EINDHOVEN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Beveiliging windmolen d.m.v. een schuine staart

Citation for published version (APA):
Kragten, A. (1977). *Beveiliging windmolen d.m.v. een schuine staart*. (TU Eindhoven. Vakgr. Transportfysica : rapport; Vol. R-289-D). Technische Hogeschool Eindhoven.

Document status and date:
Gepubliceerd: 01/01/1977

Document Version:
Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

Please check the document version of this publication:

• A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
• The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
• The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

Link to publication

General rights
Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

• Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
• You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
• You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the “Taverne” license above, please follow below link for the End User Agreement:

www.tue.nl/taverne

Take down policy
If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

openaccess@tue.nl

providing details and we will investigate your claim.

Download date: 18. Jun. 2025

BEVEILIGING WINDMOLEN
d.m.v. EEN SCHUINE STAART

A. KRAGTEN

april 1977 R 289 D

Windenergie Groep, vakgroep Transportfysica,
afdeling Natuurkunde, Technische Hogeschool Eindhoven

verricht in het kader van:

Projekt Windenergie Ontwikkelingslanden

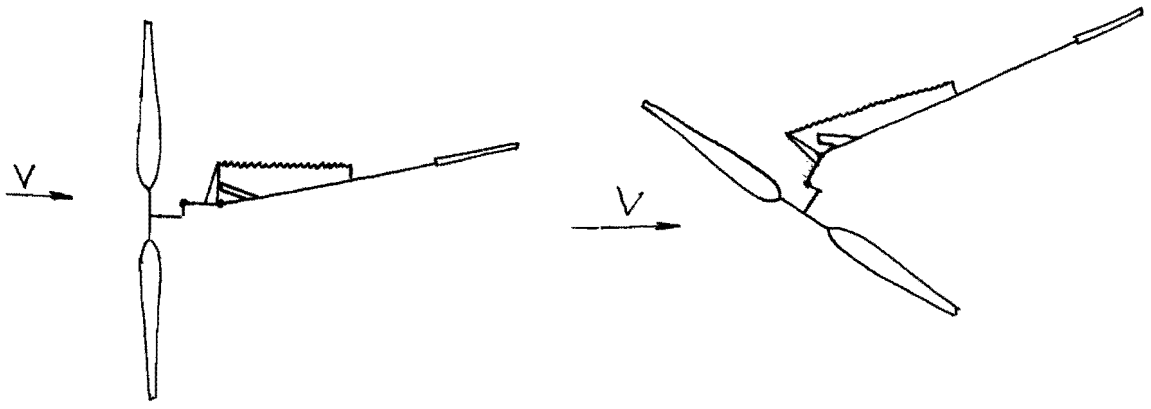
Beveiliging windmolen d.m.v. een schuine staart.

I. INLEIDING.

Het beveiligen van windmolens tegen te hoge axiale en centrifugale krachten is een belangrijke, maar moeilijke zaak.
Het als beveiliging uit de wind draaien van de rotor bij te hoge windsnelheden heeft als voordeel dat de rotor geen bewegende delen bevat.
Een tweetal systemen is hiervoor reeds lang in gebruik.

1. De ekliptische beveiliging.

   Hierbij is de staart draaibaar om een vertikale as en wordt door een veer tegen een aanslag getrokken. De rotor welke excentrisch is opgesteld, of voorzien is van een hulpvaan welke haaks op de hoofdvaan staat, oefent een koppel uit dat boven een bepaalde windsnelheid groter is dan het koppel van de veer. Boven die windsnelheid verdraait de vaan en draait de molen uit de wind.



   Dit systeem heeft de volgende nadelen:

   a. Als bij verdraaide staart de windsnelheid plotseling afneemt valt de vaan terug op de aanslag.
   b. Na een langdurige periode van weinig wind kan de vaan vastroesten.
   c. Alleen bij hoge windsnelheden is visueel waar te nemen of de beveiliging nog werkt.
   d. Een niet van roestvrij staal gemaakte veer roest snel door.

   Een voordeel is dat de rotor goed in de wind gericht blijft tot een bepaalde windsnelheid en daarboven pas wegdraait.

2. De beveiliging d.m.v. een schuine staart, zie fig. 1.
Hierbij maakt de as waar de vaan om draait een hoek δ met de as waar de toren om draait.
Door het eigen gewicht van de vaan wil deze altijd in de laagste stand gaan staan; bij verdraaing uit deze stand oefent de vaan een koppel uit op de molenkop.
Ook hier is de rotor excentrisch opgesteld zodat de molen een koppel uitoefent dat evenwicht maakt met het koppel van de vaan.
In tegenstelling met de ekliptische beveiliging is de vaan hierbij continu in beweging en draait de molen geleidelijk uit de wind bij het toenemen van de windsnelheid.
Dit systeeem is toegepast op een Engelse windmolen de SYKES 16 FOOT uit 1903 [1], wordt nog steeds met succes toegepast op de Australische Southern Cross windmolens en is toegepast op een proto type, de WP2, ontwikkeld door het National Aeronautical Laboratory uit Bangalore, India. [2].
Hoewel het technisch een zeer eenvoudige beveiliging is blijkt het systeem theoretisch door de vele parameters nogal gecompliceerd te zijn.
Voor een duidelijk begrip van het systeem is het nodig de op het systeem werkende uitwendige krachten te kennen en de momenten evenwichten om de beide draaingsassen.
De volgende afleiding geldt voor een stationaire situatie.

II. UITWENDIGE KRACHTEN.

II.1. Krachten op de rotor.

Voor een rotor welke scheef aangestroomd wordt onder een hoek α kan de windsnelheid V ontbonden worden in een snelheid $V\cos\alpha$ haaks op het rotorvalk en een snelheid $V\sin\alpha$ langs het rotorvlak.
In lit [3] wordt voor de resulterende axiale kracht bij benadering gegeven dat:

$$T_\alpha = C_t \cdot 0{,}5\ \rho\ (V\cos\alpha)^2 \cdot \pi R^2 \qquad (1)$$

C_t blijkt $\simeq$ 8/9 te zijn voor $\lambda_o < \lambda < \lambda_{onbelast}$.
Voor de resulterende zijdelingse kracht is geen eenvoudige uitdrukking bekend maar hoewel waarschijnlijk niet juist wordt voorlopig aangenomen dat analoog aan het feit dat $V\cos\alpha$ de axiale kracht bepaalt, dit voor de zijdelingse kracht gebeurt door $V\sin\alpha$.

$V\sin\alpha$ "ziet" een oppervlak O dat gelijk is aan het zijdelings geprojecteerd rotor oppervlak. We vinden dan:

$F_\alpha = C_f \cdot 0{,}5\rho\,(V\sin\alpha)^2 \cdot O$ (2)

Indien het rotor oppervlak πR^2, zou bestaan uit een dichte schijf , zouden we voor $C_t \simeq 1$ vinden.
Daar de rotor echter wel lucht doorlaat daalt C_t van 1 $\rightarrow$ 8/9.
Analoog hieraan wordt veronderstelt dat C_f ook kleiner is dan 1 en ook $\simeq$ 8/9.
Daar O klein is t.o.v. πR^2 en voor $\alpha < 45^o$ $\sin^2\alpha$ klein is t.o.v. $\cos^2\alpha$ is F_α klein t.o.v. T_α.

II.2. Krachten op de vaan.

Indien de vaan bestaat uit een vlakke plaat, werkt haaks hierop dus liggend in het vlak IJJ' een kracht F_γ.
Deze kracht grijpt aan in het aerodynamische zwaartepunt J op R_v van het scharnierpunt en wordt veroorzaakt door de scheefstand van de vaan t.o.v. de windsnelheid.
Dit is niet de ongestoorde windsnelheid V maar slechts een gedeelte hiervan n.l. a.V; één en ander t.g.v. de snelheidsvermindering door het rotorvlak
a is afhankelijk van de afstand achter het rotorvlak $\simeq R_v$ en ook van C_p maar globaal geldt $1/3 < a < 2/3$.
De werkelijke hoek γ waaronder de wind het vaanvlak treft is niet zonder meer uit de tekening af te lezen daar het vaanvlak bij verdraaing niet vertikaal blijft staan, zie hiervoor hoofdstuk VI.
Voor een vierkante vaan geldt voor $o < \alpha < 40^o$ ongeveer dat:

$F_\gamma \simeq 0{,}042 \cdot \gamma \cdot o{,}5\rho\,(a.V)^2 \cdot A_v$ (γ in graden) zie lit [3] of bij benadering dat:

$F_\gamma \simeq 2{,}6 \sin\gamma \cdot o{,}5\rho\,(a.V)^2 \cdot A_v$ (3).

