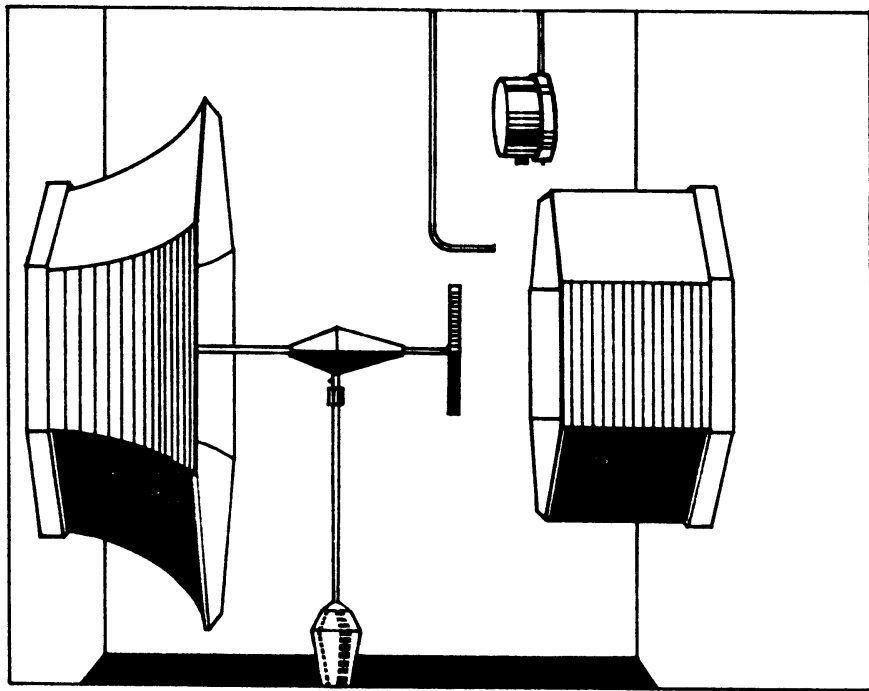
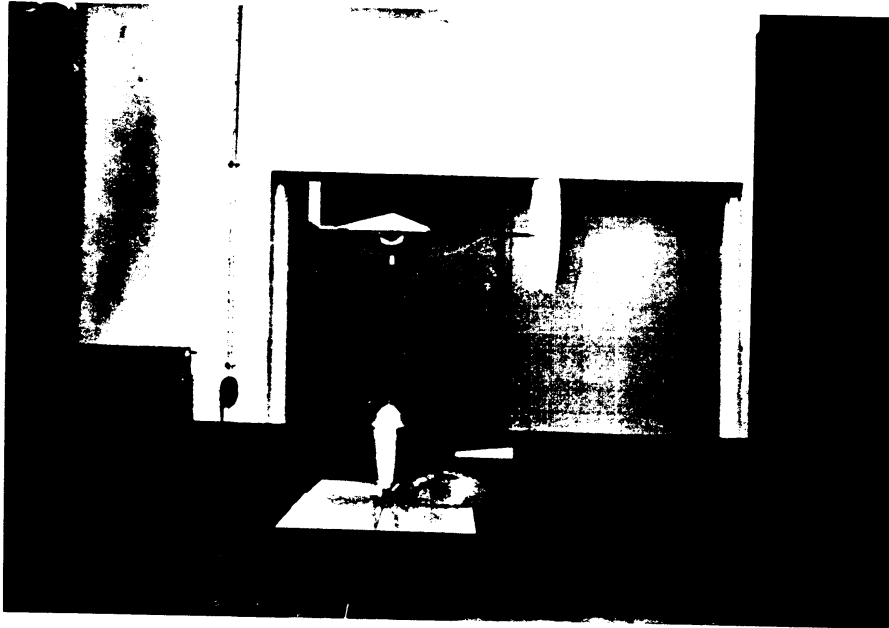
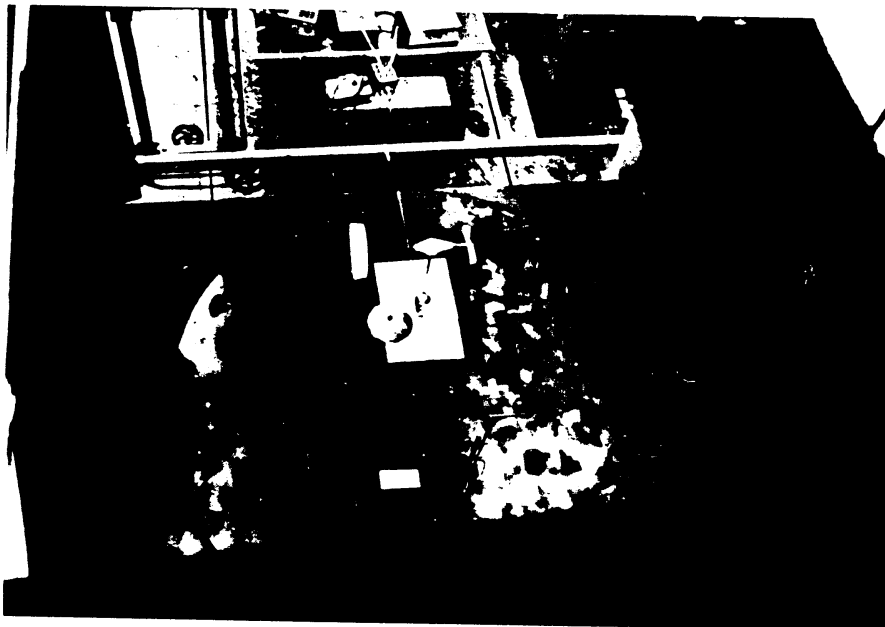


Fig. 2

K.N.M.I.- opstelling pitotbuis + trivaan



figuur 3
NLR-opstelling trivaan + pitotbuis (zijaanzicht).



figuur 4
NLR-opstelling trivaan + pitotbuis (bovenaanzicht).

appendix A

```

1 BEGIN      COMMENT: KMM1-WIEJ-310771-FLEVO-13: CALCULATION OF LINEAR CALIBRATION BY LEAST-SQUARES METHOD FROM PAIRS
2            ("POINTS") OF DATA. INPUT TAPE OUGHT TO BE PRECEDED BY IDENTIFICATION, NUMBER OF RUNS AND TRANSFORMATION
3            COEFFICIENTS. OUTPUT GIVES DATA, TRANSFORMED DATA, DEVIATIONS FROM THE CALCULATED LINE AND EXCENTRICITIES -
4            AS WELL AS INFORMATION ON THE STATISTICAL ACCURACY OF THE CALCULATED CALIBRATION LINE. POINTS WITH
5            EXCENTRICITY > 1.9 + (SORT(N))/11 ARE ELIMINATED BOTH FROM LINE CALCULATION AND FROM ACCURACY STATISTICS;
6            INTEGER I,J,N,NW,WN,P,T,Z;      REAL Q,S1,S2,S12,SS1,SS2,R,K,S,MM,KK,SS,SDR,SDR,SDR,VR,R,COR,CR,DET;
7            INTEGER ARRAY W(1:50),B(1:6),C(1:2,1:2);      REAL ARRAY OR(1:2,0:4),M(1:500,1:8);
8
9 EBCODECUBE DRK(4); INTEGER A;
10 BEGIN     IE A=0 THEN PRINTTEXT({P/SEC}) ELSE IE A=1 THEN PRINTTEXT({P/10 S}) ELSE IE A=2 THEN PRINTTEXT({ROT/S})
11           ELSE IE A=3 THEN PRINTTEXT({M/MIN}) ELSE IE A=4 THEN PRINTTEXT({M/SEC}) ELSE IE A=5 THEN
12           PRINTTEXT({MAN25}) ELSE IE A=6 THEN PRINTTEXT({INPUT1}) ELSE IE A=7 THEN PRINTTEXT({INPUT2}) ELSE IE A=8
13           THEN PRINTTEXT({OUTPT1}) ELSE IE A=9 THEN PRINTTEXT({OUTPT2}) ELSE IE A=10 THEN PRINTTEXT({ANGLE}) ELSE
14           IE A=11 THEN PRINTTEXT({T-DEG}) ELSE IE A=12 THEN PRINTTEXT({DIGITS}) ELSE IE A=13 THEN
15           PRINTTEXT({ OHMS}) ELSE IE A=14 THEN PRINTTEXT({MVOLT}) ELSE IE A=15 THEN PRINTTEXT({SCALE}) ELSE
