

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)*

INTERIMRAPPORT NO. 22

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

ETHYLEEN EN KOOLDIOXYDE IN VENTILATIE-
LUCHT TIJDENS DE HEETSTOOKBEHANDELING
VAN HYACINTEN

Uitgebracht aan de directeur van het Sprenger Instituut
Project no. 147

I N H O U D

blz.

SAMENVATTING

1

1. Inleiding

2

2. Doel van de proef

2

3. Metingen

3

3.1. Ethyleen

3

3.2. CO₂, r.v. en temperatuur

4

4. Resultaten

4

4.1. Ethyleen

4

4.2. CO₂

4

4.3. Relatieve vochtigheid

5

4.4. Temperatuur

5

5. Bespreking van de resultaten

6

5.1. Ethyleen en CO₂-metingen

6

5.2. R.v. en temperatuurmetingen

7

6. Enkele energieberekeningen

9

7. Conclusies

9

Literatuur

11

Bijlagen

SAMENVATTING

Tijdens de heetstookbehandeling van hyacinten zijn op twee bedrijven metingen uitgevoerd om na te gaan of hergebruik van de warme ventilatielucht (38-44°C) voor de warmtebehandeling van andere bolsoorten in principe mogelijk is.

Van de ventilatielucht zijn temperatuur, relatieve vochtigheid, kooldioxydeconcentratie en ethyleenconcentratie gemeten. De resultaten van deze metingen op beide bedrijven, met een onderling zeer verschillend systeem, geven aan dat hergebruik van de warme lucht zeer goed mogelijk is. Er is nl. geen ethyleen (> 0,01 ppm) en geen CO₂ (> 0,1%) gemeten.

Als gevolg van deze waarnemingen echter komt onmiddellijk de gedachte naar voren, dat beperking van de ventilatie in verband met investeringskosten meer voor de hand liggend is dan hergebruik van warme lucht.

Door middel van berekeningen zijn kwantitatief enkele consequenties aangegeven, die samengaan met een beperking van de ventilatie.

1. Inleiding

De belangrijkste bestrijdingswijze van geelziek bij hyacinten (*Xanthomonas hyacinthi*) is het "heetstoken" van de bollen. Het advies is twee weken 38°C en daarna 3 dagen 44°C . Deze warmtebehandeling gaat gepaard met een hoog energieverbruik veroorzaakt door de hoge temperaturen en een ventilatienorm van maar liefst $160 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^3$ produkt.

In de praktijk is men vrijwel niet bereid om veranderingen van deze norm uit te proberen omdat er zonder regelmaat terugkerende schade-explosies tijdens de heetstook voorkomen. Men is er van overtuigd extra risico te lopen als men de ventilatie gaat verminderen, ondanks de bevindingen van Looijesteijn e.a. [lit.1]. Uitgaande van deze opvatting zijn op verzoek van het Consulentenschap Hoorn op twee bedrijven enkele metingen verricht. Bij deze bedrijven zijn de gehalten aan ethyleen (C_2H_4) en kooldioxyde (CO_2) gemeten tijdens de normale bedrijfsvoering om de geschiktheid van de uitgeblazen lucht voor hergebruik na te gaan. Op deze wijze zou men energie kunnen besparen zonder de ventilatie te veranderen.

2. Doel van de proef

De warme lucht van heetstookcellen kan hergebruikt worden voor de bewaring van irissen en tulpen (plantgoed!), het nadrogen van narcissen na een warm-waterbehandeling, etc.

Voorwaarde voor een dergelijk hergebruik is, dat de lucht vrij van ethyleen is en bijna geen CO_2 bevat. Daarom zijn bij 2 bedrijven met verschillende werkwijzen deze componenten in de ventilatielucht gemeten. Tevens zijn temperatuur- en r.v.-metingen uitgevoerd omdat te droge en/of te warme lucht eventueel met speciale voorzieningen (menging of bevochtiging) geschikt moet worden gemaakt voor het beoogde doel.

Werkwijze bedrijf A

De hyacinten worden heetgestookt in stapelkisten.

De ventilatienormen worden strikt in acht genomen omdat enkele jaren geleden schade is geconstateerd en men geen enkel risico op dat punt wenst te aanvaarden. Het verwarmingssysteem (warm water met heater) heeft een open-dicht regeling. Met de heetstookbehandeling werd begonnen op 24 augustus 1982. Op 8 september werd de temperatuur verhoogd tot 44°C .

Werkwijze bedrijf B

Dit bedrijf is modern geoutilleerd en werkt o.a. met een via een windmolen aangedreven warmtepomp. De warmte van de ventilatielucht wordt eerst via een kruis-

stroomwarmtewisselaar overgedragen aan de ingaande lucht. De restwarmte wordt vervolgens door de warmtepomp onttrokken.

Via de genoemde warmtepomp worden de cellen met deze secundaire voorziening bijverwarmd. Het primaire verwarmingssysteem is een warm-watersysteem met mengregeling.

De heetstookbehandeling wordt met gaasbakken uitgevoerd, 860 stuks in de bewuste cel.

De ventilatie wordt afgesloten tijdens de opwarming van 38°C naar 44°C.

3. Metingen

3.1. Ethyleen

De analyses zijn uitgevoerd met een gaschromatograaf (merk: Carle 211). Deze is voorzien van een Al_2O_3 gevulde kolom (alumina F1, 80-100 mesh) en een vlamionisatiedetector.

De gevoeligheid van de elektrometer bedraagt 1×10^{-12} ampère waardoor een ethyleenconcentratie van 0,01 ppm (parts per million) nog meetbaar is.

Door middel van een luchtpomp wordt lucht via slangen met een maximale lengte van 50 m naar de gaschromatograaf gepompt. Een automatisch injectiesysteem met instelbare tijddopgave injecteert vervolgens luchtmonsters van 2 ml in de gaschromatograaf. De oppervlakte van de ethyleenpiek, die met behulp van een "flatbed" recorder wordt opgetekend, wordt door middel van een integrator uitgerekend.

Met behulp van een ijkgas en door middel van oppervlaktevergelijking van pieken is het dan mogelijk de juiste ethyleenconcentratie te berekenen.

De gaschromatograaf is verder nog voorzien van een achtweg kraan, waardoor acht kanalen achtereenvolgens kunnen worden afgetast en een "back-flushsysteem", waarmee voorkomen kan worden dat de scheidingskolom verontreinigd raakt. Zowel het back-flush systeem als de automatische injector en de achtwegkraan worden door de integrator gestuurd.

Op het eerste bedrijf zijn de metingen ter plaatse uitgevoerd.

Op het tweede bedrijf werd de heetstook gestart op een datum, anders dan aanvankelijk werd afgesproken, waardoor het organisatorisch niet mogelijk bleek metingen ter plaatse uit te voeren.

Door middel van bemonsteren met luchtdichte serumflessen zijn analyses voor wat betreft CO_2 en C_2H_4 achteraf op het Sprenger Instituut uitgevoerd. Ook is nagegaan in hoeverre door witsnot (*Pectobacterium carotovora*) aangetaste bollen ethyleen kunnen afgeven.

3.2. CO₂, r.v. en temperatuur

De CO₂-metingen zijn uitgevoerd met een ADC-infrarood analysator. Concentraties lager dan 0,1% zijn niet meetbaar.

De r.v. is gemeten op bedrijf A met een Therm r.v.-meter; op bedrijf B met een psychrometer. Tevens werd een thermohygrograaf in de cellen geplaatst.

Met behulp van een Fluke datalogger zijn temperatuurmetingen verricht op bedrijf A (totaal 10 koppels verdeeld over de achterste rij stapelkisten).

