

**KLIMAATBEHEERSING
BIJ HET BEWERKEN EN BEWAREN
VAN PRODUKTEN**

NRLO-rapport nr. 96/2



Verslag van de Themadag "Klimaatbeheersing bij het bewerken en bewaren van produkten", gehouden op 17 maart 1995 te Delft, georganiseerd door de Taakgroep Technologie van de toenmalige Sector-Kamer Verwerking en Marktvoorziening van de NRLO.

Nationale Raad voor
Landbouwkundig Onderzoek
Postbus 20401
2500 EK Den Haag
tel.: 070-3793653/3793694



INHOUDSOPGAVE

	Pag
VOORWOORD dr.ir. J.M.P. Papenhuijzen Voorzitter Taakgroep Technologie	3
OPENING EN INLEIDING dr.ir. J.M.P. Papenhuijzen, NRLO prof.ir. H. van der Ree, T.U. Delft	4
DE KWALITEIT VAN VIS (-PRODUKTEN) IN RELATIE MET KOUDE- EN KLIMAATTECHNIEKEN dr.ir. C. Keizer, RIVO, IJmuiden	5
HET ONTWERP VAN IN-LINE KOELTUNNELS T.B.V. SLACHTKUIKENS IN PLUIMVEESLACHTERIJEN ir. G.J. Doornbos, Stork Bronswerk b.v., Amersfoort	18
ASPEKTEN VAN LUCHTVERDELING EN KLIMAATSTURING BIJ HET KOELEN VAN SIERTEELT- EN TUINBOUWPRODUKTEN ir. J.W. Rudolphy, ATO/DLO, Wageningen	37
KLIMAATBEHEERSING IN KAASPAKHUIZEN ir. E. Viswat, GTI-Navep, Groningen	42
TOEPASSING VAN “ COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS ” BIJ STROMINGSOPTIMALISATIE IN DE KOELTECHNIEK ir. H. van Oort, TNO-ME, Apeldoorn	55
GECONDITONEERD TRANSPORT Dipl.-Ing. H.F.T. Meffert, ex-ATO, Wageningen	64
REKENMODELLEN VOOR HET SIMULEREN VAN TEMPERATUUR EN VOCHTIGHEIDSGEHALTE IN PRODUKTEN BIJ WISSELENDE KLIMAATKONDITIONS ir. S.M. van der Sluis, TNO-ME, Apeldoorn	77
HYGIËNISCH ONTWERPEN VAN VOEDINGSMIDDELENFABRIEKEN ir. C.J.A. Cieremans, ex-Unilever, Nieuw Beijerland	88
SAMENVATTING EN CONCLUSIES prof. ir. H. van der Ree, TU Delft	94
LIJST VAN DEELNEMERS	96

THEMADAG :**KLIMAATBEHEERSING BIJ HET BEWERKEN
EN BEWAREN VAN PRODUCTEN**

vrijdag 17 maart 1995

VOORWOORD

Gekoelde opslag, transport en distributie zijn van groot belang teneinde de kwaliteit van agrarische produkten te kunnen garanderen, niet alleen vanuit de optiek van microbiologische veiligheid, maar ook om fysische kwaliteitsaspecten zoals textuur en smaak te behouden. Dat speelt des te meer, wanneer het gaat om nieuwe verderweg liggende markten en wanneer consumenten bovendien steeds meer naar verse produkten vragen. Dat beklemtoont de noodzaak van een gesloten koelketen.

Deze ontwikkelingen zijn van grote betekenis voor de agrarische sector en zijn in hoge mate bepalend voor de produktiewijze binnen de primaire sector, de verwerking en de afzet inclusief de wijze van opslag van halffabrikaten en eindprodukten. Enerzijds gaat het daarbij om zeer praktische kennis, anderzijds om meer theoretische rekenmodellen.

Genoeg redenen voor de NRLO om aan dit onderwerp een themadag te besteden.

november 1995

J.M.P. Papenhuijzen

OPENING EN INLEIDING:

dr.ir. J.M.P. Papenhuijzen, NRLO
prof.ir. H. van der Ree, TU Delft

De Nationale Raad voor Landbouwkundig Onderzoek is gebaseerd op het samenspel en de kennisuitwisseling tussen de overheid, onderzoeksinstituten en bedrijfsleven met als belangrijk doel zicht te krijgen op de toekomst. Daartoe worden in de verschillende taakgroepen, die er in de NRLO bestaan, van tijd tot tijd themadagen georganiseerd over de stand van zaken en ontwikkelingen op deelgebieden, waarbij vraag en aanbod t.a.v. onderzoek met elkaar in contact worden gebracht. Deze themadagen richten zich op een beperkte groep van geïnteresseerden om aan discussie ruimte te kunnen geven.

Het tot stand brengen van individuele klimaatcondities, die voor produkten tijdens bewerking en/of bewaring gewenst zijn, is niet eenvoudig. Bij massale behandeling van produkten is er over de verdeling van de verschillende klimaatparameters naar plaats en tijd nog veel onbekend.

Door de ontwikkeling van krachtige rekenprogramma's wordt hierop toenemend vat gekregen. Maar ook door praktisch onderzoek, analyse en ervaring zijn er voor specifieke situaties goede inzichten ontstaan, die zich in effectieve technologische oplossingen hebben vertaald.

Oplossingen en rekenmodellen, die voor bepaalde produkten zijn ontwikkeld, kunnen misschien ook in andere situaties van betekenis zijn. Informatie over vraagstukken, die nog niet zijn opgelost, is belangrijk voor het formuleren van relevant onderzoek. De vooruitgang m.b.t. rekenmodellen kan voor velen profijtelijk zijn.

De themadag is bedoeld om middels de voordrachten, discussie en kennismaking deze effecten tot stand te brengen.

