

Eindrapportage beoordeling temperatuur- en RV-verdeling in een preparatiecel voor irisbollen van 'Het Koelhuis'.

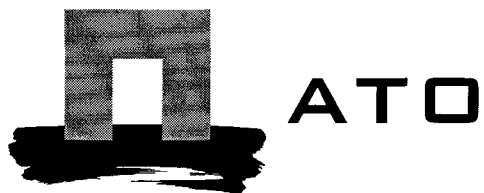
Rapport B471

September 2000

Vertrouwelijk

L.J.S. Lukasse
H.H.J. van Ooijen
H.A.M. Boerrigter





EINDRAPPORTAGE BEOORDELING T- EN RV-VERDELING
IN EEN PREPARATIECEL VOOR IRISBOLLEN VAN "HET
KOELHUIS".

L.J.S. Lukasse
H.H.J. van Ooijen
H.A.M. Boerrigter

**Agrotechnological
Research Institute
(ATO-DLO)**
Bornsesteeg 59
P.O. box 17
6700 AA Wageningen
The Netherlands
tel. +31-317-475000
fax.+31-317-475347

ATO rapport nr.: B471
September 2000

2251485

Inhoudsopgave

Samenvatting	1
1 Inleiding	1
2 Doelstelling.....	1
3 Variaties in binnenklimaatcondities: theorie	2
4 Materialen & Methoden.....	3
4.1 Omschrijving bewaar/preparatiecel	3
4.2 Meetplan	4
4.3 Locaties van T- en RV-sensoren in de cel	4
4.4 Meetapparatuur	5
5 Resultaten en discussie	6
5.1 Luchtdebieten.....	6
5.2 Variaties T en RV in plaats.....	7
5.3 Variaties T_{in} en RV_{in} in tijd	9
5.4 Luchtmonsters.....	11
6 Conclusies.....	12
7 Bijlage I, foto's.....	13

Samenvatting

"Het Koelhuis" te Hillegom heeft een eigen speciale werkwijze cq. temperatuurbehandeling ontwikkeld voor de preparatie van irisbollen. De belangrijkste voordelen van de nieuwe "Koelhuis" methode vergeleken met de traditionele preparatiemethode is een zeer fraai uiterlijk van de bollen, er wordt een zwaarder gewas verkregen en er is een logistiek voordeel te behalen.

Gedurende de afgelopen 2 jaar is de "Koelhuis"- methode probleemloos toegepast. Echter dit seizoen ('99/00) zijn er ernstige schimmelaantastingen (*Penicillium*) bij de geprepareerde bollen waargenomen en is er geen duidelijk aanwijsbare oorzaak voor dit verschijnsel. Bollen die bij derden werden geprepareerd met de traditionele methode hadden geen last van dergelijke besmettingsverschijnselen.

Om uit te sluiten dat de oorzaak van de *Penicillium*-aantasting ligt in de kwaliteit van de klimaatbeheersing is ATO, als extern en onafhankelijk instituut, gevraagd om een waardeoordeel te geven over de kwaliteit van de klimaatbeheersing bij "Het Koelhuis".

Uit de metingen blijkt dat de homogeniteit van het celklimaat uitmuntend is, dankzij een erg hoog circulatievoud. De luchtcirculatie is gelijk verdeeld over de linker en rechter helft van de cel. De ruimtelijke spreiding in de celtemperatuur beperkt zich tot slechts ± 0.5 °C. De ruimtelijke spreiding in RV is beperkt tot 2%. De variaties in tijd zijn zeer beperkt, getuige de geringe oscillaties in aanvoerluchtcondities. De lichtsamenstelling in termen van O₂ en CO₂ ligt ver binnen de kritische grenzen. Op één van de twee monsternamen-dagen overschrijdt de gemeten ethyleenconcentratie de gangbare maximum-norm voor tulpenbollen (100 ppb) enigszins. Omdat het effect van ethyleen op irisbollen niet bekend is en de beperkte overschrijding slechts één maal gemeten is, mag hier geen conclusie aan worden verbonden.

1 Inleiding

"Het Koelhuis" te Hillegom heeft een eigen speciale werkwijze cq. temperatuurbehandeling ontwikkeld voor de preparatie van irisbollen. Deze behandeling wijkt af van de traditionele preparatiemethode. De gebruikelijke behandeling werd in de zeventiger jaren ontwikkeld door het Laboratorium voor Bloembollenonderzoek (LBO) te Lisse en wordt nog steeds in de bollenpraktijk toegepast. De belangrijkste voordelen van de nieuwe "Koelhuis" methode vergeleken met de traditionele preparatiemethode is: een zeer fraai uiterlijk van de bollen, er wordt een zwaarder gewas verkregen en er is een logistiek voordeel te behalen.

Gedurende de afgelopen 2 jaar is de "Koelhuis"- methode probleemloos toegepast. Echter dit seizoen ('99/00) zijn er ernstige schimmelaantastingen (*Penicillium*) bij de geprepareerde bollen waargenomen en is er geen duidelijk aanwijsbare oorzaak voor dit verschijnsel. Bollen die bij derden worden geprepareerd met de traditionele methode hebben geen last van dergelijke besmettingsverschijnselen.

Omdat "Het Koelhuis" haar inkomsten uitsluitend genereert door verhuur van haar cellen aan derden, wil "Het Koelhuis" bewijzen dat de oorzaak van de *Penicillium*-aantasting niet ligt in de kwaliteit van de klimaatbeheersing (temperatuur en RV) in haar cellen. Daarom is ATO, als extern en onafhankelijk instituut, gevraagd om een waardeoordeel te geven over de kwaliteit van haar temperatuur- en RV-beheersing.