16           IE A=21 THEN PRINTTEXT({ANGLE1}) ELSE IE A=22 THEN PRINTTEXT({ANGLE2}) ELSE IE A=23 THEN
17           PRINTTEXT({T-DEG1}) ELSE IE A=24 THEN PRINTTEXT({T-DEG2}) ELSE IE A=25 THEN
18           IE A<100 THEN PRINTTEXT({,,,,,}) ELSE ABSFIX(4,0,A)
19 END DRK = TEXT PRINTOUT OF VARIOUS POSSIBLE INPUT PARAMETERS;
20
21 T:=READ; RECR;
22 START:   WN:=N; NW:=P:=0; S:=S1:=S2:=S12:=SS1:=SS2:=0; EOB I:=1, I+1 WHILE I<=500 DO M(I,8)=0;
23 EOB I:=1, I+1 WHILE I<=50 DO W(I):=W(I)=0;
24 ZORER:   Z:=READ; IE Z<0 THEN
25         BEGIN NW:=NW+1; W(NW):=ABS(Z); GOIO ZORER
26         END; IE NW>0 THEN
27         BEGIN EOB I:=1, I+1 WHILE I<=NW DO W(I):=W(I)
28         END; EOB I:=2,3,4,5,6 DO B(I):=READ; IE B(5)>=1 THEN GOIO E1RD; EOB I:=1,2 DO C(1,1):=READ; B(1):=Z;
29         EOB I:=0,1,2,4 DO OR(1, I):=READ; EOB I:=1,2 DO C(1,2):=READ; EOB I:=0,1,2,4 DO OR(2, I):=READ; WN:=NW;
30
31 CEES:    P:=P+1; M(P,1):=P; EOB I:=1, I+1 WHILE I<=NW DO BEGIN IE W(I)=P THEN M(P,8):=+1 END;
32 M(P,2):=READ; M(P,3):=READ; M(P,4):=M(P,5)=0; EOB I:=2,3 DO
33 BEGIN EOB J:=0,1,2,4 DO M(P, I+2):=M(P, I+2)+OR(1, J)+R*(P, I+J/2)
34 END TRANSFORMATION; IE M(P,8)=0 THEN
35 BEGIN NI:=N+1; S1:=S1+M(P,4); S2:=S2+M(P,5); S12:=S12+M(P,4)*M(P,5); SS2:=SS2+M(P,5)^2; SS1:=SS1+M(P,4)^2
36 END; IE P<6 THEN GOIO CEES;
37
38 REKEN:   IE B(5)=+0 THEN BEGIN M:=S12/SS2; R:=0 END ELSE
39         BEGIN QI:=(N*SS2)-(S2)^2; M:=(N*S12)-(S1*S2)/Q; R:=((SS2*S1)-(S2*S12))/Q
40         END; EOB I:=1, I+1 WHILE I<=P DO M(I,6):=M(I,4)-M*I(5)-R; R:=+1.9*(ENTIER(100*SQRT(N))/118)/10;
41         EOB I:=1, I+1 WHILE I<=P DO
42         BEGIN IE M(I,8)=0 THEN S:=S+M(I,6)^2
43         END; S:=S/(N-1); SDR:=SQRT(S); IE NW=WN THEN