KOUDETECHNIEK/KLIMAATBEHEERSING EN DE KWALITEIT VAN VISPRODUKTEN

dr. ir. C. Keizer (RIVO-DLO, IJmuiden)

- **KWALITEIT van visprodukten**
- **HUIDIGE SITUATIE m.b.t. toepassing koudetechniek/ klimaatbeheersing**
- **PROBLEMEN/ MOGELIJKE/ GEWENSTE ONTWIKKELINGEN en eventuele rol van koudetechniek/ klimaatbeheersing**

KWALITEIT van visprodukten

- **OBJEKTIEF: organoleptische beoordeling door een EXPERTPANEL op:**

- geur
- smaak
- kleur
- textuureigenschappen
- defects (bv: graten, bloedvlekken, huidresten)

vaak op basis van (EG-) kwaliteitsbeoordelingsschema's aangevuld met

- microbiologische bepalingen
- chemische bepalingen
- fysische bepalingen: textuur, impedantie

- **SUBJEKTIEF: mening van de KONSUMENT**

De mening van de konsument kan volledig verschillen van de beoordeling door een expertpanel

- geurtest gekookte VERSE en BEDORVEN schol
- smaak van garnaal oiv konserverende toevoegingen

Wat voor rol speelt kwaliteit (van vis)

European Frozen Food Decisions (EFFD):
in full color presentatie en promotie van produkten

KONKLUSIE:

IMAGO van produkt is doorslaggevend voor de verkoop van visprodukten

ook in EFFD:

inleiding van Louis Lucas, Directeur IIR

(LUCAS: IIR= niet-kommerciele, technisch wetenschappelijke organisatie)

tijd van alleen beheersing van bacteriele groei is voorbij

meer dan mikrobiële veiligheid, nu ook bewaren smaak, consistentie, etc.

parallel: Hr. Cieremans m.b.t. Int. IIR Congress 1995:

inspanning nodig om band business-wetenschap te leggen

INVRIEZEN

* EISEN aan APPARATUUR ivm kwaliteit produkt en BEDRIJFS-/ PRODUKTIEWIJZE

- invriessnelheid (vooral (PIEK-)KAPACITEIT)
- vorm/ afmetingen produkt
- mate van uitdroging
- uitsluiten van O₂ tijdens invriezen
- invriezen VERPAKT /ONVERPAKT produkt
- bedrijfstijd (h / y)
- batch / kontinu produktie
- betrouwbaarheid van koudevoorziening
- flexibiliteit invriezen verschillende produkten
/ integratie produktieproces
- HYGIENE / gemak schoonmaken
- benodigde arbeid
- onderhoud
- INVESTERING/ EKSPLOITATIEKOSTEN
- (energieverbruik)

APPARATUUR

blast-freezing/ konventionele invriestunnel (vermijden kortsluiting)

zie FIG.1

tunnel-freezing (bandvriezer bij IQF invriezen scholfilets, zonder afdruk in produkt spiraalvriezer)

fluid bed freezing/ IQF (kleine/natte produkten bv:garnalen):
luchtkoelers

plate-freezing : vertikaal BULK (aan boord/ rondvis;
visafvallen/petfood
konsumentenverpakkingen)

cryogeen (N₂, CO₂) IQF

lager vochtverlies tijdens invriezen (HOGER DRIPverlies ?)
uitsluiting van O₂

HOGE VARIABELE KOSTEN/ LAGE INVESTERING

bedrijfstijd <> 500 h/y, piekkapaciteit
verbruik= 1 a 2 kg/ kg

cryo-mech = combinatie (VOORDELEN) cryogeen en konventioneel

- 1: **CRYOGEEN (crustfreezing) vermindering uitdroging/ verbruik N₂, CO₂**
- 2: **KONVENTIONEEL NAVRIEZEN**

bij keuze speelt bedrijfstijd, totaal verbruik een rol: 25-100 ct/kg
investering konventioneel vs exploitatie cryogeen

GEKOELDE OPSLAG

invloed

- temperatuur
- temperatuurswisselingen
- relatieve vochtigheid
- MA atmosfeer

T > 0 °C :

bederf wordt voornamelijk door bacterieel bederf bepaald

versnelling bederf= r (relatieve rate ivm opslag in ijs)

$r = 1 + c.T$ met $c = 0.1$ a 0.2

dwz tov T=0 deg.C : T=5 deg.C : r= 2 a 4 maal zo snel bederf

VRIESOPSLAG

bederf wordt vooral door enzymwerking bepaald

invloed

- temperatuur: Japan naar <= -50, ook Noorwegen
nog onduidelijk of invloed op kwaliteit substantieel is
- temperatuurswisselingen zorgen voor rekristallisatie ijs, waardoor bij ontdooien
meer dripverlies, textuurverlies
- lage relatieve vochtigheid: uitdroging (vriesbrand)

MAGERE VIS wordt geglaceerd

VETTE VIS: uitdroging geen (gewichtsverlies-) probleem

wel versnelling oxidatie tgv uitdroging!

koel-/vriesTOONBANKEN HH koeling/vriezers

ZWAKSTE SCHAKELS IN KOUDE- cq KWALITEITSKETEN

T, deltaT, RV

VERPAKKING in relatie tot kwaliteitsbehoud

mogelijkheid om produkt te beschermen tegen:

- UITDROGING

met de meeste (kunststof)verpakkingsmaterialen is vochtmigratie DOOR de verpakking geen probleem

VOORWAARDE: vullen geschiedt zonder beschadiging
verpakking wordt goed gesloten

- rijpvorming IN de verpakking

* bij BEVRIEZEN van VERPAKT produkt is vochtuittrekking uit het produkt niet te voorkomen (muv krimpfolie)

vocht slaat neer als RIJP in de verpakking

* vochtverlies bij invriezen van NIET VERPAKTE produkten circa faktor 2 kleiner (bij verder zelfde kondities), omdat oppervlakte temperatuur produkt dichter bij temp. koelmedium

RIJPVORMING BIJ VRIESOPSLAG

GEEN rijpvorming IN/OP de verpakking, INDIEN

* produkttemperatuur = temperatuur opslagruimte = KONSTANT

IN PRAKTIJK; wel temperatuurschommelingen

gevolg: periodiek opwarmen/ afkoelen van produkt, waardoor rijp afzetting op verpakking en op produkt (terugsublimatie)

Rijpvorming in/ op verpakking (grotendeels) te voorkomen bij
VRIESOPSLAG (ontwerp vrieshuis):

- isolatiewaarde
- koelerooppervlak
- temperatuurregeling

Groter probleem bij:

- **TRANSPORT /OVERSLAG**
- **TOONBANKEN**
- **OXIDATIE**
- **GLACEREN**
- **MODIFIED AIR PACKAGING (MAP)**

verpakken verse visprodukten in CO₂ en N₂
 CO₂ : bakteriostatische werking
 N₂ : voorkomen van pseudo-vacuum
 MAP kan houdbaarheid aanzienlijk verlengen

voorwaarde: primair voldoen aan hygiene EN temperatuurregim
NIET ALS ALTERNATIEF
 voor **GEKOELD BEWAREN**

LAGE TEMPERATUUR + MAP/ LEVENDE PRODUKTEN
 - zo lang mogelijk levend houden

sterkere vissoorten (ontwikkeling/patenten Japan)
 beheerste wijze van inkoelen tot + 0 deg. C,
 verlaging stofwisselingsnivo
 ook met garnalen mogelijk?

schelpdieren, bv mosselen :
 worden op netto-levend gewicht verkocht
 verpakking van belang
 aerobe en anaerobe stofwisseling mogelijk (energieverbruik)
 100 % CO₂

temperatuur van belang

- gekoelde opslag
- voorkoelen in tegenstroom koud water

KOEL-/VRIESTRANSPORT

KOEL-/VRIESTOONBANKEN

HH-KOELING

ONTDOOIEN

anders dan bij invriezen:
nog weinig bekend van fundamentele aspecten

na goed invriezen/ opslag/ distributie: GMP
en goed ontdooien

weinig verschil tussen vers en diepvries

igv. vis: snel ontdooien heeft voorkeur

NB: 1_ijs = 4.l_water,L : ontdooien duurt langer dan invriezen

Aandacht voor gewichtsverlies (ontdooi-drip)

snel ontdooien geeft minder ontdooi-drip
maar langzaam genoeg voor reversibel proces:
opname uitgetreden vocht door visvlees

ONTDOOI METHODEN

1 in water

2 in lucht

in water: - uitloging (verlies smaakstoffen)
 - schuimvorming (vooral bij hogere temperaturen)

in lucht: - kans op uitdrogen produkt
 - kans op oxidatie
 - bij te lange tijd cq te hoge temperatuur: bederf
 (m biologisch, enzymatisch, chemisch)

ALTERNATIEF: Dielektrisch verwarmen
m - golven (magnetron)
radio golven

geen sukses ontdooien:

hotspots (sterke lokale temperatuurverhoging tgv grote verschillen in dielektrische eigenschappen ijs en vloeibaar water) komt evt. wel in aanmerking voor tempereren

MOGELIJKE/ GEWENSTE ONTWIKKELINGEN

INKOELEN/OPSLAG

alternatief voor (scherf-)ijs?
aan boord? :

probleem ijsafval afslag (koper wil vis nog zien: ijs wordt verwijderd)

ontwikkeling televeilen, zonder schouwen op afslag
vis al gesorteerd, gekoeld en in MilieuActiePlan aanvoeren (ketendenken)

probleem smeltwater bij transport: 1/4 van transportgewicht=ijs
lekkend smeltwater op wegen, ponten, etc.

HERWAARDERING bekende methoden?

vergl. - bekende koudemiddelen ipv CFK's
- aircycle

PARTIAL FREEZING (SUPERFREEZING):
afkoelen vis tot < 0 a -5 deg.C

ervaring uit verleden: - aanmerkelijke verlenging houdbaarheid
(1.5 a 3 *)

- textuurverlies/ toename dripverlies
vooral indien met lucht afgekoeld (te langzaam)

- resultaat afhankelijk van soort vis
kwaliteit voor vis die later gekookt <
frituren: goed

- doorslaggevend:
- snelle afkoeling ?
- konstante opslagtemperatuur ? !

bij temperatuurwisselingen
bevriest/ontdooit water in vis

zie FIG.2

afkoelen in zout water ?

oriënterend onderzoek met schol :
vis neemt zout op

geen probleem bij rondvis ?
huid van verse rondvis minder doordringbaar voor zout

onderzoek nodig naar invloed : - (zeer) snelle afkoeling
- (zeer) konstante

opslagtemperatuur

zelfde probleem bij procedé OTTESEN :
invriezen in pekkel tot ca. -20 deg.C

idee: bij $T <$ ijsvorming in pekkel
geen drijvende kracht voor diffusie zout in vis

In praktijk : - wel zoutopname door produkt
- onttrekking water aan produkt

verklaring probleem: bij (te) grote hoeveelheid te koelen vis :
koude vraag >> koude capaciteit: T>
dus vis neemt zout op

effekt wordt versterkt door ijsafzetting op koeler,
waardoor minder koude capaciteit

zie FIG. 3

OPLOSSING?

temperatuur zeer konstant houden : vergl. huidige RSW systemen

- zeer grote capaciteit
- minder vis in RSW-tanks
- goed stromingspatroon, kleine deltaT's

UITVOERING: - grote koudekapaciteit tov hoeveelheid vis

gedoseerde toevoer vis

- groot debiet pekkel
- toepassing apparatuur slurry-ice (zout water ijs) productie
geen aanvriezen cq verwijderen ijs van verdamper
(:: votator/ geschraapte HX)

- probleem schuimvorming
voorkomen door toepassing (keramische) membranen ?
te vermijden ?

- nadeel:

geen bijzonder lage eindtemperatuur (vette haring!)
(geen probleem als T_opslag=konstant + MAP ?)

noodzaak om aanhangende pekkel weg te wassen

behoefte IQF invriezen rondvis

invriezen vlgs. OTTESEN ?

evt. glaceren

navriezen in lucht? (vergt rel. kleine koudekapaciteit)

NB: rondvis neemt minder zout op, zeker bij zeer verse, vette vis
veelal is zoutopname zelfs gewenst: (maatjes-)haring

voor platvis: partial freezing (verse vis)

OTTESEN (diepvries)

XlowT: opslag bij ≤ -50 o C

- koeltechnische realisatie?
mogelijkheid/ betrouwbaarheid niet-cryogene installaties is
beperkt
- positieve invloed op behoud produktkwaliteit?

nu: probleem instabiliteit (snelle denaturatie eiwitten) bij gebruik onder benutte vissoorten als blauwe wijting gebruik visresten (verkleind spierweefsel:mince) van schol LAMELVORMING door keuze invrieskondities

- mogelijkheden van aircycle?

nadeel: RV te laag?

alleen voor invriezen of ook voor vriesopslag ?