2 Doelstelling

Het onderzoek richt zich op het vaststellen van de temperatuurverdeling en de verdeling van de relatieve luchtvochtigheid in een preparatiecel voor irisbollen, die zijn verpakt in gaasbakken.

Indien de variatie niet groter is dan 1°C bij stabiele bewaarcondities en de RV niet meer dan 5% afwijkt van het setpoint wordt de cel beschouwd als zijnde in technische goede staat en geschikt om bloembollenpreparatie mee uit te voeren.

3 Variaties in binnenklimaatcondities: theorie

T- en RV-variaties in de tijd ontstaan primair door variaties in aanvoerluchtcondities, die direct gerelateerd zijn aan de aansturing van de ventilatoren en warmtewisselaars. Deze variaties zijn doorgaans klein en van een dermate hoge frequentie dat ze nauwelijks nadelige gevolgen hebben voor het bewaarde product.

Ernstiger zijn de T- en RV-variaties in plaats. Ruimtelijke temperatuurverschillen ontstaan doordat warmte op andere plaatsen in de cel vrijkomt dan waar het wordt onttrokken. In een cel bevinden zich vier warmtebronnen: productrespiratie, omgevingswarmte die binnendringt door geleiding en lek, ventilatoren en de periodieke ontdooiing van het koelblok. De warmte die vrijkomt bij de warmtebronnen wordt getransporteerd naar de warmteput door luchtcirculatie.

Warmtetransport kan plaatsvinden door drie fysische transportmechanismen: warmtestroming, warmtegeleiding en straling. Stralingsuitwisseling wordt vooral significant bij grote temperatuurverschillen en is daarom in klimaatcellen meestal van ondergeschikt belang. Warmtestroming is het verplaatsen van warmte door het verplaatsen van een gas/vloeistof, dit transport wordt gedreven door drukverschillen. In klimaatcellen is het circuleren van lucht, warmtestroming dus, het belangrijkste mechanisme voor warmtetransport van de diverse warmtebronnen naar de warmteput. Warmtegeleiding is het door temperatuurverschillen gedreven transport van warmte door een stilstaand medium, zonder transport van massa. Op plaatsen in de cel waar de luchtstroming erg klein is, is warmtegeleiding het belangrijkste mechanisme om vrijkomende warmte af te voeren. Warmtegeleiding kan dan ook een belangrijke factor zijn bij het warmtetransport van de bulk naar luchtkanalen.

De weerstand R (Fig. 1) voor warmteafvoer vanaf plaatsen waar de luchtcirculatie minimaal is, kan erg hoog zijn. R is het effect van weerstand voor zowel geleiding als voor stroming en hangt hoofdzakelijk af van de afstand tot locaties waar de lucht circuleert (luchtkanalen), het gebruikte type verpakking en het product.

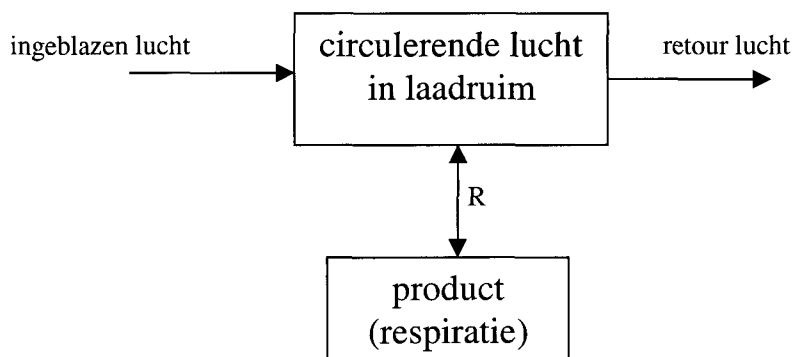


Fig. 1, schematische weergave van warmteoverdracht in de lading.

Ook warmtegeleiding door de wand van de cel kan plaatselijk tot verhoging (verlaging) van de producttemperatuur leiden wanneer tussen product en wand geen ruimte overblijft voor luchtcirculatie.

4 Materialen & Methoden

4.1 Omschrijving bewaar/preparatiecel

De metingen zijn uitgevoerd in cel 76, één van de dertig identieke cellen bij "Het Koelhuis" te Hillegom. Tijdens de meting is de cel vrijwel volledig gevuld met irisbollen: ± 4000 gaasbakken, ofwel zo'n 60 ton irisbollen. Door het tussentijds afleveren van relatief kleine partijen en het bijplaatsen van nieuwe partijen treden er tijdens het experiment kleine veranderingen op in celvulling.

