

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 516 (GEHEIM),
Bijlagen rapport 516A

Ir. J.W. Rudolphij, R.G. Bons,
H.A.M. Boerrigter, H.J. van Laar

ONDERZOEK VAN DE TEMPERATUUR-
VERDELING IN DE GEKOELDE HAL
VAN DE BLOEMENVEILING WESTLAND

Uitgebracht aan de Bloemenveiling Westland
Project no.290
Januari 1986

INHOUD**BLZ****SAMENVATTING**

1. INLEIDING	4
2. PROEFOPZET	5
3. SCHEMA VAN DE MEETPUNTEN; ONTWERPGEGEVENS VAN DE INSTALLATIE	6
4. UITGEVOERDE METINGEN	8
5. BESPREKING MEETRESULTATEN	10
5.1 Koelceltemperatuur	10
5.2 Inkoelfase van de koelcel	19
6. CONCLUSIES; AANPASSINGEN	22
7. BIJLAGEN: TABELLEN, GRAFIEKEN, BEREKENINGEN (ZIE BIJLAGEN RAPPORT 516A)	

SAMENVATTING

Dit rapport bevat de resultaten van metingen voor het vaststellen van de temperatuurverdeling in enkele vakken van de gekoelde neerzetruimte van de bloemenvelding Westland.

De aanleiding is gelegen in het feit dat bij deze koelinstallatie, bestemd voor een grote ruimte (totaal 20.000 m²) voor het eerst gebruik is gemaakt van een luchtverdeelsysteem uit de luchtverwarmingstechniek met de naam "Dirivent". Het luchtverdeelsysteem is van een type, dat berust op injecteurwerking. De laagste temperatuurinstelling van de ruimte geeft een temperatuurverdeling, die marginaal voldoet aan de ontwerpeis nl. maximale ruimtetemperatuur 2°C. De gedachte om uit de resultaten van de metingen aanwijzingen te kunnen krijgen voor bij voorkeur niet te ingrijpende wijzigingen aan de installatie om langs die weg ruimer aan de ontwerpeis te kunnen voldoen, was een tweede aanleiding om het onderzoek uit te voeren.

Uit het resultaat van de temperatuurmetingen komt een beeld van de werking van het luchtverdeelsysteem naar voren, dat afwijkt van hetgeen bij het ontwerp voor ogen stond.

Deze afwijking heeft in de huidige uitvoering enkele minder gunstige aspecten. Onder meer het feit, dat het systeem maar moeizaam gekoelde lucht transporteert tot achterin de ruimte. Vervolgens, dat het voordeel van de toepassing van water-lucht-warmtewisselaars, nl. het geringe vochtdeficit van de gekoelde lucht, wordt aangetast door een forsere opwarming van de koellucht tijdens de transportweg naar de achterzijde van de neerzetruimte, dan nodig is.

In het rapport worden enkele mogelijke installatieaanpassingen genoemd en besproken.

Omdat het te koelen produkt hoofdzakelijk bestaat uit snijbloemen in emmers op water, zodat het drogend effect van de koeling wordt gecompenseerd en omdat de ontwerpeis voor wat betreft de ruimtetemperatuur voor de remming van de knopontwikkeling ruim aan de veilige kant ligt, zal een klimaatverbetering door installatieaanpassingen waarschijnlijk geen invloed van betekenis meer uitoefenen op de produktkwaliteit.

1. INLEIDING

Door het bestuur en de directie van de Veiling Westland is aan het Sprenger Instituut gevraagd de temperatuurverdeling te controleren in een aantal representatieve compartimenten van de in 1985 gereed gekomen gekoelde neerzetruimte van de veiling. De neerzetruimte heeft een oppervlak van ruwweg 20.000 m², verdeeld over 2 verdiepingen en is verder onderverdeeld in 10 compartimenten van verschillende grootte.

De warmtewisselaars (natte kruisstroomkoelers) in de compartimenten bevinden zich aan één zijwand en van daaruit wordt de gekoelde lucht verdeeld over de lengte van een compartiment (ca. 50 m) met behulp van een luchtverdeelsysteem, dat berust op injecteurwerking, het "dirivent-systeem". Dit luchtverdeelsysteem uit de luchtverwarmingssector is hier voor het eerst toegepast in een gekoelde ruimte.

Luchtverdeelsysteem en temperatuurverdeling hangen nauw samen. Er zijn 2 belangrijke aspecten:

1. Wordt de gekoelde lucht, die door zijn grotere soortelijke massa in vergelijking tot die van de warmere lucht van de omgeving de neiging heeft uit het gebied van de injecteurwerking te zakken in voldoende mate meegenomen tot achterin de koelcel?
2. Een injecteursysteem zoals het "dirivent-systeem" wordt ontworpen en gebouwd voor een vastgestelde luchtcirculatie. Aanpassing aan praktijkomstandigheden achteraf, is niet eenvoudig te realiseren door een ander instelpunt te kiezen maar vraagt een aanpassing van de installatie.

Dit is een lastige beperking wanneer het luchtverdeelsysteem in combinatie met een koelsysteem, dat gebruik maakt van water-lucht-warmtewisselaars, wordt toegepast. Dit is hier het geval. Een dergelijk koelsysteem kan als laagste koelluchttemperatuur slechts ca. 0,5°C leveren. Wordt nu in een grote ruimte aan de ruimtetemperatuur de eis gesteld van 2°C, dan is het noodzakelijk het circulatiedebiet van de koeler(s) en het circulatiedebiet van het luchtverdeelsysteem goed op elkaar af te stemmen. In principe bij een klein temperatuurverschil 1:1; ofwel alle circulerende lucht moet binnen één cyclus in de ruimte ook de koeler(s) passeren. Waar de koelluchttemperatuur lager kan worden ingesteld, zoals bij verdampers mogelijk is, of waar de ruimtetemperatuur hoger wordt gekozen zodat er regelbereik ontstaat voor de instelling van de koelluchttemperatuur ook voor water-lucht-warmtewisselaars, wordt de vrijheidsgraad bij de keuze van de beide luchtcirculaties groter. In dat geval nl. kan door de keuze van de koelluchttemperatuur zodanig worden gecorrigeerd, dat uit de menging van de koellucht en de door het luchtverdeelsysteem buiten de koelers om aangezogen warmere retourlucht een gewenste ruimtetemperatuur wordt gerealiseerd. Menging van de hoog vochtige gekoelde lucht uit de water-lucht-warmtewisselaars met warmere retourlucht vernietigt wel het voordeel van deze warmtewisselaars nl. het feit, dat ze gekoelde lucht kunnen leveren met een gering vochtdeficit en dus met een gunstig effect op de mate van uitdroging van het te koelen produkt.