- mogelijkheden van jacketkoeling?

(ook voor hogere temperaturen, koel-opslag)

konstante temperatuur

hoge RV

opscaling/automatisering koel-/vrieshuizen (20 meter hoog)

geen problemen met luchtverdeling

geen ontdooiing luchtkoelers (muv die voor regeling van RV)

toch hoog rendement van ruimtegebruik

nadeel: - berijpen wanden vriescel

- dure bouw (modulebouw mogelijk?:panelen?)

- geen invrieskapaciteit

toepassing voor MAGERE VIS

(geen glaceren scholfilets meer nodig?)

vooral DUURDERE vis (bv.garnalen):behoud textuur

VETTE VIS bijv.: haring

(door hoge RV minder kans op oxidatie?)

ALTERNATIEF: edible coating

KOMBINATIE met grootschalige MAP?

Zie FIG. 4

edible coating als alternatief voor voorkomen uitdroging, zonder verbetering makroklimaat, zonder glaceren (onderzoek eiwitten uit huidresten/ graten)

MAP: vermindering hoeveelheid gas

VERPAKKING: toepassing karton

KOEL-/VRIESTRANSPORT

KOEL-/VRIESTOONBANKEN

TOONBANKEN

- regeling RV (op hogere waarden)
 - indien RV ~100 %, dan geen noodzaak voor lage luchtsnelheid teneinde uitdroging te voorkomen
 - hogere luchtsnelheid : kleinere deltaT over display
- ervaring met injectie van water (bv door ultrasoon atomizer)
 - negatief (mikrobiologisch)

ROKEN/DROGEN van vis koudroken(< 30 deg.C)

probleem - minder zout (Aw hoog)

- minder indrogen
- drogen bij bakteriologisch ongunstige condities

houdbaarheid korter

versnellen van drogen

case-hardening:

mogelijkheden dielektrische verwarming?

verbetering uniformiteit van klimaat (vergl. kaasopslag)

drogen/ roken bij + 0 deg.C?

behoefte aan RV sensor,

die niet beïnvloed wordt door rook,

zodat klimaat goed geregeld kan worden.

KONSTANTE KWALITEIT is een van de belangrijkste eisen

Integraal Keten Beheer/HACCP

koudeketen is onderdeel van kwaliteitsketen

hygiene eisen aan apparatuur (ONTWERP!)

LOGISTIEK

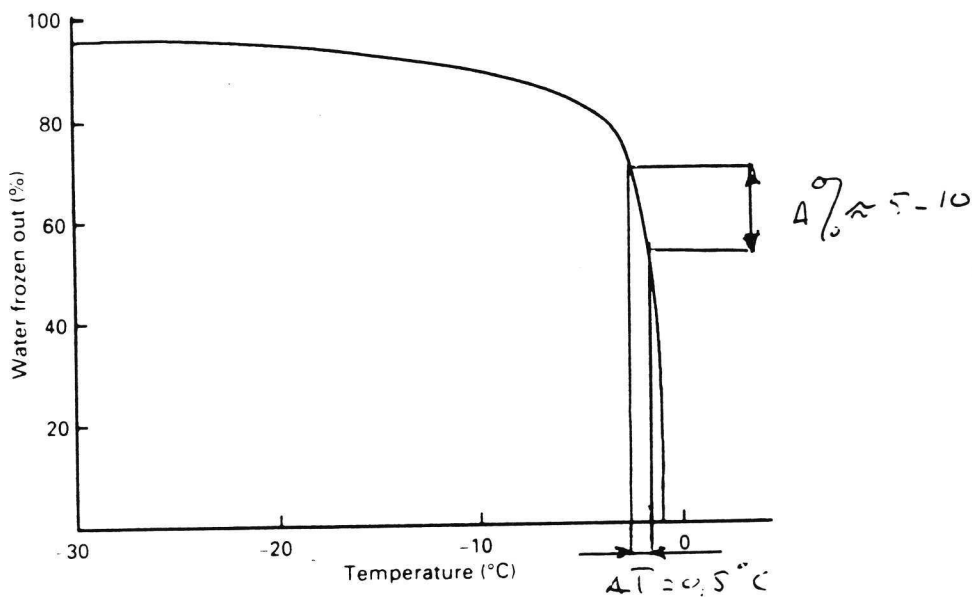
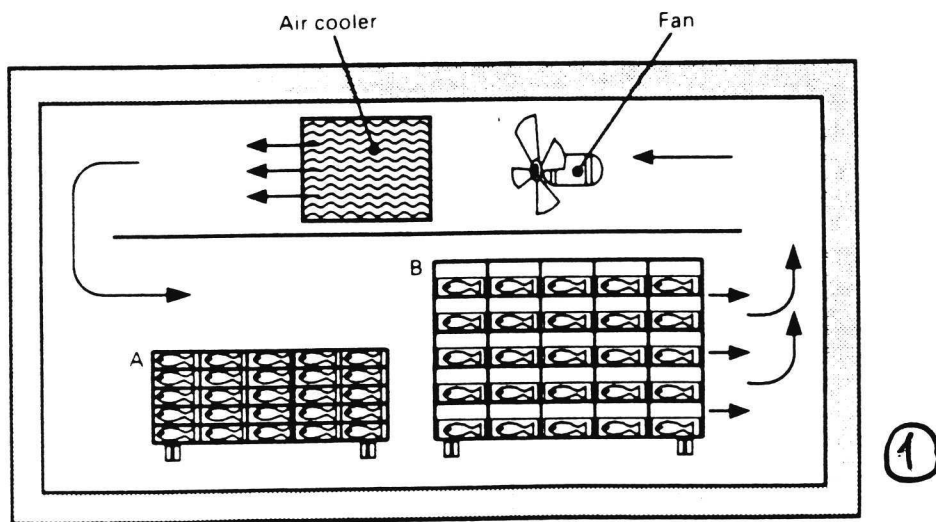
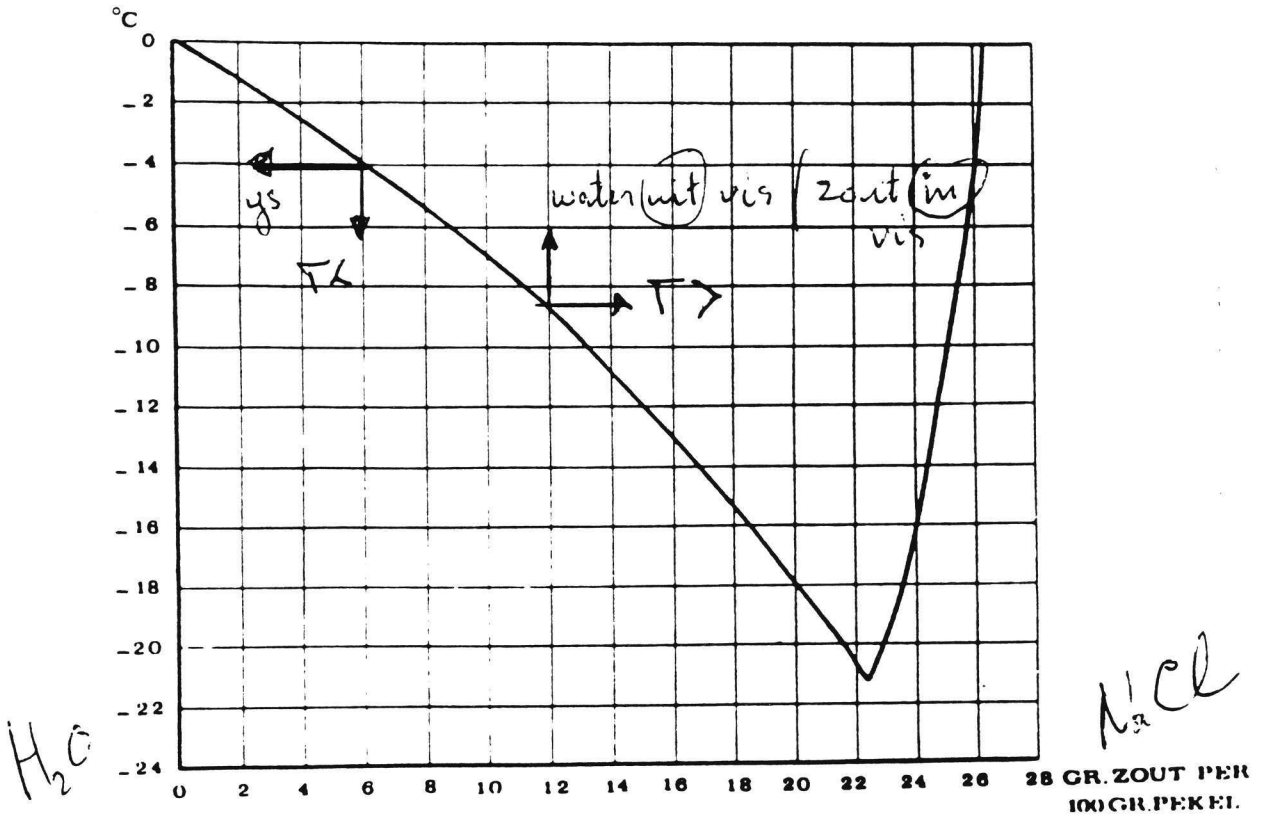