II.3. Gewicht vaan.

Het totaal gewicht van de vaan + vaan arm geeft een vertikale kracht G aangrijpend in het zwaartepunt D op R_G van het draaipunt.

III. MOMENTEN EVENWICHTEN.

a). Voor het moment uitgeoefend door de rotor om de z-as geldt:

M_z (rot) = $T_\alpha . e + F_\alpha . f$

De ontbondenen van F_γ in het horizontale vlak geven een moment om de z-as groot M_z (F_γ) (zie voor afleiding hoofdstuk IV).
Voor een stationaire situatie geldt: M_z (rot) = M_z (F_γ) $\rightarrow T_\alpha . e + F_\alpha . f = M_z(F_\gamma)$ (4).
Voor het moment uitgeoefend door F_γ om de s-as geldt: $M_s(F_\gamma) = F_\gamma . R_v$.
De ontbondene van het gewicht G in het schuine circelvlak geeft een moment om de s-as groot M_s(G) (zie voor afleiding hoodstuk V).
Voor een stationaire situatie geldt $M_s(F_\gamma) = M_s(G) \rightarrow F_\gamma . R_v = M_s(G)$ (5).

IV. BEPALING $M_z(F_\gamma)$. zie fig. 2.

De kracht F_γ wordt eerst ontbonden in een richting evenwijdig aan de y-as en evenwijdig aan de lijn I.J (zie aanzicht I).
Deze laatste kracht wordt weer ontbonden evenwijdig aan de x-as en evenwijdig aan de z-as (zie aanzicht II).
Voor het totale moment t.g.v. de kracht evenwijdig aan de y-as, groot $F_\gamma \cos\beta$ en de kracht evenwijdig aan de x-as, groot $F_\gamma \sin\beta \cos\delta$, vinden we:

$M_z (F_\gamma) = F_\gamma \cos\beta (h + R_v \cos\beta \cos\delta) + F_\gamma \sin\beta \cos\delta . R_v \sin\beta \longrightarrow$

$M_z (F_\gamma) = F_\gamma . h \cos\beta + F_\gamma . R_v . \cos\delta (\cos^2\beta + \sin^2\beta) \longrightarrow$

$M_z (F_\gamma) = F_\gamma (h \cos\beta . R_v \cos\delta)$ (6)

Gelijkstelling (4) + (6)

$T_\alpha . e + F_\alpha . f = F_\gamma (h \cos\beta + R_v \cos\delta)$ (7).

V. BEPALING M_s (G). zie fig. 3.

De kracht G wordt eerst ontbonden in een richting evenwijdig aan de s-as en evenwijdig aan de lijn CD (zie aanzicht II).
Deze laatste kracht wordt weer ontbonden in de richting CD' en in een kracht haaks daarop (zie aanzicht I).
De kracht haaks op CD' groot $G \sin\delta \sin\beta$ geeft het moment om de s-as en wel zo dat:

M_s (G) = $G \sin\delta \sin\beta . R_G$ (8)

Gelijkstelling (5) + (8)

$F_\gamma \cdot R_v = G \sin S \sin \beta \cdot R_G$ (9).

VI. Bepaling van γ. zie fig. 4.

De windsnelheid V welke een hoek α maakt met het x-z vlak en evenwijdig is aan het x-y vlak wordt eerst ontbonden in een richting evenwijdig aan de x-as en in een richting evenwijdig aan de y-as (zie aanzicht I).
Deze laatste ontbondene wordt weer ontbonden in de richting IJ en in de richting van de s-as (zie aanzicht II).
De snelheden v sin α en v cos α cos δ liggende in het circelvlak worden nu ontbonden in, en haaks op het vaanvlak dat staat onder een hoek β (zie aanzicht III).
Tenslotte is in het drie dimensionale plaatje aangegeven hoe de 3 snelheidscomponenten staan t.o.v. het vaanvlak.
Als deze 3 snelheidscomponenten vektorieel samengesteld worden, leveren zij weer V als resultante op.
Voor de werkelijke hoek γ tussen V en het vaanvlak vinden we:

$$\sin \gamma = \frac{v \sin \alpha \cos \beta - v \cos \alpha \cos \delta \sin \beta}{V} \longrightarrow$$

$\sin \gamma = \sin \alpha \cos \beta - \cos \alpha \sin \beta \cos \delta$ (10)

Voor kleine hoeken δ is $\cos \delta \approx 1 \longrightarrow$

$\sin \gamma = \sin \alpha \cos \beta - \cos \alpha \sin \beta = \sin (\alpha - \beta) \longrightarrow$

$\gamma = \alpha - \beta$

Substitutie van (10) in (3) $\longrightarrow$

$F_\gamma = 2{,}6 \, (\sin \alpha \cos \beta - \cos \alpha \sin \beta \cos \delta) \, 0{,}5\rho \, a^2 . V^2 . A_v$ (11).

VII. Resultaat.

$T_\alpha \cdot e + F_\alpha . f = F_\gamma \, (h \cos \beta + R_v \cos \delta)$ (7)

$F_\gamma \cdot R_v = G \sin \delta \sin \beta . R_G$ (9)

$T_\alpha = C_t \cdot 0{,}5\rho \, V^2 . \pi R^2 \cdot \cos^2 \alpha$ (1)

$F_\alpha = C_\gamma \cdot 0{,}5\rho \, V^2 . O \cdot \sin^2 \alpha$ (2)

$$F_\gamma = 2{,}6\ (\sin\alpha\cos\beta - \cos\alpha\sin\beta\cos\delta)\ 0{,}5\rho\ a^2.V^2.A_v \qquad (11)$$

Voor niet te grote hoeken α is, daar F_α klein is t.o.v. T_α, F_α . f te verwaarlozen t.o.v. T_α . e mits f niet zeer veel groter is dan e. Formule 7 wordt dan:

T_α . e = F_γ (h cos β + R_v cos δ) (7b); formule (2) vervalt.

Nu is het in de praktijk meestal zo dat f wel groot is t.o.v. e omdat men de rotor niet te dicht langs de toren wil laten draaien. De verwaarlozing is dan alleen toegestaan voor kleine hoeken α.

Om een duidelijk inzicht in het gedrag van de beveiliging te krijgen bij hoge windsnelheden waar α behoorlijk groot kan worden moet F_α echter wel meegenomen worden.

Substitueren we (1) + (2) in (7) $\longrightarrow$

$$C_t\ .\ 0{,}5\rho\ V^2.\ \pi R^2\ .\ \cos^2\alpha\ .\ e + C_f\ .\ 0{,}5\rho\ V^2\ .\ 0.\ \sin^2\alpha\ .\ f =$$

$$2{,}6\ (\sin\alpha\cos\beta - \cos\alpha\sin\beta\cos\delta)\ 0{,}5\rho\ a^2\ V^2\ .\ A_v\ (R_v\cos\delta + h\cos\beta) \longrightarrow$$

$$\frac{C_t\ .\ \pi R^2.e}{2{,}6\ .\ a^2.A_v.h} + \frac{C_f\ .\ 0\ .\ f\ .\ tg^2\alpha}{2{,}6\ .\ a^2.A_v.h} = \frac{(\sin\alpha\cos\beta - \cos\alpha\sin\beta\cos\delta)(\frac{R_v\cos\delta}{h} + \cos\beta}{\cos^2\alpha}$$

(12).