Op bedrijf B zijn temperaturen met 2 thermokoppels vastgelegd. Eén koppel registreerde de luchttemperatuur; de andere de temperatuur van de bollen in de gaasbakken.

4. Resultaten

4.1. Ethyleen

Op bedrijf A is ieder kwartier een luchtmonster uit de heetstookcel in de daar opgestelde gaschromatograaf geïnjecteerd.

In geen van deze luchtmonsters kon enig ethyleen worden vastgesteld. D.w.z. dat de concentratie altijd lager is geweest dan 0,01 ppm.

Ter oriëntatie zij vermeld dat 0,1 ppm bij tulpen als schadelijke concentratie wordt gezien. Voor hyacinten is geen schadelijke concentratie bekend.

Op bedrijf B zijn van 11.00 uur tot 15.00 uur (de tijd dat de ventilatieklep gesloten was) met regelmatige tussenpozen 12 luchtmonsters in luchtdichte flessen verzameld.

In geen van deze flessen kon ethyleen worden aangetoond.

Ook in het luchtmonster uit de opslagruimte met veel door witsnot aangetaste bollen werd geen ethyleen gedetecteerd.

4.2. CO₂

Op zowel bedrijf A als B is geen meetbare verhoging van de CO₂-concentratie gemeten.

Met de beschikbare apparatuur betekent dit, dat de concentratie nooit hoger is geweest dan 0,1%.

Vermeldenswaardig is ook het feit, dat de produkttolerantie wat CO₂ betreft niet bekend is. Dit geldt voor alle bolsoorten. Met dien verstande, dat voor tulpenplantgoed er een start is gemaakt op het LBO te Lisse.

4.3. Relatieve vochtigheid

Op bedrijf A is de relatieve vochtigheid $\pm 30\%$ tijdens de laatste dag van de 38°C -behandeling.

Bijlage 1 is een kopie van de thermohygrograafstrook met de meetresultaten van die dag.

In tabel 1 staan de resultaten van de r.v.-metingen van beide bedrijven tijdens de opwarming van 38 naar 44°C . Opmerking: de apparatuur bij bedrijf B was minder nauwkeurig.

Tabel 1.

bedrijf A		bedrijf B	
tijd	r.v. %	tijd	r.v. %
10.25	31,7	11.25	26
10.36	30,3	11.40	22
10.45	30,2	11.55	28
11.27	29,3	12.10	34
12.35	28,2	12.25	32
12.50	27,7	12.40	31
14.07	25,7	13.10	31
		13.40	29
		14.10	29
		14.50	27
		15.10	27

De r.v. van de buitenlucht bij bedrijf A was 75% . Bij bedrijf B bedroeg de r.v. buiten 69% .

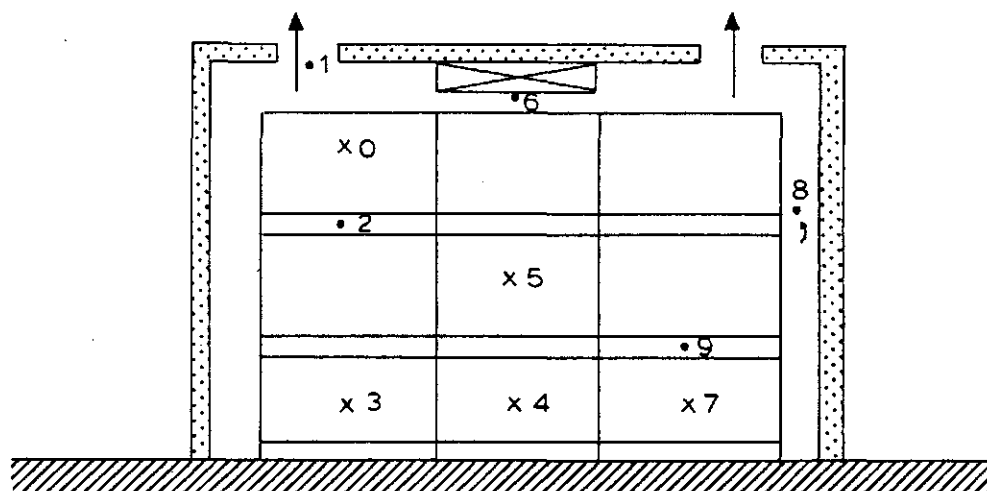
Bijlage 2 is het gedeelte van de thermohygrograafstroken, waarop de r.v. geregistreerd is tijdens de opwarming van 38°C naar 44°C van beide bedrijven.

4.4. Temperatuur

Bijlage 6 is een tabel, waarin de temperatuurmetingen op bedrijf A staan weergegeven.

De thermokoppels zijn verdeeld over de achterste rij stapelkisten en wel als volgt:

Figuur 1.



Legenda: • luchttemperaturen (1,2,6,8,9)
x produkttemperaturen (0,3,4,5,7)

Van de meetresultaten zijn enkele grafieken getekend (bijlagen 3 t/m 5).
Op de bijlagen 7, 8 en 9 zijn de metingen van beide bedrijven vergeleken en op dezelfde tijd-as weergegeven.

5. Bespreking van de resultaten

5.1. Ethyleen en CO₂-metingen

De CO₂ en C₂H₄-metingen op beide bedrijven geven aan, dat de warme ventilatielucht probleemloos voor andere doeleinden gebruikt kan worden. Zelfs met een gesloten klep loopt de CO₂-concentratie in de heetstookcel niet op.

De voor de produkten zeer hoge temperatuur gaat gepaard met hoge ademhalingsactiviteit [lit. 2]. Desondanks is er geen verhoging van de CO₂-concentratie. De al vaker geconstateerde slechte lekdichtheid van bloembollencellen speelt ongetwijfeld een rol bij deze waarneming.

Bij aanwezigheid van ethyleen zou hergebruik van de lucht voor tulpenopslag niet toelaatbaar zijn.

Bij hyacinteheetstook is geen ethyleenbron als zodanig aan te wijzen. De waarneming is dus geen verrassing.

De veronderstelling, dat witsnot een mogelijke ethyleenbron zou kunnen zijn is in deze metingen niet aangetoond. Ook van enkele aangetaste bollen, luchtdicht verpakt in plastic is de ethyleenproduktie gemeten. Deze bollen hadden geen ethyleenproduktie van betekenis.

Hoewel dus hergebruik van de ventilatielucht bij heetstook kan worden toegelaten is een alternatief om energiebesparing te bereiken met minder lucht te ventileren.

Hergebruik van warme ventilatielucht vergt investeringen zoals luchtkanalen e.d. Beperken van de ventilatie kost wat dat betreft niets.

5.2. R.v. en temperatuurmetingen

Bijlage 1:

Aan deze figuur is te zien, dat de regeling van de temperatuur met een zeer geringe temperatuurschommeling plaatsvindt (bedrijf A).

De r.v.-lijn geeft aan, dat de r.v. in de cel 's nachts wat hoger is dan overdag. Door het grote ventilatievoud is dit verklaarbaar.

Bijlage 2:

Als op bedrijf A de thermostaat wordt verzet van 38°C naar 44°C (10.15 uur) dan zakt de r.v. van 32% naar 26% (zie ook tabel 1). De ventilatie blijft gehandhaafd. Als op bedrijf B de thermostaat wordt verzet en de klep gesloten dan is er sprake van een minimale stijging van de r.v., nl. van 25% naar 28%. Na het openen van de ventilatieklep zakt de r.v. naar ca. 22%. Een verschil in klimaat wat de r.v. betreft is op beide bedrijven nauwelijks aanwezig ondanks het verschil in handelen (klep dicht).