Aangezien de te onderzoeken gekoelde ruimte een neerzetruimte van een veiling is, die in de loop van de middag en de avond en soms tot voorbij middernacht chargegewijze wordt gevuld en 's ochtends vanaf ca. 4.00 uur weer wordt geopend voor de keuring van de produkten, is er nauwelijks sprake van een periode met

een stationnaire temperatuurverdeling in de ruimte. Om tegen die achtergrond toch te kunnen beoordelen of het gewenste temperatuurniveau van ca. 2°C voor het produkt wordt bereikt, is als criterium gekozen de temperatuurverdeling in de periode van 1.00 uur tot 3.00 uur 's nachts.

2. PROEFOPZET

Er zijn temperatuurmetingen verricht in een compartiment op de begane grond en in een compartiment op de verdieping. Een compartiment bestaat uit 2 of meer vakken. Binnen een compartiment is gemeten in één vak; beneden vak 22 en boven vak 155. Een vak (breedte ca. 12 m en diepte ca. 50 m) wordt geconditioneerd door middel van 2 water-lucht-kruisstroomkoelers, die worden gevoed vanuit een ijsbank. De koelers zijn ieder voorzien van 4 circulatieventilatoren. Het luchtverdeelsysteem in een vak bestaat uit één diriventblok, dat wordt aangedreven door een hoge-druk ventilator.

Zie de schetsen in bijlage 1.

De vakken zijn voorzien van 30 tot 33 temperatuurmeetpunten. De temperaturen van de meetpunten zijn geregistreerd op ponsband met tussenpozen van 1 uur gedurende de bedrijfstijd van de gekoelde neerzetruimtes tijdens enkele weekenden in de periode januari-februari 1986.

De vulling van de neerzetruimtes bestaat uit stapelwagens met snijbloemen in emmers. Voor deze open verpakking geldt, dat het produkt ca. 2,5 uur na inbreng de luchttemperatuur heeft aangenomen. Representatief voor de produkttemperatuur is dus de luchttemperatuur op 1 m boven vloerpeil in de ruimte enkele uren na inbreng van de laatste charges.

Zoals reeds in de inleiding is vermeld is als criterium voor het bereikte temperatuurniveau in de ruimte gekozen de temperatuur in de periode van 1.00 uur tot 3.00 's nachts en wat de produkttemperatuur betreft moet dus in het bijzonder worden gelet op de gemeten temperaturen in die periode op 1 m boven het vloerpeil.

3. SCHEMA VAN DE MEETPUNTEN; ONTWERPGEGEVENS VAN DE INSTALLATIE

In de schetsen in bijlage 1 zijn aangegeven de plaatsen van de thermokoppels (Cu-Co) voor de temperatuurmetingen (T0 t/m T34).

IJsbank, waterinlaat en waterretour resp.	: T0, T1 en T2 ¹⁾
Aanzuigzijde dirivent	: T3, T4
Aanzuigzijde koelerblok I resp. koelerblok II	: T5, T6
Uitblaaslucht van de koelers	: T7, T8, T9
Dirivent: uitblaaslucht nozzles	: T10, T12, T15, T17, T20, T22, <u>T25</u> , <u>T27</u> ²⁾ <u>T30</u> , T32
inductieluchtstroom	: T11, T13, T16, T18 T21, T23, <u>T25</u> , T26 <u>T27</u> , T28, T31, T33
Retourluchtstroom op ca. 1 m boven vloerpeil	: T14, T19, T24, T29 <u>T30</u> , T34

- 1) De constructie ter plaatse van koelers en ijsbank geeft niet altijd de mogelijkheid om thermokoppel T2 te plaatsen.
- 2) De onderstreepte thermokoppels zijn bij de verschillende proeven op verschillende plaatsen gebruikt (zie schets bijlage 1).

Ontwerpgegevens van de installatie

Opgave per vak met een breedte van 12 m³⁾

Koelers: koelvermogen	: 72 kW
luchtcirculatie (P totaal=210 Pa)	: 36000 m ³ /h
ventilator motoren; geïnstall./opgenomen	: 8,8/7,2 kW
watercirculatie (ΔT_{max} 0,6°C)	: 102 m ³ /h
pomp motorvermogen; geïnstall./opgenomen	: 2,7/1,7 kW

Dirivent: aanzuig	: 5000 m ³ /h
inductievoud	: ?
gewenst is 7 à 8 om het luchtcirculatiedebiet door de koeler(s) en het luchttransport door de dirivent met elkaar in overeenstemming te brengen.	
motorvermogen ventilator	: ca. 2,5 kW

IJsbank voor 2 vakken:

koelvermogen warmtewisselaars	120 kW = 60 kW per vak (-6°C verd.temp; +0,5°C watertemp.)
ijsbuffer	: 418 kWh=209 kWh per vak
roerwerk	: 1,5 kW = 0,75 kW per vak

- 3) In compartimenten, die bestaan uit 3 vakken is de uitvoering enigszins afwijkend van die, die bestaan uit 2 of 4 vakken.

4. UITGEVOERDE METINGEN

1e proef: stapelwagens met produkt; door geringe aanvoer in het weekend slechts een beperkte bezetting van de proefvakken.

A22: vak 22 begane grond; start 17/01/1986 10,35 uur | 72 uur
stop 20/01/1986 10,35 uur

meetresultaat: zie bijlagen 2.0; 2.1; 2.2; 2.3 in rapport 516A

A22.1: 1e nacht; belading v/h vak: 5 stapelwagens (2,5% gevuld)

A22.2: 2e nacht; belading v/h vak: 39 stapelwagens (20% gevuld)

A22.3: 3e nacht; belading v/h vak: 75 stapelwagens (38% gevuld)

maximum belading v/h vak 196 stapelwagens.