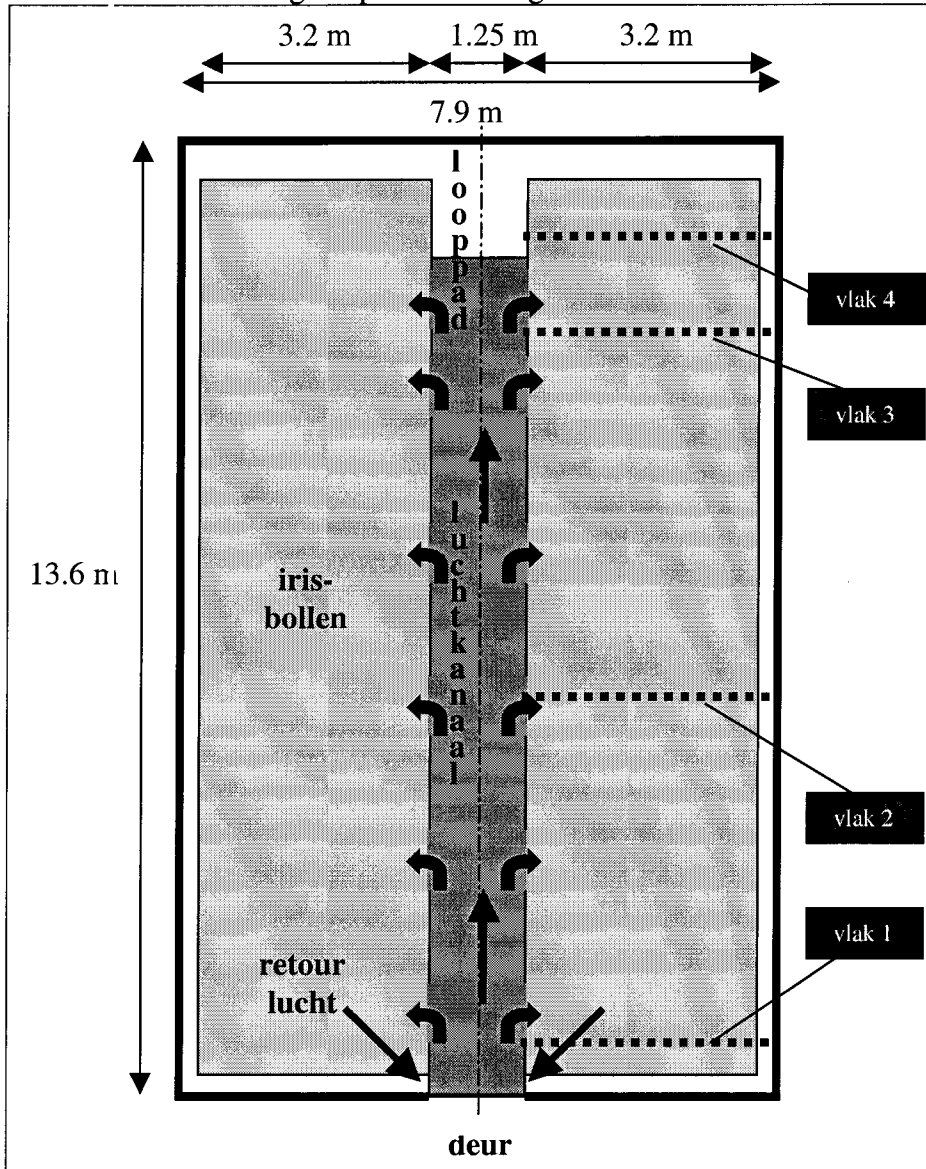


Fig. 2, bovenaanzicht van de cel.

Fig. 2 toont het bovenaanzicht van de symmetrische cel. De celwand is geïsoleerd met 12 cm PUR. Aan beide zijden van de cel bevindt zich weer een 13 °C cel. Om voldoende luchtbeweging tussen wand en product te garanderen is er op de vloer tegen iedere wand een opstaande rand van 20 cm hoog en 13 cm breed gemaakt (Fig. 9). Aan weerszijden van het gangpad staan 14 rijen irisbollen in gaasbakken (Fig. 12). Pootjes op de gaasbakken maken een beperkte horizontale luchtstroming door de gaasbakken-stapelung mogelijk (Fig. 10). Verticale luchtstroming door de gaasbakken-stapelung is mogelijk dankzij het openlaten van beperkte lichtspleten tussen de rijen (Fig. 11) en de luchtdoorlatende bodem van de gaasbakken (Fig. 13). De aanvoer van geconditioneerde

lucht vindt plaats door het luchtkanaal boven het looppad (Fig. 2 en Fig. 12). Het luchtkanaal heeft aan beide zijden 6 zijwaards gerichte uitgangen (Fig. 2). Vlak 1 tm 4 in Fig. 2 zijn denkbeeldige vlakken waarop de T- en RV-sensoren zijn geplaatst.

4.2 Meetplan

Om inzicht te krijgen in de ruimtelijke verdeling van temperatuur en RV is het verloop van temperatuur op 30 en RV op 8 locaties in de cel geregistreerd gedurende de periode 5 Juli 2000 tot 3 Augustus 2000, met een sample interval van 10 minuten.

De luchtdebieten uit alle aanvoerroosters en in de retourstroom zijn eenmalig gemeten met Testo anemometers. In geval ongeveer gelijke luchtsnelheden uit de roosters links en rechts worden gemeten, rechtvaardigt dat het aanleggen van een dicht grid van T- en RV-meetpunten in enkel de rechterhelft van de symmetrische cel. Daarnaast kan inzicht in de luchtstroming helpen bij het verklaren van een evt. optredende ruimtelijke verdeling van T en RV.

Omdat de cel niet wordt geventileerd worden 3 luchtmonsters genomen, die zullen worden geanalyseerd op O₂, CO₂ en ethyleen.

De metingen zijn uitgevoerd tijdens normale bedrijfsvoering van de irisbollen preparatiecel, met uitzondering van het circulatievoud dat tijdelijk is gereduceerd. De standaardinstellingen zijn een T-setpoint van 13 °C, een RV setpoint van 63%, en een vast ingestelde ontdooicyclustijd van 24 uur. Het circulatievoud is gedurende het grootste deel van de meting maximaal (standaard bij "Het Koelhuis"). In de periode van 25 tot 31 Juli, dag 20 tot 26 van de meting, is het circulatievoud gereduceerd tot zo'n 75-80% van het maximale.