Bijlage 3:

Deze grafieken geven de opwarmingssnelheid aan vanaf 10.15 uur op bedrijf A. De spreiding die optreedt is een gevolg van de luchtverdeling door de kisten. De rechter grafiek geeft aan, dat er niet een bepaald patroon is. De centrumkist warmt het snelst op (koppel 5) en het produkt linksboven in de cel het traagst. De ene kist krijgt wat meer doorstroming dan de ander.

De linker grafiek laat zien, dat de produkttemperatuur en luchttemperatuur op dezelfde plaats nauwelijks verschillen. In het algemeen is het temperatuurverschil bij een drukwand tussen lucht en produkt per definitie gering omdat hier doorstroomopwarming plaatsvindt.

Bijlage 4:

In deze bijlage staan de temperatuurwaarnemingen aangegeven als functie van de plaats (onder of boven in de cel). De spreiding is gering in horizontale richting. De geconstateerde spreiding van de temperatuur (bijlage 3) is dus in verticale richting het grootst. De luchtopbrengst bij deze drukwand varieert dus vooral in de hoogte.

Bijlage 5:

Koppel nr. 6 is voor de heater geplaatst en geeft de temperatuur aan van de retourlucht.

Na de heater (achter de drukwand) is de temperatuur ca. 4°C hoger. Met deze meting is het in principe mogelijk de energie-afgifte te bepalen. Dit zullen we verder buiten beschouwing laten aangezien dit niet het doel van de proef is.

Bijlage 6:

Deze tabel geeft een overzicht van alle temperatuurwaarnemingen op bedrijf A.

Bijlage 7:

De temperatuurwaarnemingen bij bedrijf B zijn minder uitgebreid als gevolg van al eerder genoemde redenen. In deze grafiek is zeer duidelijk het effect te zien van het sluiten en het weer openen van de klep. De lucht warmt zeer snel op. Dat de produkttemperatuur slechts zeer langzaam stijgt is het gevolg van het toegepaste gaasbakkensysteem.

Ondanks voelbare (in het gangpad) luchtcirculatie is er geen doorstroming door het produkt.

Bijlage 8:

In deze grafiek is te zien dat de lucht in de cel van bedrijf B veel sneller op temperatuur is dan bij bedrijf A.

Enerzijds wordt dit veroorzaakt door het sluiten van de ventilatieklep maar anderzijds is de geringe warmte-afgifte bij dit gaasbakkensysteem ook van invloed.

Bijlage 9:

In deze figuur is de produkttemperatuur van beide bedrijven op een tijd-as uitgezet.

Het produkt in de stapelkist warmt sneller op dan in de gaasbakkencel ondanks het feit dat niet alle warmtecapaciteit wordt aangewend voor de opwarming van het produkt. De verwarmingscapaciteit van A wordt ook nog voor een groot deel gebruikt voor opwarming van ca. 5000 m^3 lucht/uur desondanks stijgt de produkttemperatuur sneller. Het al eerder opgemerkte doorstroom- en langsstroom verwarmingseffect is de reden van dit verschil.

Op bedrijf B stijgt de produkttemperatuur met 1°C per 4 uur. Indien men de 3 dagen 44°C rekent vanaf het verstellen van de thermostaat dan is het duidelijk dat maar 2 van de 3 dagen het produkt werkelijk 44°C is. Op bedrijf A stijgt de temperatuur van $37,2^{\circ}\text{C}$ naar $41,2^{\circ}\text{C}$ in 270 minuten.

Per uur een opwarming van $0,9^{\circ}\text{C} = 3,6^{\circ}\text{C}$ per 4 uur.

6. Enkele energieberekeningen

Bedrijf A:

Ventilatiehoeveelheid = norm x hoeveelheid produkt

$$160 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^3 \text{ prod.} \times 27 \times 1,2 \text{ m}^3/\text{kist} = 5184 \text{ m}^3/\text{h}.$$

Warmtebehoefte van deze lucht is:

$$W_{\text{vent.}} = G_{\text{vent.}} (h_i - h_u) \cdot t$$

$W_{\text{vent.}}$ = warmtebehoefte (kJ)

$G_{\text{vent.}}$ = massa van de lucht (kg/s)

$h_i - h_u$ = toename van de warmte-inhoud (enthalpie) (kJ/kg)

t = tijd (s) (na ca. 10 uur (geschat) wordt de 44°C bereikt)

$$W_{\text{vent.}} = 5184 \text{ m}^3/\text{h} \times 1,21 \text{ kg}/\text{m}^3 \times (55-40) \text{ kJ}/\text{kg} \times 10 \text{ h} =$$

$$W_{\text{vent.}} = 940896 \text{ kJ}.$$

Verbrandingswaarde per m³ aardgas: 31,6 MJ = 31600 KJ (bovenwaarde).

Bij een installatie voor bloembollen is een rendement van 72% normaal.

Hoeveelheid aardgas voor ventilatie op bedrijf A tijdens de opwarming van 38°C naar 44°C is dus:

$$\frac{940896 \text{ kJ}}{0,72 \times 31600 \text{ kJ}/\text{m}^3} = 41,3 \text{ m}^3 \text{ aardgas}$$

Behalve het feit dat bedrijf A zo'n 40 m³ aardgas kan besparen (gezien de resultaten van bedrijf B) is een ander belangrijk gegeven dat het produkt sneller op temperatuur komt.

Voor bedrijf B geldt, dat het produkt in de gaasbakken pas na 24 uur de 44°C bereikt. Bij continu geopende klep zou dat nog langer duren (zie ook bijlage 7).

Voor bedrijf B zou het open houden van de klep tijdens het opwarmen een veel grotere energieverliespost betekenen dan voor bedrijf A.

7. Conclusies en aanbevelingen

- Op beide bedrijven is de ventilatielucht vrij van CO₂ en C₂H₄. Hergebruik van deze warme lucht voor warmtebehandelingen van andere bolsoorten kan dus zonder meer plaatsvinden.

- Het sluiten van de ventilatieklep op bedrijf B geeft geen verhoging van de C_2H_4 of CO_2 -concentratie in de cel tijdens de temperatuurverhoging van $38^\circ C$ naar $44^\circ C$. De lekdichtheid van de cel is een belangrijke factor bij deze constatering. Deze energiebesparende maatregel kan dus vooral geadviseerd worden voor die bedrijven waar capaciteitsproblemen zijn.
- Het temperatuursverschil tussen lucht en bollen is bij opslag in gaasbakken (bedrijf B) groter dan bij opslag in stapelkisten met doorstroombewaring (bedrijf A).
- Tijdens de opwarming zakt op bedrijf A (ventilatie; open klep) de r.v. Op bedrijf B (geen ventilatie; gesloten klep) blijft de r.v. zo goed als constant. Op beide bedrijven is de r.v. ca. 30%.
- Beperking van de ventilatie vergt geen investeringen.
Dit in tegenstelling tot hergebruik van ventilatielucht waarbij luchtmengsystemen of leidingen dat wel met zich meebrengen.
Op beide doorgemeten bedrijven blijkt geen ophoping van vocht en schadelijke gassen plaats te vinden in de heetstookcel. De afvoer van deze stoffen is in het algemeen de enige reden voor zoveel ventilatielucht.
Bij gasdichte cellen zou op basis van produktgegevens als CO_2 -produktie (bij $40^\circ C$ ca. $35,8 \text{ l } CO_2/\text{ton}\cdot\text{uur}$) de ventilatienorm slechts: $20 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^3$ produkt hoeven te zijn.
In bijlage 10 is de berekening weergegeven.
- In de ventilatieberekening is uitgegaan van een maximaal aanvaardbare concentratie van 0,1% CO_2 .
Gezien de voorlopige resultaten bij de tolerantieproeven met tulpeplantgoed (persoonlijke mededeling: Dr. W.J. de Munk) zou deze concentratie wel eens veel hoger kunnen zijn.
De ventilatienorm zou dan nog veel lager komen te liggen.