Substitueren we (11) in (9) $\longrightarrow$

$$2{,}6\ (\sin\alpha\cos\beta - \cos\alpha\sin\beta\cos\delta)\ 0{,}5p\ a^2\ V^2\ .\ A_v\ .\ R_v = G\sin S\sin\beta\ .\ R_g$$

$$\frac{2{,}6\ .\ 0{,}5\rho\ a^2.A_v.R_v.V^2}{G\ .\ R_g} = \frac{\sin\delta\sin\beta}{\sin\alpha\cos\beta - \cos\alpha\sin\beta\cos\delta} \qquad (13).$$

Het aantal parameters kunnen we verminderen door diverse constanten aan te nemen we vinden dan voor (12)

$$\frac{C_t.C_1.C_2}{a^2} + \frac{C_f.C_3.C_4.tg^2\alpha}{a^2} = \frac{(\sin\alpha\cos\beta - \cos\alpha\sin\beta\cos\delta)\ (C_5\cos\delta + \cos\beta)}{\cos^2\alpha}$$

(14),

waarin $C_1 = \frac{\pi R^2}{2{,}6\ A_v}$, $C_2 = \frac{e}{h}$, $C_3 = \frac{0}{2{,}6\ A_v}$, $C_4 = \frac{f}{h}$ en $C_5 = \frac{R_v}{h}$

Erratum:

Op blz. 7 staat: "Uit de formules (14) + (15) is in principe een relatie te vinden tussen α en V door β te elimineren, dit blijkt echter analystisch niet mogelijk te zijn".
Dit laatste is niet juist; uit formule 14 kan β geëlimineerd worden. De verdere uitwerking hiervan wordt nog bekeken.

Voor formule (13) vinden we:

$$C_6 \cdot C_7 \cdot a^2 \cdot V^2 = \frac{\sin\delta \sin\beta}{\sin\alpha \cos\beta - \cos\alpha \sin\beta \cos\delta} \qquad (15)$$

waarin $C_6 = \dfrac{2{,}6 \cdot 0{,}5\rho \cdot A_v}{G}$ en $C_7 = \dfrac{R_v}{R_G}$

Uit de formules (14) + (15)is in principe een relatie te vinden tussen α en V door β te elimineren; dit blijkt echter analytisch niet mogelijk te zijn.
Het grote aantal parameters n.l. e, f, h, R, R_v, R_G, A_v, O, G, δ en a maakt een juiste constructieve keuze erg moeilijk.
Indien in eerste instantie echter globaal uitgegaan wordt van de verhoudingen zoals die gelden voor de Wp2 molen, omdat daar een tekeningenpakket van beschikbaar is, moet het verband tussen α en V gevonden kunnen worden.
Daarmee kan in principe bepaald worden hoe het toerental, het koppel, de axiale kracht en het vermogen afhangen van V op dezelfde manier als dat is gedaan in het rapport "Beveiliging windmolen door kantelbare rotor [4].

VIII. De Wp2 molen [2] zie bijlage 1.

De Wp2 molen heeft een rotor van het Amerikaanse type; aantal bladen = 12, solidity ≈ 50%, $\lambda_o \approx 1{,}3$.
Op bijlage 1 zijn voor deze molen de zo nauwkeurig mogelijk bepaalde parameters en constanten weergegeven zoals gebruikt in voornoemde formules.
Wat opvalt is dat door de zeer kleine slankheid van de vaan en het grote gewicht van de vaan t.o.v. de vaanarm, R_G groter is dan R_v.
Voor R_v is aangenomen dat deze aangrijpt op 0,25 van de vaanbreedte vanaf de voorzijde van de vaan.
Daar de verhouding $\frac{f}{e}$ nogal groot is zal de invloed van M_x (F_α) voor grotere hoeken α niet meer te verwaarlozen zijn t.o.v. M_x (T_α).
Na het invullen van de constanten van de Wp2 molen in de formule (14) waarbij aangenomen is dat $C_t = 8/9$, $C_f = 8/9$ en a = 0,5 vinden we:

$$\frac{8.2{,}48.0{,}138}{9.0{,}5^2} + \frac{8.0{,}154.2{,}04,\mathrm{tg}^2\alpha}{9.0{,}5^2} = \frac{(\sin\alpha \cos\beta - \cos\alpha \sin\beta \cos 17^o)\ (4{,}80 \cos 17^o + \cos\beta)}{\cos^2\alpha} \longrightarrow$$

$$1{,}22 + 1{,}11\ \mathrm{tg}^2\alpha = \frac{(\sin\alpha \cos\beta - 0{,}956 \cos\alpha \sin\beta)\ (4{,}59 + \cos\beta)}{\cos^2\alpha} \qquad (16)$$

Hierin wordt de term 1,11 $tg^2\alpha$ veroorzaakt door de zijdelingse kracht F_α; voor $\alpha = 45^o$ is deze term al 1,11 en dus duidelijk niet meer te verwaarlozen t.o.v. de term 1,22 veroorzaakt door T_α.

Na invulling in formule 15 vinden we:

$$0{,}010 \,.\, 0{,}888 \,.\, 0{,}5^2 \,.\, V^2 = \frac{\sin 17^o \,.\, \sin\beta}{\sin\alpha \cos\beta - \cos\alpha \sin\beta \cos 17^o} \longrightarrow$$

$$V^2 = \frac{450 \,.\, 0{,}292 \sin\beta}{\sin\alpha \cos\beta - 0{,}956 \cos\alpha \sin\beta} \longrightarrow V = \sqrt{\frac{131{,}4 \sin\beta}{\sin\alpha \cos\beta - 0{,}956 \cos\alpha \sin\beta}} \qquad (17)$$

Na invulling van diverse waardes van α in formule (16) vinden we de bijbehorende waardes van β.

Na invulling van 2 bij elkaar behorende waardes van α en β in formule 17, vinden we de bijbehorende waarde van V.

Dit is gedaan voor diverse waardes van α in bijlage 2, waarbij in de 1^e kolom alleen de invloed van T_α meegenomen is ($1{,}11\ tg^2\alpha = o$) en in de 2^e kolom die van $T_\alpha + F_\alpha$.

Tevens is de waarde $V^2 \cos^2\alpha$ genoteerd die een maat is voor het koppel M, de axiale kracht T_α en de centrifugale kracht F_c.

In bijlage 3 + 4 zijn de waardes grafisch uitgezet.

Wat opvalt is dat er een instabiel gebied is tot $\alpha = 12{,}048^o$ resp. $12{,}55^o$.

In dit gebied is β te klein om een evenwicht om de x-as te kunnen verkrijgen.

Om te voorkomen dat de molen hierdoor ook bij lage windsnelheden altijd scheef op de wind staat, is het gunstig de rotor een scheefstelling $\alpha_o \approx 15^o$ te geven tegen de bewegingsrichting van α in.

In de formules voor F_α en T_α moeten we dan i.p.v. α, $(\alpha - \alpha_o)$ schrijven.

Indien de invloed van F_α verwaarloosd wordt heeft de beveiliging ongeveer dezelfde eigenschappen als die van de kantelrotor [4].

De invloed van F_α maakt echter dat er een reeële waarde voor V is (≈23,5 ./sec) waarbij α 90° of groter wordt.

Om te voorkomen dat ook β 90° of groter wordt, wat tot gevolg zou hebben dat de vaan tussen de rotor bladen staat, moet er een aanslag voor de vaan aanwezig zijn.

LITERATUUR.

