

10 JAN. 1975

KONINKLIJK NEDERLANDS
METEOROLOGISCH INSTITUUT

De Bilt

Verslagen
v - 260

A.G.M. Driedonks
Windsnelheidsijking in de nieuwe opstelling
van de KNMI-windtunnel

De Bilt, 1975

Kon. Ned. Meteor. Inst.
De Bilt

~~XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX~~

Publikatienummer: K.N.M.I. V-260 (M.O.)

Aanvulling op verslag V-253: Windsnelheidsjking
in de KNMI-windtunnel (1974).

Windsnelheidsijking in de nieuwe opstelling van de KNMI-windtunnel.

Aanvulling op verslag V-253:
Windsnelheidsijking in de KNMI-windtunnel (1974).

door

A.G.M. Driedonks

I. Inleiding.

In de zomer van 1973 is voor de vleugelradanemometer en voor de beide pitotbuisen in de KNMI-windtunnel het verband bepaald tussen de werkelijke windsnelheid en de aanwijzing van deze instrumenten.

Dit werd gedaan door cupanemometers en trivanen in de KNMI-tunnel te ijken tegen pitotbuisen en vleugelrad, vervolgens deze anemometers in de windtunnel van het NLR te ijken tegen de daar aanwezige standaard-pitotbuis en daarna weer na-ijkingen uit te voeren op het KNMI.

Aldus kon voor diverse tunnelkonfiguraties de snelheidsijking van pitotbuisen en vleugelrad in de KNMI-windtunnel vastgesteld worden. Dit geschiedde voor de volgende opstellingen:

- a. Vleugelradanemometer met cupanemometer.
- b. "Oude" pitotbuis met cupanemometer.
- c. "Nieuwe" pitotbuis met cupanemometer.
- d. "Oude" pitotbuis met trivaan.
- e. "Nieuwe" pitotbuis met trivaan.

De gebruikte cupanemometers en trivanen werden vervolgens zorgvuldig opgeslagen, zodat daarmee op het KNMI ook een snelheidsstandaard aanwezig was.

Voor een uitgebreid verslag van deze ijkprocedure zie ref. 1.

Begin 1974 is de KNMI-windtunnel verplaatst naar een ruimte in de kelder van de nieuwe vleugel.

Allereerst is deze ruimte stromings-technisch gezien in een redelijke staat gebracht en zijn er aan de windtunnel zelf enkele modificaties aangebracht. Daarna zijn met behulp van de standaardanemometers opnieuw de ijkingen van pitotbuisen en vleugelrad vastgesteld.

Alle ijkingen in de nieuwe windtunnelopstelling zijn door C. van Es uitgevoerd.

II. De nieuwe windtunnelopstelling.

De nieuwe windtunnelmeetruimte bevindt zich in de kelder van de nieuwe vleugel. Aangezien deze opstelling stromings-technisch gezien niet optimaal was, zijn de volgende modificaties aan ruimte en tunnel aangebracht:

- a. Om de rand van de instroomopening werd een torus gemonteerd met een diameter van + 25cm om op deze wijze een betere geleiding te verkrijgen van de instromende lucht.
- b. Tegenover de uitstroomopening werden de dubbele deuren afgesloten en werd een kegelvormige stromingsgeleider gemonteerd met tophoek ca. 120° en diameter grondcirkel ca. 175cm in het verlengde van de tunnelas.

- c. De doorgang tussen tunnelruimte en nevenruimte werd afgesloten.
 - d. Nabij de uitstroomopening van de tunnel werd een uitwisselbare tussenring met lengte 0.4m gemonteerd als faciliteit voor later te ontwikkelen stromingsexperimenten.
 - e. Er werd een nieuwe aandrijfmotor met nieuwe poelie geïnstalleerd.
- Voor een tekening van de huidige windtunnelopstelling zie figuur 1.

III. Opzet van het ijkonderzoek.

a. Identifikatie en gebruikte afkortingen.

De cupanemometers worden aangeduid door de laatste vier cijfers van hun KNMI-kodenummer, waarbij niet significante nullen zijn weggelaten, bv. 01.00.018.011 → 1811.