Literatuur

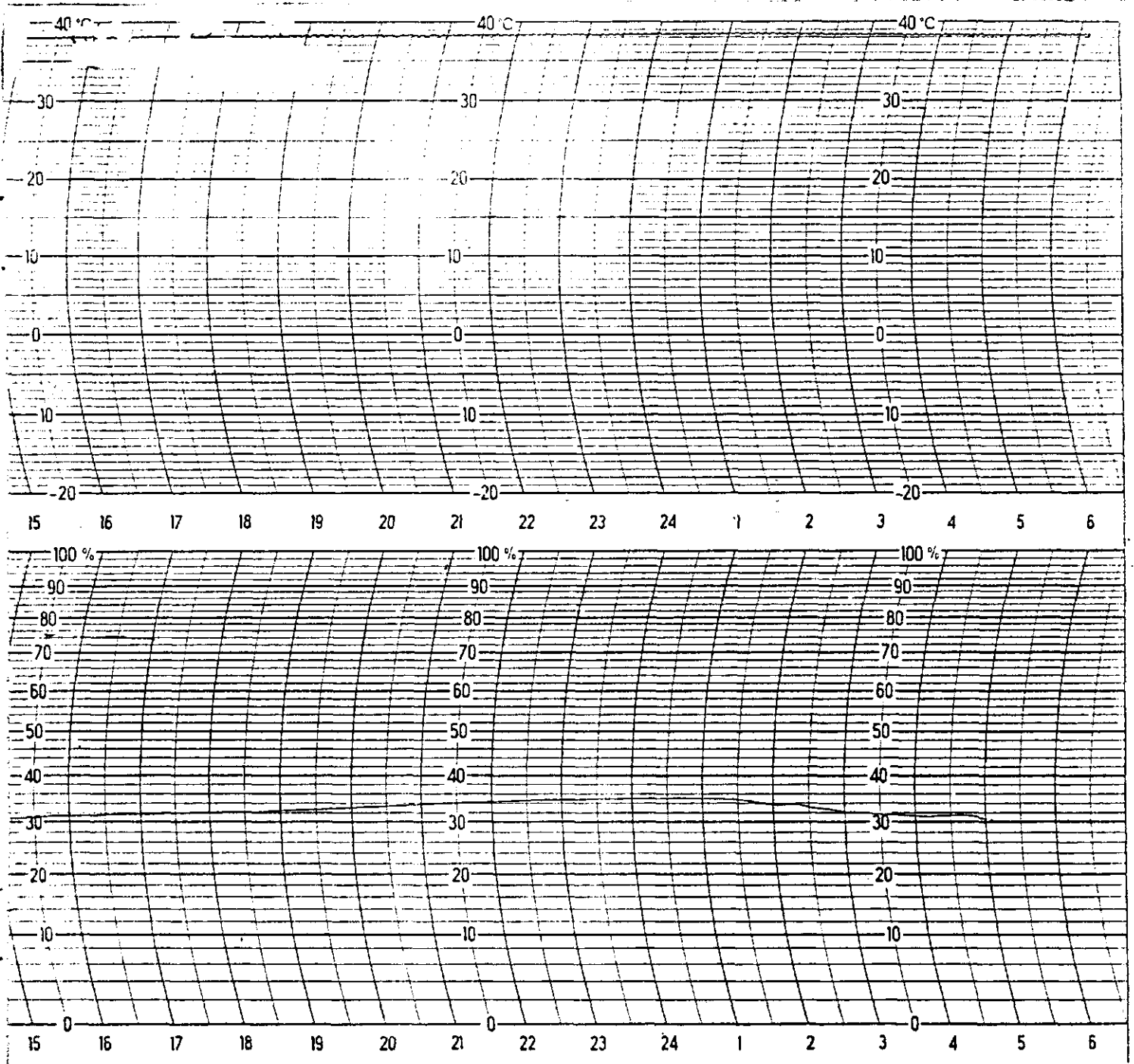
1. F.X.C. Looijesteijn, H.A.M. Boerrigter en B.J.L. Veltman
Invloed van de ventilatie, circulatie en mechanische beschadiging van de bollen op het optreden van heetstookschade bij hyacinten.
Rapport no. 2021, 1978, Sprenger Instituut, Wageningen.

2. W. Verbeek
Calorimetrisch onderzoek naar het optreden van schade tijdens de heetstookbehandeling van hyacintebollen (cv. Pink Pearl).
Rapport no. 2123, 1980, Sprenger Instituut, Wageningen.

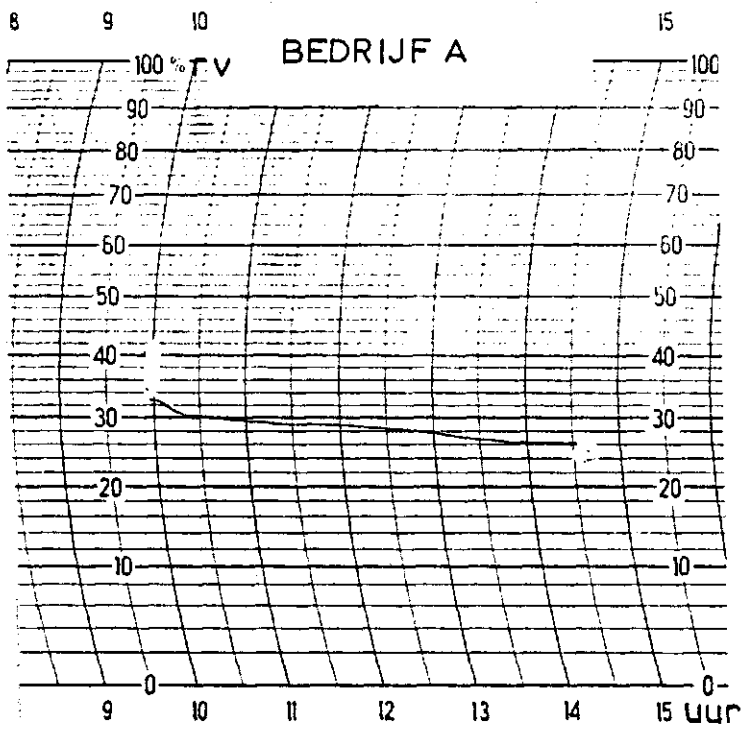
Wageningen, 11 januari 1983

HAMB/MJ

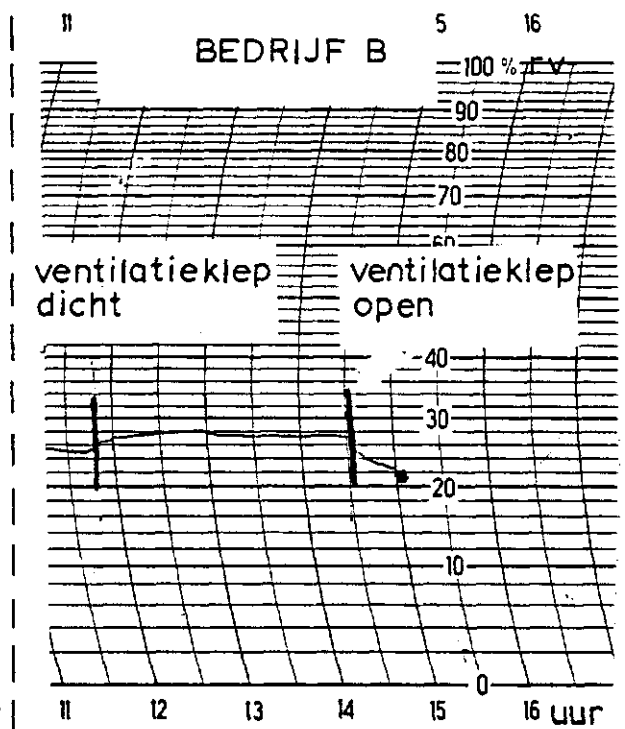
Temperatuur en relatieve vochtigheid op bedrijf A op 7-9-1982