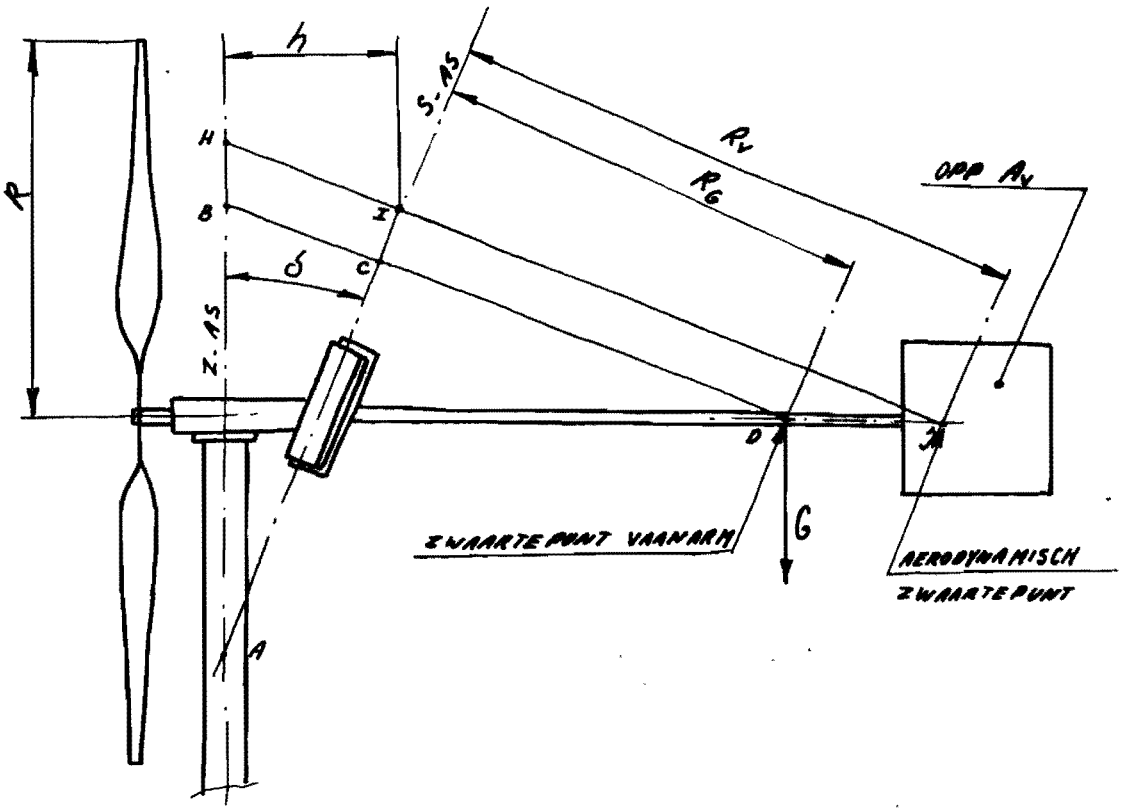
[1]. The royal agricultural society's windmill trials.
The Engineer, May 1903, pag. 431.

[2]. Instructions for installation and maintenance of WP-2 windmill.
National Aeronautical Laboratory , Bangalore, India, May 1963.

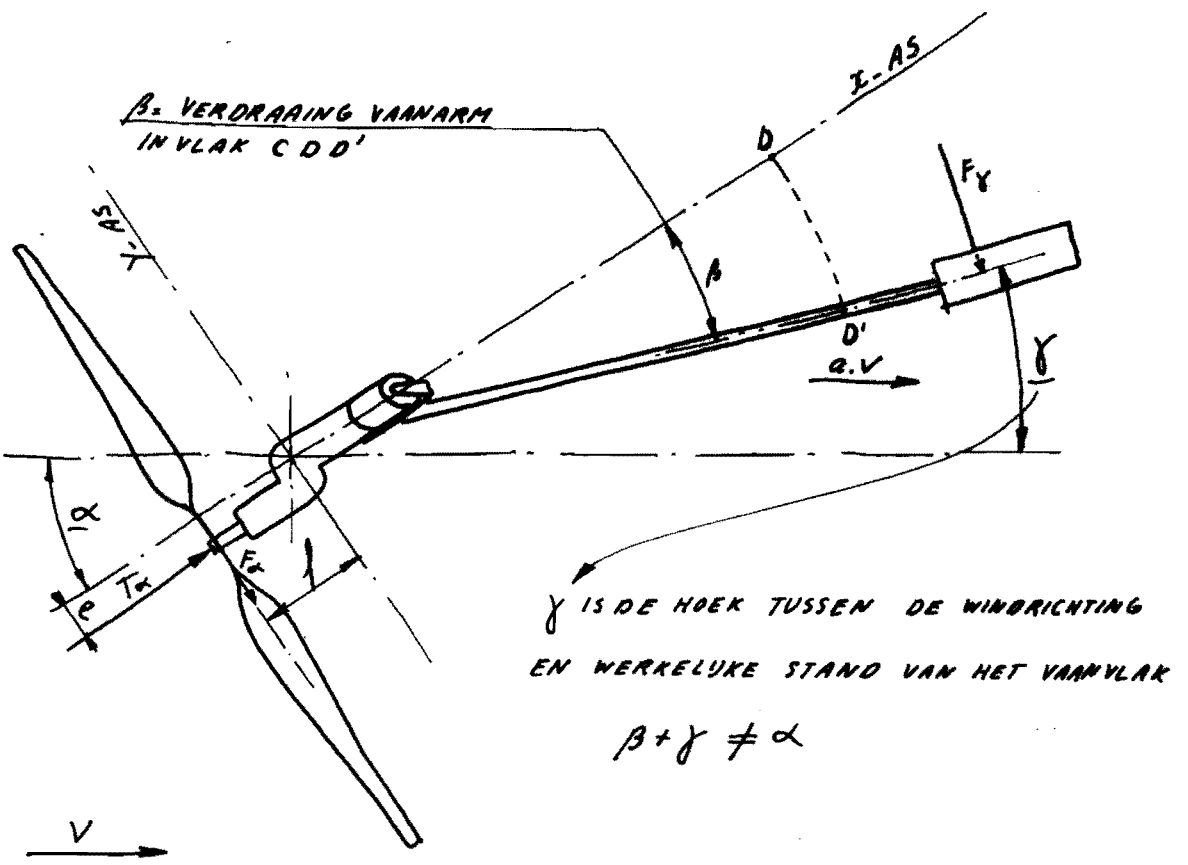
[3]. Kinderen W. der and Meel J. van.
Field performance of wind power machines:
System analysis and measuring methods.
Application to a small wind generator.
NR 76/118.

[4]. Kragten A.
Beveiliging windmolen door kantelbare rotor.
April 1977, R-284 D.