Fig. 10.1. Percentage of total water in fish muscle, frozen out as ice, related to end temperature.

2



③

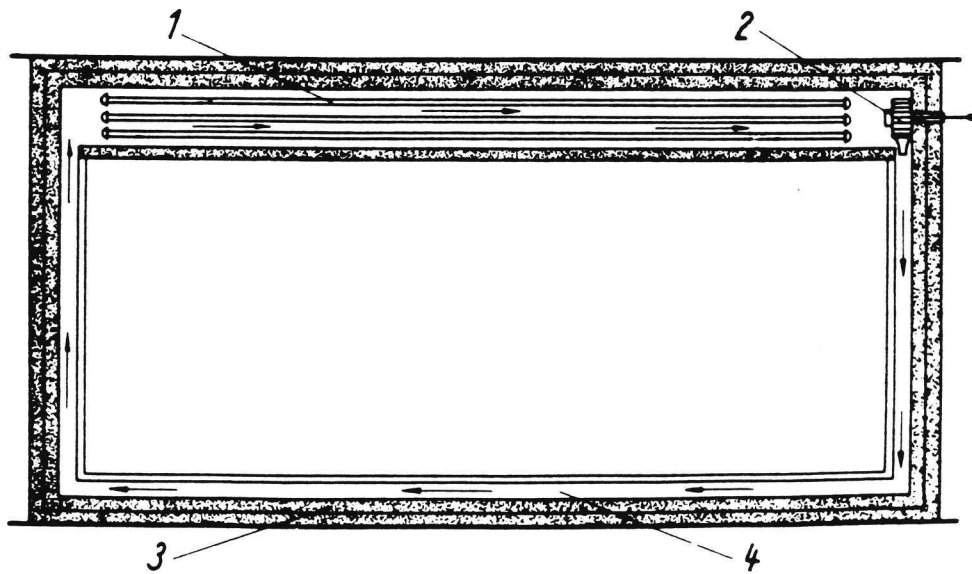


Bild 93. Lagerraum mit Außenkühlung.
 1 — Kühlrohre; 2 — Ventilator; 3 — Isolierung; 4 — Luftraum

④

ONTWERP VAN IN-LINE KOELTUNNELS TEN BEHOEVE VAN SLACHTKUIKENS IN PLUIMVEESLACHTERIJEN.

ir. G.J. Doornbos, Stork Bronswerk b.v.

Stork Bronswerk is een engineeringcontractor op het gebied van koude- en luchttechniek. Zij vindt haar klanten in de scheepsbouw, voedsel- en procesindustrie en in Defensie. Haar missie is het optimale "klimaat" te leveren voor primaire processen bij de klanten. Recente voorbeelden zijn luchtkoeling in een aluminiumfabriek in Egypte, in-line proceskoeling in Deense en Engelse slachterijen, koeling en luchtbehandeling op de in Vlissingen gebouwde fregatten en koelunits voor de goal-keeper.