Relatieve vochtigheid tijdens de opwarming van 38°C naar 44°C



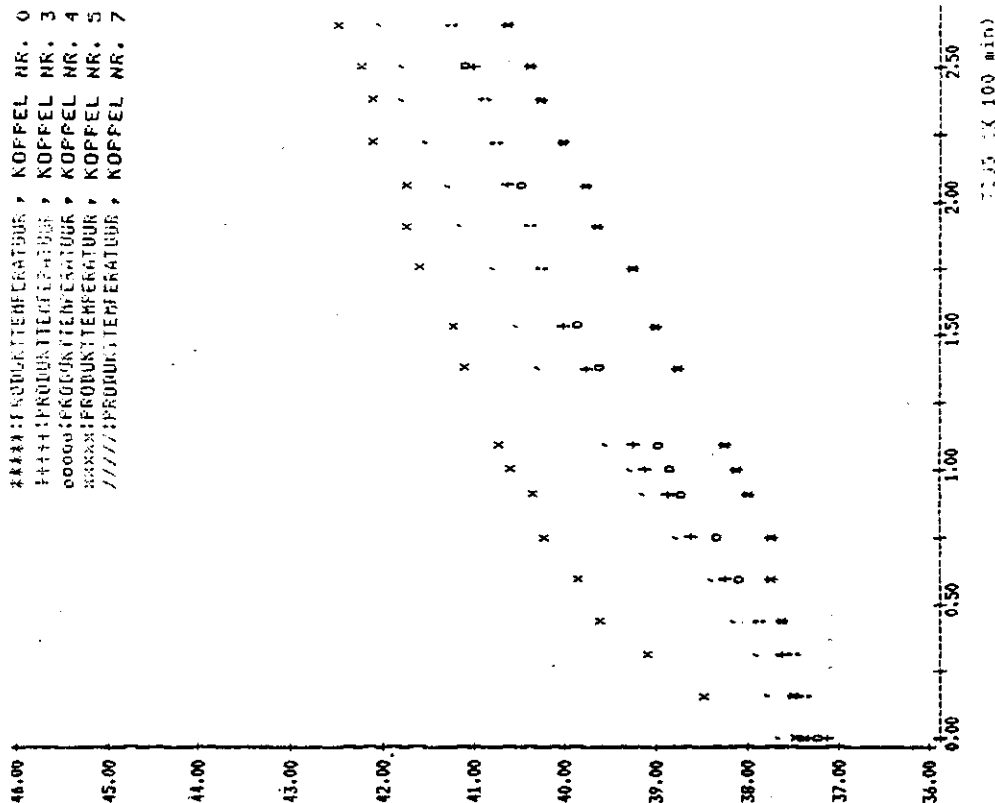
klep open
stapelkistenopslag



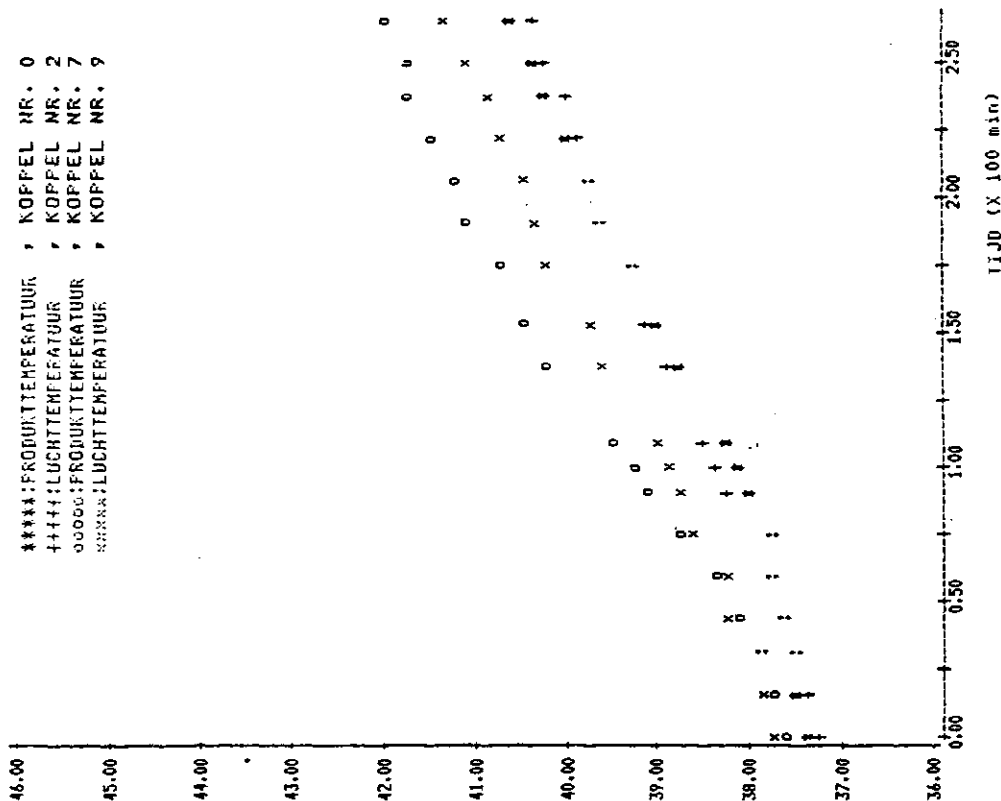
ventilatieklep dicht ventilatieklep open