A155: vak 155, verdieping; start 17/01/1986 11.10 uur | 72 uur
stop 20/01/1986 11.10 uur

meetresultaat: zie bijlagen 3.0; 3.1; 3.2; 3.3 in rapport 516A

A155.1: 1e nacht; belading v/h vak: 0 stapelwagens (0% gevuld)

A155.2: 2e nacht; belading v/h vak: 52 stapelwagens (52% gevuld)

A155.3: 3e nacht; belading v/h vak: 71 stapelwagens (71% gevuld)

maximum belading v/h vak: 150 stapelwagens; echter van het beschikbare deel 100 stapelwagens. De rest van het vak was in gebruik als tijdelijke opslagruimte en was gevuld met 50 stapelwagens met leeg fust.

2e proef: stapelwagens met lege dozen; het doel van de proef is geweest de in de eerste proef geconstateerde invloed van kanaalvorming door de aanwezigheid van stapelwagens in het inductiegebied van de dirivent nader te onderzoeken.

B22: vak 22, begane grond; start 24/01/1986 12.00 uur | 71 uur
stop 27/01/1986 11.00 uur

meetresultaat: zie bijlagen 4.0; 4.1; 4.2; 4.3 in rapport 516A

B22.1: 1e nacht; belading v/h vak: 0 stapelwagens (0% gevuld)

B22.2: 2e nacht; belading v/h vak: 98 stapelwagens (50% gevuld)

B22.2: 3e nacht; belading v/h vak: 196 stapelwagens (100% gevuld)

3e proef: stapelwagens met produkt op emmers; proef met een betere vakbezetting.

C22: vak 22, begane grond; start 31/01/1986 11.25 uur | 72 uur
stop 03/02/1986 11.25 uur

meetresultaat: zie bijlagen 5.0; 5.1; 5.2; 5.3 in rapport 516A

C22.1: 1e nacht; belading v/h vak: ca. 65 stapelwagens (33% gevuld)

C22.2: 2e nacht; belading v/h vak: ca. 130 stapelwagens (66% gevuld)

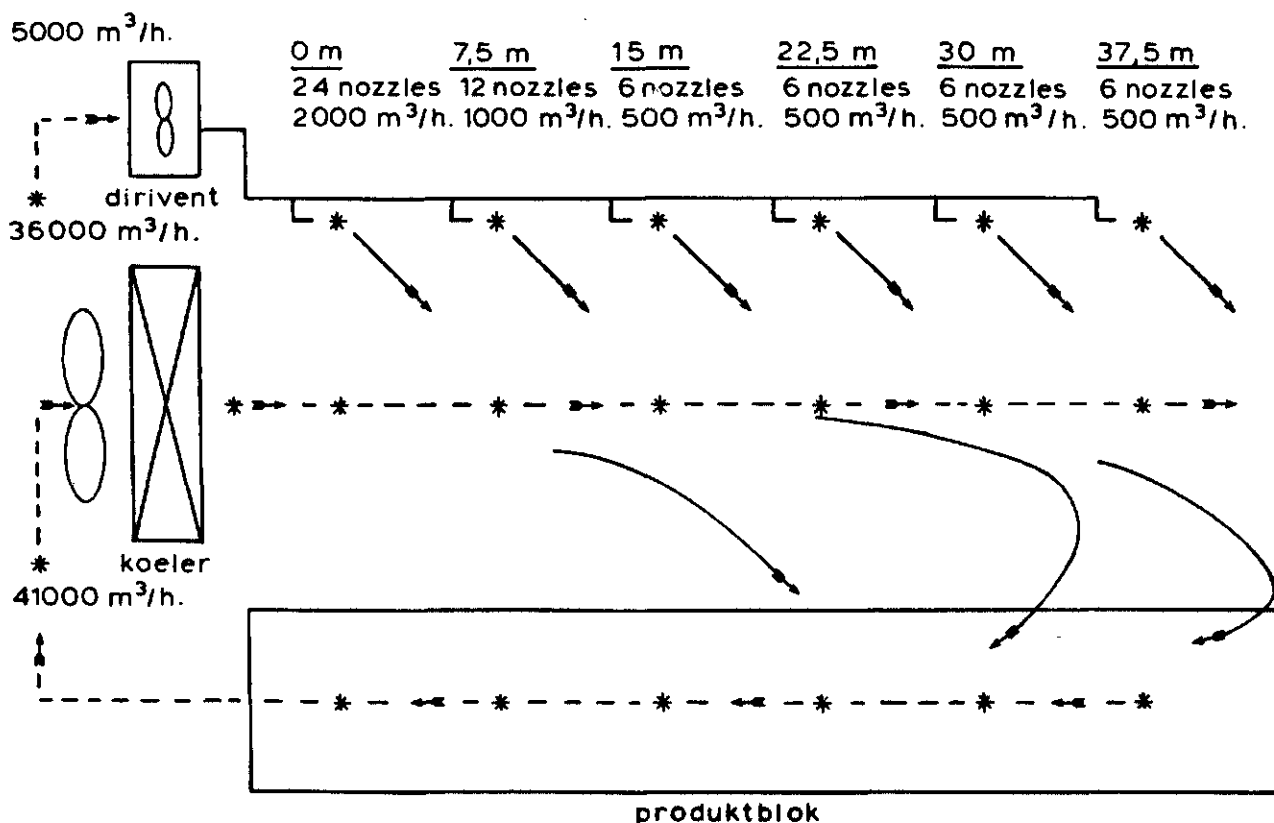
C22.3: 3e nacht; belading v/h vak: ca. 130 stapelwagens (66% gevuld)

5. BESPREKING MEETRESULTATEN

5.1 Koelceltemperatuur

In de tabellen 1 t/m 4 zijn samengevat de meetresultaten van de stationnair veronderstelde temperatuurverdelingen in de ruimten in de perioden van 1.00 uur tot 3.00 uur 's nachts. Om de gegevens uit de tabellen te kunnen visualiseren is figuur 1 opgenomen.

