

S P R E N G E R I N S T I T U U T

Haagsteeg 6, 6708 PM Wageningen

Tel.: 08370-19013

*(Publikatie uitsluitend met
toestemming van de directeur)*

RAPPORT NO. 2258

H.A.M. Boerrigter (SI) en H. Bouman
(CT-Hoorn)

BEPALING VAN DE ENERGIEBESPARING MET EEN
PLATENWARMTEWISSELAAR IN HET VENTILATIE-
KANAAL VAN EEN HEETSTOOKCEL VOOR HYACINTEN

Uitgebracht aan de directeur van het Sprenger Instituut
Project no. 147 (januari 1984)

I N H O U D

	blz.
Samenvatting	
1. Inleiding en doel van het onderzoek	1
2. Proefopzet en uitvoering	1
3. Meetresultaten	5
3.1. Luchthoeveelheidsmetingen	5
3.2. Drukmetingen	6
3.3. Relatieve vochtigheidsmetingen	6
3.4. Temperatuurmetingen	7
4. Bepaling van het temperatuurrendement	10
5. Energiebesparing	12
6. Kostenbesparing	14
7. Discussie	15
8. Conclusies	16
Literatuur	17

SAMENVATTING

De heetstookbehandeling van hyacintenbollen vraagt veel energie door de ventilatiehoeveelheid van 160 m^3 lucht per m^3 produkt per uur. In dit rapport zijn meetresultaten en energieberekeningen weergegeven betreffende de werking van een platenwarmtewisselaar in het ventilatiekanaal van een heetstookcel.

Bij zo'n warmtewisselaar wordt de in- en uitgaande luchtstroom kruislings langs elkaar gevoerd en zijn gescheiden door dunne geribbelde platen waarbij in dit geval de ingaande lucht wordt opgewarmd en de uitgaande lucht wordt gekoeld.

De gemeten werkingsgraad (temperatuurrendement) van de warmtewisselaar is 62,3% en komt overeen met de opgave van de leverancier (63%).

Gedurende de periode dat de temperatuurregistratie plaatsvond in de bewuste heetstookcel werd op deze wijze tijdens het heetstookseizoen '83 een aardgasbesparing van 4285 m^3 bereikt. Het extra verbruik aan elektriciteit gedurende dezelfde periode bedroeg 1023 kWh. Dit alles bij een ventilatie van $6000 \text{ m}^3/\text{h}$.

Of de investering economisch verantwoord is wordt ter beoordeling aan de ondernemer overgelaten. Zo'n besluit kan gebaseerd worden op de netto-contante-waarde rekenmethode en een zelf te bepalen terugverdientijd.

Het bespaarde saldo na diverse termijnen bedraagt:

<u>Termijn in jaren</u>	<u>Bespaard saldo</u>
1	f 2.083,--
2	4.070,--
3	5.965,--
4	7.772,--
5	9.496,--
6	11.139,--
7	12.706,--
8	14.201,--
9	15.627,--
10	16.987,--

1. INLEIDING EN DOEL VAN HET ONDERZOEK

Bij de heetstook van hyacinten wordt een ventilatiehoeveelheid voorgeschreven van 160 m³ lucht per m³ produkt per uur.

Door de relatief hoge temperaturen tijdens de heetstook (resp. 30°C, 38°C, 44°C) die nodig zijn om de geelziekbacterie (*Xanthomonas hyacinthi*) te doden, is het energieverbruik bij deze schuurbehandeling zeer hoog.

Het voor de hand liggende gebruik van warmtewisselaars in het ventilatiekanaal werd tot nog toe op een enkele uitzondering na niet toegepast. De werking van zo'n warmtewisselaar dient zodanig te zijn, dat de energiebesparing opweegt tegen de investering in een dergelijk apparaat.

Installateur W.J. Wilms b.v. uit Den Helder heeft bij bloembollenkweker N.F. van de Ploeg in Julianadorp een Klima-warmtewisselaar geïnstalleerd als proefproject in een heetstookcel.

Zowel kweker, installateur en leverancier als voorlichting en onderzoek achtten het zinvol om op basis van metingen een waarde-oordeel over de mate van energiebesparing met zo'n warmtewisselaar te kunnen geven.

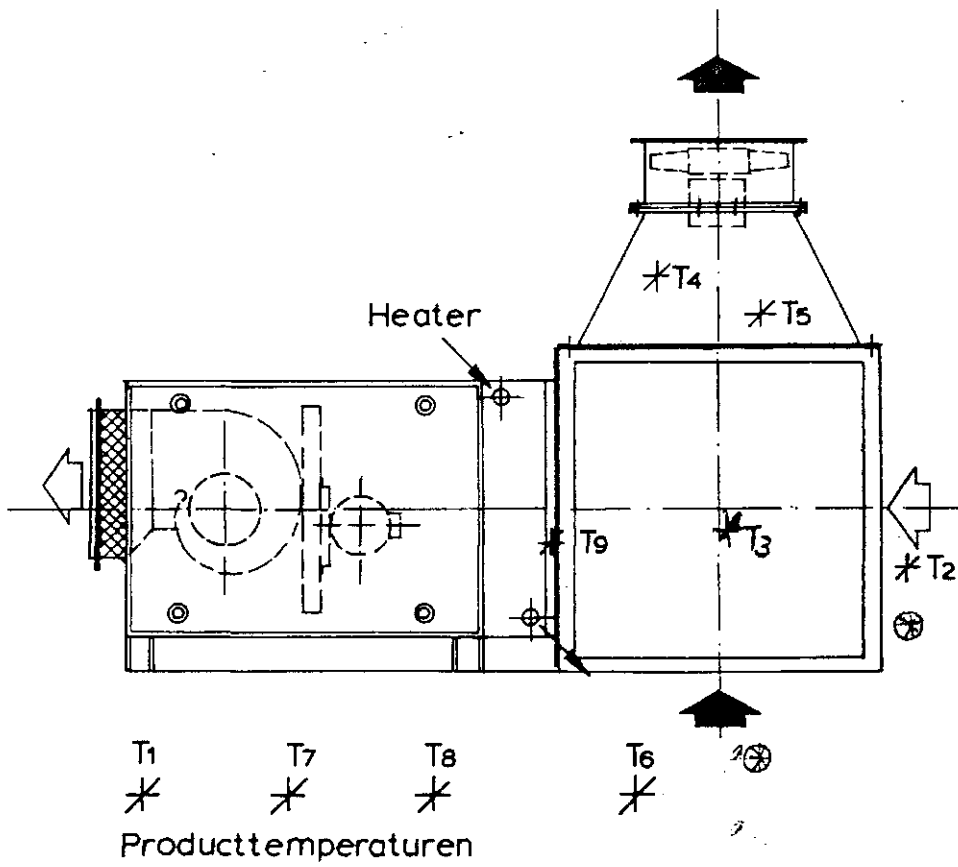
In dit rapport zijn de resultaten weergegeven van de metingen die zijn verricht aan bovengenoemde installatie tijdens nagenoeg de gehele opslagperiode. Tijdens de in- en uitslagperiode (ca. 2 weken) is de temperatuurregistratie gestopt. Nagegaan is of de toepassing van een warmtewisselaar kan leiden tot voldoende energiebesparing om de investering financieel verantwoord te laten zijn.

2. PROEFOPZET EN UITVOERING

In de heetstookcel worden de warmte uitwisselende luchtstromen kruislings door de warmtewisselaar geleid. Door meting van buitentemperatuur, celtemperatuur en van de temperatuur na de warmtewisselaar van beide luchtstromen is de werkingsgraad van de warmtewisselaar te berekenen.