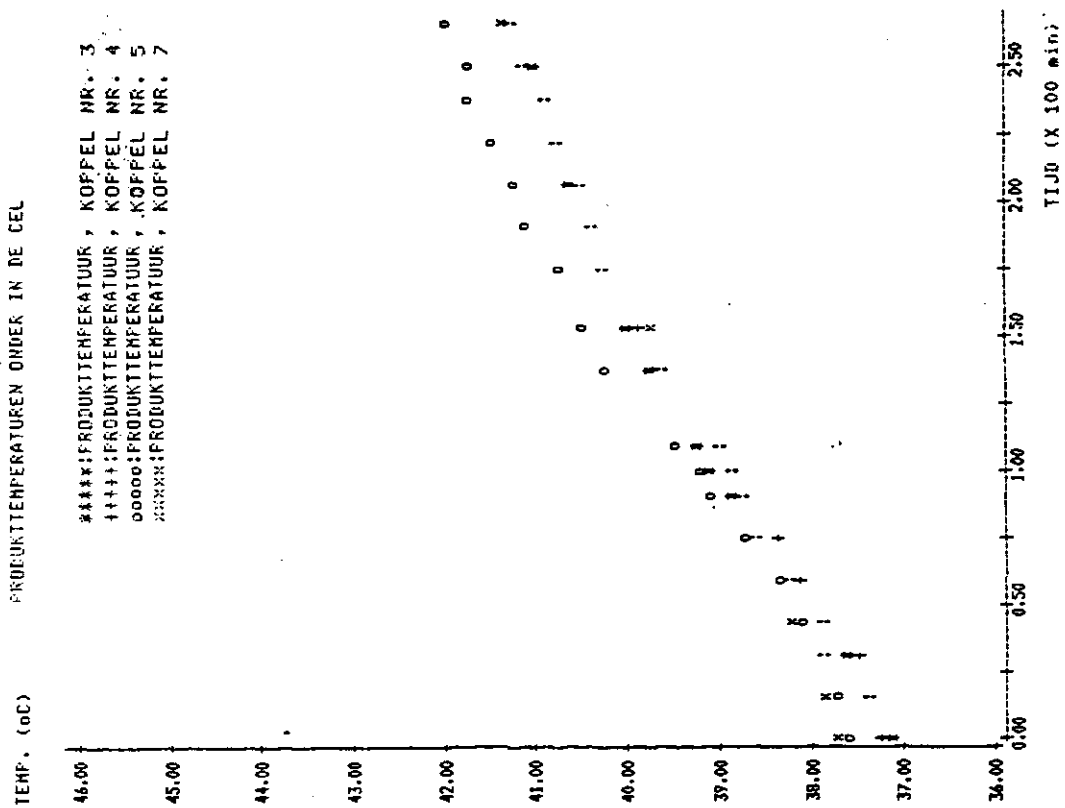
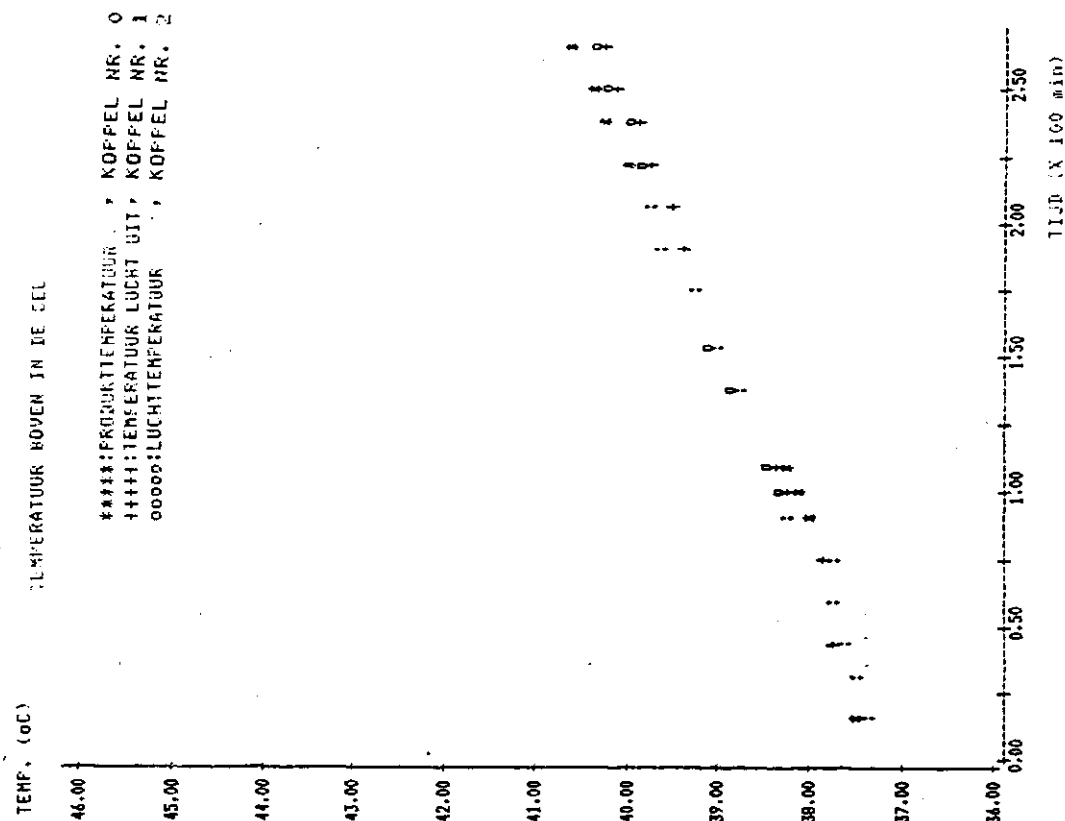
klep gesloten
gasbakkenopslag