fig 1

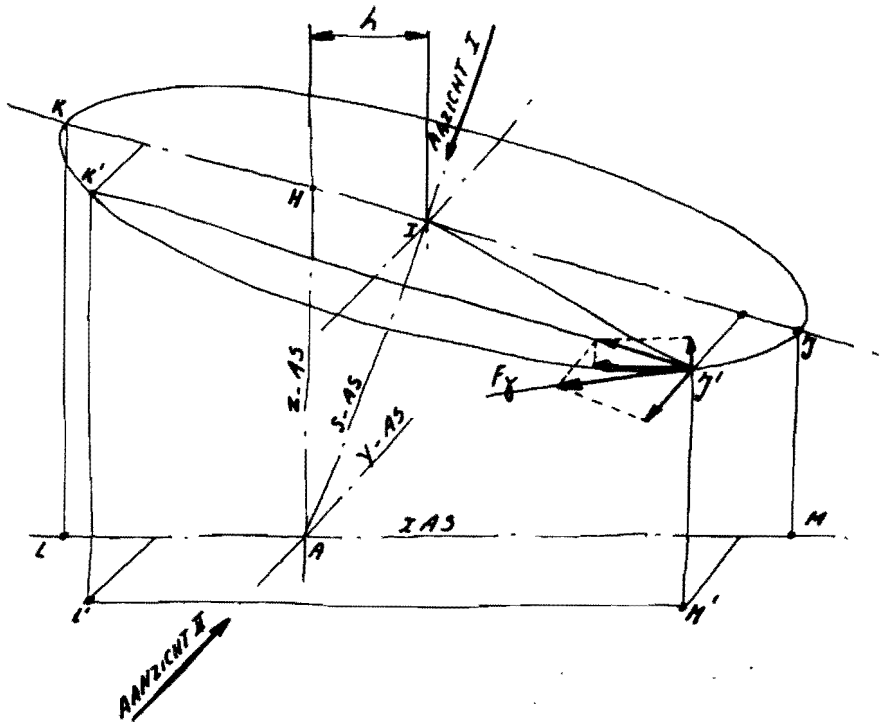


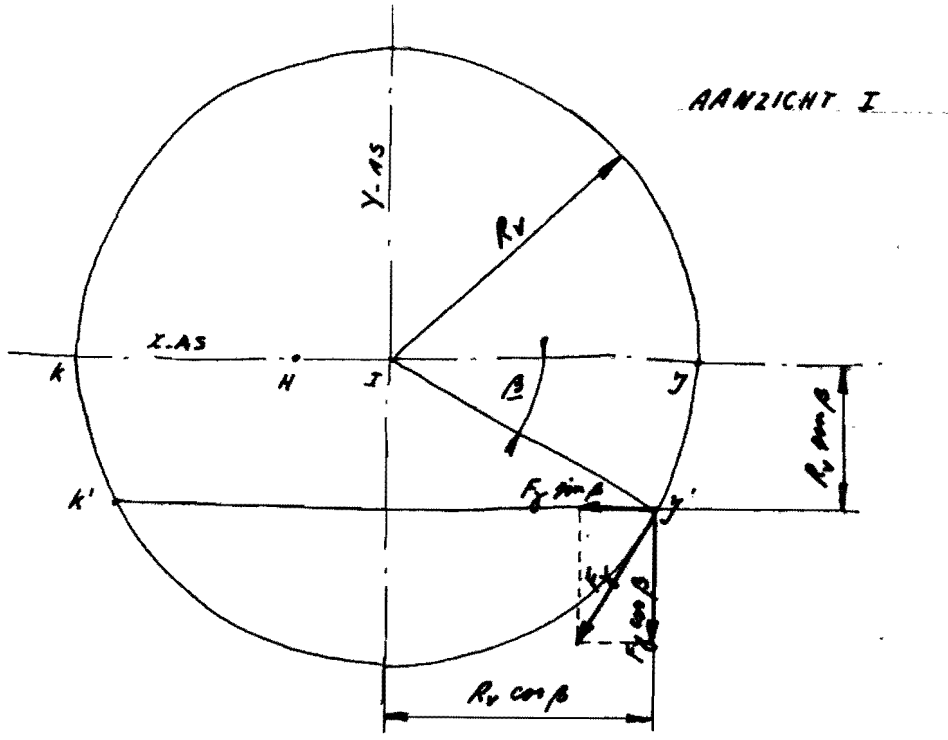
ZY AANZICHT VOOR α EN β = 0

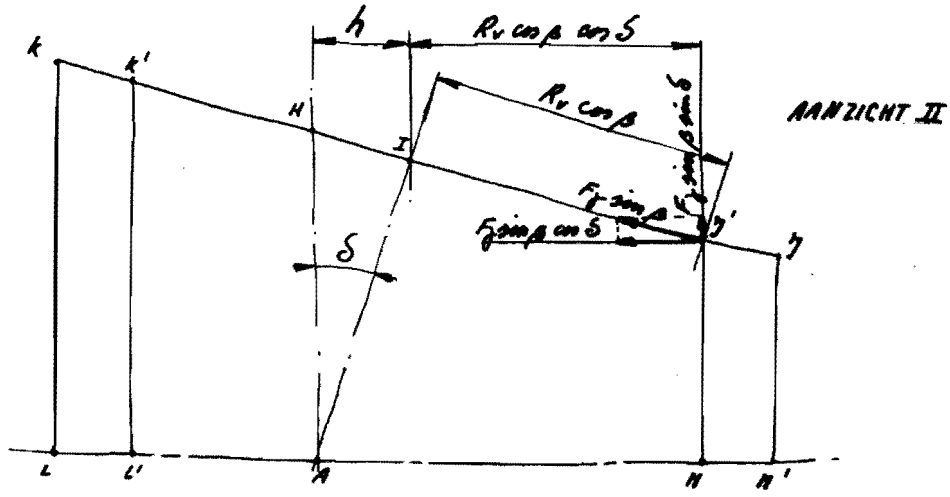


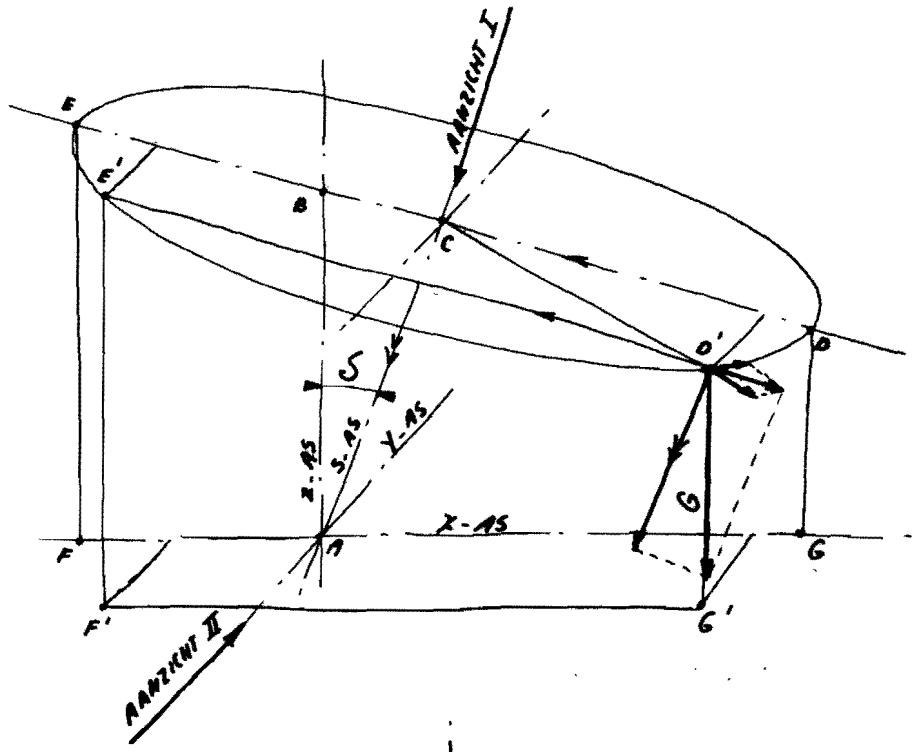
BOVEN AANZICHT

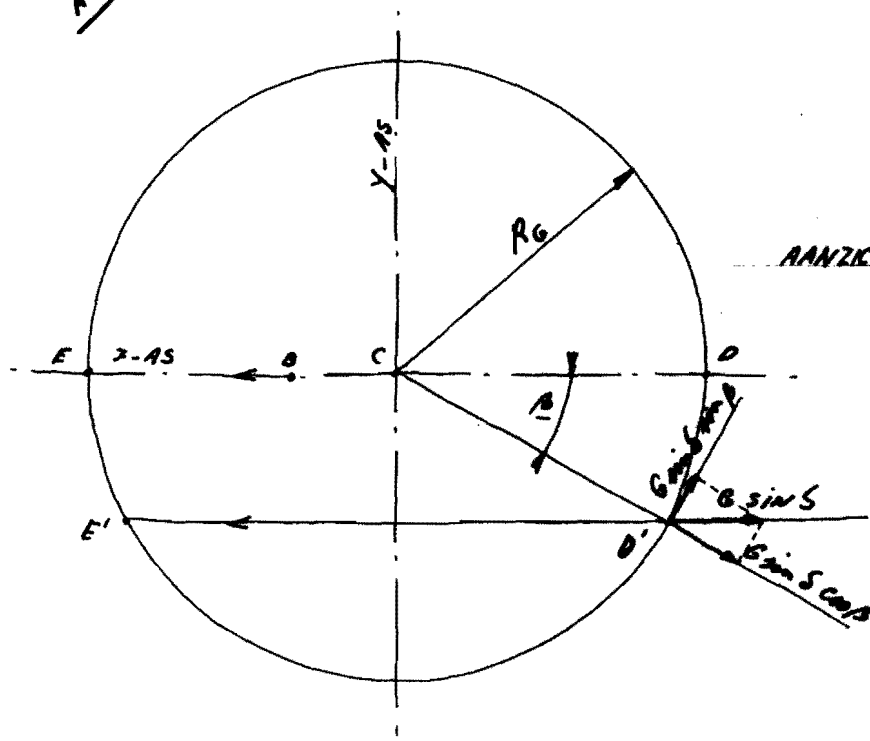
fig. 2


h
AANZICHT I
K
K'
H
I
J
J'
Z-AS
S-AS
Y-AS
X AS
L
A
M
L'
H'
AANZICHT II


AANZICHT I
Y-AS
Rv
X-AS
k
H
I
β
J
Rv sin β
k'
Fy sin β
J'
Fy cos β
Rv cos β


h
Rv cos β cos δ
k
k'
H
I
Rv cos β
Fy sin β sin δ
AANZICHT II
Fy sin β
Fy sin β cos δ
J'
J
δ
L
L'
A
H
H'