Speciaal actief is Stork Bronswerk op het gebied van koeling in pluimvee slachterijen. Naar aanleiding van eigen onderzoek brengt ze ten aanzien van in-line koelingprocessen twee typen koeltunnels op de markt, de Down-Flow en de Infrachill koeltunnel, beide met haar specifieke voor- en nadelen. Zowel deze als andere typen worden behandeld.

Het koelen met lucht heeft specifieke kenmerken in de procesvoering, en bij het ontwerp daarvan is gedetailleerde kennis van zowel het globale als het lokale stromingsbeeld nodig. De voordracht wordt besloten met een algemeen programma van eisen waarvoor de ontwerper van moderne koeltunnels zich gesteld ziet.

§ 1 Introduction

As for *in-line* air cooling tunnels, the equipment generally consists of cooling batteries, if necessary with built-in fans, a connecting pipe system for the cooling medium, a transport system for the carcasses complete with driving motors and electrical systems for the cooling the in-line system. In the case of spray tunnels (for chickens), spray nozzles and a connecting water distribution system are added.

In our description we will limit ourselves to the functionality of the cooling systems, leaving aside for example constructional facilities, the steel structure and safety devices.

This paragraph will conclude with an overview of the general requirements for a new to be designed cooling tunnel.

General requirements for the design of a new cooling tunnel (or cooling process):

1. In general, it has to comply with the EU-Regulations.
2. The meat quality (measured in pH, colour and tenderness) as produced by the existing tunnels should at least be maintained, or be improved.
3. Low costs of investment.
4. Low energy consumption.
5. Compact and flexible design (according to the available building volume the tunnel has to be adapted to either a low and flat one or a high tunnel with little ground area).
6. The degree of modification needed for the application with small (light) and large (heavy) animals should be as low as possible. This requirement does not apply to pig slaughterhouses in view of the large variety in pig weights. For that reason, pig slaughterhouses are designed for a select group of pigs, e.g. slaughtering pigs (80-100 kg slaughtered weight).
7. Easy to maintain, both with respect to technical maintenance and periodical clean-up.

The general requirements, as mentioned above, are interrelating. Compliance with one of the requirements may be conflicting with one of the others. The solution to this problem may be found in a compromise between the various requirements, or in the development of several cooling tunnels, each of them emphasizing only some of the requirements. The latter will be the most expensive solution for the designer since each tunnel has its own development and marketing costs.

After discussing the state of the art, it will be possible in the following paragraph to define more concrete and specific requirements, since the exact nature of the problems will have been established by then.

§ 2 Strategies to reduce the energy consumption of the cooling system.

Before entering into discussions about the state of the art of cooling methods it is appropriate to define ways to reduce the energy consumption. We can use these strategies to formulate additional design requirements.

The heat transfer is described as a product of the heat transfer coefficient and the temperature difference. Either one may be enlarged to raise the heat transfer. Once the heat transfer has been raised, the cooling tunnel can be scaled down, and in general, the energy consumption

reduces.

For an air cooling tunnel, when in general enlarging the convective air flow, the heat transfer coefficient only rises by the square root of the air velocity, where as more air flow (air velocity) means more energy consumption of the fans.

On the other hand, when enlarging the temperature difference (i.e. lowering the air temperature) the heat transfer rises linearly. This is why, in general, lowering air temperature is favoured above rising the convective air velocity.

An additional remark can be made when lowering the air temperature. At lower air temperature, the temperature of the refrigerant must be lowered as well, and, with lower refrigerant temperatures, the connected refrigeration equipment consumes more energy, even at the same cooling load. To find an optimum between lower air temperatures and higher refrigeration energy consumption, the actual situations must be engineered.

Another remark can be made in relation to freezing, which will occur when the temperature is too low for a time too long. This phenomena of freezing is dominated by the dimensionless number Bi , which is the proportion of the internal and external heat resistance.

To lower the required air quantity, another method can be used. To reach a certain level of convective air velocity, the general direction of the air flow may be chosen freely. This means, that in the case of a flat cooling tunnel, a horizontal air flow is favourable above a vertical one. In the vertical flow, a higher air quantity is required to reach the same air velocity.

This is why, in general, the smallest section of a cooling tunnel must be chosen to be flown through.

§ 3 Pork cooling methods

Rapid cooling is the most regular cooling process used for porks these days. This process consists of at least two phases: the rapid cooling phase and the equalizing phase. The rapid cooling phase has been developed to extract as much heat as possible, in as short a time as possible. It lasts for about 1-2 hours, during which temperatures decrease considerably. To avoid frost damage, however, surface temperatures should not reach below the freezing point in general. After this phase the equalizing phase starts during which the carcass is kept in a cool environment. The surface remains cold and the deeper-lying parts are given time to cool off as well.

Due to the thickness of the carcass, this phase can last between 10 and 14 hours and mostly takes place overnight.

According to the European Regulations¹ the meat has to have reached a maximum temperature of 7°C before it is allowed to leave the slaughterhouse. In the Netherlands, deviation from this directive is allowed when, among others, enough heat has been extracted from the carcass (70%) and the cooling vehicle, transporting the carcass, has enough refrigeration power to remove residual heat during transport².

Conventional cooling of pigs used to consist of a single phase only can be distinguished the processes into:

- a. Conventional slow chilling, $T_a > 1^\circ\text{C}$, $v_a < 0.5 \text{ m/s}$
- b. Rapid chilling, $T_a \approx 0^\circ\text{C}$, $v_a > 1.0 \text{ m/s}$

¹ CEC Directive 64/433/EEC (amended 83/90/EEC and 85/323/EEC)

² Approval procedure in the Netherlands according to: Voorschriften voor het vervoer van niet volledig gekoeld vlees (Directives concerning the transport of meat that is not completely chilled). Decision of the Dutch State Secretary of Health, 12 September 1985. (*Ned. St. Crt.* 183 (1985)).

c. Very rapid chilling, $T_a < -4^\circ\text{C}$, $v_a > 1.0\text{ m/s}$

The processes mentioned under b. and c. are related to the first rapid cooling phase. In recent years (Brown, 1992), the term rapid chilling is used with temperatures far below zero (e.g. -20°C), and ultra rapid chilling is understood to mean cooling processes at very low temperatures (-40°C , Giegel, 1984). Because of the common appearances of rapid cooling nowadays, the latter terminology is adopted here.