44         BEGIN MM:=M; KK:=R; SS:=SDR; CR:=(S12-(S1*S2)/N)/SQRT((SS1-(S1^2)/N)*(SS2-(S2^2)/N))
45         END; EOB I:=1, I+1 WHILE I<=P DO
46         BEGIN M(I,7):=ABS(M(I,6)/SDR); IE M(I,7)>=R ^ M(I,8)=0 THEN
47         BEGIN NW:=NW+1; W(NW):=M; M(I,8):=+1; NI:=NI-1; S1:=S1+M(I,4); S2:=S2+M(I,5); S:=0;
48         END END; VR:=SS2-(S2)^2/N; SDR:=SQRT(S/VR); SDR:=SQRT((S+SS2)/(N*VR));
49         COR:=(S12-(S1*S2)/N)/SQRT((SS1-(S1^2)/N)*(SS2-(S2^2)/N)); DET:=1-(SDR^2)/((SS1-(S1^2)/N)/(N-1));
50
51
52 OBT:     PRINTTEXT({KMM1-WIEJ-310771-FLEVO-13, LEAST-SQUARES LINEAR CALIBRATION CALCULATION,}); RECR;
53         PRINTTEXT({DATE}); EOB I:=1,2,3 DO ABSFIX(2,0,B(I)); PRINTTEXT({, MEASUREMENT}); ABSFIX(6,0,B(4));
54         IE WN>0 THEN
55         BEGIN RECR; PRINTTEXT({POINTS ELIMINATED IN ADVANCE:}); EOB I:=1, I+1 WHILE I<=NW DO
56         BEGIN ABSFIX(3,0,W(I)) IE I=9 ^ I=24 THEN RECR
57         END END; RECR; RECR; PRINTTEXT({1ST TRANS.}); SPACE(10); DRK(C(2,1)); PRINTTEXT({ #}); EOB I:=0,1,2,4 DO
58         BEGIN IE OR(1, I) # 0 THEN
59         BEGIN FIX(4,6,OR(1, I)); IE I # 0 THEN DRK(C(1,2)); IE I=1 ^ I=4 THEN
60         BEGIN PRINTTEXT({ #}); ABSFIX(1,1,I/2)
61         END END END; RECR; PRINTTEXT({2ND TRANS.}); SPACE(10); DRK(C(2,2)); PRINTTEXT({ #}); EOB I:=0,1,2,4 DO
62         BEGIN IE OR(2, I) # 0 THEN
63         BEGIN FIX(4,6,OR(2, I)); IE I # 0 THEN DRK(C(1,2)); IE I=1 ^ I=4 THEN
64         BEGIN PRINTTEXT({ #}); ABSFIX(1,1,I/2)
65         END END END; RECR; IE B(5)=+0 THEN BEGIN PRINTTEXT({LINE FORCED THROUGH ORIGIN,}); RECR END; RECR;
66
67 PRINTTEXT({CALIBRATION CALC. FROM}); ABSFIX(3,0,N); PRINTTEXT({POINTS:}); DRK(C(2,1)); PRINTTEXT({ #});
68 FIX(3,6,R); DRK(C(2,2)); SPACE(3); FIX(3,6,K); RECR; PRINTTEXT({STANDARD DEVIATIONS: SLOPE}); ABSFIX(3,6,SDR);