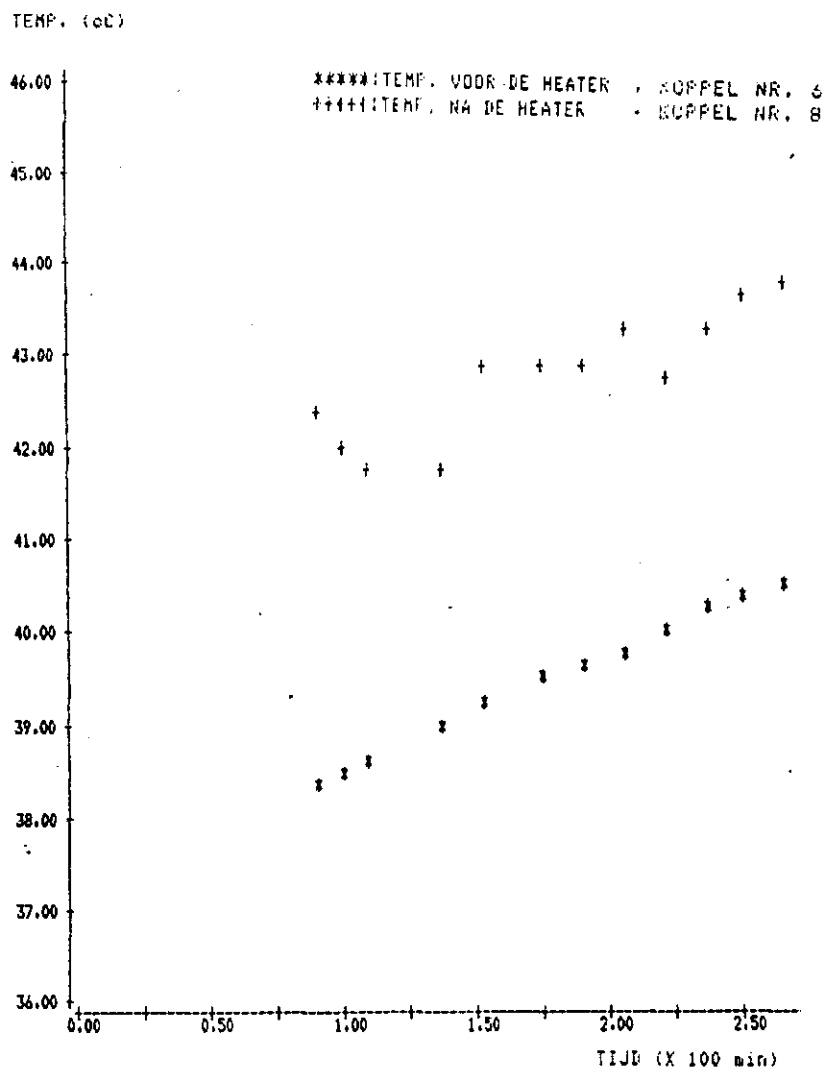
SPREIDING VAN DE PRODUCTTEMPERATUUR



VERSCHIL TUSSEN LUCHT EN PRODUCTTEMPERATUREN

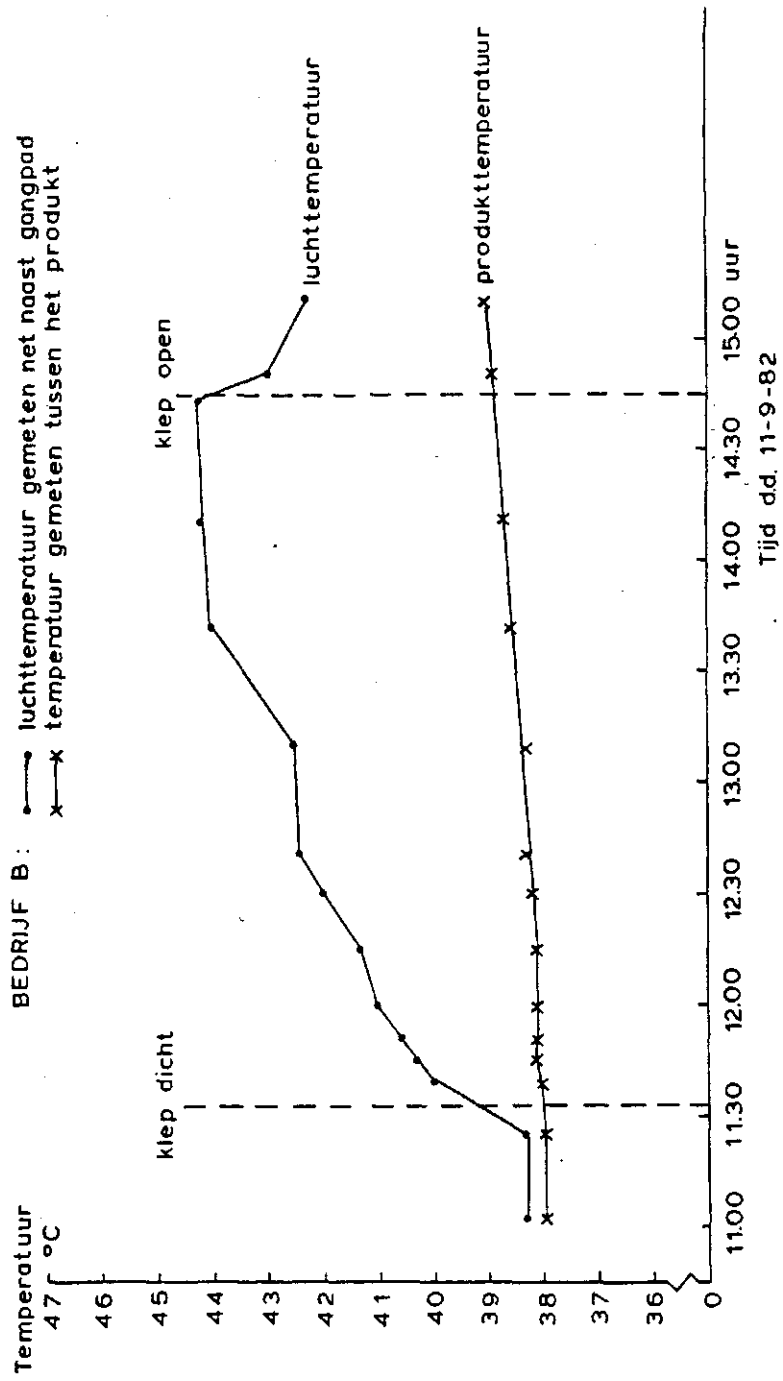


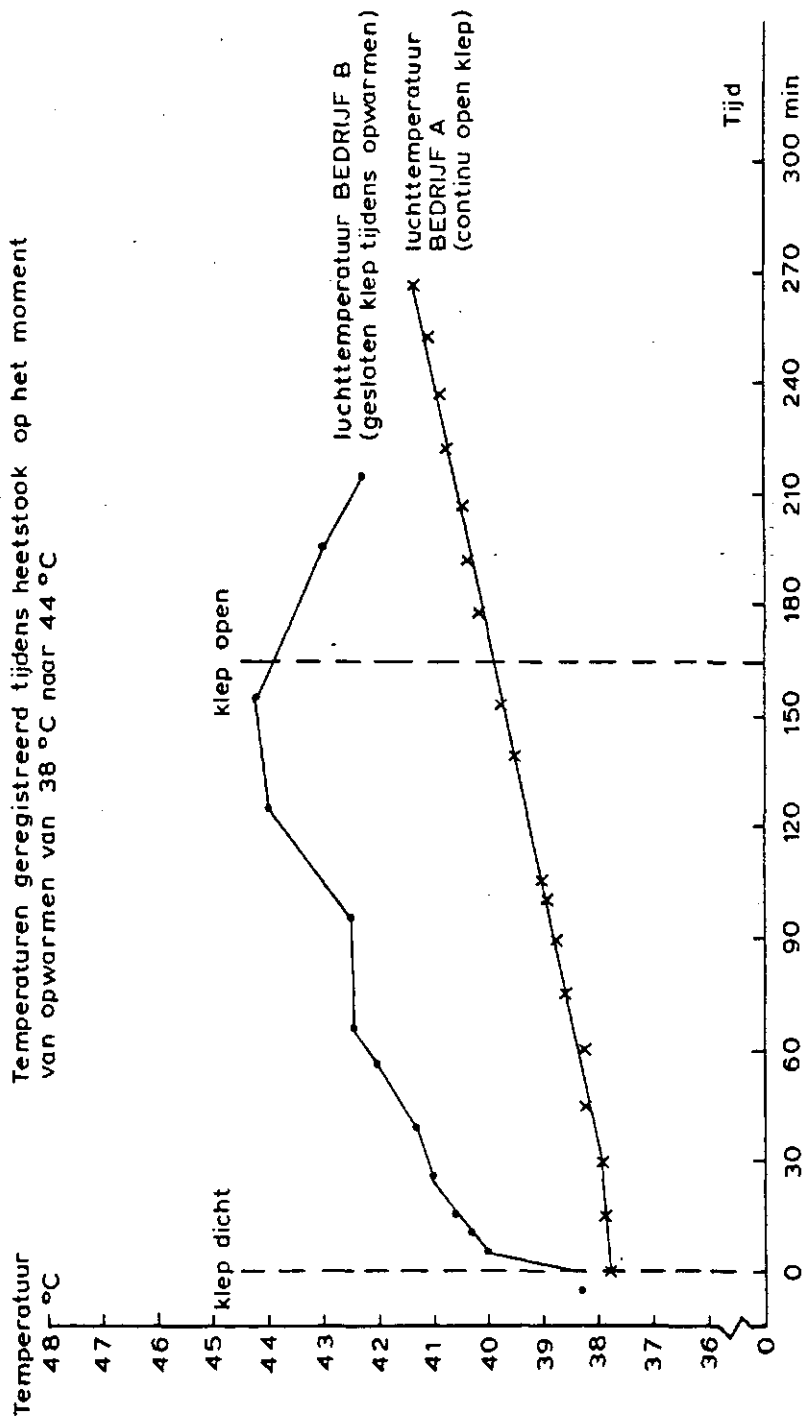




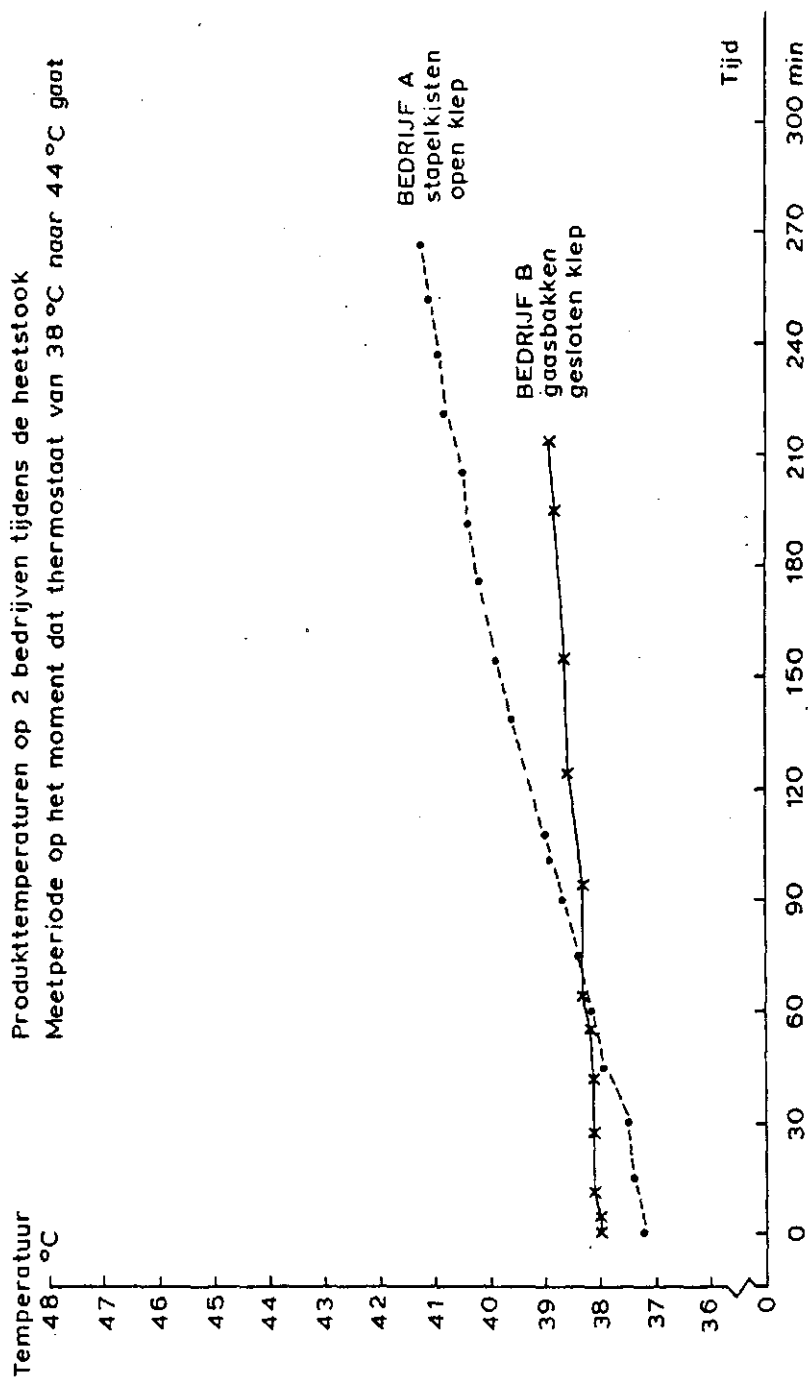
HEETSTOOK IN DE PRAKTYK
 BEDRYF A (HEETSTOOKTEMP.)

	TIJD (min)	KOPPEL NR.0	KOPPEL NR.1	KOPPEL NR.2	KOPPEL NR.3	KOPPEL NR.4	KOPPEL NR.5	KOPPEL NR.6	KOPPEL NR.7	KOPPEL NR.8	KOPPEL NR.9
1	0.0	37.4	32.8	37.2	37.1	37.2	37.5	36.1	37.6	17.3	37.8
2	15.0	37.5	37.4	37.4	37.4	37.4	38.5	37.7	37.7	17.2	37.9
3	30.0	37.5	37.5	37.5	37.6	37.5	39.1	37.8	37.9	18.4	37.9
4	45.0	37.6	37.7	37.6	37.9	37.9	39.6	38.0	38.1	17.2	38.2
5	60.0	37.7	37.8	37.7	38.3	38.1	39.9	38.1	38.4	17.0	38.3
6	75.0	37.8	37.9	37.8	38.6	38.4	40.2	38.3	38.8	17.5	38.6
7	90.0	38.0	38.2	38.3	38.9	38.7	40.4	38.4	39.1	42.4	38.8
8	99.0	38.1	38.3	38.4	39.1	38.9	40.4	38.5	39.3	42.0	38.9
9	108.0	38.2	38.4	38.5	39.2	39.0	40.8	38.6	39.5	41.7	39.0
10	139.0	38.7	38.8	38.9	39.7	39.6	41.1	39.0	40.2	41.8	39.6
11	154.0	39.0	39.0	39.1	40.0	39.9	41.3	39.2	40.5	42.9	39.8
12	176.0	39.3	39.2	39.3	40.3	40.2	41.6	39.5	40.8	42.9	40.2
13	191.0	39.6	39.4	39.6	40.4	40.4	41.7	39.6	41.1	42.9	40.4
14	206.0	39.8	39.5	39.7	40.6	40.5	41.8	39.8	41.2	43.3	40.5
15	221.0	40.0	39.7	39.9	40.8	40.8	42.1	40.0	41.5	42.8	40.8
16	236.0	40.2	39.9	40.0	40.9	40.9	42.1	40.2	41.7	43.3	40.9
17	251.0	40.4	40.1	40.2	41.0	41.1	42.3	40.4	41.8	43.6	41.1
18	266.0	40.6	40.2	40.4	41.2	41.2	42.5	40.5	42.0	43.7	41.4