AANZICHT I
E
E'
B
C
D'
D
δ
Z-AS
S-AS
Y-AS
G
X-AS
F
A
G
F'
G'
AANZICHT II


Y-AS
RG
AANZICHT I
E
Z-AS
B
C
D
β
G cos δ sin β
G sin δ
E'
D'
G sin δ cos β

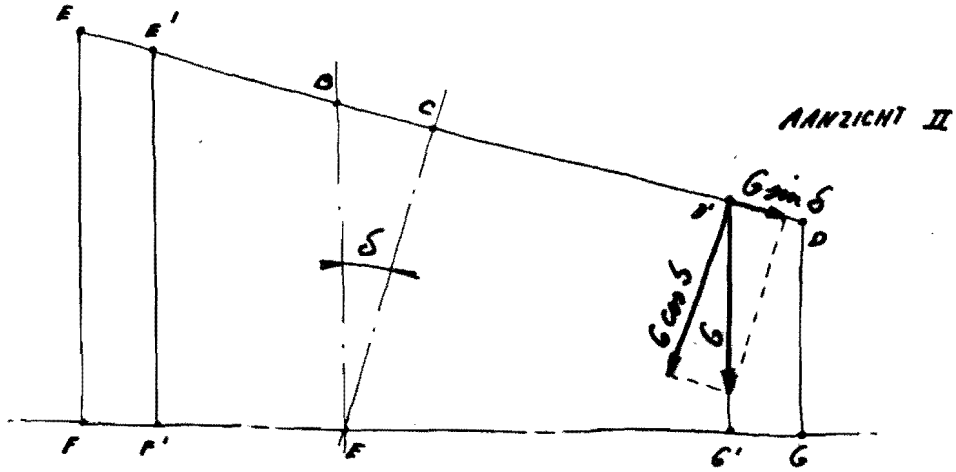
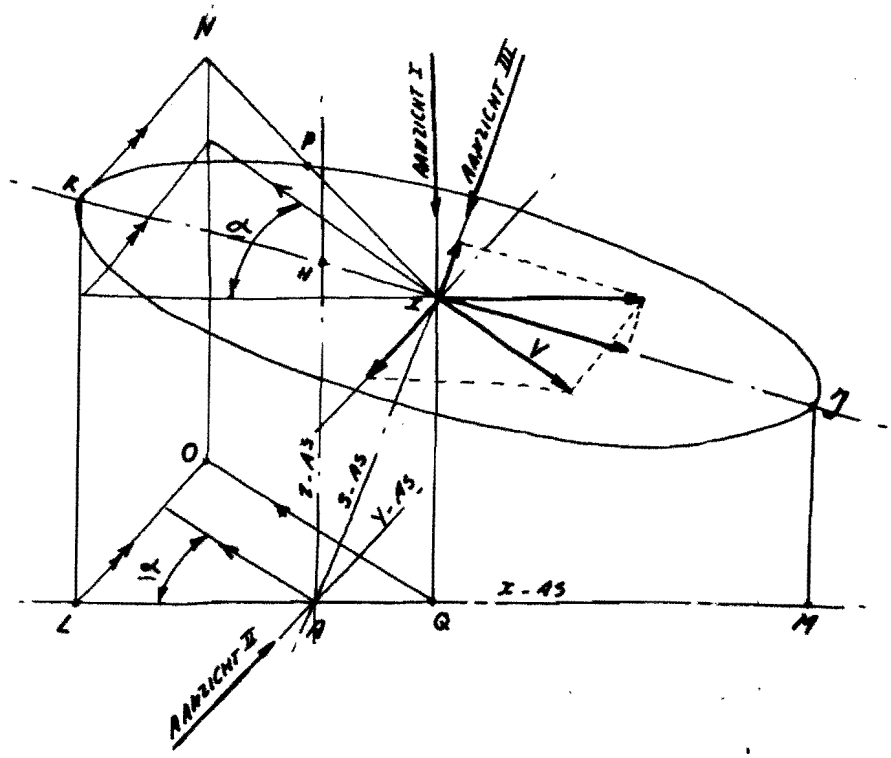
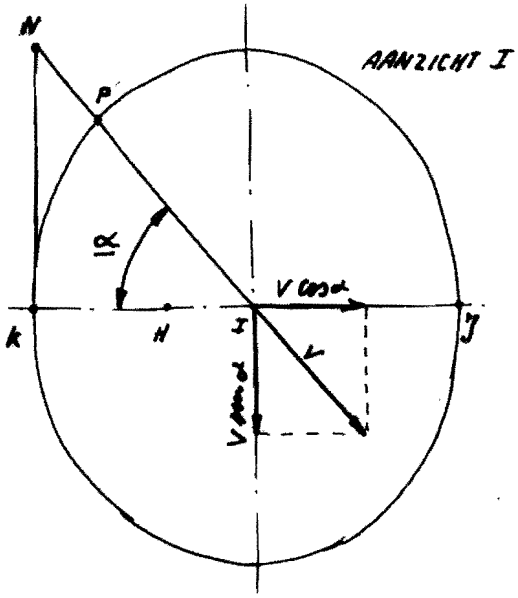
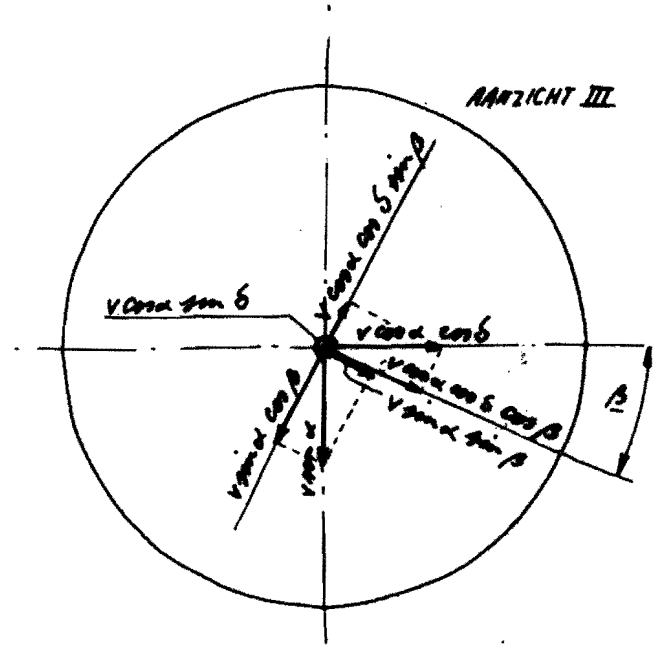
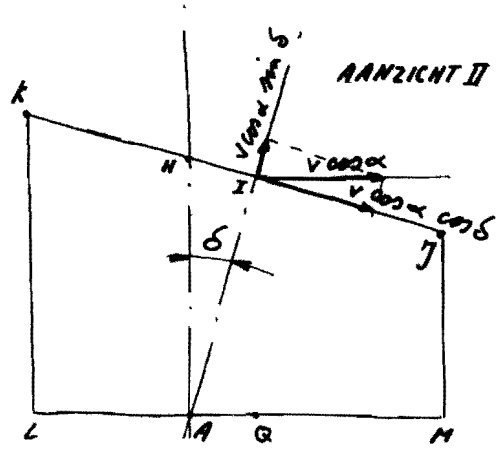