69 IE B(5)=+1 THEN BEGIN PRINTTEXT({, CONSTANT}); ABSFIX(3,6,SDR) END; RECR; SPACE(21);
70 PRINTTEXT({INCLUDED POINTS}); ABSFIX(3,6,SDR); PRINTTEXT({ REJ. CRIT. = EXC. >}); ABSFIX(1,1,R); RECR;
71 PRINTTEXT({AVERAGES:}); SPACE(3); DRK(C(2,1)); PRINTTEXT({ #}); PRINTTEXT({ #}); FIX(3,6,S1/N); PRINTTEXT({ #});
72 ABSFIX(3,6,SQRT((SS1-(S1^2)/N)/(N-1))); SPACE(3); DRK(C(2,2)); PRINTTEXT({ #}); FIX(3,6,S2/N); PRINTTEXT({ #});
73 ABSFIX(3,6,SQRT((SS2-(S2^2)/N)/(N-1))); RECR; PRINTTEXT({CORR. COEFF.}); FIX(2,3,COR); PRINTTEXT({ #});
74 ABSFIX(1,3,0.67*(1-COR^2)/SQRT(N)); PRINTTEXT({ DETERM. COEFF.}); FIX(2,3,DET); RECR;
75
76 IE WN#NW THEN
77 BEGIN RECR; PRINTTEXT({BEECODE EXTRA ELIMINATIONS: SLOPE #}); FIX(3,6,MM); PRINTTEXT({, CONSTANT #}); FIX(3,6,RR);
78 RECR; SPACE(27); PRINTTEXT({POINT ST. DEV. #}); FIX(3,6,SS); PRINTTEXT({, CORR. COEFF. #}); FIX(2,3,CR); RECR
79 END; RECR; RECR;
80 PRINTTEXT({NR. ORIGINAL DATA TRANSFORMED DATA DEV#}); DRK(C(2,1)); PRINTTEXT({ - EXCENTR.});
81 RECR; PRINTTEXT({POINT #}); EOB I:=1,2 DO EOB J:=1,2 DO BEGIN SPACE(4); DRK(C(1, J)) END; PRINTTEXT({ RESULT #});
82 DRK(C(2,2)); RECR; RECR;
83 BEGIN ABSFIX(3,0,M(1,1)); IE M(1,8)=+1 THEN PRINTTEXT({ * #}) ELSE SPACE(4); EOB I:=1, I+1 WHILE I<=P DO
84 BEGIN FIX(4,3,M(I, J)); IE J=5 THEN
85 BEGIN IE M(1,8)=+1 THEN PRINTTEXT({ * #}) ELSE SPACE(4)
86 END END; RECR
87 END PRINTOUT; RECR; IE NW>0 THEN PRINTTEXT({* = NOT USED IN CALCULATING LINEAR CALIBRATION,}); RECR; T:=T-1;
88 E1RD:   IE B(5)>=1 THEN BEGIN PRINTTEXT({INPUT INCORRECT}); RECR; T:=0 END; IE T>0 THEN BEGIN NEWPAGE; GOIO START END
89 END
90

```

appendix B

```

1 BEGIN COMMENT KRM1-WIEJ-311271-MULTIWIJK: ZWAARTEPUNTSCOMBINATIE VAN MAX. ZES GELIJKWAARDIGE IJKINGEN, ELK NIET GROTER DAN 75