De trivanen zijn aangeduid met het nummer van het trivaanhuis gevolgd door het nummer van de propeller, bv. 412 is trivaan 4 met propeller 12.

Verder zijn voor de ijkingen de volgende symbolen gebruikt:

- U : ware (NLR) snelheid.
- V : aanwijzing wijzerplaat KNMI-vleugelrad na 1 minuut.
- R : aantal omwentelingen per seconde van cups of propeller.
- U_{p1c} : vierkantswortel uit de drukaanwijzing van de oude pitotbuis in de KNMI-windtunnel met manometerhelling 1:25 en bij aanwezigheid van een cupanemometer (c) in de tunnel.
- U_{p1t} : als U_{p1c} maar nu met een trivaan in de tunnel.
- U_{p2c}, U_{p2t} : als U_{p1c}, U_{p1t} maar nu met manometerhelling 1:10.
- U_{qij} : als U_{p1j} maar nu voor de nieuwe pitotbuis.
- U_v : $\frac{1}{60} * v$.

b. De ijkingen.

Als snelheids-standaard werden de anemometers gebruikt waarvan het verband tussen werkelijke snelheid (u) en aantal rotaties per seconde (R) uit de NLR-windtunnelijking bekend is. Dit verband is in tabel 14 en 15 aangegeven

TABEL 14: NLR-ijkingen cupanemometers.

nummer	optimale lineaire ijking
1811	$U = (1.916 \pm 0.002)R + (0.03 \pm 0.02) \text{ m/s}$
1810	$U = (1.917 \pm 0.002)R + (0.02 \pm 0.02) \text{ m/s}$
1809	$U = (1.914 \pm 0.003)R + (0.05 \pm 0.02) \text{ m/s}$

TABEL 15: NLR-ijkingen trivanen.

nummer	optimale lineaire ijking
412	$U = (1.886 \pm 0.002)R + (0.02 \pm 0.01) \text{ m/s}$
817	$U = (1.852 \pm 0.003)R + (0.08 \pm 0.02) \text{ m/s}$
110	$U = (2.061 \pm 0.005)R + (0.17 \pm 0.03) \text{ m/s}$

Deze standaard-anemometers zijn in de KNMI-windtunnel geijkt tegen de vleugelradanemometer en de beide pitotbuizen. De ijkmethodiek is dezelfde als die welke in ref. 1 beschreven is. Indien op deze wijze het verband tussen de aanwijzing van vleugelrad, pitotbuizen en het aantal omwentelingen per seconde van de standaard-anemometers bepaald is, kan m.b.v. tabel 14 en 15 het verband met de werkelijke snelheid bepaald worden. De KNMI-ijkingen zijn uitgevoerd bij een temperatuur van ca. 15°C.

IV. IJKresultaten anemometers tegen pitotbuizen en vleugelrad.

A. Vleugelradanemometer + cupanemometers.

TABEL 16: IJking cupanemometers tegen vleugelrad.

nummer	lineaire ijking
1811	$U_v = (1.909 \pm 0.002)R + (0.070 \pm 0.008)$
1810	$U_v = (1.904 \pm 0.002)R + (0.078 \pm 0.009)$
*1809	$U_v = (1.915 \pm 0.002)R + (0.071 \pm 0.010)$

Deze tabel is vergelijkbaar met tabel 4 uit ref. 1. Zoals in ref. 1 aangetoond, is 1809 onbetrouwbaar en kan deze niet gebruikt worden voor verdere berekeningen.

B. Oude pitotbuis + cupanemometers.

TABEL 17: Cupanemometers tegen oude pitotbuis.