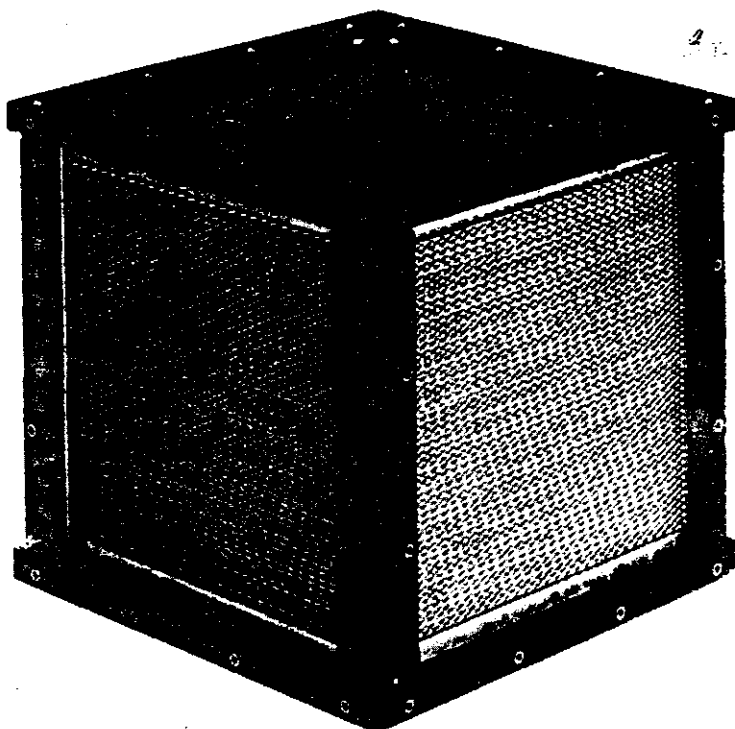
Deze werkingsgraad wordt temperatuurrendement genoemd. Omdat condensatie van vocht in een warmtewisselaar de werking sterk kan beïnvloeden zijn tevens met behulp van thermohygrografen relatieve vochtigheidsmetingen uitgevoerd om vast te kunnen stellen of er condensatie optreedt.

In figuur 1 is de luchtbehandelingsinstallatie in zijaanzicht weergegeven. De zwarte pijlen geven de uitgaande luchtstroom aan; de open pijlen de ingaande luchtstroom.



Figuur 1. Luchtbehandelingsinstallatie in heetstookcel

Onderstaande figuur 2 is een foto van een standaard-module



Figuur 2.

Het vlakke en geribbelde platenstelsel zorgt voor een groot warmte-uitwisselend oppervlak. De platen zijn van aluminium en door lak beschermd tegen corrosie (tweezijdig). In deze proef is model nr. 10 met een pakkethoogte van 900 mm geïnstalleerd. Het gewicht van deze module is 62,5 kg. Het inwendige warmteuitwisselende oppervlak is 299 m² (opgave leverancier).

De heater bevindt zich direct na de warmtewisselaar (zie figuur 1). De plaatsen waar de temperatuur gemeten werd staan met + weergegeven. Het symbool * geeft een r.v.-meetplaats aan. Voor een goede warmte-overdracht moeten de luchtstromen in en uit gelijk zijn. Met behulp van luchtsnelheidsmeters zijn deze hoeveelheden gecontroleerd.

Uit literatuur (lit. 1) blijkt dat vervuiling het temperatuurrendement desastreus kan beïnvloeden.

Na overleg met de installateur is een stoffilter geplaatst met weinig luchtweerstand. Door middel van statische drukmetingen is nagegaan of er sprake was van vervuiling tijdens de proef. Het stoffilter werd geplaatst in een plastic slang ϕ 98,5 cm die aan de onderkant van de w.w. werd bevestigd waardoor de lucht op ca. 30 cm boven de vloer afgezogen werd. De door de w.w. en heater verwarmde lucht werd via een geperforeerde plastic slang over de lengte van de cel verdeeld. In onderstaande tabel is een overzicht van de situatie weergegeven.

Tabel 1. Heetstookcel met warmtewisselaar in ventilatiekanaal

Afmetingen: L - B - H ₁ - H ₂ (m)	6 x 4,8 x 5,5 - 4,2 (m) (schuin plafond)
Fusttype en aantal	gaasbakken: 940 stuks
Produkt	plantgoed hyacint: 940 x 25 l = 23,5 m ³
Verwarmingssysteem	meng-injectiesysteem (PI-regeling)
Luchtverdeling	1 radiaalventilator P = 1500 W*
	1 axiaalventilator P = 550 W*
	1 plafondventilator P = 550 W
Ventilatie	6000 m ³ /h = $\frac{6000}{23,5} = 255 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^3 \text{ prod.}$

* Opgave door installateur

In tabel 2 staat de plaatsing van de thermokoppels weergegeven. De temperatuurmeting werd uitgevoerd met een 24-punts Honeywell recorder en koper-constantaan thermokoppels.

Tabel 2. Plaats van de thermokoppels in de heetstookcel

koppel no.	Plaats
1	Produkttemperatuur, tussen de bollen bij de deur
2	Buitentemperatuur bij luchtrooster
3	In de warmtewisselaar op halve hoogte
4	Temperatuur uitgaande lucht na de w.w.
5	Temperatuur uitgaande lucht na de w.w.
6	Celluchttemperatuur in plastic aanzuigslang voor de w.w.
7	Produkttemperatuur tussen de bollen midden in de cel 7 ^e blok
8	Produkttemperatuur tussen de bollen achter in de hoek 3 ^e bak boven
9	Temperatuur na de w.w. (opgewarmde lucht) voor de heater

Het temperatuurrendement wordt berekend als volgt:

$$\eta = \frac{\text{massa stroom lucht in}}{\text{massa stroom lucht uit}} \cdot \frac{(\text{temperatuur opgewarmde lucht} - \text{buitentemperatuur})}{(\text{celluchttemperatuur} - \text{buitenluchttemperatuur})} \cdot 100\%$$

$$\text{d.w.z. dat } \eta = \frac{\dot{M}_1}{\dot{M}_2} \cdot \frac{T_9 - T_2}{T_6 - T_2} \cdot 100\%$$

Wij stellen dat $\frac{\dot{M}_1}{\dot{M}_2} = 1$. Deze factor wordt bepaald door o.a. de vochtafgifte van het produkt. Bij een hoge vochtafgifte stijgt het watergehalte en daarmee \dot{M}_2 . Bij hyacinten is de vochtafgifte zeer gering dus ook een geringe toename van de massastroom uit.

Omdat de soortelijke massa door de warmere uitgaande lucht lager is daalt \dot{M}_2 . Het resultaat van deze effecten is, in dit geval, dat \dot{M}_1 gelijk is aan \dot{M}_2 .

De energiebesparing wordt als volgt berekend:

$$Q_1 = \sum \dot{V}_1 \cdot \rho_l \cdot C_p \cdot \Delta T \cdot \eta \cdot \Delta t$$

Q_1 = energiebesparing in kJ

ρ_l = soortelijke massa van de lucht in kg/m^3

\dot{V}_1 = volumestroom ventilatielucht in m^3/h

C_p = soortelijke warmte $\text{kJ/kg} \cdot \text{K}$

ΔT = temperatuurverschil tussen celluchttemperatuur en buitentemperatuur

η = temperatuurrendement over de ingaande lucht

Δt = tijdverschil tussen 2 metingen, d.w.z. dat in de berekening het actuele temperatuurbeeld voor 6 uur of 3 uur gerekend wordt. In een periode van 1860 uur

is 330 keer gemeten

Σ = cumulatief. De hoeveelheid besparing van iedere periode wordt opgeteld.

De besparing kan worden vertaald in energiebesparing uitgedrukt in m³ aardgas of in geld.

Voor de berekening van de besparing hanteren we de volgende uitgangspunten:

1. De verbrandingswaarde van 1 nm³ Slochteren-aardgas is 35,2 MJ.
Dit is de zogenaamde bovenwaarde. Bron: Gasunie, SVEN.
2. Uitgaande van de bovenwaarde is het rendement voor een ketelinstallatie zonder rookgascondensor ca. 70%.
3. Het elektriciteitsverbruik van de extra axiaalventilator is een kostenpost ten nadele van de energiebesparing.
4. Een extra zware heaterventilator met een daardoor hoger elektriciteitsverbruik is noodzakelijk om de drukval over en heater en warmtewisselaar te overbruggen maar wordt niet meegerekend. De aan de lucht toegevoerde energie wordt nl. omgezet in warmte en bespaart aardgas. Warmte via elektra is weliswaar duurder maar een iets lagere te installeren verwarmingscapaciteit, compenseert deze post in voldoende mate.

3. MEETRESULTATEN

3.1. Luchthoeveelheidsmetingen

Op enkele data zijn luchthoeveelheden gemeten. Behalve voor het vaststellen van de juiste hoeveelheid ventilatielucht waren de metingen ook bedoeld om achteruitgang van de luchthoeveelheid door eventuele vervuiling vast te stellen.