2 PUNTEN, WELKE REEDS MET BIJK-PROGR. ZIJN DOORGEREKEND, DEZELFDE INPUTBAND ALS VOOR HET WIJK-PROGR. KAN WORDEN GEBRUIKT;
3 INTEGER I,J,I1,M,N,NW,NP,PMAX,T,Z;
4 REAL Q,S1,S2,S12,SS1,SS2,W,K,S,MM,KK,SS,SDM,SDM,SDK,VR,R,COR,CR,DET,TX,TY,TS1,TS2,TS12,TS51,TS52;
5 INTEGER ABBAY WB[1:39],W1[1:90],D[1:6],C0[1:2,1:2],PT[1:6];
6 REAL ABBAY OR[1:2,0:4],M1[1:450,1:8],M[1:6,1:75,1:3],MEL[1:6,1:11];
7
8 PROCEDURE DROK(A); INTEGER A;
9 BEGIN
10 IF A=0 THEN PRINTTEXT('P/SEC '); ELSE IF A=1 THEN PRINTTEXT('P/10 '); ELSE IF A=2 THEN PRINTTEXT('ROT/S ');
11 ELSE IF A=3 THEN PRINTTEXT('M/MIN '); ELSE IF A=4 THEN PRINTTEXT('M/SEC '); ELSE IF A=5 THEN PRINTTEXT('MAN25 ');
12 ELSE IF A=6 THEN PRINTTEXT('INPUT1 '); ELSE IF A=7 THEN PRINTTEXT('INPUT2 '); ELSE IF A=8 THEN PRINTTEXT('AOUTP1 ');
13 ELSE IF A=9 THEN PRINTTEXT('AOUTP2 '); ELSE IF A=10 THEN PRINTTEXT('BGGRD '); ELSE IF A=11 THEN PRINTTEXT('GT-GRD ');
14 ELSE IF A=12 THEN PRINTTEXT('DIGITS '); ELSE IF A=13 THEN PRINTTEXT('OHMS '); ELSE IF A=14 THEN PRINTTEXT('MVOLT ');
15 ELSE IF A=15 THEN PRINTTEXT('SCHLDL '); ELSE IF A=16 THEN PRINTTEXT(' '); ELSE IF A=17 THEN PRINTTEXT(' '); ELSE IF A=18 THEN PRINTTEXT(' ');
16 END DROK;
17
18 PROCEDURE BIJK(B); INTEGER B;
19 BEGIN
20 N:=NW:NP:=0; S:=S1:=S2:=S12:=SS1:=SS2:=0; EOB :=1: I:=1 WHILE I<=450 DO M[I,8]:=0;
21 ZOEK: Z:=READ: IF Z<0 THEN
22 BEGIN
23 NW:=NW+1; W[NW]:=ABS(Z); GOIQ ZOEK
24 END; IF NW>0 THEN
25 BEGIN
26 EOB :=1: I:=1 WHILE I<=NW DO W[I]:=W[I];
27 END; EOB :=2:3:4:5:6 DO D[I]:=READ: IF D[5]>=1 THEN GOIQ EIND; EOB :=1:2 DO C0[I,1]:=READ: D[1]:=Z;
28 EOB :=0:1:2:4 DO OR[I,1]:=READ: EOB :=1:2 DO C0[I,2]:=READ: EOB :=0:1:2:4 DO OR[I,2]:=READ: NW:=NW;
29
30 EES: P:=P+1; M[P,1]:=P; EOB :=1: I:=1 WHILE I<=P DO BEGIN IF W[I]=P THEN M[P,8]:=1 END;