Het argument voor reductie van het circulatievoud tijdens de meting is dat bij lager luchtsnelheden de ruimtelijke temperatuurvariaties groter worden, en dus 'slechte locaties' beter waarneembaar worden. Daarnaast is reductie van het circulatievoud voor "Het Koelhuis" een potentiële besparing op energie en kosten. Door meting van T- en RV-verdeling tijdens gereduceerd circulatievoud krijgt "Het Koelhuis" inzicht in het effect van een gereduceerd circulatievoud op de ruimtelijke temperatuurverdeling. Dit is voor "Het Koelhuis" belangrijke informatie ter ondersteuning van een beslissing over al of niet bezuinigen op luchtcirculatie.

4.3 Locaties van T- en RV-sensoren in de cel

Eén T- en RV-sensor zijn geplaatst in de aanvoerlucht, en één T- en RV-sensor in de retourlucht. De overige 28 temperatuur en 6 RV sensoren zijn geplaatst op de denkbeeldige vlakken 1 tm 4 in Fig. 2. De sensoren zijn zoveel mogelijk tussen de irisbollen gestopt, om zodoende echt het microklimaat in de gaasbakken te meten. Fig. 3 toont een vooraanzicht van een vlak met daarin aangegeven de sensorlocaties, de lezer staat daarbij als het ware met de rug tegen de deur en kijkt de cel in. Tabel 1 geeft de plaatsen in de cel waar T en RV gemeten zijn. In de rest van dit verslag zullen sensorlocaties worden aangeduid middels vlak en locatie, bijv. de sensor in vlak 1 op locatie 2.

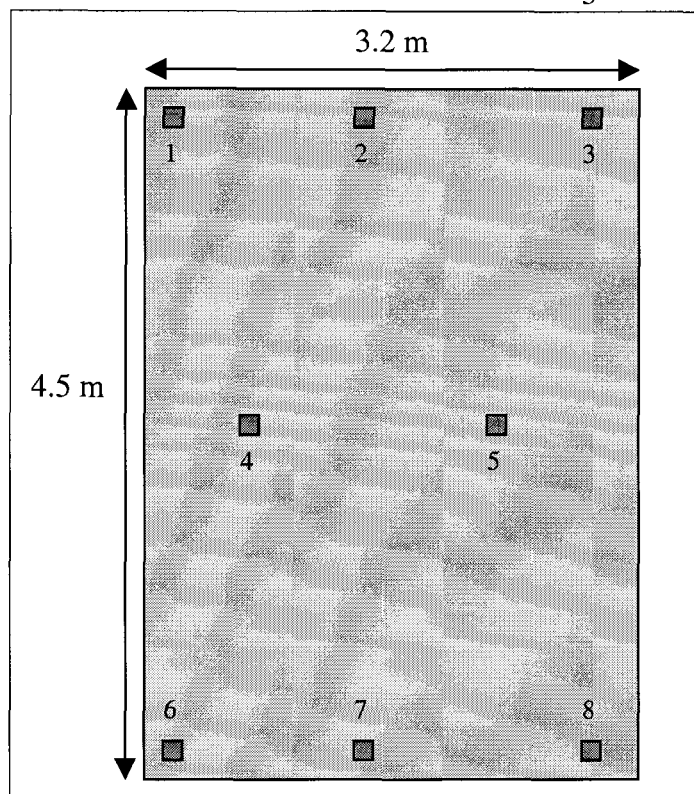


Fig. 3, sensorlocaties in vlakken 1 tm 4.

Tabel 1, T en RV-meetlocaties in de vier vlakken.

vlak	1	2	3	4
temperatuur	1, 2, 4, 5, 7, 8	1, 2, 4 tm 8	1 tm 8	1 tm 8
RV	5	5	3, 4	2, 6

4.4 Meetapparatuur

De temperaturen en RV's zijn geregistreerd middels mobiele Escort senior loggers. In de week voor de meting bij "Het Koelhuis" zijn deze loggers op het ATO geijkt tegen een hoge resolutie Grant1600 T/RV logger in een klimaatkast. De nauwkeurigheid van de T- en RV-metingen bij "Het Koelhuis" wordt daardoor zeer hoog (zie Tabel 2).

Tabel 2, nauwkeurigheid van T- en RV-metingen.

meting	maximale meetfout
temperatuur	0.12 °C
RV	4 %

De luchtsnelheden zijn gemeten met Testo anemometers. Om foutieve snelheidsmetingen ten gevolge van luchturbulentie bij de aanvoerroosters te voorkomen, is daar de anemometer in een venturimeter geplaatst. Een venturimeter is een 70 cm lange buis, met diameter 12 cm ter plaatse van de meting.

De luchtmonsters zijn genomen in speciaal daarvoor bedoelde luchtmonsterflesjes. Op het ATO zijn de luchtmonsters geanalyseerd met een gaschromatograaf.

5 Resultaten en discussie

5.1 Luchtdebieten

De door "Het Koelhuis" gespecificeerde - en de gemeten luchtdebieten zijn weergegeven in Tabel 3, alsmede de circulatievouden. De gemeten luchtdebieten zijn berekend als de gemeten gemiddelde lichtsnelheid loodrecht op het oppervlak vermenigvuldigd met het gemeten oppervlak. Het circulatievoud wordt berekend als luchtdebiet gedeeld door celvolume.