Voor wat betreft de nauwkeurigheid van de temperatuurmetingen moet worden gerekend op een bandbreedte van $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$.



Figuur 1. Schematische voorstelling van het luchtverdeelsysteem.

Met een * zijn aangegeven de temperaturen, die in de tabellen 1 t/m 4 zijn verwerkt.

proefcode ¹⁾	A22.1			A22.2			A22.3		
	dirivent niveau	koeler niveau	produkt niveau	dirivent niveau	koeler niveau	produkt niveau	dirivent niveau	koeler niveau	produkt niveau
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
in	2.1	2.1	-	1.7	1.6	-	1.7	1.7	-
uit	-	0.5	-	-	0.6	-	-	0.6	-
0 m	3.0-3.2	0.8-1.7	1.7	2.6-2.8	0.7-1.4	1.3	2.6-2.8	0.7-1.4	1.3
7.5 m	2.8-3.0	1.4-1.7	1.8	2.5-2.7	1.3-1.3	1.4	2.5-2.7	1.2-1.3	1.4
15 m	3.0-3.3	1.6-2.4	1.8	2.6-2.8	1.6-1.9	1.4	2.5-2.8	1.3-1.7	1.5
22.5 m	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30 m	3.3-3.4	2.9-3.3	2.9	2.9-3.0	2.6-3.1	2.7	2.6-2.8	1.8-2.0	2.1
37.5 m	3.2-3.3	3.0-3.3	-	2.8-2.9	2.5-3.1	-	2.5-2.8	2.0-2.2	-

1) Zie hoofdstuk 4

Tabel nr. 1 Proefnr. 1 Vaknr. 22 Periode 17/1 - 20/1
 Meetresultaat stationnaire temperatuurverdeling

proefcode ¹⁾	A155.1			A155.2			A155.3		
	dirivent niveau	koeler niveau	produkt niveau	dirivent niveau	koeler niveau	produkt niveau	dirivent niveau	koeler niveau	produkt niveau
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
in	1.5	1.5	+	1.4	1.4	-	1.4	1.4	-
uit	-	0.5	-	-	0.4	-	-	0.4	-
0 m	2.6-2.9	0.7-1.2	1.8	2.5-2.7	0.7-1.1	1.7	2.5-2.8	0.7-1.1	1.7
7.5 m	2.8-2.9	1.3-1.5	1.7	2.6-2.8	1.1-1.3	1.7	2.4-2.8	1.1-1.2	1.6
15 m	2.8-2.9	1.4-1.7	1.6	2.6-2.9	1.4-1.6	1.5	2.4-2.9	1.1-1.2	1.6
22.5 m	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30 m	2.8-2.9	1.7-1.9	1.8	2.6-2.8	1.5-1.6	1.7	2.6-2.9	1.7-2.0	2.2
37.5 m	2.3-2.7	1.6-1.8	1.8	2.3-2.4	1.4-1.7	1.7	2.5-2.7	1.7-2.4	2.5

1) Zie hoofdstuk 4

2) open deur achter in de cel

Tabel nr. 2 Proefnr. 1 Vaknr. 155 Periode 17/1-20/1
 Meetresultaat stationnair temperatuurverdeling

proefcode ¹⁾	B22.1			B22.2			B22.3		
	dirivent niveau	koeler niveau	produkt niveau	dirivent niveau	koeler niveau	produkt niveau	dirivent niveau	koeler niveau	produkt niveau
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
in	2.1	2.1	-	2.0	2.1	-	1.7	1.7	-
uit	-	0.5	-	-	0.6	-	-	0.5	-
0 m	2.9-3.2	0.8-1.7	1.8	2.8-3.1	0.8-2.3	1.8	2.5-2.8	0.8-1.2	1.4
7.5 m	2.9-3.0	1.5-1.7	1.8	2.7-3.1	1.2-2.2	2.2	2.4-2.8	1.0-1.7	1.7
15 m	2.9-3.3	1.6-2.4	1.9	2.9-3.2	1.9-2.4	2.3	-	1.6-2.2	2.4
22.5 m	-	2.4-3.0	2.1	-	2.3-2.6	2.3	-	1.6-2.2	2.4
30 m	-	2.5-3.1	2.4	-	2.3-2.5	2.5	-	1.9-2.5	2.6
37.5 m	-	2.8-3.2	3.0	-	2.2-2.5	2.4	-	2.0-2.5	2.4

1) Zie hoofdstuk 4

Tabel nr. 3 Proef nr. 2 Vaknr. 22 Periode 24/1-27/1
 Meetresultaat stationnaire temperatuurverdeling

proefcode ¹⁾	C22.1				C22.2				C22.3							
	dirivent niveau	koeler niveau	produkt niveau	°C	dirivent niveau	koeler niveau	produkt niveau	°C	dirivent niveau	koeler niveau	produkt niveau	°C	dirivent niveau	koeler niveau	produkt niveau	°C
in	2.0	1.9	-	-	1.9	1.9	-	-	1.3	1.5	-	-	-	-	-	-
uit	-	0.6	-	-	-	0.6	-	-	-	0.2	-	-	-	-	-	-
0 m	2.8-3.1	0.8-1.6	1.7	1.7	2.7-3.0	0.8-1.7	1.5	1.5	2.3-2.5	0.4-1.4	1.0	1.0	2.3-2.5	0.4-1.4	1.0	1.0
7.5 m	2.8-3.0	1.4-1.6	1.7	1.7	2.6-2.8	1.3-1.5	1.4	1.4	1.9-2.2	0.7-1.0	0.9	0.9	1.9-2.2	0.7-1.0	0.9	0.9
15 m	2.6-3.1	1.4-2.2	1.8	1.8	2.5-2.9	1.4-1.8	1.6	1.6	2.1-2.5	1.0-1.4	1.2	1.2	2.1-2.5	1.0-1.4	1.2	1.2
22.5 m	-	2.3-2.4	1.9	1.9	-	1.5-2.1	1.8	1.8	-	0.7-1.3	1.0	1.0	-	0.7-1.3	1.0	1.0
30 m	-	2.3-2.8	2.4	2.4	-	1.6-2.1	1.8	1.8	-	0.7-1.3	1.0	1.0	-	0.7-1.3	1.0	1.0
37.5 m	-	2.6-3.0	2.7	2.7	-	1.9-2.0	1.8	1.8	-	1.2-1.3	1.1	1.1	-	1.2-1.3	1.1	1.1