Produkttemperaturen op 2 bedrijven tijdens de heestlook
 Meetperiode op het moment dat thermostaat van 38 °C naar 44 °C gaat



Berekening van de benodigde ventilatie in de heetstookcel van bedrijf A.

Uitgangspunten:

32,4 m³ produkt in de cel

dichtheid: ρ bulk = 400 kg/m³

warmteproduktie \rightarrow ademhaling: Bij 1 W/ton wordt 0,179 l CO₂/ton·uur geproduceerd

Warmteproduktie = 200 W/ton bij 40°C (meting S.I.) = 35,8 l CO₂/ton·uur

Maximaal aanvaardbare CO₂-concentratie in de cel = 0,1%

Concentratie CO₂ buiten = 0,03%

$$\dot{V}_{\text{vent.}} = \frac{\text{CO}_2 \text{ produktie} \cdot \text{massa}}{\text{conc. uit} - \text{conc. in}} \quad \left[\frac{\text{m}^3/\text{ton} \cdot \text{h} \cdot \text{ton}}{\text{fracties}} = \text{m}^3/\text{h} \right]$$

$$\dot{V}_{\text{vent}} = \frac{200 \cdot 0,179 \cdot 10^{-3} \cdot 32,4 \cdot 400 \cdot 10^{-3}}{0,001 - 0,0003} = 662,8 \text{ m}^3/\text{h}$$

In de cel van bedrijf A is een ventilatie van 660 m³/h voldoende om de CO₂-produktie af te voeren. De werkelijke ventilatiehoeveelheid is 5200 m³/h.

Deze hoeveelheid (660 m³/h) wordt vooral bepaald door de toelaatbare CO₂-concentratie in de cel.

In deze berekening is een uiterst lage concentratie als grens gesteld althans vanuit fysiologisch gezichtspunt.

Voor de ventilatienorm (is 160 m³/h·m³ produkt) heeft deze berekening de volgende consequentie: $\frac{660}{32,4} = 20,4 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^3 \text{ produkt}$.