31 M[P,2]:=READ: M[P,3]:=READ: M[P,4]:=M[P,5]:=0; EOB :=2:3 DO
32 BEGIN
33 EOB J:=0:1:2:4 DO M[P,1+J]:=M[P,1+2+J]*M[P,1+2+J]+M[P,1+J]*M[P,1+J+2];
34 END TRANSFORMATIE; IF M[P,8]=0 THEN
35 BEGIN
36 N:=N+1; S1:=S1+M[P,4]; S2:=S2+M[P,5]; S12:=S12+M[P,4]*M[P,5]; SS2:=SS2+M[P,5]^2; SS1:=SS1+M[P,4]^2
37 END; M[P,9]:=M[P,4]; M[P,10]:=M[P,5]; M[P,11]:=M[P,8]; IF P<=6 THEN GOIQ EES;
38 END BIJK - INLEZEN INDIVIDUELE IJ KING;
39
40 PROCEDURE RWJK(R); INTEGER R;
41 BEGIN
42 REKEN: IF D[5]=0 THEN BEGIN
43 M:=(N+SS2)-(S2+2); N:=(N+SS2)-(S1+S2)/Q; K:=(SS2+S1)-(S2+S12)/Q
44 END; EOB :=1: I:=1 WHILE I<=N DO M[I,6]:=M[I,4]-M[I,5]-K; R:=1.9+(ENTIER(100*SORT(N)))/110/10;
45 BEGIN
46 IF M[I,8]=0 THEN S:=S+M[I,6]^2
47 END; S:=S/(N-1); SD:=SORT(S); IF NW=N THEN CR:=(S12-(S1+S2)/N)/SQRT((SS1-(S1^2)/N)+(SS2-(S2^2)/N));
48 BEGIN
49 M[I,7]:=ABS(M[I,6]/SDM); IF M[I,7]>R & M[I,8]=0 THEN
50 BEGIN
51 S12:=S12-M[I,4]*M[I,5]; N:=N-1; S1:=S1-M[I,4]; S2:=S2-M[I,5]; S:=0;
52 END; VR:=SS2-(S2^2)/N; SDM:=SORT(S/VR); SDK:=SQRT((S+SS2)/(N*VR));
53 COR:=(S12-(S1+S2)/N)/SQRT((SS1-(S1^2)/N)+(SS2-(S2^2)/N)); DET:=1-(SDM^2)/(SS1-(S1^2)/N)/(N-1)
54 END RWJK - VERWERKEN INDIVIDUELE IJ KING;
55
56 PROCEDURE EWJK(E); INTEGER E;
57 BEGIN
58 EOB :=1: I:=1 WHILE I<=P DO
59 BEGIN
60 TY:=M[I,4]-S1/N; TX:=M[I,5]-S2/N; TS1:=TS1+TX; TS2:=TS2+TX;
61 TS12:=TS1^2+TY^2+TX; TS51:=TS51+TY^2; TS52:=TS52+TX^2
62 END; ME[E,1]:=100+D[1]*D[2]+0.01*D[3]; ME[E,2]:=D[4]; ME[E,3]:=M; ME[E,4]:=SDM; ME[E,5]:=K; ME[E,6]:=SDK;
63 ME[E,7]:=SD; ME[E,8]:=R; ME[E,9]:=S1; ME[E,10]:=S2; ME[E,11]:=N; I:=I+D[6]; PT[E]:=D[6]; IF D[6]>PMAX THEN PMAX:=D[6]
64 END EWJK - PREPAREREN INDIVIDUELE IJ KING VOOR GECOMBINEERDE BEREKENING;
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100
101
102
103
104
105
106
107
108
109
110
111
112

```