1) Zie hoofdstuk 4

Tabel nr. 4 Proef nr.3 Vak nr. 22 Periode 31/1-3/2
 Meetresultaat stationnaire temperatuurverdeling

- Om de ruimtetemperatuur te beoordelen, die de produkttemperatuur bepaalt, moeten de gerealiseerde luchttemperaturen op produktniveau (1 m boven vloerpeil) in beschouwing worden genomen. Voor wat betreft de stationnaire periodes in de nacht blijken deze luchttemperaturen onder of rond de gewenste 2°C behalve in het geval er bijzonderheden zijn, zoals openstaande deuren of tijdens een afdooi- en spuitprocedure bij de ijsbanken. Zie het proefresultaat van de voor meer als 30% gevulde vakken met produkt op emmers:

A22.3; A155.2; A155.3; C22.2 en C22.3.

Uit de proefresultaten met de onderbezette vakken A22.1; A22.2; A155.1 en C22.1 lijkt er een tendens te zijn, dat bij een vakbezetting onder de 50%, achterin de cel, vanaf de 30 m lijn, de luchttemperaturen op produktniveau hoger liggen. Een verklaring hiervoor zou kunnen zijn, dat de gekoelde lucht inderdaad de neiging heeft uit het gebied van de injecteurwerking van de dirivent te zakken, maar dat dit wordt tegengewerkt door het kanaal, dat voorin de koelcel wordt gevormd door de aanwezigheid daar van stapelwagens met produkt en dat zorgt voor een betere geleiding van de gekoelde lucht naar achter in de koelcel. Om dit te kunnen verifiëren is indertijd proef B opgezet met een vakkulling met stapelwagens met lege dozen en wel bij een bezetting met 0% (B22.1); met 50% (B22.2) en met 100% (B22.3). Het eerst wat in het proefresultaat van deze proef opvalt is, dat het niveau van de luchttemperaturen in de ruimte $0,5^{\circ}\text{C}$ tot 1°C hoger ligt.

Omdat het een koelruimte op grondniveau betreft, afgeschermd door een verdieping, ligt het zoeken van de oorzaak in een verhoogde instraling niet voor de hand. Waarschijnlijk moet eerder worden gedacht aan het ontbreken van de invloed van de verdamping van water, die in het geval van snijbloemen in open emmers gevuld met een bodem water wel aanwezig zal zijn.

Hoewel niet uitgesproken duidelijk, is in de B-proef ook de tendens te bespeuren van een verbetering van het koeleffect achterin de koelcel, wanneer het betreffende vak beter is gevuld. In alle gevallen, waarin dit niet zo is, mag dan de luchttemperatuur achterin de koelcel te wensen overlaten, maar heeft dit geen invloed op de produkttemperatuur om de eenvoudige reden dat zich dan achterin de koelcel geen produkt bevindt. Tegen deze achtergrond verdient het wel aanbeveling de vakken met stapelwagens te vullen in een gesloten blok, te beginnen bij de koelerzijde, en moet worden afgeraden series stapelwagens verspreid in de vakken op te stellen.

Concluderend kan worden gezegd, dat de koelinstallatie met inbegrip van het luchtverdeelsysteem ten naaste bij een luchttemperatuur van 2°C op produktniveau kan realiseren. Dat wil zeggen in de winterperiode waarin de metingen hebben plaatsgevonden.

Door de afscherming met een verdieping zal voor de korte compartimenten op grondniveau het verschil in stralingsinvloed tussen zomer en winter gering zijn. Anders kan dit komen te liggen voor de verdieping, waar door mogelijke extra instraling in de zomermaanden via het dak op een temperatuurverhoging moet worden gerekend. Deze temperatuurverhoging is door het Raadgevend Ingenieursbureau Smits van Burgst B.V. berekend op $0,2$ à $0,3^{\circ}\text{C}$ bij 25°C buitentemperatuur (rapport A0816, 6 febr. 1986).

- Bij een luchtcirculatiesysteem, dat de gekoelde lucht boven in de neerzetruijtte volledig meesleept tot achterin de ruimte en waarbij de retourluchtstroom op produktniveau loopt van de achterzijde naar de koelerzijde van de ruimte, kan men verwachten dat op produktniveau de luchttemperatuur in dezelfde rich-

ting oploopt omdat er produktwarmte en instralingswarmte uit de vloer aan wordt toegevoegd. Het inductievoud van de dirivent moet dan 7 à 8 bedragen. In alle proefresultaten blijkt juist het tegengestelde van de verwachting nl. afkoeling van de retourlucht. Of alleen het uitzakken van de gekoelde lucht uit het werkgebied van de dirivent (inductievoud praktisch kleiner dan 7 à 8) hiervoor verantwoordelijk is, dan wel juist een extra mengeffekt tussen gekoelde lucht en retourlucht door de werking van de dirivent (inductievoud groter dan 7 à 8) is uit zuivere temperatuurmetingen moeilijk af te leiden. Daarvoor moet een redenering worden opgezet op basis van warmtestromen. De niet bekende vochtigheidsgraad van de lucht op de diverse punten in de ruimte alsmede de invloed van de verdamping van een niet-bekende hoeveelheid vocht in de ruimte, verhindert dit. Met uitzondering van proef B waar geen produkt is gebruikt. Het proefresultaat B22.3 is van deze serie proeven het meest representatief voor een stationnaire toestand in een gevulde neerzethal.