Temperatures below this point cannot be achieved by any simple conventional method (one stage compressor, condenser etc.). Only with a cryogenic method, even lower temperatures can be reached (CO_2 : "dry ice", -78°C or liquid N_2 , -196°C). Using those refrigerants is called hyper rapid chilling and it has been suggested to use this method for the accelerated cooling of PSE-meat in order to make it more acceptable for human consumption (Anon., 1987 and Woltersdorf, 1989). Although the use of lower temperatures means higher investment and energy costs caused by a higher energy (or liquid gas) consumption, it has one great advantage: a smaller weight loss of the carcass. Theoretically, an optimum situation can be calculated, but the optimum is very much influenced by other parameters than energy and weight loss (cf. the discussion following table 1).

In addition to the application of cold air, other methods can be used for cooling as well. For instance, *immersion chilling*, during which the primal parts of the carcass are vacuum-packed and cooled in a bath with ice water or brine.

With another method, called *ice bank chilling*, the air is cooled and moisturized by directing it along an ice bank, which is constantly replenished.

With immersion chilling, vacuum packing prevents weight loss during cooling and the absorption of water from the bath.

Cross-contamination (which used to occur with *spin-chilling* of chickens) is avoided in this way. However, an important drawback of the immersion chilling method is the disposal of the bags, which makes it an environmentally unacceptable method. The advantage of the ice bank chilling method is its high air humidity, in which the weight loss is reduced, especially during the equalizing phase. In this phase, the surface temperature of the carcass has decreased to about the air temperature. Only the difference of the air humidity and the water activity at the surface is the cause of any moisture evaporation. Furthermore, the ice is replenished constantly. Because of this, the design of the cooling unit can be based on the average cooling load per twenty-four hours, whereas the design of cooling units for multiphase air cooling processes has to be based on the peak load. Another disadvantage of this method are the large constructional requirements which the design of the ice bank entails.

Finally, we draw the attention to *spray chilling* which is receiving quite some attention (Hamby, 1987; Allen, 1987; Letang, 1990; Anon. (Novem), 1993). This method uses short bursts of spray that are directed at the carcass at previously determined points in the cooling tunnel to compensate for the evaporation loss.

Not only does the spray compensate for weight loss, it also stimulates heat transfer and as a result, may lead to a reduction in total cooling time.

It is employed in the USA and the USSR, but it is prohibited under European Law.

The three last mentioned cooling methods, immersion chilling, ice bank chilling and spray chilling will not be discussed any further for the above-mentioned reasons. We will therefore limit ourselves to the method during which the carcasses are cut in sides after slaughtering and undergo one or several phases of **air chilling**.

We have started from the assumption that the carcass sides are not divided into primal parts, but remain intact. This is not always the case. In Denmark for example (Hermansen, 1987),

some slaughterhouses cool the carcasses after slaughtering in harsh conditions (-25°C to -30°C for approximately 80 min.), followed by an equalizing phase of -2°C which lasts for one or two hours. After this, the carcass is sawn up and deboned. Although a divided carcass cools faster (this especially applies to the head, loin and belly), a method for the division of the carcass before or during the cooling process will not be specifically dealt with here, because of possible shrinkage of the meat after deboning.

It is hard to conclude which system will commercially be the most profitable one. In table 1, the various cooling methods are listed in combination with their performance (if known).

Year	Sluice				1 st phase				2 nd phase				3 rd phase				Equalization phase				Total weight loss [%]	
	T [°C]	v [m/s]	l [min]	RH loss [%]	T [°C]	v [m/s]	l [min]	RH loss [%]	T [°C]	v [m/s]	l [min]	RH loss [%]	T [°C]	v [m/s]	l [min]	RH loss [%]	T _i [°C]	v [m/s]	l [h]	RH loss [%]		
1974	-15	2	5	-	-18	2	45	-	-10	2	65	-	-10	2	65	-	-	4	-	-	-	
	-10	2	-	-	-17	2	-	-	-5	2	-	-	-5	2	-	-	-	4	-	-	1.3	
1975					-7	2	105	-										3			1.4	
					-20	2.5	150	0.7										4			1.4	
					-17	3	25	-	-10	3	40	-	-10	3	40	-	-	4			1.1	
					-20	0.5	-	-	-12	11	-	-	-12	11	-	-	-	-			-	
					-12	2	90	-	-12	2	90	-	-12	2	90	-	-	-			-	
					-12	2	90	-	-12	2	90	-	-12	2	90	-	-	-			-	
					-17	3	30	100	-10	3	40	100	-	-10	3	40	100	-	4			1.45
1986					-10		40?		-18		50?		-18		50?			4			2.5	
					-27		?		-27		?		-27		?			4			0.8	
1986					-25	3	15		?	3	55	0.6	?	3	55	0.6		4			0.8	
1987					-20	25	-	-	-5	100	-	-	-5	100	-	-					1.2	
					-17	-	33	-	-10	-	40	-	-10	-	40	-	-	4			1	
1988					-12	2	90		-4.5	1.5	90		-4.5	1.5	90						1.3	
?					-17	3	25	100	-10	3	40	100	-	-10	3	40	100	-	4			1.45
1989																		0	1	21	-	-
					-8	1	180	-										0	2	18	-	-
					-8	2	180	-										0	1	21	-	-
					3	2	240	-										0	2	18	-	-
																		0	0.3	17	-	-
1992	-19	-	20	-	-8.5	-	100	-	-8.5	-	100	-	-8.5	-	100	-	-	+2	-	22	93	0.5
1992	-20	-	23	-	-5	-	100	-	-2.5	-	60	-	-2.5	-	60	-	-	+2	-	21	-	0.25

Table 1 Overview of chilling systems used in pig slaughterhouses. Most data result from personal communications except Clemensen (1974), Daoust (1988) and Letang (1989) to be found in the column "Year".

As shown in table 1, a large variety of cooling systems are employed. The variety is due to many different circumstances in slaughterhouses in many countries and local conditions.