Tabel 3, gespecificeerde en gemeten luchtdebieten.

	maximaal luchtdebiet (m³/h)	gereduceerd luchtdebiet (m³/h)	maximaal circulatievoud (h⁻¹)	gereduceerd circulatievoud (h⁻¹)
gespecificeerd	50 000	30 000	88	53
retour (gemeten)	49 367	39 100	87	69
aanvoer (gemeten)	18 184	13 866	32	24

Het gemeten aanvoer luchtdebiet in Tabel 3 is de optelsom van de luchtdebieten gemeten per luchtrooster. Het verschil tussen gemeten aanvoer en retour is onwaarschijnlijk groot. De oorzaak hiervan is onduidelijk. Mogelijk heeft de gebruikte venturimeter bij meting van aanvoerluchtdebiet bij de roosters een dermate hoge stromingsweerstand dat lucht langs de venturimeter stroomde, zodat structureel een te lage lichtsnelheid is gemeten.

Fig. 4 toont het gemeten aanvoerluchtdebiet per rooster. Daarbij bevindt het linkse rooster no. 1 zich vrijwel boven de celdeur in de linkerhelft van Fig. 2. Uit Fig. 4 blijkt dat bij maximaal luchtdebiet uit alle roosters ongeveer even veel lucht komt. Bij gereduceerd luchtdebiet blijken het vooral de voorste roosters te zijn waar minder lucht uitstroomt. Ook blijkt links en rechts nagenoeg hetzelfde debiet, wat aantoont dat de luchtstroming in de cel symmetrisch is. Deze symmetrie rechtvaardigt meting van T en RV in slechts één helft van de cel.

conclusie: De luchtcirculatie is gelijk verdeeld over de linker en rechter helft van de cel.

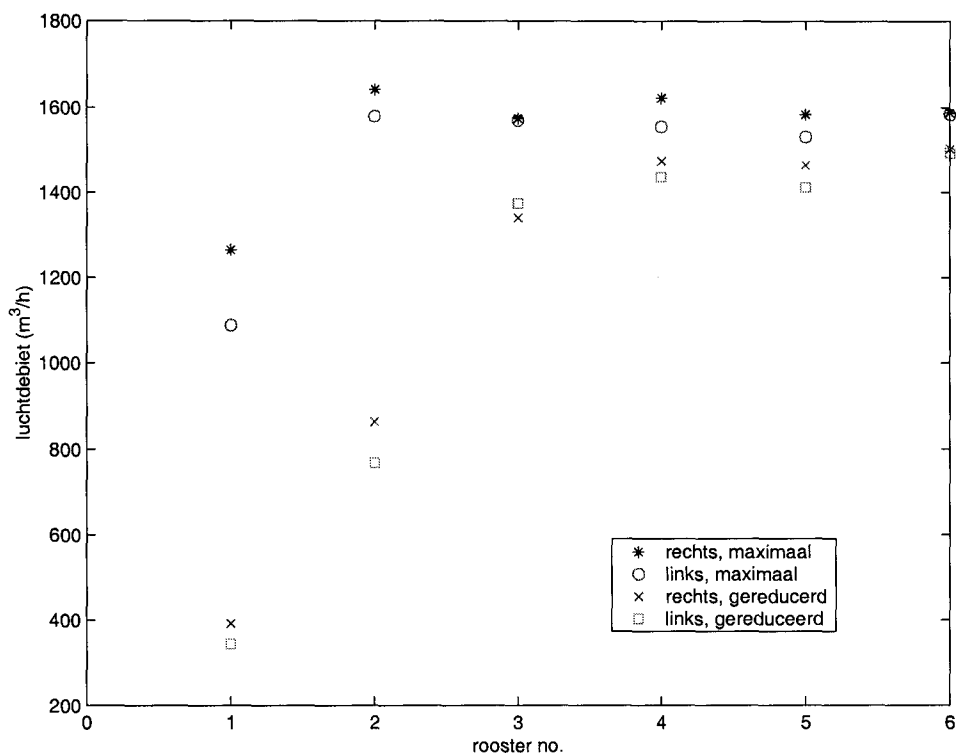


Fig. 4, gemeten aanvoerluchtdebieten per rooster.

5.2 Variaties T en RV in plaats

De gemiddelde RV op de 8 RV-meetlocaties is berekend door alle 8 gemeten RV-verlopen te middelen over de tijd. Hieruit blijkt dat de laagste en hoogste tijdgemiddelde RV-metingen respectievelijk 66.4% en 68.4% bedragen. Dit terwijl de standaardafwijking van de meetfout van de RV-meters maximaal 2% bedraagt (Tabel 2). De waargenomen RV-verschillen zijn dus niet significant, ondanks de hoge nauwkeurigheid van de RV-sensoren. Daarmee is de conclusie gerechtvaardigd dat de ruimtelijk verdeling van de RV perfect is!

Fig. 5 toont de gemeten hoogste en laagste RV. De dagelijkse RV-pieken in de aanvoerlucht worden veroorzaakt door de ontdooing van het koelblok.