In onderstaande tabel 3 zijn de meetresultaten weergegeven. De metingen zijn uitgevoerd met een Wallac luchtsnelheidsmeter en een Lambrecht vleugelradanemometer.

Tabel 3. Ventilatieluchthoeveelheid van de heetstookcel

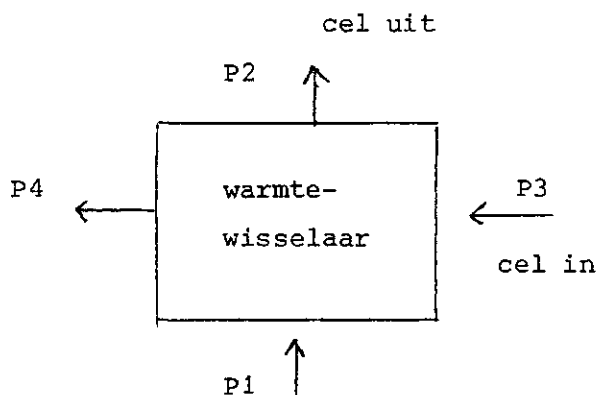
datum	ingående lucht (m ³ /h)	uitgaande lucht (m ³ /h)
12- 7	5850	5930
25- 7	5680	-
1- 9	5410	5470
13-10	5790	5700

De verschillen in in- en uitgaande lucht zijn verwaarloosbaar klein. Voor de berekening van het temperatuurrendement heeft derhalve geen correctiefactor in rekening te worden gebracht. Op basis van deze luchtmetingen is geen vervuiling aantoonbaar waardoor de opbrengst beïnvloed wordt.

3.2. Drukmetingen

Een groter wordend drukverschil over de warmtewisselaar in de loop van de opslagperiode zou ook duiden op vervuiling.

In onderstaande tabel 4 zijn de meetresultaten van deze drukmetingen weergegeven. Het meetinstrument was een Lambrecht schuine-buis manometer.



Figuur 3. Plaats van de drukmeetpunten

Tabel 4. Drukmetingen warmtewisselaar

datum	drukverschil in Pa	
	ingående lucht (P3 - P4)	uitgaande lucht (P1 - P2)
12- 7	72	56
25- 7	75	53
1- 9	68	52
13-10	-	-

Ook deze drukmetingen geven in de tijd verwaarloosbaar kleine verschillen. De opgetreden verschillen zijn te wijten aan afleesfouten. Vervuiling is door deze metingen niet aangetoond.

Na afloop van de opslagperiode is de warmtewisselaar ook visueel op vervuiling geïnspecteerd. Het filter bleek zeer veel stof te bevatten; de platen van de warmtewisselaar waren schoon.

3.3. Relatieve vochtigheidsmetingen

De r.v. is gemeten in de cel en in de aangezogen buitenlucht. Het is voor de werking van de warmtewisselaar belangrijk of er condensatie kan optreden. In dat geval zal de condensatiewarmte die vrijkomt worden overgedragen aan de ingaande luchtstroom waardoor het temperatuurrendement wordt verbeterd.

Behalve van het temperatuurniveau wordt dan ook gebruik gemaakt van de latente warmte (enthalpie van de lucht).

In geval van condensatie moeten er voorzieningen worden getroffen voor afvoer van lekwater. Condensatie werd niet verwacht gezien de hoge celtemperatuur en ook hoge buitenluchttemperatuur behalve wellicht tijdens de 1^e week als de bollen veel vocht kunnen afgeven afhankelijk van oogstomstandigheden bv. regen. Door zeer goede oogstomstandigheden dit jaar kwamen de bollen goed voorgedroogd de heetstookcel in, zodat er geen condensatie optrad.

De hoeveelheid vocht afkomstig van de hyacinten varieert tussen de 2 en 8 gram water per kg droge ventilatielucht. Deze getalswaarde is te bepalen door in het Mollier-diagram voor vochtige lucht (h-x-diagram), temperatuur en r.v. van beide luchtstromen in te tekenen.

Bijlage 1 is een kopie van 2 stroken van thermohygrografen waarbij temperatuur en r.v. in de week van 25-7 is weergegeven. De r.v. in de cel is in die periode 60% terwijl de r.v. buiten varieert van 60% tot 100%. Voor de overzichtelijkheid is onderstaande tabel 5 opgezet met een samenvatting van de r.v.-metingen door schatting van het weekgemiddelde.

Tabel 5. Schatting van de gemiddelde relatieve vochtigheid

Week	r.v. binnen %	r.v. buiten %	celtemp. °C
25/7 - 31/7	60	80	30
1/8 - 7/8	55	70	30
8/8 - 14/8	55	80	30
15/8 - 21/8	55	70	30
22/8 - 28/8	55/40	80	30/38
29/8 - 4/9	40	80	38
5/9 - 11/9	35/30	80	38/44
12/9 - 18/9	60	80	27
19/9 - 25/9	60	80	27
26/9 - 2/10	60	80	27

Bij een hogere celtemperatuur daalt de relatieve vochtigheid d.w.z. dat het absolute vochtgehalte weinig verandert. Uit de metingen valt af te leiden dat condensatie alleen bij zeer lage buitentemperatuur of bij zeer hoge vochtafgifte van het produkt kan optreden. Beide situaties zijn tijdens de heetstook niet te verwachten.

3.4. Temperatuurmetingen

De meetperiode van de heetstook was van 24/7 t/m 3/10 hetgeen overeenkomt met 11 weken oftewel 1848 uur. De temperatuurinstelling was als volgt:

Tabel 6.

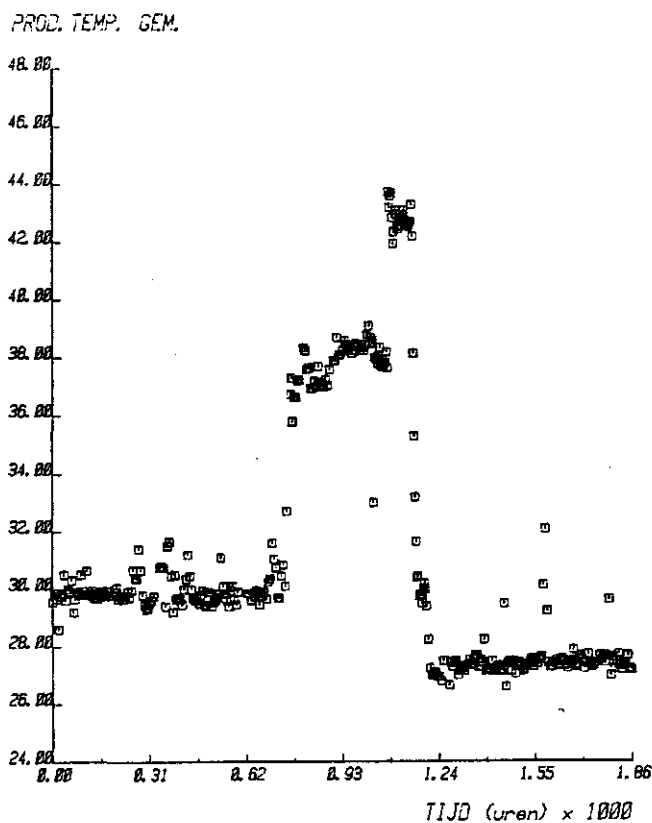
temperatuur	datum	tijd (uren)
30°C	25 juli - 26 augustus	750
38°C	26 augustus - 9 september	750-1074
44°C	9 september - 12 september	1074-1155
27°C	12 september - 3 oktober	1155-1860

Gedurende deze periode werd 330 keer het temperatuurbeeld volgens het koppelschema (zie tabel 2) geregistreerd.

Tijdens de 44°C-behandeling werd om de 3 uur gemeten, bij de andere temperaturen registratie om de 6 uur.

Onderstaande grafiek is gemaakt met behulp van de computer en een speciale programmeertaal met de naam UPP.

Behalve grafieken tekenen kunnen ook tabellen gemaakt en berekeningen worden uitgevoerd met de aangeboden gegevens. Grafiek 1 geeft de gemiddelde produkttemperatuur over de gehele opslagperiode beschouwd. Deze gemiddelde temperatuur is afgeleid van koppel 1, 7 en 8.



Grafiek 1.