<u>Helling 1:25</u> nummer	lineaire ijking
1811	$U_{p1c} = (2.659 \pm 0.006)R + (0.43 \pm 0.02)$
1810	$U_{p1c} = (2.647 \pm 0.008)R + (0.40 \pm 0.03)$
*1809	$U_{p1c} = (2.650 \pm 0.007)R + (0.41 \pm 0.02)$
<u>Helling 1:10</u>	
1811	$U_{p2c} = (1.662 \pm 0.004)R + (0.33 \pm 0.03)$
1810	$U_{p2c} = (1.669 \pm 0.005)R + (0.29 \pm 0.03)$
*1809	$U_{p2c} = (1.651 \pm 0.006)R + (0.45 \pm 0.04)$

(Vergelijkbaar met tabel 7 uit ref. 1)

C. Nieuwe pitotbuis + cupanemometers.

TABEL 18: Cupanemometers tegen nieuwe pitotbuis.

<u>Helling 1:25</u> nummer	lineaire ijking
1811	$U_{q1c} = (2.648 \pm 0.009)R + (0.43 \pm 0.03)$
1810	$U_{q1c} = (2.692 \pm 0.005)R + (0.33 \pm 0.02)$
*1809	$U_{q1c} = (2.679 \pm 0.010)R + (0.36 \pm 0.03)$
<u>Helling 1:10</u>	
1811	$U_{q2c} = (1.643 \pm 0.007)R + (0.49 \pm 0.05)$
1810	$U_{q2c} = (1.687 \pm 0.004)R + (0.25 \pm 0.02)$
*1809	$U_{q2c} = (1.680 \pm 0.008)R + (0.29 \pm 0.05)$

(Vergelijkbaar met tabel 8 uit ref. 1)

D. Oude pitotbuis + trivanen.

TABEL 19: Trivanen tegen oude pitotbuis.

<u>Helling 1:25</u> nummer	lineaire ijking
412	$U_{p1t} = (2.539 \pm 0.006)R + (0.22 \pm 0.02)$
817	$U_{p1t} = (2.452 \pm 0.005)R + (0.22 \pm 0.02)$
*110	$U_{p1t} = (2.756 \pm 0.006)R + (0.14 \pm 0.02)$
<u>Helling 1:10</u>	
412	$U_{p2t} = (1.607 \pm 0.004)R + (0.17 \pm 0.03)$
*817	$U_{p2t} = (1.567 \pm 0.005)R + (0.11 \pm 0.03)$
*110	$U_{p2t} = (1.767 \pm 0.010)R - (0.02 \pm 0.06)$

(Vergelijkbaar met tabel 11 uit ref. 1)

E. Trivanen tegen nieuwe pitotbuis.

TABEL 20: Trivanen tegen nieuwe pitotbuis

<u>Helling 1:25</u> nummer	lineaire ijking
412	$U_{q1t} = (2.560 \pm 0.004)R + (0.18 \pm 0.01)$
817	$U_{q1t} = (2.441 \pm 0.006)R + (0.24 \pm 0.02)$
*110	$U_{q1t} = (2.750 \pm 0.007)R + (0.07 \pm 0.02)$
<u>Helling 1:10</u>	
412	$U_{q2t} = (1.625 \pm 0.008)R + (0.08 \pm 0.05)$
817	$U_{q2t} = (1.571 \pm 0.007)R + (0.05 \pm 0.05)$
*110	$U_{q2t} = (1.746 \pm 0.009)R + (0.05 \pm 0.06)$

(Vergelijkbaar met tabel 12 uit ref. 1)

Met een * aangegeven zijn ijkingsen welke bij verdere berekeningen niet meer gebruikt worden, aangezien in ref. 1 vermeld is dat de onderhavige anemometers niet meer als betrouwbare snelheidsstandaard kunnen dienen.

V. Definitieve snelheidsijkingen van vleugelrad en pitotbuizen.

Om tot een definitieve snelheidsijking te komen van vleugelrad en pitotbuizen bij verschillende tunnelvullingen, worden per bruikbare anemometer de ijkresultaten uit tabellen 16 t/m 20 gekombineerd met die uit tabellen 14 en 15. Vervolgens wordt het gemiddelde van de aldus verkregen resultaten bij verschillende tunnelvullingen beschouwd als de in dat geval geldende ijking. De aldus verkregen resultaten zijn samengevat in tabel 21, welke vergelijkbaar is met tabel 13 uit ref. 1.

TABEL 21: Definitieve ijking van vleugelrad en pitotbuizen in de KNMI-windtunnel in de nieuwe meetruimte, bij diverse tunnelvullingen.