E
E'
B
C
AANZICHT II
G sin δ
D'
D
δ
G cos δ
G
F
F'
E
G'
G

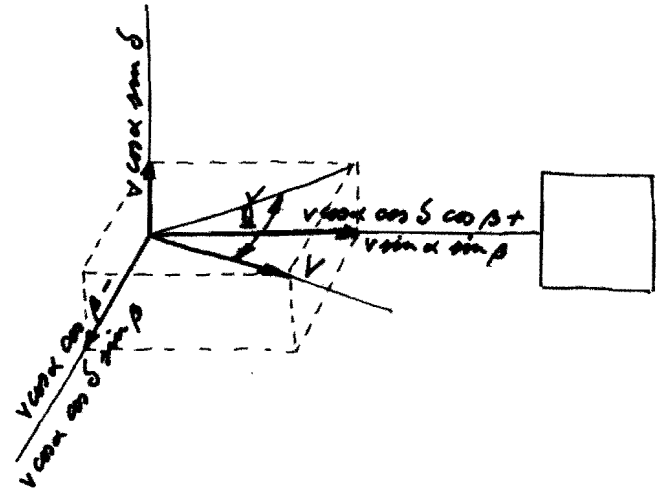
fig. 4


N
P
K
α
H
I
V
J
O
Z-AS
S-AS
Y-AS
X-AS
L
A
Q
M
AANZICHT I
AANZICHT III
AANZICHT II

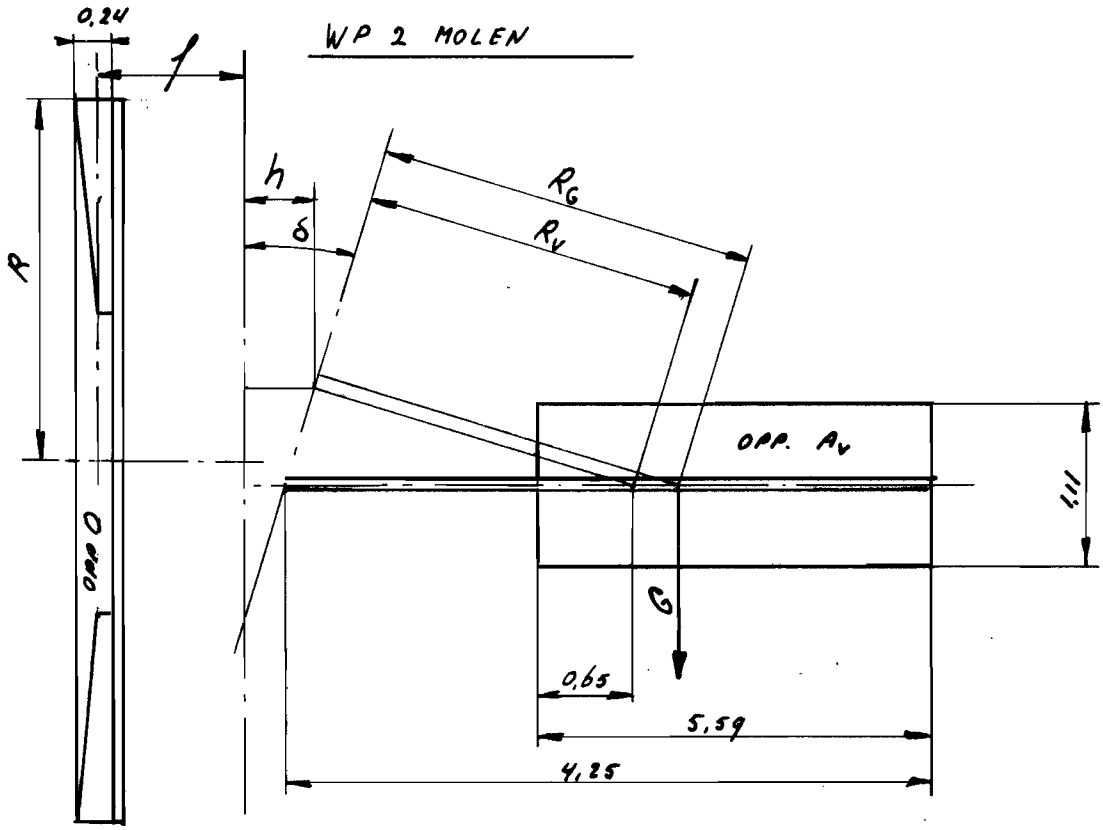

AANZICHT I
N
P
α
V cos α
K
H
I
J
V
V sin α

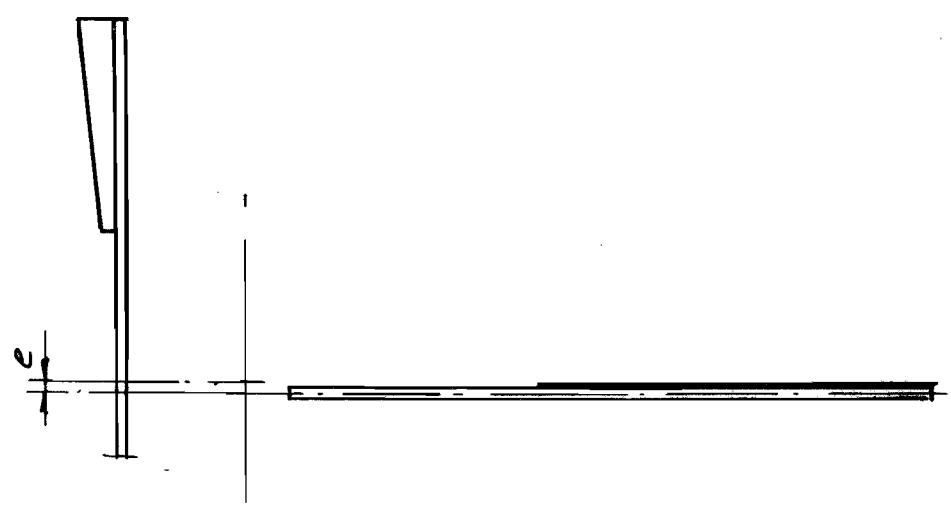

AANZICHT III
V cos α sin δ
V cos α sin δ
V cos α cos δ
V cos α cos δ cos β
V sin α sin β
V sin α cos β
V sin α
β


AANZICHT II
K
V cos α sin δ
H
I
V cos α
V cos α cos δ
δ
J
L
A
Q
M


V cos α sin δ
V
V cos α cos δ cos β +
V sin α sin β
V
V cos α cos β
V cos α cos δ sin β

WP 2 MOLEN





e	0,0635	m
l	≈ 0,94	m
h	≈ 0,46	m
R	2,438	m
R_V	≈ 2,21	m
R_G	≈ 2,49	m
A_V	2,9	m^2
O	≈ 1,16	m^2
G	≈ 450	N
δ	17	°