WARMTEWISSELAAR IN HEETSTOOKCEL
GEMIDDELTE PRODUKTTEMPERATUUR

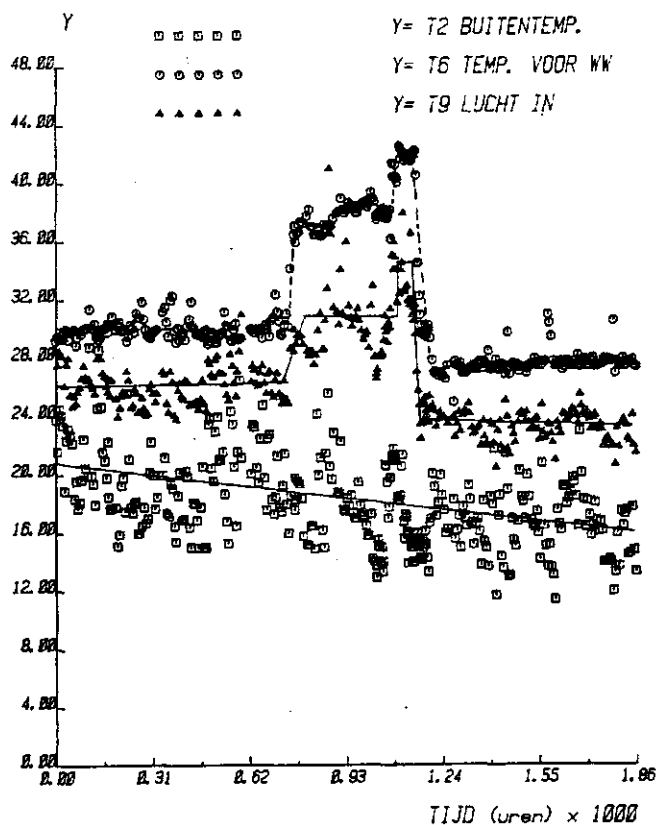
De spreiding van de temperatuur in de heetstookcel is vrij groot. In bijlage 2 en 3 staat deze spreiding weergegeven bij ieder temperatuurniveau. Bij 38°C en 44°C

is de temperatuurspreiding ca. 2°C.

De plafondventilator richt de circulatieluchtstroom niet door de gaasbakkenstapels. De wervelingen omspoelen alleen de gehele stapel waardoor binnen de stapels genoemde verschillen kunnen optreden. Het produkt doet er lang over om de luchttemperatuur te bereiken (zie ook lit. 2).

In onderstaande grafiek 2 is T9 de temperatuur van de lucht na de warmtewisselaar en voor de heater.

T6 is de celluchttemperatuur gemeten voor de warmtewisselaar. Het temperatuurverschil tussen T6 en T9 is dus veel kleiner dan het verschil tussen T6 en T2. Zonder warmtewisselaar zou de buitenlucht (T6-T2)°C moeten worden opgewarmd. Met warmtewisselaar is het verschil (T6-T9)°C.



Grafiek 2.

WARMTEWISSELAAR IN HEETSTOOKCEL
TEMPERATUUREFFEKT VAN DE WARMTEWISSELAAR

Om de spreiding van de buitentemperatuur aan te geven is bijlage 4 toegevoegd. Hieruit blijkt dat naarmate het seizoen vordert het niveau langzamerhand daalt. Per temperatuurtraject is de gemiddelde buitentemperatuur in tabel 6 weergegeven.

Tabel 6. Gemiddelde buitentemperatuur (°C)

periode	uren	temp. in de cel	buitentemp. gem.
25/7-26/8	0- 750	30°C	19,84°C
26/8- 9/9	750-1074	38°C	17,64°C
9/9-12/9	1074-1170	44°C	17,18°C
12/9- 3/10	1170-1860	27°C	16,57°C
gemiddeld	0-1860	-	18,01°C

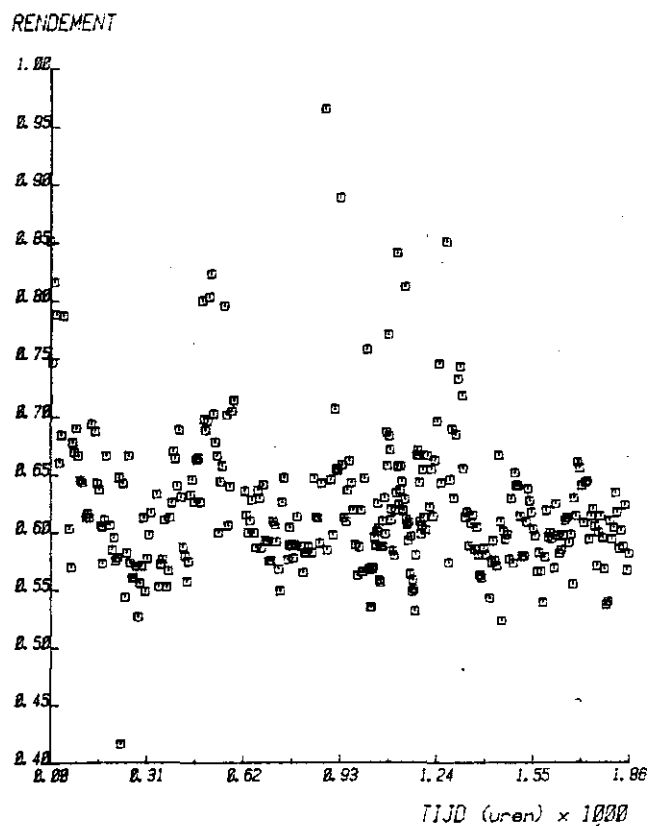
4. BEPALING VAN HET TEMPERATUURRENDEMENT

Het temperatuurrendement wordt berekend door:

$$\eta = \frac{T_9 - T_2}{T_6 - T_2} \cdot \frac{\dot{M}_1}{\dot{M}_2} \cdot 100\%$$

$$\frac{\dot{M}_1}{\dot{M}_2} = \frac{\text{ingaaende luchtstroommassa}}{\text{uitgaande luchtstroommassa}} = 1$$

Met behulp van de computer ontstaat de volgende grafiek 3 waarin in de tijd het berekende rendement staat weergegeven.

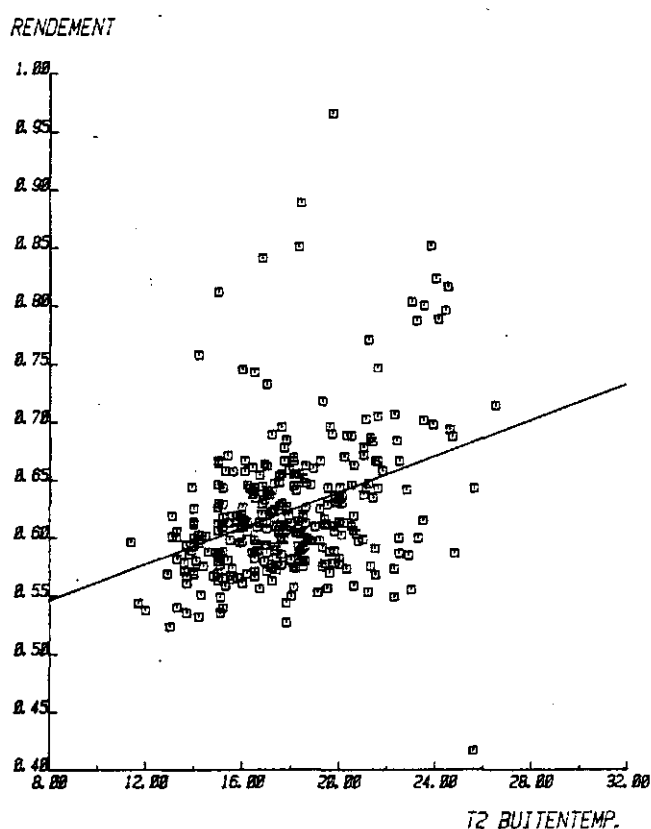


Grafiek 3.