Tunnelvulling		Geldende ijking
Vleugelrad + cupanemometer		$U = (0.01676 \pm 0.00003)V - (0.04 \pm 0.02)$
Oude pitotbuis	1:25	$U = (0.7224 \pm 0.0020)U_{p1c} - (0.27 \pm 0.03)$
+ cupanemometer	1:10	$U = (1.152 \pm 0.004)U_{p2c} - (0.33 \pm 0.05)$
Nieuwe pitotbuis	1:25	$U = (0.7178 \pm 0.0020)U_{q1c} - (0.25 \pm 0.03)$
+ cupanemometer	1:10	$U = (1.151 \pm 0.004)U_{q2c} - (0.40 \pm 0.05)$
Oude pitotbuis + trivaan	1:25	$U = (0.7490 \pm 0.0020)U_{p1t} - (0.19 \pm 0.03)$
	1:10	$U = (1.178 \pm 0.006)U_{p2t} - (0.20 \pm 0.03)$
Nieuwe pitotbuis + trivaan	1:25	$U = (0.7477 \pm 0.0023)U_{q1t} - (0.18 \pm 0.03)$
	1:10	$U = (1.161 \pm 0.006)U_{q2t} - (0.10 \pm 0.03)$

VI. Samenvatting en konklusie.

Door middel van de gevolgde ijkprocedure is het verband tussen werkelijke snelheid en aanwijzing van pitotbuizen of vleugelrad bepaald voor de huidige opstelling van de KNMI-windtunnel bij verschillende tunnelvullingen. De definitieve resultaten zijn samengevat in tabel 21.

Voor alle ijkingen welke in de KNMI-windtunnel verricht zijn of worden, gelden nu, afhankelijk van het ijkstip, de omrekeningsfactoren welke in tabel 22 te vinden zijn. Tabel 22 is een samenvatting van de resultaten uit ref. 2, uit tabel 13 van ref. 1 en uit tabel 21 van dit verslag.

Vanaf 1974 wordt de snelheidsstandaard op het KNMI gevormd door vleugelrad en pitotbuizen. Er dient voor gezorgd te worden dat deze instrumenten met de grootst mogelijke voorzichtigheid behandeld worden.

TABEL 22: Overzicht van te gebruiken omrekeningsfactoren voor in verschillende perioden in de KNMI-windtunnel verrichte ijkingen.