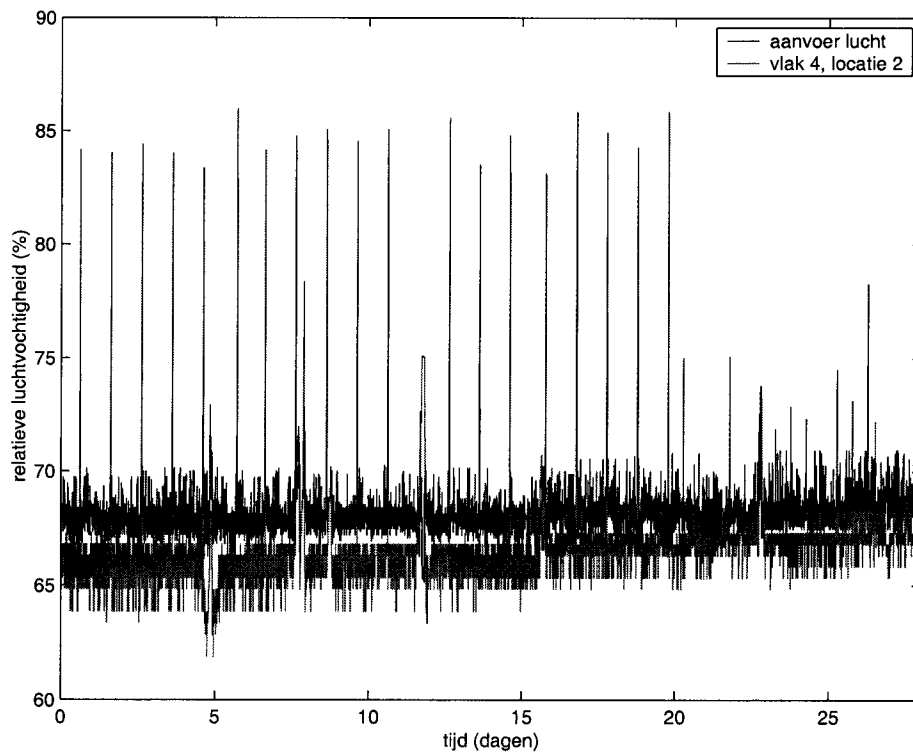


Fig. 5, locaties met laagste en hoogste RV gedurende de meting.

De laagste tijdgemiddelde temperatuur in de cel bedraagt $12.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ en is geregistreerd in vlak 1, locatie 2. De hoogste tijdgemiddelde temperatuur in de cel bedraagt $13.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ en is geregistreerd in vlak 4, locatie 3. Gezien de hoge nauwkeurigheid van de T-sensoren (Tabel 2) is een $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ temperatuurverschil wel significant. Zoals gesteld in hfst. 3 zijn beperkte temperatuurverschillen onvermijdelijk, en dan is een temperatuurverschil van $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ in zo'n grote cel erg weinig.

Fig. 6 toont de gemeten hoogste en laagste temperatuur. Daarbij is de afgebeelde laagste temperatuur niet de werkelijke meting, maar de meting met daaruit weggefilterd de hoogfrequente componenten. Dit omdat de laagst gemeten temperatuur vrij veel hoogfrequent signaal bevat. De zogenaamde laag-doorlaat filtering is toegepast om te voorkomen dat de afgebeelde laagste temperatuur in Fig. 6 verwordt tot slechts één dikke blauwe band rond $12.6\text{ }^{\circ}\text{C}$.

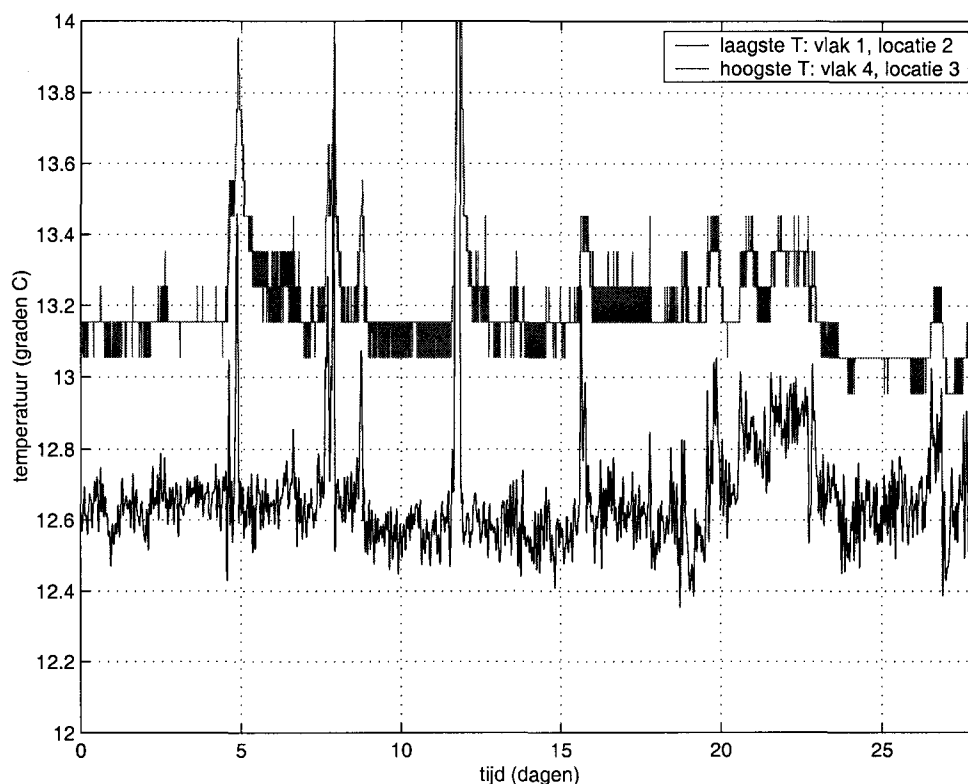


Fig. 6, gemeten hoogste en (gefilterde) laagste temperatuur.