WARMTEWISSELAAR IN HEETSTOOKCEL
RENDEMENT WARMTEWISSELAAR

De gemiddelde waarde over de hele periode is 62,3% met een standaarddeviatie van 6,2%. Het aantal berekeningen waarover dit gemiddelde is bepaald bedraagt

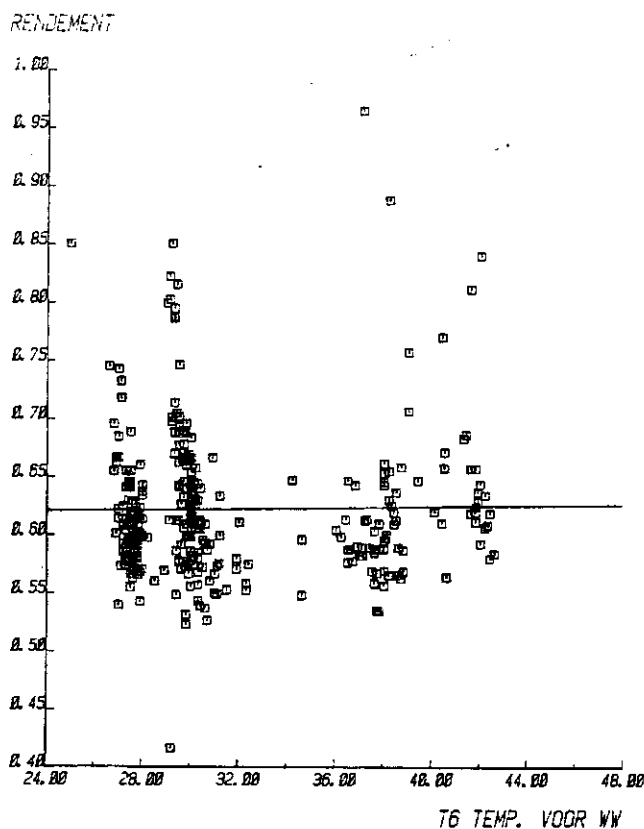
321. 9 waarnemingen leverden onwerkelijke getalswaarden op en zijn weggelaten. De opgave van de leverancier is dat deze wisselaar een rendement van ca. 63% heeft onder deze omstandigheden. Metingen en opgave stemmen dus goed overeen. Slechts een verwaarloosbaar verschil kan worden aangetoond. Het blijkt dat het rendement onafhankelijk is van de hoogte van de buitentemperatuur. Onderstaande grafiek 4 geeft het verband van het rendement t.o.v. de buitentemperatuur (T2).



Grafiek 4.

WARMTEWISSELAAR IN HEETSTOOKCEL
VERBAND RENDEMENT TOV BUITENTEMP.

De correlatiecoëfficiënt van de rechte die door de puntenwolk is getrokken is 0,35; d.w.z. dat er geen verband is tussen de buitentemperatuur en het rendement. Er is sprake van een duidelijk verband als deze coëfficiënt $> 0,95$ is. Een lineaire regressie-analyse uitgevoerd om een evt. verband tussen binnentemperatuur en rendement na te gaan levert grafiek 5 op. De best passende rechte door de puntenwolk is in de grafiek ingetekend. De conclusie is dat het rendement en de celtemperatuur geen enkel verband vertonen. De correlatiecoëfficiënt is slechts 0,019. Deze exercitie levert de wetenschap op dat bij iedere bollenopslagsituatie deze platenwarmtewisselaar een rendement heeft die overeenstemt met de brochure van de leverancier. Echter bij gladiolenopslag in de winter kan verwacht worden dat er condens optreedt en daardoor bevriezingsgevaar. D.m.v. speciale voorzieningen kunnen dergelijke problemen worden opgelost.



Grafiek 5.

WARMTEWISSELAAR IN HEETSTOOKCEL
VERBAND RENDERMENT TOV BINNENTEMP.

5. ENERGIEBESPARING

Om de mate van energiebesparing te berekenen zijn 2 rekenmethoden gehanteerd nl.

A. Cumulatieve methode

Door in de formule $Q = \dot{V} \cdot \rho \cdot C_p \cdot \Delta T \cdot \Delta t \cdot \eta$ steeds van iedere waarneming het momentane rendement met het bijbehorende temperatuurverschil in te vullen wordt 330 keer de energiebesparing berekend. Door deze fracties op te tellen wordt de totale energiebesparing bepaald. Het rendement op het moment van meting wordt verondersteld gedurende 6 uur dezelfde waarde te hebben. Bij de 44°C-periode is het tijdsinterval 3 uur (Δt).

B. Methode met gemiddeld rendement en gemiddelde buitentemperatuur

Bij deze rekenmethode hanteren we in dezelfde formule (zie A) het gemiddelde rendement betrokken op de gehele heetstookperiode. Door bij alle vier temperatuurniveaus (30°C - 38°C - 44°C - 27°C) de gemiddelde buitentemperatuur te berekenen kan de energiebesparing worden uitgerekend. Het in te vullen tijdsinterval (Δt) is de bewuste opslagperiode bij die temperatuur. In plaats van 330 keer een stukje energiebesparing te berekenen en vervolgens op te tellen wordt nu 4 keer de energiebesparing berekend en opgeteld.

In onderstaande tabel 7 staan de resultaten van methode A en B weergegeven. De constanten in de formule \dot{V}_l , ρ_l , C_p en η zijn:

$$\begin{aligned} \dot{V}_l &= 5684 \text{ m}^3/\text{h} \\ \rho_l &= 1,2 \text{ kg/m}^3 \\ C_p &= 1,02 \text{ kJ/kg}\cdot\text{k} \\ \eta \text{ gem.} &= 62\% \end{aligned}$$

Tabel 7. Energiebesparing met warmtewisselaar

tijd (uur)	temp. (in de cel)	energiebesparing in kJ	
		Methode A	Methode B
750	30	34811840	32868671
324	38	28716500	28454435
81	42	8976000	8664906
705	27	33065000	31717621
1860	totaal	105569340	101705633

Het verschil tussen de 2 rekenmethodes bedraagt 4% t.o.v. de hoeveelheid energie via methode A berekend.

Deze hoeveelheden energie kunnen worden omgerekend naar aardgashoeveelheden.

1 m³ aardgas (Slochteren-samenstelling) levert een warmtehoeveelheid van 35200 kJ (bovenwaarde). Niet al deze warmte wordt gebruikt voor opwarming van de cellucht. Bij warmwaterinstallaties zoals gebruikelijk toegepast bij bloembollenopslag wordt 70% van deze bovenwaarde omgezet in effectieve warmtebenutting.

Dat betekent dat 1 m³ aardgas een warmtehoeveelheid levert van:

$$0,7 \cdot 35200 = 24640 \text{ kJ/m}^3 \text{ aardgas.}$$

De besparing in de heetstookcel met de warmtewisselaar betrokken op een ventilatiehoeveelheid van 5684 m³/h is dus:

$$\frac{105569340}{24640} = 4285 \text{ m}^3 \text{ aardgas.}$$

Aan elektrische energie wordt méér verbruikt:

$$0,550 \cdot 1860 = 1023 \text{ kWh.}$$

Bij deze berekening nemen we aan dat het geïnstalleerde en het opgenomen vermogen hetzelfde is van de axiaalventilator die de cellucht afzuigt.

Het elektriciteitsverbruik is niet gemeten. Ook het totale energieverbruik is niet gemeten door gebrek aan mogelijkheden en middelen.

6. KOSTENBESPARINGEN

Door de te verwachten toekomstige besparingen te kapitaliseren is het mogelijk een afweging te maken of een investering economisch verantwoord is.

Voor de hier gehanteerde rekenmethode om de besparingen voor de toekomst te berekenen wordt uitgegaan van de rekenmethode die door het L.E.I. (Landbouw Economisch Instituut) wordt toegepast om de netto-contante-waarde (N.C.W.) van een investering te bepalen (Mededeling 265 van het L.E.I.).

Er wordt naar gestreefd deze rekenwijze voor alle mogelijke energiebesparende maatregelen toe te passen om door deze uniforme berekeningswijze de keuze welke investering het hoogste financiële rendement oplevert te vergemakkelijken.

Daar de hoogte van de investering voor een dergelijke warmtewisselaar niet exact vast staat wordt het investeringsbedrag in de berekening als I_0 opgenomen. Er wordt nu een saldoberekening van baten en lasten gemaakt.

Er is van het volgende uitgegaan.

Aardgasbesparing 4285 m ³ à f 0,586	= f 2.511,--
Elektriciteitsverbruik 1023 kWh à f 0,222	= f 227,--
netto besparing	<u>f 2.284,--</u>

Jaarlijkse stijging van de kosten en prijzen 3%:

Onderhoudskosten per jaar: f 100,--

Rentevoet per jaar : 8%.