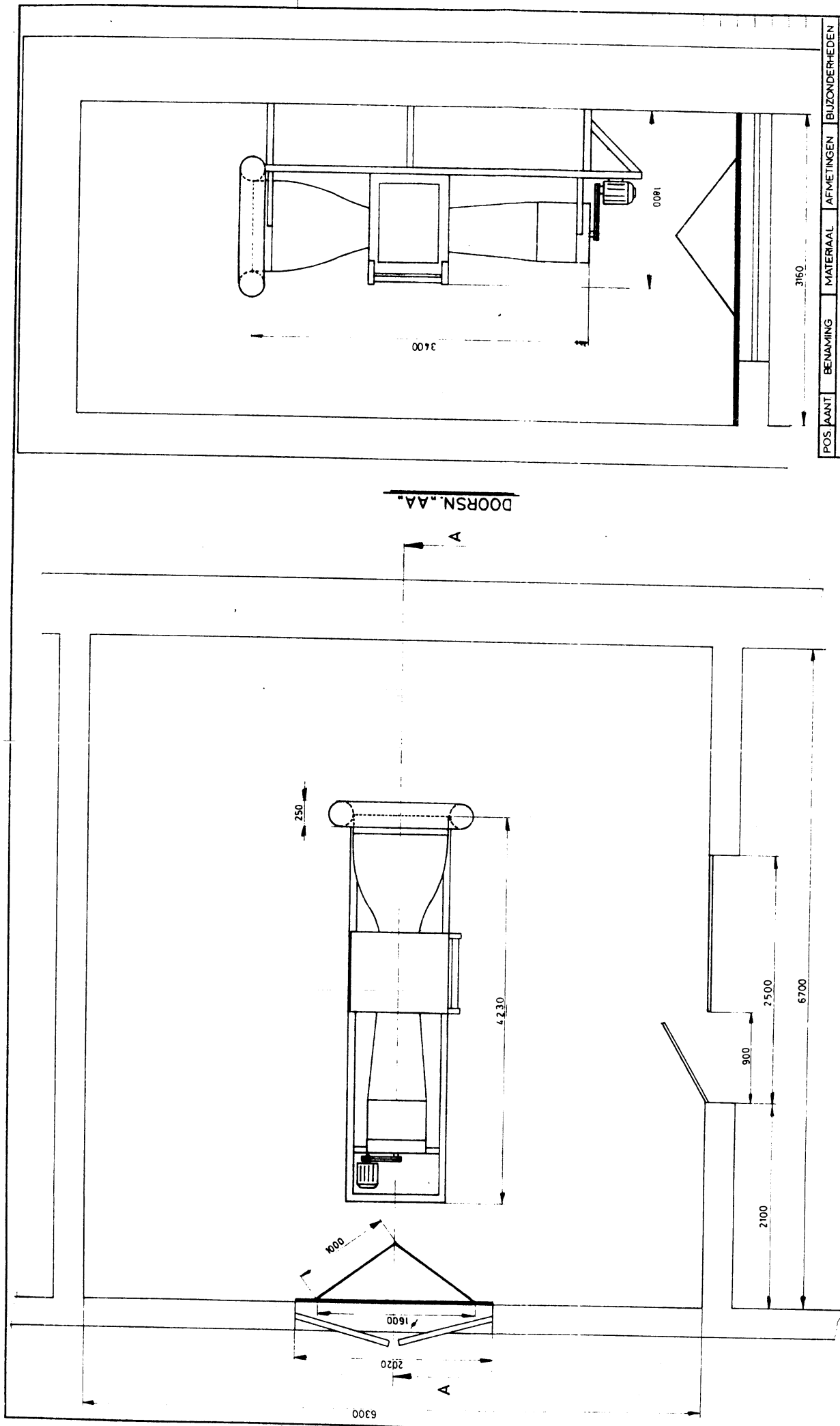
Tunnelvulling	Geldende ijkingen voor verschillende perioden		
	1968-1972	1973	1974 en later
Vleugelrad + cup $U = av + b$	$a = 0.01684 \pm 0.00009$ $b = 0.12 \pm 0.02$	$a = 0.01689 \pm 0.00004$ $b = -0.06 \pm 0.02$	$a = 0.01676 \pm 0.00004$ $b = -0.05 \pm 0.02$
Oude pitotbuis + cup 1:25 $U = aU_{p1c} + b$ 1:10 $U = aU_{p2c} + b$	$a = 0.7185 \pm 0.0036$ $b = 0.03 \pm 0.02$ $a = 1.097 \pm 0.009$ $b = 0.4 \pm 0.1$	$a = 0.7365 \pm 0.0018$ $b = -0.25 \pm 0.03$ $a = 1.160 \pm 0.005$ $b = -0.33 \pm 0.09$	$a = 0.7224 \pm 0.0020$ $b = -0.27 \pm 0.03$ $a = 1.152 \pm 0.004$ $b = -0.33 \pm 0.05$
Nieuwe pitotbuis + cup 1:25 $U = aU_{q1c} + b$ 1:10 $U = aU_{q2c} + b$	$a = 0.7384 \pm 0.0018$ $b = -0.28 \pm 0.03$ $a = 1.152 \pm 0.005$ $b = -0.31 \pm 0.06$	$a = 0.7384 \pm 0.0018$ $b = -0.28 \pm 0.03$ $a = 1.152 \pm 0.005$ $b = -0.31 \pm 0.06$	$a = 0.7178 \pm 0.0020$ $b = -0.25 \pm 0.03$ $a = 1.151 \pm 0.004$ $b = -0.40 \pm 0.05$
Oude pitotbuis + triivaan 1:25 $U = aU_{p1t} + b$ 1:10 $U = aU_{p2t} + b$	$a = 0.7680 \pm 0.0013$ $b = -0.15 \pm 0.03$ $a = 1.192 \pm 0.005$ $b = -0.19 \pm 0.04$	$a = 0.7680 \pm 0.0013$ $b = -0.15 \pm 0.03$ $a = 1.192 \pm 0.005$ $b = -0.19 \pm 0.04$	$a = 0.7490 \pm 0.0020$ $b = -0.19 \pm 0.03$ $a = 1.178 \pm 0.006$ $b = -0.20 \pm 0.03$
Nieuwe pitotbuis + triivaan 1:25 $U = aU_{q1t} + b$ 1:10 $U = aU_{q2t} + b$	$a = 0.7702 \pm 0.0013$ $b = -0.15 \pm 0.03$ $a = 1.205 \pm 0.004$ $b = -0.25 \pm 0.03$	$a = 0.7702 \pm 0.0013$ $b = -0.15 \pm 0.03$ $a = 1.205 \pm 0.004$ $b = -0.25 \pm 0.03$	$a = 0.7477 \pm 0.0023$ $b = -0.18 \pm 0.03$ $a = 1.161 \pm 0.006$ $b = -0.10 \pm 0.03$