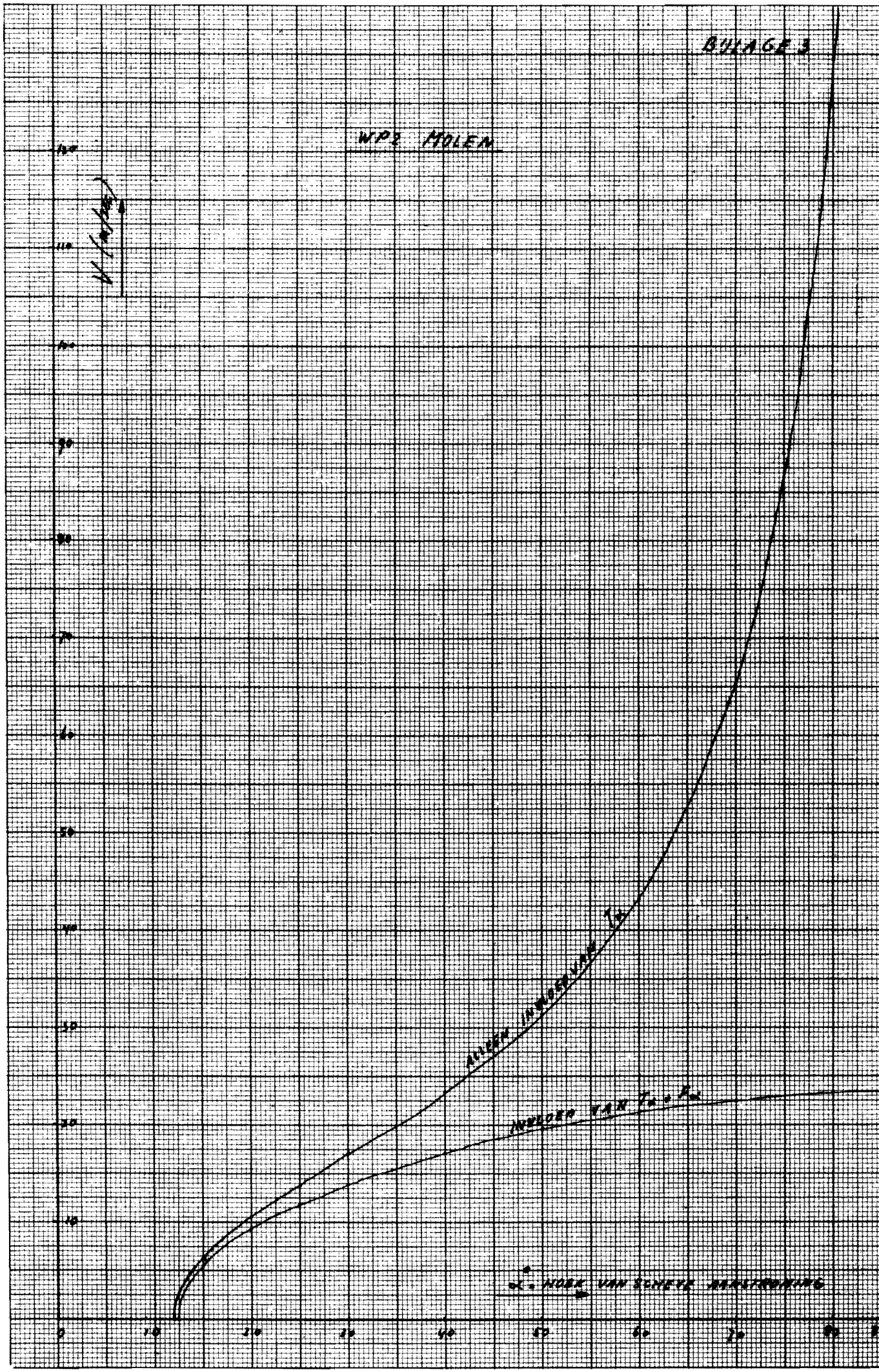
C_1	$\frac{\pi R^2}{2,6\, A_V}$	2,48	
C_2	$\frac{e}{h}$	0,138	
C_3	$\frac{O}{2,6\, A_V}$	0,154	
C_4	$\frac{l}{h}$	2,04	
C_5	$\frac{R_V}{h}$	4,80	
C_6	$\frac{2,6 \cdot 0,5 \cdot \rho \cdot A_V}{G}$	0,010	$\frac{sec^2}{m^2}$
C_7	$\frac{R_V}{R_G}$	0,888	

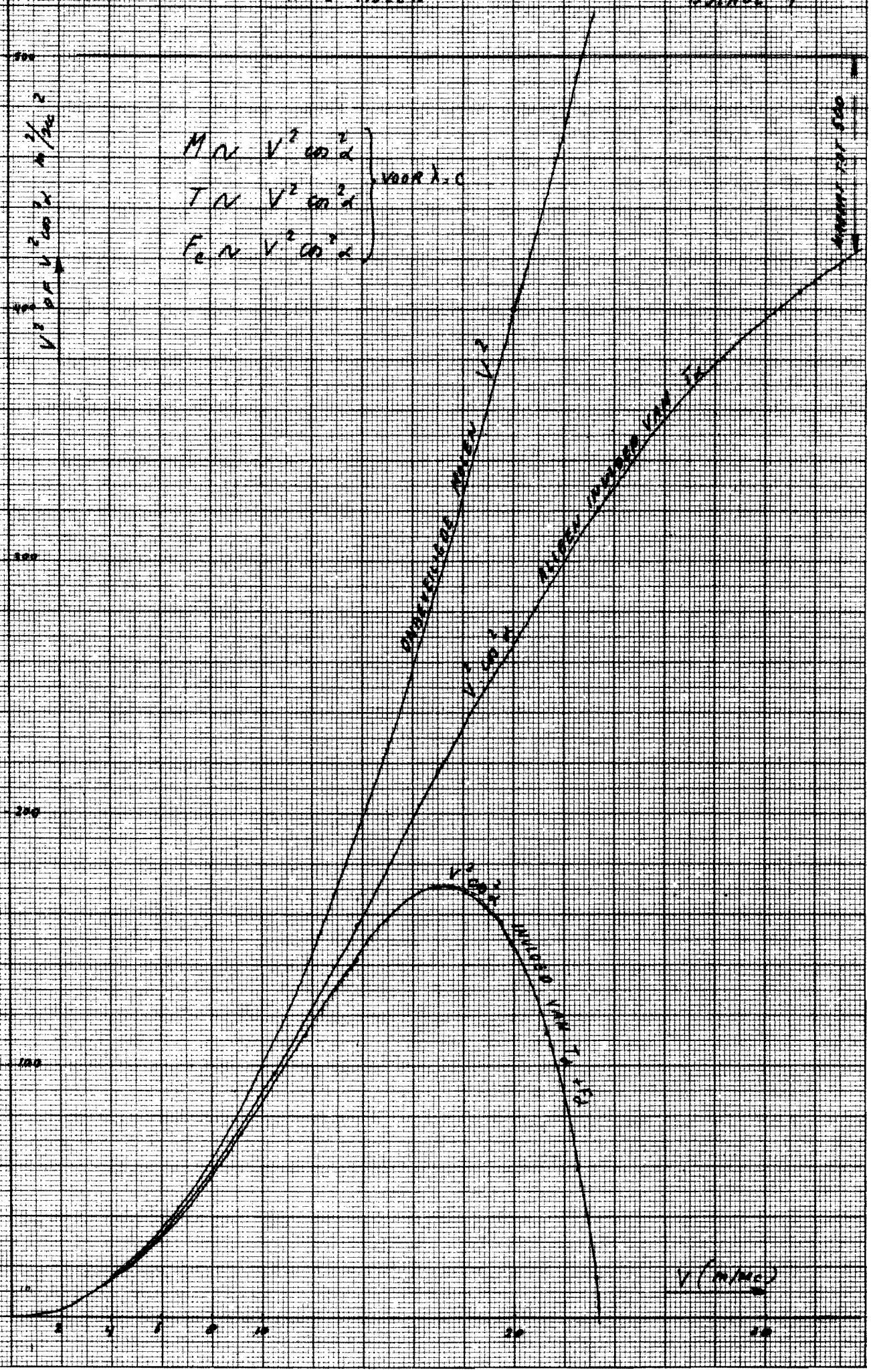
WP2 MOLEN

	ALLEEN INVLOED VAN T_α			INVLOED VAN $T_\alpha + F_\alpha$		
α°	β°	V(m/sec)	$V^2\cos^2\alpha$	β°	V(m/sec)	$V^2\cos^2\alpha$
5						
10	INSTABIEL TOT α =		12,048°	INSTABIEL TOT α =		12,55°
12,048 12,55	0	0	0	0	0	0
15	3,40	6,18	36,89	2,58	5,22	25,42
20	9,25	10,5	97,35	7,84	9,10	73,12
25	15,21	13,8	156,42	13,1	11,7	112,44
30	21,3	17,0	216,75	18,3	13,8	142,83
40	33,5	23,4	321,32	25,5	17,1	171,59
50	45,7	31,4	407,37	38,6	19,5	157,11
60	57,7	43,2	466,56	46,5	21,3	113,42
70	69,2	65,2	497,27	58,1	22,5	59,22
80	79,9	129,5	505,68	67,5	23,3	16,37
85	85,1	256,9	501,32	72,1	23,5	4,19
104,7				90	23,2	—

BIJLAGE 3

WPZ MOLEN




$M \sim V^2 \cos^2\alpha$
$T \sim V^2 \cos^2\alpha$
$F_e \sim V^2 \cos^2\alpha$
VOOR λ = C
$V^2 \rho F V^2 \cos^2\alpha$ kg/m²
500
400
300
200
100
2
4
6
8
10
20
30
V (m/sec)