Aantal jaren waarover men de besparingen wil weten = n.

Rekenmodel

$$\text{N.C.W.} = \sum_{i=1}^n \frac{(\text{nettobesparing} - \text{onderhoudskosten}) \times 1,03^{(i)}}{1,08^i} - I_0$$

Als we voor dit model de besparing van het eerste jaar willen berekenen krijgen we het volgende:

$$\text{Saldo: } \frac{f (2284 - 100) \times 1,03^1}{1,08^1} = f 2.083,--$$

In het tweede jaar is dit:

$$\frac{f (2284 - 100) \times 1,03^2}{1,08^2} = f 1.987,--$$

Totaal na 2 jaar f 4.070,--

De besparingen van het eerste tot en met het tweede jaar staan in de volgende tabel 8. In de laatste kolom is de besparing na n jaar weergegeven.

* i is het aantal jaren

Tabel 8. Kostenbesparing met een warmtewisselaar

jaar na investering	saldo	saldo incl. voorgaand saldi
1	f 2.083,--	f 2.083,--
2	1.987,--	4.070,--
3	1.895,--	5.965,--
4	1.807,--	7.772,--
5	1.724,--	9.496,--
6	1.643,--	11.139,--
7	1.567,--	12.706,--
8	1.495,--	14.201,--
9	1.426,--	15.627,--
10	1.360,--	16.987,--

Wanneer de besparingen hoger worden dan de investering (I_0) wordt de netto contante waarde (NCW) positief en zal de investering economisch verantwoord zijn.

Stel dat de investering na aftrek van de diverse subsidies f 4000,-- bedraagt, dan blijkt uit bovenstaande tabel dat deze investering binnen 2 jaar is terugverdiend (NCW is na twee jaar positief).

7. DISCUSSIE

Factoren die de netto-contante-waarde beïnvloeden zijn:

- De buitentemperatuur
- De binnentemperatuur
- De gasprijs
- De elektriciteitsprijs
- De lengte van de bewaarperiode
- Het rentepercentage
- De te verwachten kostenstijging.
- Afname van het rendement
- Ventilatieluchthoeveelheid
- Het rendement van de ketelinstallatie.

Bij inbouw in bestaande cellen krijgen we te maken met een extra investering voor luchtkanalen. Deze investering dient in de rekenwijze als hierboven bij de investering van de warmtewisselaar worden opgenomen. Hieruit volgt dan dat het langer zal duren voor de netto-contante-waarde positief zal worden. Het is aan de ondernemer om te beslissen of het te lang duurt voordat dit moment wordt bereikt.

Deze warmtewisselaar bestaat uit één standaard module. Bij grotere luchthoeveelheden kan door de grote keuzemogelijkheid van de hoogte van het platenpakket toch een passende installatie worden ontworpen. Dit model nr. 10 met een pakkethoogte van 90 cm is maximaal tot 13000 m³/h lucht te gebruiken. Bij grotere luchthoeveelheden zakt het rendement. Bij 2000 m³/h ca. 75% en bij 13000 m³/h ca. 55%. Dit effect is te voorkomen door een hoger pakket te kiezen. Ook de luchtweerstand is een factor die het rendement beïnvloedt. Bij een pakkethoogte van 150 cm is dit model tot 22000 m³/h te gebruiken. De kleinste hoeveelheid (pakket 50 cm) is 1100 m³/h lucht.

8. CONCLUSIE

- Het gemeten temperatuurrendement van de onderzochte platenwarmtewisselaar komt overeen met de opgave van de leverancier nl. 62,3% tegenover 63%.
- Het temperatuurrendement wordt niet beïnvloed door de buitentemperatuur; ook niet door de celtemperatuur. Aangezien luchtopbrengsten drukverschil constant bleven - geen vervuiling - is het temperatuurrendement als een constante factor te beschouwen.
- Om vervuiling van de platen te voorkomen is een stoffilter noodzakelijk. Het in deze proef toegepaste stoffilter heeft goed gefunctioneerd.
- Er is geen condensatie in de warmtewisselaar opgetreden. Dit zou enerzijds een betere werking opleveren (gebruik van latente warmte) maar anderzijds een waterafvoer vergen.
- De berekende energiebesparing tijdens een meetperiode van 1860 uur bedraagt 105.569.340 kJ. Aan de andere kant zorgt een extra afzuigventilator voor een extra elektriciteitsverbruik van 1023 kWh in dezelfde periode.
- Bij een ketelrendement van 70% en een bovenwaarde van 35,2 MJ per m³ aardgas is de gasbesparing in deze heetstookcel: 4285 m³ gedurende de meetperiode.
- De gemeten resultaten zijn slechts gedurende één seizoen bepaald in een specifieke situatie waarbij de grootte van de cel, de ventilatiehoeveelheid, de warmtewisselaar en de heater goed op elkaar afgestemd bleken te zijn.
- Om een afweging mogelijk te maken of de investering economisch verantwoord is wordt gebruik gemaakt van de rekenmethode die door het LEI wordt toegepast om de netto-contante-waarde (NCW) van een investering te bepalen.

NCW = besparingssaldo - Investering.

Is de NCW positief dan kan men tot aanschaf overgaan.

Onderstaande tabel geeft het besparingssaldo weer voor diverse termijnen.

Tabel 9.

<u>Termijn in jaren</u>	<u>Besparingssaldo in f</u>
1	f 2.083,--
2	4.070,--
3	5.965,--
4	7.772,--
5	9.496,--
6	11.139,--
7	12.706,--
8	14.201,--
9	15.627,--
10	16.987,--

Deze tabel 9 laat de keuze open in hoeveel tijd de investering terug verdient moet zijn. Deze keuze ligt bij de investeerder.