Een analyse van de warmtestromen tijdens deze toestand met het uitgangspunt, dat de natte koelers als stabilisatie-punt optreden voor het vochtgehalte van de lucht in de ruimte en er uit andere bronnen geen vocht wordt toegevoegd of afgedaan, levert op:

1e. Zie bijlage 6;

Het ingebrachte koelvermogen in het meetvak in deze stationnaire toestand is	: 15,5 kW
het instralingsaandeel in het meetvak is	: 13,7 kW
de warmte-inbreng van de dirivent in het meetvak is	: 1,8 kW

2e. Zie bijlage 7;

De resulterende temperatuur van de koellucht na het \emptyset m-punt (zie fig.1), nl. gemiddeld 1°C , is te hoog om te ontstaan uit de menging van $36000 \text{ m}^3/\text{h}$ (ca. $12,8 \text{ kg/s}$) gekoelde lucht van $0,5^{\circ}\text{C}$ en $2000 \text{ m}^3/\text{h}$ (ca. $0,7 \text{ kg/s}$) verwarmde diriventlucht van gemiddeld $2,7^{\circ}\text{C}$. Bijmenging van warmere retourlucht op dit punt door de inductiewerking van de dirivent is dus waarschijnlijk. Naar een berekening in bijlage 7 wordt op dit punt ca. $7,4 \text{ kg/s}$ retourlucht van $1,7^{\circ}\text{C}$ bijgemengd.

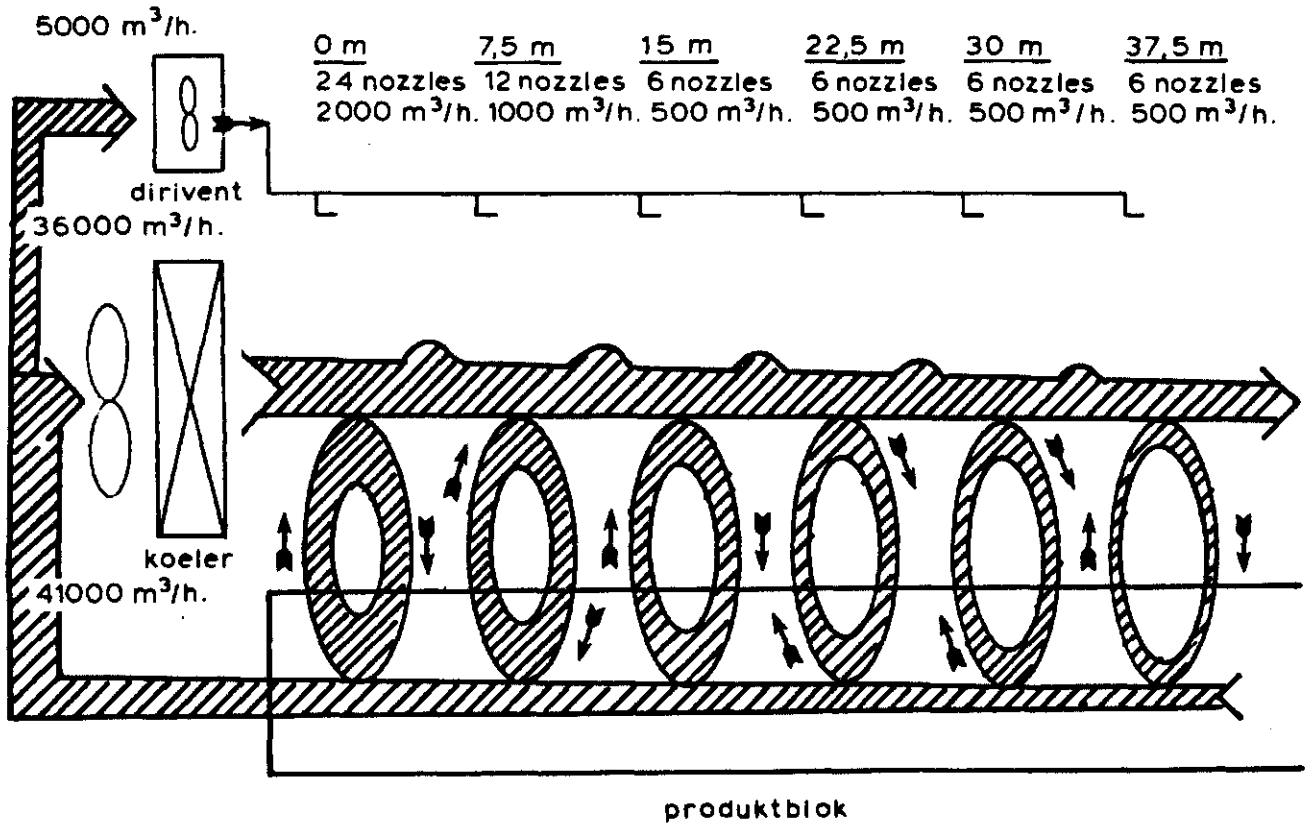
3e. Zie bijlage 8;

In het traject \emptyset m naar $7,5 \text{ m}$ zakt ca. 8 kg/s koude lucht uit het werkingsgebied van de dirivent en koelt de retourlucht af van ca. $2,1^{\circ}\text{C}$ naar ca. $1,7^{\circ}\text{C}$ ondanks de instraling van warmte door de vloer. Ter plaatse van het dirivent injectiepunt op $7,5 \text{ m}$ wordt weer ca. $4,6 \text{ kg/s}$ warme retourlucht bijgemengd in de koelluchtstroom, waarmee de koelluchtstroom in temperatuur stijgt van ca. 1°C naar ca. $1,4^{\circ}\text{C}$.

4e. Zie bijlage 9;

Dezelfde berekening voor het traject $7,5 \text{ m}$ naar 15 m , waar bij het 15 m injectiepunt de diriventwerking inmiddels sterk is gereduceerd (tot $\frac{1}{2}$ van de waarde in het begin), geeft:

koellucht ---> retour	ca. $6,5 \text{ kg/s}$; retourlucht van $2,4^{\circ}\text{C}$ naar $2,1^{\circ}\text{C}$
retour ---> koellucht	ca. $2,5 \text{ kg/s}$; koellucht van $1,4^{\circ}\text{C}$ naar $1,7^{\circ}\text{C}$



Figuur 2: Het uit de temperatuurwaarnemingen en berekeningen naar voren tredende beeld van de werking van het diriventsysteem in vak B22.