Het effect van een gereduceerd circulatievoud gedurende dag 20 tot 26 van de meting is totaal niet zichtbaar in de metingen (zie Fig. 5 en Fig. 6). Wel is er een beperkte sprong in alle geregistreeerde temperatuurverlopen rond dag 23 (28 Juli 2000) (zie bijv. Fig. 6). Op die dag is er onderhoud gepleegd aan het besturingssysteem van "Het Koelhuis". De exacte oorzaak is echter onduidelijk.

conclusies:

- *De ruimtelijke spreiding in de celtemperatuur beperkt zich tot slechts ± 0.5 °C.*
- *De ruimtelijke spreiding in RV is beperkt tot 2%.*

5.3 Variaties T_{in} en RV_{in} in tijd

Alle geregistreeerde temperaturen en RV's zijn nagenoeg constant in de tijd. Variaties in RV zijn beperkt tot enkele procenten. Wel is er een beperkte, maar blijvende, afwijking (offset) tussen streefwaarde en geregistreeerde RV: de RV in de cel ligt steeds zo'n 3% boven het setpoint van 63% (Fig. 5). Daar de meetfout van de RV-sensoren oploopt tot 4% (Tabel 2), is die 3% afwijking niet significant.

Ook voor temperatuur is de afwijking nihil: de tijdgemiddelde aanvoer luchttemperatuur is 12.75 °C i.p.v. de gewenste 13 °C. De celtemperatuur gemiddeld over alle locaties én over de tijd bedraagt 12.88 °C. Fig. 7 toont het gefilterde verloop van aanvoerluchttemperatuur, waaruit blijkt dat bekeken op een tijdschaal van dagen de temperatuur zeer stabiel is.

Variaties in de temperatuur van de aanvoerlucht beperken zich tot minder dan 1 °C, met uitzondering van de onvermijdelijke korte pieken ten gevolge van ontdooicycli

(Fig. 8). Wel is in Fig. 8 te zien dat er een voortdurende oscillatie bestaat met een amplitude van zo'n 0.3 °C en een periodetijd van zo'n 45 min. Dat deze hoogfrequente oscillatie nadelig is voor het bewaarde product is volkomen uitgesloten.

conclusie: De variaties in tijd zijn zeer beperkt, getuige de geringe oscillaties in aanvoerluchtcondities (Fig. 5, Fig. 7, Fig. 8).

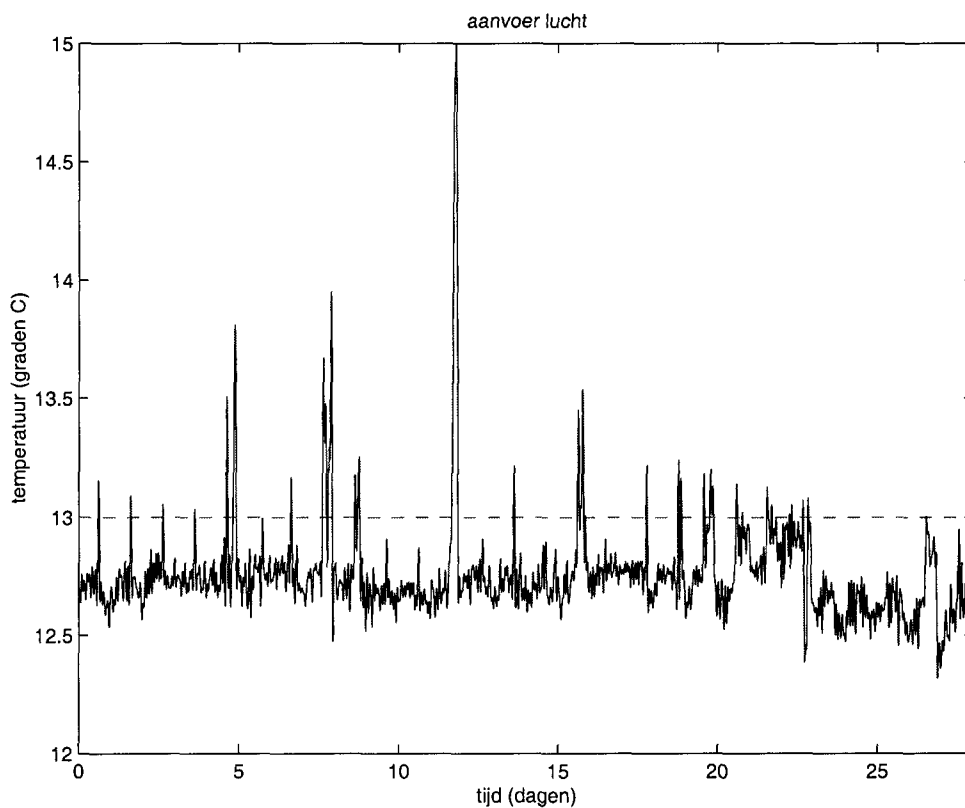


Fig. 7, (gefilterde) aanvoer luchttemperatuur.