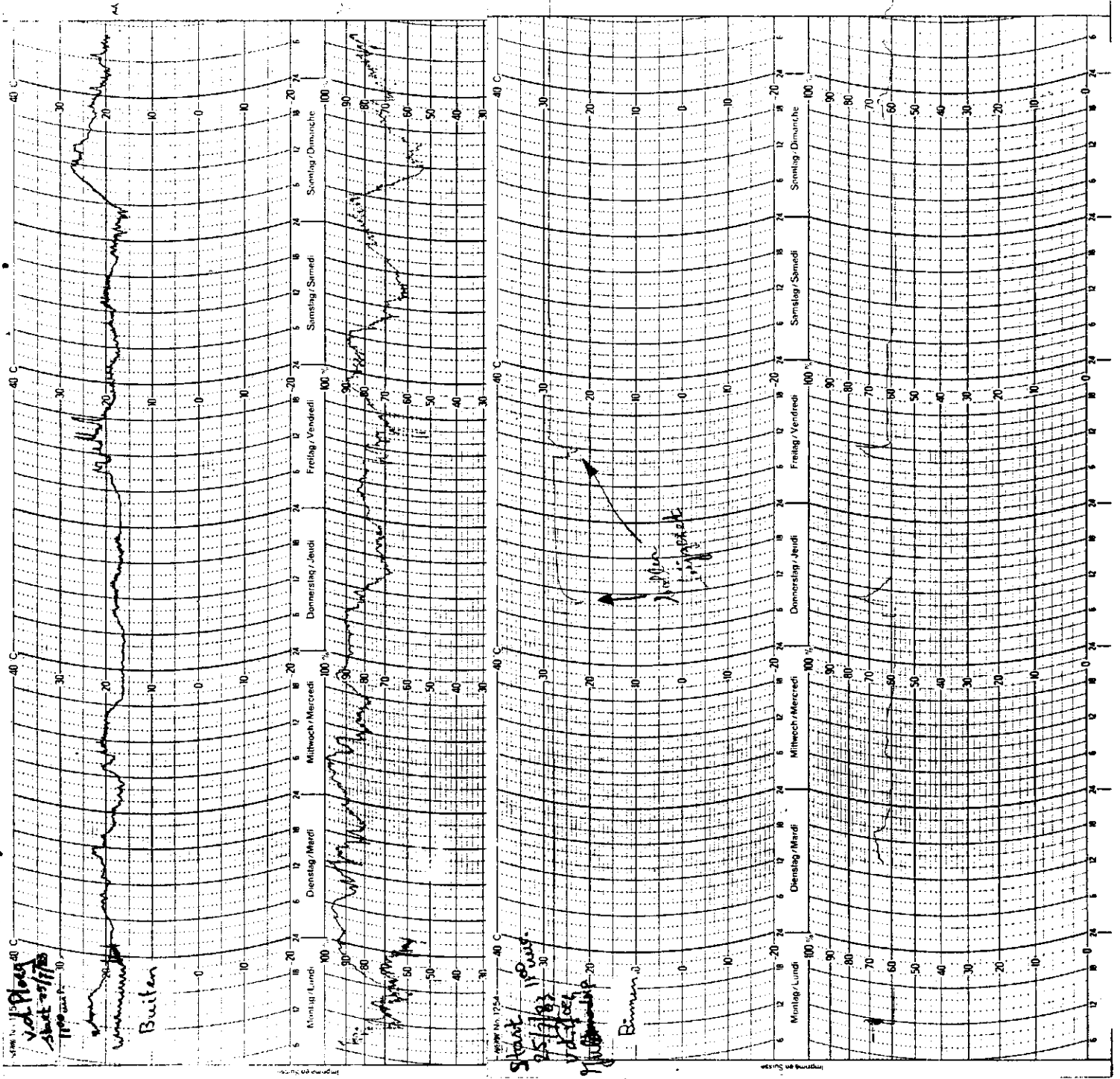
Literatuur

1. Warmteterugwinning bij huisvesting van slachtkuikens.
Ing. R. Geiling
Bedrijfsontwikkeling jaargang 14(1983)7/8(juli/augustus)595-598.
2. Ethyleen en kooldioxide in ventilatielucht tijdens de heetstookbehandeling van hyacinten.
H.A.M. Boerrigter en H. Bouman
Interimrapport, Sprenger Instituut no. 22.
3. Een beslissingsmodel voor energiebesparende voorzieningen.
(Mededeling no. 265, LEI).

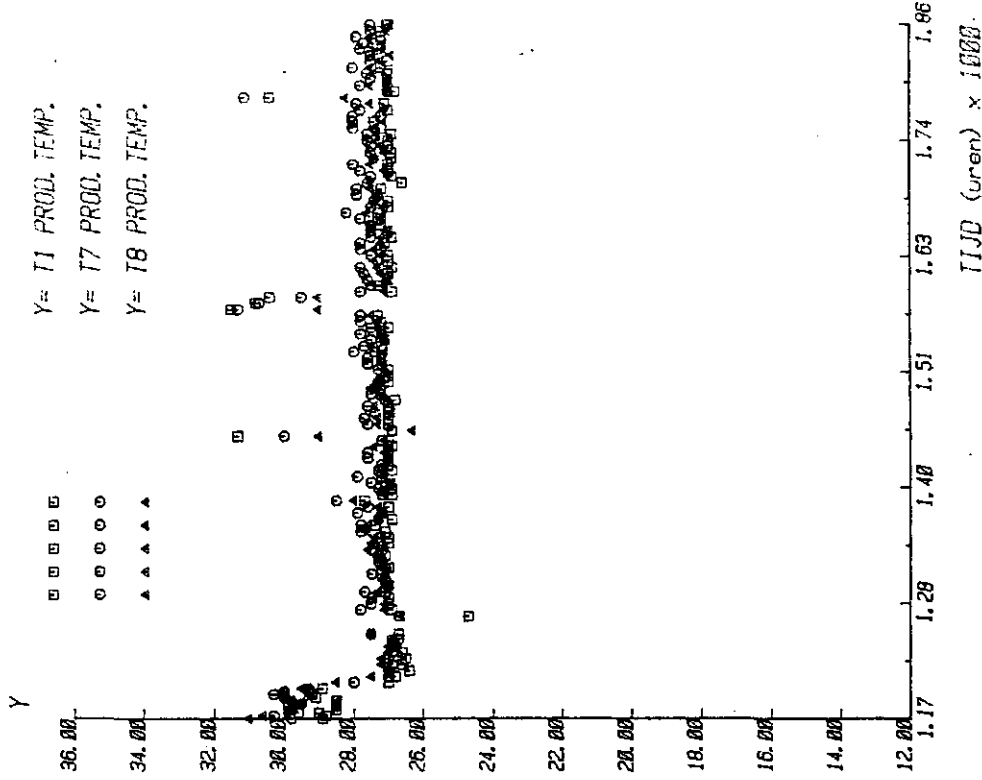
Wageningen, 9 januari 1984

HAMB/HB/MJ

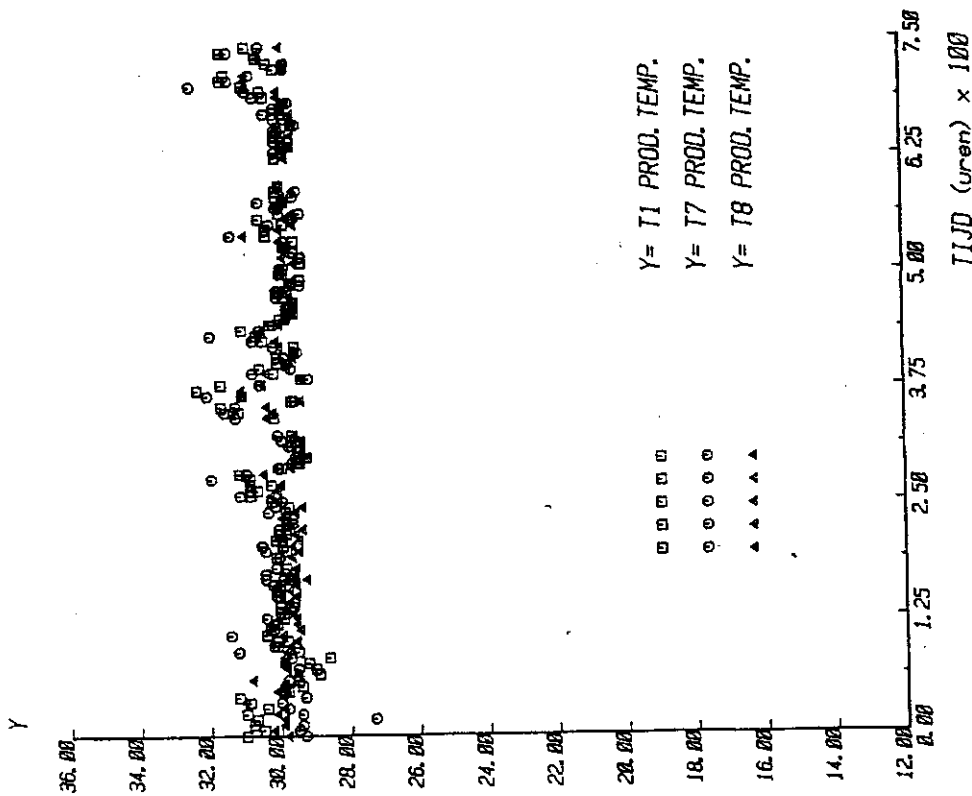
R.v.-metingen in heetstookcel.



Temperatuurspreiding in heetstookcel.