Het voorgaande, op grond van de gemeten temperaturen, berekende beeld van de werking van het luchtverdeelsysteem levert niet het beeld op van figuur 1. Meer het beeld van een serie klutsers achter elkaar geplaatst, figuur 2, die op produktniveau reeds in het eerste deel van het neerzetvak nabij de koelers veel koude lucht verliezen naar de retourluchtstroom. Op koelerniveau wordt mede door het mengefekt van de aangezogen warme retourlucht moeizaam koude lucht doorgegeven naar de achterliggende klutsers.

Het geïnstalleerde dirivent-systeem heeft volgens de berekening een inductievoud van ca. $(12,8 + 7,4 + 4,6 + 2,5 + \text{orde ca. } 3 \times 2) \text{ kg/s} / 1,8 \text{ kg/s} = \text{ca. } 18$ en dus groter dan de gewenste 7 à 8.

Het nadeel van het opwarmen van de gekoelde lucht na de (natte) koelers en voordat deze in aanraking komt met het produkt is vooral het vergroten van het vochtdeficit, wat de uitdroging bij het produkt bevordert, en het verlagen van de relatieve vochtigheid. Bijvoorbeeld:

	temperatuur	r.v.	dampdruk	vochtdeficit (ΔX)
koellucht -->	0,5°C	98%	620 Pa	0,081 g/kg
↓	1 °C	95%	621 Pa	0,218 g/kg
↓	1,5°C	91%	622 Pa	0,361 g/kg
effekt opwarmen	2 °C	88%	623 Pa	0,510 g/kg
↓	2,5°C	85%	624 Pa	0,666 g/kg

Mogelijk verdient het aanbeveling de sterke diriventwerking nabij de koelers (\emptyset_m - punt en 7,5 m - punt) te verminderen door nozzles af te sluiten en verder door middel van een vals plafondgedeelte onder de koelers en het eerste dirivent-injectiepunt te verhinderen, dat teveel retourlucht gaat recirculeren. Immers in de nabijheid van de koelers treedt door de constructie van de dirivent dit effect het sterkste op. De uit de koelers tredende koude lucht wordt door de recirculerende lucht opgewarmd voordat de koude lucht het produkt achterin het neerzetvak bereikt.

Een sterke aanzuiging van de retourlucht ter plaatse van het \emptyset_m - punt kan het uit de berekeningen naar voren komende uitzakken van de gekoelde lucht, dat in het bijzonder plaatsvindt vooraan in het neerzetvak, wel eens extra bevorderen.

- Door het dirivent-luchtverdeelsysteem wordt bij de luchtcirculatie van de koelers ($36000 \text{ m}^3/\text{h}$) ook nog $5000 \text{ m}^3/\text{h}$ opgewarmde lucht geïnjecteerd. Ten opzichte van de ingaande temperatuur wordt deze lucht ca. 1°C opgewarmd, waardoor een temperatuurverschil met de gekoelde lucht ($0,5^\circ\text{C}$) ontstaat van ca. 2°C . Het diriventsysteem verhoogt de koelluchttemperatuur dus in principe met $0,25^\circ\text{C}$. Zou de aangezogen lucht van de dirivent worden teruggekoeld tot $-0,5^\circ\text{C}$ dan is er geen effect meer. Maar dit vraagt het aanbrengen van extra koelvoorzieningen. Een andere oplossing is de aanzuiglucht van de dirivent te onttrekken bij de uitblaaszijde van de koelers. Het temperatuurverhogend effect blijft dan beperkt tot ruim $0,1^\circ\text{C}$. In dat geval moet de installatieopstelling van de dirivent ingrijpend worden gewijzigd.

Er zou mee worden bereikt, dat de installatie wat betreft zijn prestaties iets meer ruimte zou krijgen ten opzichte van de geëiste prestaties. Aan de andere kant beïnvloedt een verlaging van het temperatuurniveau van de ruimte met ruwweg $0,15^\circ\text{C}$ de produktkwaliteit niet in een mate, die van wezenlijk belang is.

5.2 Inkoelfase van de koelcel

In tabel 5 is de tijdsduur weergegeven vanaf de start van de koeling tot het passeren van twee arbitrair gekozen temperatuurgrenzen resp. 3°C en $2,5^{\circ}\text{C}$. De celtemperatuur voor de start van de koeling lag in compartiment 22, begane grond, in alle gevallen rond de 8°C en in het compartiment 155, verdieping, rond de 10°C . Omdat het koelvermogen van de installatie is gebaseerd op het afkoelen van ingebracht produkt en er dus ruim koelvermogen voorhanden is om de cellucht af te koelen, zijn de laatstgenoemde luchttemperaturen, die in de zomer hoger zullen liggen, niet van groot belang voor de tijdsduur van de afkoeling. Deze tijdsduur zal meer worden bepaald door de luchtverdeling dan door de hoogte van de celtemperatuur voor de start van de koeling.

- Het is goed zich bij de resultaten van tabel 5 te realiseren, dat voor een periode kleiner dan 24 uur in alle proeven met uitzondering van de C-proef, we praktisch te maken hebben gehad met een lege ruimte. Het effect van een gedeeltelijk gevulde ruimte, zie het resultaat van de C22 proef, is beter dan dat van dezelfde ruimte leeg, zie de resultaten van de A22- en B22 proef.
- Het luchtverdeelsysteem in de lagere ruimte van de bovenverdieping lijkt beter te functioneren dan dat van de ruimte op de begane grond. Vergelijk het resultaat A155 met dat van A22, B22 en C22.
- Voor in de koelcel, 7,5 m lijn, wordt zowel de 3°C - als de $2,5^{\circ}\text{C}$ -grens binnen 2 uur na de start van de koeling gepasseerd.
Achter in de koelcel, 30 m lijn, gaat het moeilijker en wel des te moeilijker naarmate de cel slechter is gevuld. De 3°C -grens wordt in het ongunstigste geval wel gepasseerd binnen de tijdsduur, die daarvoor ter beschikking is tijdens de dagkoeling (ca. 9 uur).
- De $2,5^{\circ}\text{C}$ -grens wordt echter in een slecht gevulde vak op de benedenverdieping niet altijd binnen 24 uur bereikt. Daarna speelt naast de tijd nodig voor het doordringen van de gekoelde lucht in de ruimte ook het feit dat de vakken inmiddels voor een deel zijn opgevuld met stapelwagens met produkt.
- Bij de resultaten op de 30 m lijn is het opvallend, dat de luchttemperatuur op produktniveau voorloopt op de luchttemperatuur op koelerniveau in het bereiken van de lage temperatuurgrenzen. Dit wijst nogmaals op het uitzakken van de gekoelde lucht uit het gebied van de inductiewerking van de dirivent voordat het einde van de neerzethal is bereikt.