Referenties:

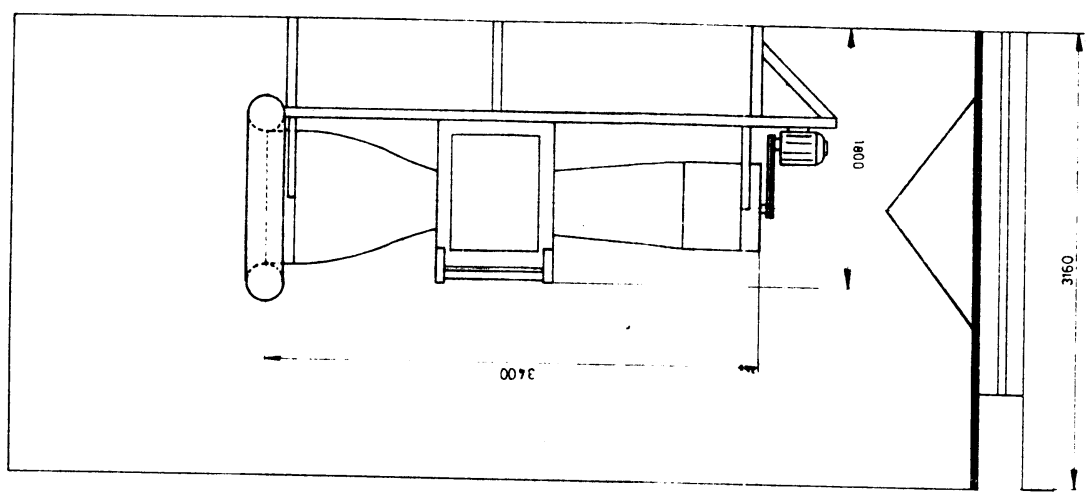
1. A.G.M. Driedonks Windsnelheidsijking in de KNMI-windtunnel.
KNMI-verslagen, V-253 (1974).

2. J. Wieringa Nauwkeurigheid van anemometerijkingen in de
KNMI-windtunnel.
KNMI-verslagen, V-211 (1968).

-o-o-o-o-o-o-o-o-o-o-o-o-



Figuur 1: Windtunnelopstelling in kelderruimte nieuwe vleugel.



POS. JAANT	BENAMING	MATERIAAL	AFMETINGEN	BIJZONDERHEDEN
KONINKLIJK NEDERLANDS METEOROLOGISCH INSTITUUT				
WINDTUNNEL IN KELDER NIEUWBOUW				
NAAM:	D.G.	DATE:	1-5-73	SCHAAL: 1:25
GET:	D.G.	BEHOORT BIJ:	TEK	OPMERKINGEN:
GEC:	D.G.	OPMERKINGEN:	2-10-74	
GEV:				
GEW:				



15-1-031.

AUTEURSRECHTEN VOORBEHOUDEN VOLGENS DE WET