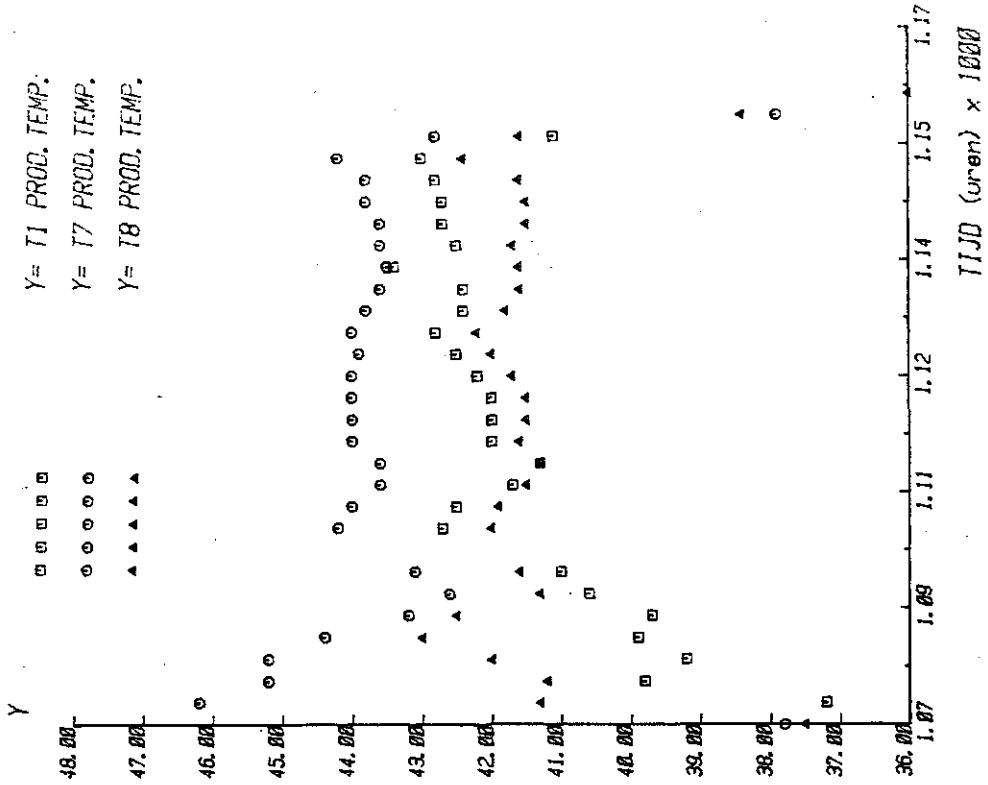


WARMTEWISSELAAR IN HEETSTOOKCEL
 TEMPERATUURVERDELING IN DE CEL 27°C

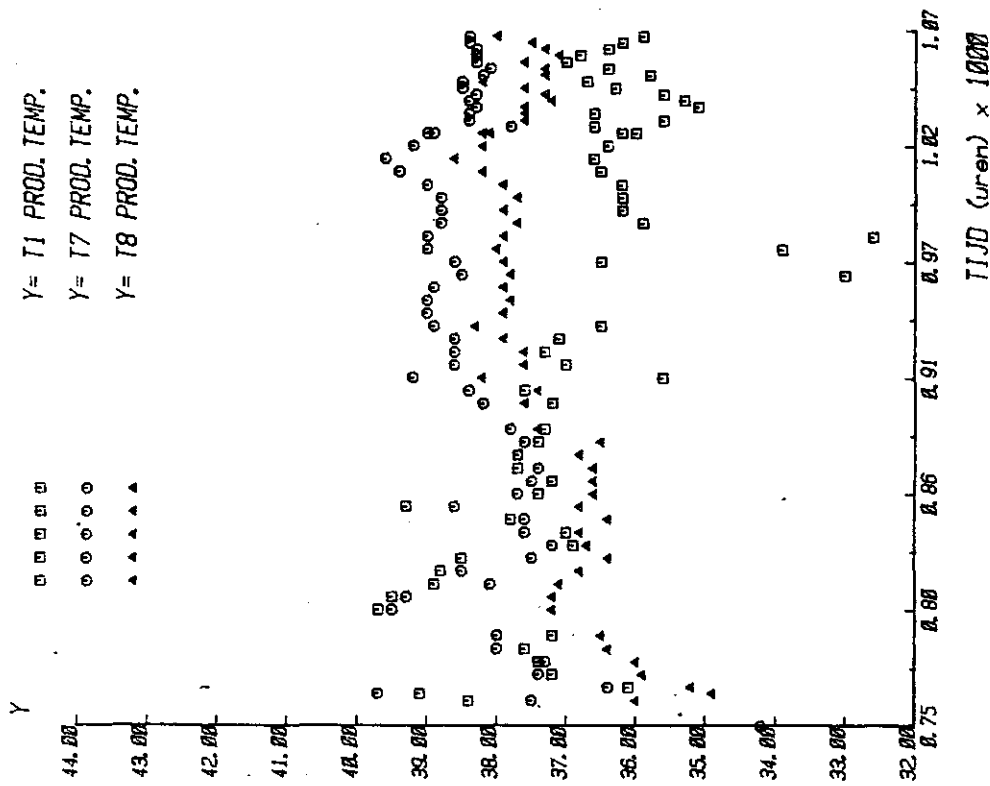


WARMTEWISSELAAR IN HEETSTOOKCEL
 TEMPERATUURVERDELING IN DE CEL 300°C

Temperatuurspreiding in heetstookcel.

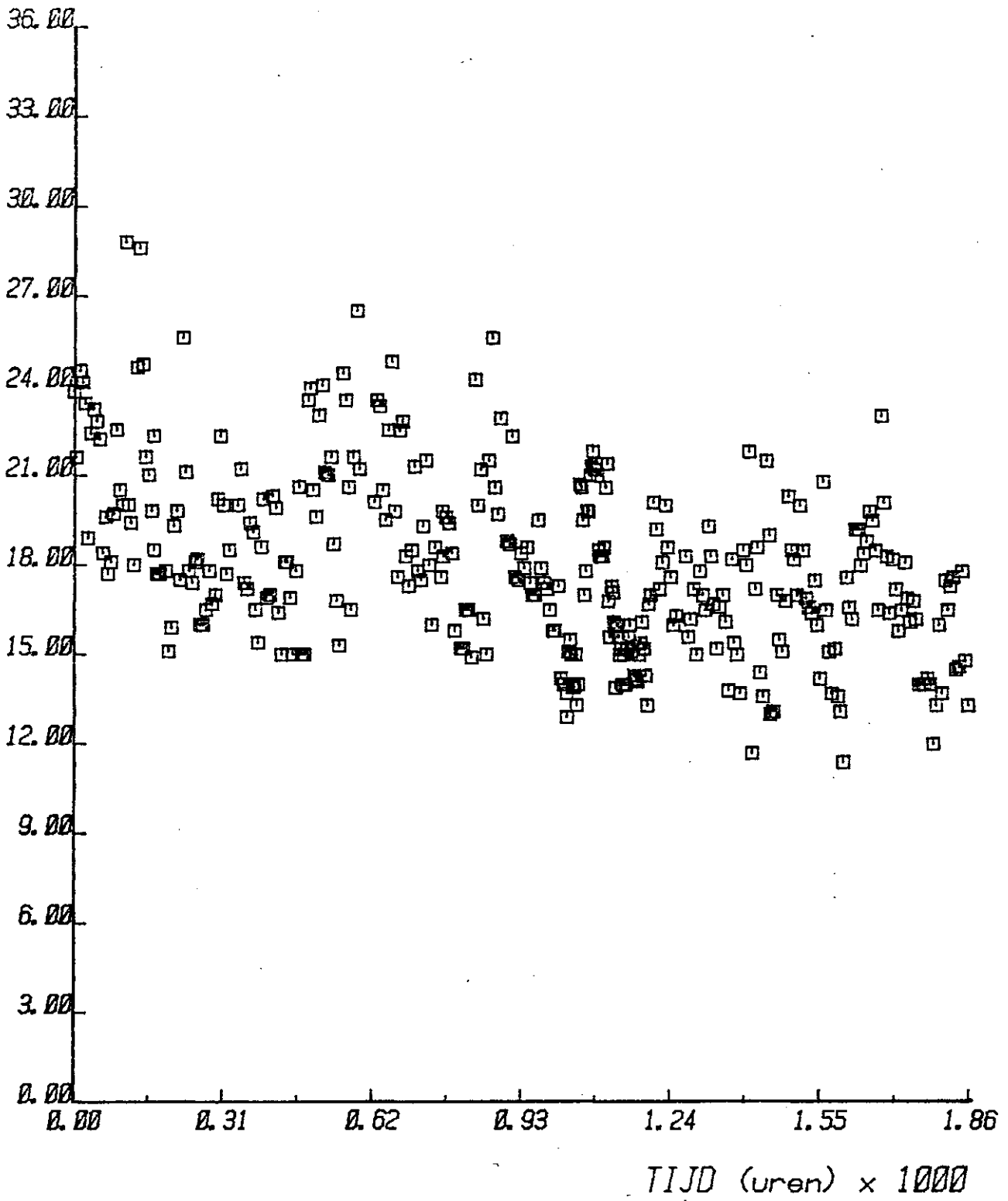


WARMTEWISSELAAR IN HEETSTOOKCEL
 TEMPERATUURVERDELING IN CEL 44oC



WARMTEWISSELAAR IN HEETSTOOKCEL
 TEMPERATUURVERDELING IN DE CEL 38oC

T2 BUITENTEMP.



WARMTEWISSELAAR IN HEETSTOOKCEL
 SPREIDING BUITENTEMPERATUUR