Proefcode	A22		A155		B22		C22	
vullingsgraadvak	leeg		leeg		leeg		1/3	
Plaats v.d. temperatuurmeetpunten ↓	koeler niveau	produkt niveau	koeler niveau	produkt niveau	koeler niveau	produkt niveau	koeler niveau	produkt niveau
	h	h	h	h	h	h	h	h
<u>3°C-grens</u>								
7.5 m	1-2	1-2	1-2	1	1	1	1	1-2
30 m	11-12	8-9	1-2	1-2	5-6	1-2	2-3	1-2
<u>2,5°C-grens</u>								
7.5 m	1-2	1-2	1-2	1-2	1	1-2	1-2	1-2
30 m	>24	>24	3-4	2-3	20-25	8	6-20 ¹⁾	6-7
uit bijlage	2.2	2.0	3.2	3.0	4.2	4.0	5.2	5.0

- 1) De luchttemperatuur op koelerniveau aan de linkerzijde van het vak is iets kouder dan die aan de rechterzijde van het vak.

Tabel nr.5:

Duur van de periode vanaf de start van de koeling tot het bereiken van de temperatuurgrenzen 3°C en 2,5°C, vooraan (koelerzijde) en achteraan in de gekoelde neerzetruijnte.

6. CONCLUSIES; AANPASSINGEN

- De installatie voldoet aan de ontwerp eis, produkttemperatuur 2°C , mits uiteraard het produkt de tijd krijgt om af te koelen (orde 2 à 3 uur) en mits de ruimte een voldoende lange tijd in koelbedrijf is. De gewenste ruimtetemperatuur op produktniveau wordt vooraan in de neerzetvakken, in de nabijheid van de koelers, snel bereikt (orde 2 uur); echter achteraan neemt dit meer tijd, soms tot 24 uur. De koude lucht dringt sneller door in de ruimte wanneer de ruimte is gevuld met stapelwagens met produkt.
Waarschijnlijk vormen de wagens met produkt kanalen die een gunstig effect hebben op het transport van de gekoelde lucht van de koelers naar de overliggende zijde van de ruimte.
- Tussen de resultaten van de koelproeven met en zonder produkt is een opvallend verschil, 1 à $1,5^{\circ}\text{C}$ in de temperatuur, die wordt bereikt op produkthoogte bij een gevulde hal. Aangezien andere factoren, o.m. instraling, als oorzaak niet in aanmerking komen, wijst dit in de richting van een koeleffect door verdamping van water. Deze indruk wordt versterkt door de uit een modelberekening afgeleide werking van het diriventsysteem. Door een sterke aanzuiging van retourlucht met name in de nabijheid van de koelers, wordt de in de water-lucht-warmtewisselaars gekoelde en ten naaste bij verzadigde lucht opgewarmd. Daardoor wordt het vochtdeficit van de koellucht vergroot. Dit bevordert verdamping. Aan de andere kant behoort door deze verdamping de retourlucht ook meer waterdamp te bevatten, waarmee het bovengenoemde vochtdeficit weer wordt beperkt. Het totale effect van het systeem in de aanwezigheid van vochtafgevend produkt kan niet worden vastgesteld op grond van temperatuurmetingen alleen.
- Uit een modelberekening met de resultaten van de proef zonder produkt, volgt een beeld van de werking van het dirivent-luchtverdeelsysteem (fig. 2 blz. 17) dat afwijkt van het ideaalbeeld (fig. 1, blz. 10), zoals dat voor een koelsituatie wenselijk is.
Het luchtverdeelsysteem uit de luchtverwarmingssector is duidelijk gericht op de menging van verwarmde lucht boven in een ruimte met koudere lucht onder in een ruimte en is minder geschikt voor het transport van in dit geval gekoelde lucht in horizontale richting. Gekoelde lucht, die door zijn grotere soortelijke massa toch al de neiging heeft naar het grondniveau te zakken. Het probleem wordt nog versterkt door de uitvoeringsnorm van de installatie, die zorgt voor een versterkte werking in de nabijheid van de koelers en een zwakere werking op grotere afstand van de koelers. Het gevolg is, dat de gekoelde lucht voor het belangrijkste deel wordt verbruikt in de nabijheid van de koelers en er minder rest voor het overige deel van de ruimte.

Mogelijke aanpassingen

- 1e. Het verdient aanbeveling het te plaatsen produkt zoveel mogelijk in een gesloten blok neer te zetten; te beginnen met het vullen van de plaatsen aan de koelerzijde.
- 2e. De injectieluchtverdeling van de dirivent,
 - 0 m - $2000 \text{ m}^3/\text{h}$
 - 7,5 m - $1000 \text{ m}^3/\text{h}$
 - 15 m en verder - $500 \text{ m}^3/\text{h}$,kan waarschijnlijk beter evenredig worden verdeeld over de ruimte.

- 3e. De aanzuig van de dirivent te verleggen naar de uitblaaszijde van de koelers.
- 4e. Om aanzuiging van de warmste retourlucht naar de gekoelde luchtstroom te beperken valt te denken aan het aanbrengen van een plaat onder de koelers tot aan de \emptyset m-lijn met de eerste injectiepunten van de dirivent.

Wageningen, 21 januari 1987
jwr/ak