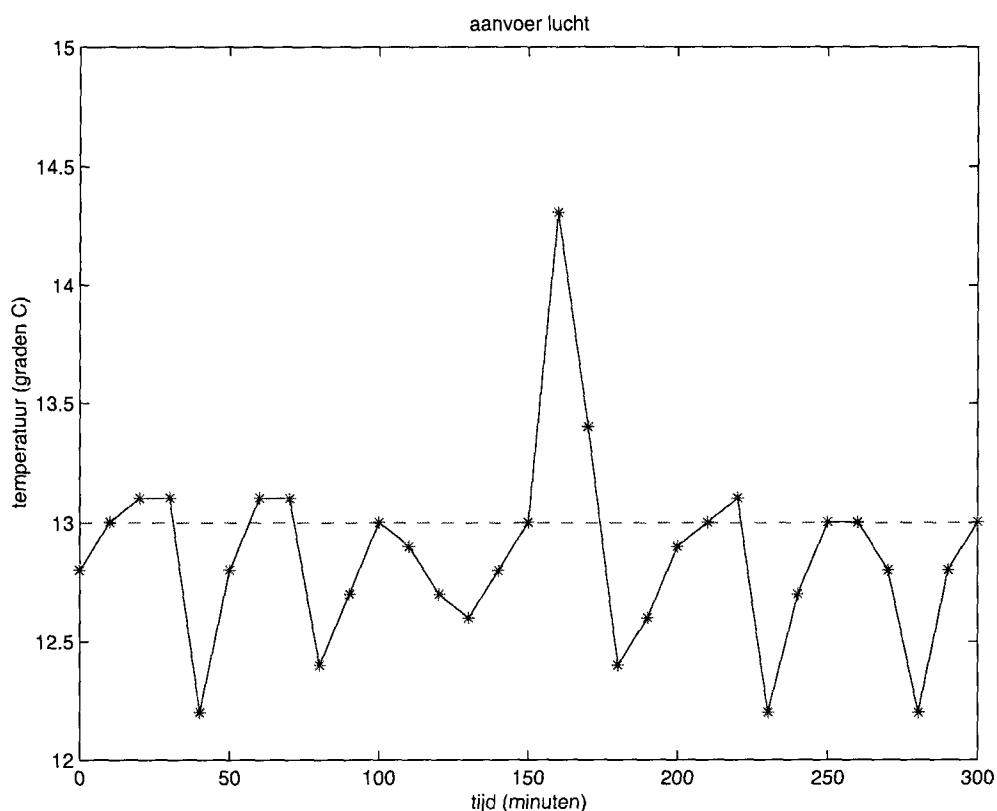


Fig. 8, ongefilterde gemeten aanvoerluchttemperatuur (*) en streefwaarde (--).

5.4 Luchtmonsters

De gemeten luchtmonsters staan in Tabel 4. De gemeten O_2 -concentratie is gelijk aan buitenlucht (21%). CO_2 is licht verhoogd ten opzichte van buitenlucht (0.035%). Als norm in koelcellen wordt doorgaans een CO_2 -bovengrens gehanteerd van 5%, vooral uit het oogpunt van personeelsveiligheid. Voor ethyleen wordt bij tulpenbollen een bovengrens gehanteerd van 100 ppb. Eén van de drie monsters overschrijdt deze norm enigszins. Omdat het effect van ethyleen op irisbollen, in tegenstelling tot tulpenbollen, niet bekend is en de beperkte overschrijding slechts één maal gemeten is, mag hieraan geen conclusie worden verbonden.

Samenvattend mag worden gesteld dat de gemeten O_2 - en CO_2 -concentraties volledig acceptabel zijn, terwijl voor ethyleen hooguit een vraagteken geplaatst mag worden bij monster 3.

Tabel 4, luchtmonsters

monster	datum	CO_2 (%)	O_2 (%)	ethyleen (ppb)
no. 1	5 Juli 2000	0.7	20.9	59
no. 2	5 Juli 2000	0.4	21.3	47
no. 3	2 Augustus 2000	0.1	21.5	149

conclusies:

- De luchtsamenstelling in termen van O_2 en CO_2 ligt ver binnen de kritische grenzen.
- Met betrekking tot ethyleen is geen conclusie mogelijk.

6 Conclusies

- De homogeniteit van het celklimaat is uitmuntend, dankzij een erg hoog circulatievoud.
- De luchtcirculatie is gelijk verdeeld over de linker en rechter helft van de cel.
- De ruimtelijke spreiding in de celtemperatuur beperkt zich tot slechts ± 0.5 °C.
- De ruimtelijke spreiding in RV is beperkt tot 2%.
- De variaties in tijd zijn zeer beperkt, getuige de geringe oscillaties in aanvoerluchtcondities (Fig. 5, Fig. 7, Fig. 8).
- De luchtsamenstelling in termen van O₂ en CO₂ ligt ver binnen de kritische grenzen.
- Op één van de twee monsternamen-dagen overschrijdt de gemeten ethyleenconcentratie de gangbare maximum-norm voor tulpenbollen (100 ppb) enigszins. Omdat het effect van ethyleen op irisbollen niet bekend is en de beperkte overschrijding slechts één maal gemeten is, mag hier geen conclusie aan worden verbonden.
- Het hoge circulatievoud lijkt overdadig. Daarom verdient het aanbeveling om te onderzoeken of het mogelijk is kosten te besparen door de luchtsnelheden te reduceren. Daarbij dient "Het Koelhuis" er uiteraard voor te waken dat de temperatuur- en RV-spreiding beperkt blijft.

7 Bijlage I, foto's



Fig. 9, grondbalk garandeert luchtbeving tussen product en wand.



Fig. 10, ruimte voor horizontale luchtbeving tussen gaasbakken.



Fig. 11, enkele centimeters ruimte tussen twee rijen gaasbakken



Fig. 12, retourlucht - en aanvoerluchtkanaal.



Fig. 13, de luchtdoorlatende bodem van een gaasbak.