However, considering a minimal allowed investment, it is clear that mostly a multiphase system is chosen. In general, the lower the air temperature in the rapid phase(s), the lower the weight losses. This rapid chill system starts with those conditions that are most intense and slowly gets milder to cool as fast as possible at the same time taking care not to freeze and/or severely discolour important surfaces.

The problems that arise are all related to bone discolouring, high energy consumption, high investment costs and local freezing phenomena on the carcass, resulting in a wet surface in the equalizing phase.

The designs of the cooling tunnels for pigs are almost all of the Down-Flow type, in which air is blown down on the carcass directly from above. This poses a special problem with respect to the distribution of heat. In a cooling tunnel for chickens the strain is divided equally over all the cooling batteries. With pigs, however, multiphase rapid cooling is generally applied which causes a very large cooling load on the first phase, and a (relatively) low cooling load on the equalizing refrigeration cell. Because of this, one battery per one or two lines is applied (see figure 1), to absorb the cooling load.

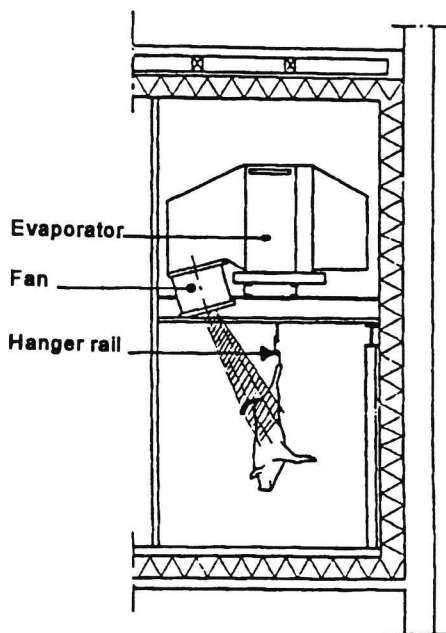


Figure 1. Cross section of the first cooling phase with the Down-Flow system.

With respect to the first phase, this multiphase *in-line* system functions much better than a system using distributed air, the more so since air speeds need to be very high at the start. A variation on the system shown in figure 1, is a design with two rows of pigs, divided by a separation panel. In this design, cold air is blown down on the warmest animals. When arriving at the floor it passes under the partition panel and flows up again, passing the second row of pigs, and is returned to the cooling battery again.

In this way, the same air can be used sequentially for two rows of pigs instead of one. Of course, the cooling battery itself has to be larger.

Large variations in air speed and direction occur since the fan blows the air directly onto the carcasses. The fans used are of the axial type and cause a spiral flow pattern. With several fans in-line, intensifying or reverse air currents may occur, which unintentionally may have a negative effect on the above-mentioned pattern. Another aspect concerns the air flow direction with respect to the carcass, but this will be discussed in § 4. Microbiologically, the risk of contamination through the air is limited, as bacteria are carried by aerosoles, which accumulate in the evaporator. The latter should be cleaned periodically.

In the subsequent cooling phases less refrigerating capacity per meter overhead conveyor will be necessary. That is why the coolers will often be installed across several conveyor lines. On the one hand, this is possible because less cooling capacity per meter conveyor line is necessary, and on the other hand the conveyor lines with high cooling loads (with the most "hot" pig carcasses) are distributed among all coolers, as a result of which the cooling load is well distributed over the cooling tunnel, and the coolers can be of the same type (in connection with logistical and service advantages).

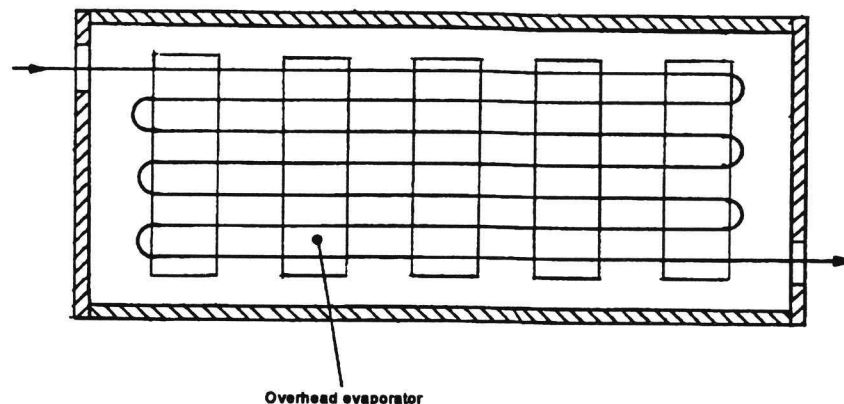


Figure 2. Top view of the system in the second cooling phase. The cooling batteries (overhead evaporators) have been placed across the overhead conveyor lines.

Although the equalizing cell does have to be circumfluent thoroughly (to prevent stagnant air areas), ventilation should be kept to a minimum, to reduce the weight loss caused by drying. In the equalizing cell, the influence of air humidity is very important, because the carcasses remain here for a long time. The surface temperature of the carcass has already decreased considerably, so moisture transfer only occurs through the difference in vapour pressure (i.e. between the air humidity and the water activity of the carcass' surface). That is why it is useful, especially at this point when no major heat transfer occurs, to raise air humidity as much as possible.

A potential method to reduce ventilation even further, is the intermittent running of the fans: when in operation they ensure good air distribution and they can be interrupted when no ventilation is necessary.

Defrosting of the cooling batteries has to take place on a regular basis. This especially applies to the batteries used in the rapid cooling phase(s). For this reason, extra batteries have to be installed and attention should be paid to the collection of the melt water which must be prevented to drop upon the pork.

All slaughterhouses equipped with a rapid cooling system have an air lock (or sluice) between the slaughter department and the rapid cooling installation, to prevent both the occurrence of cold draught in the slaughter department and air leakage and icing in the rapid cooling installation. The sluice has to be long enough to meet the above-mentioned demands, so the rubber flaps, used to reduce air leakage can be avoided mostly, because they are a source of cross-contamination. For this reason they are increasingly less employed nowadays. Another disadvantage of the rubber flaps is the fact that they become stiff at low temperatures and could push the carcass off the conveyor lines.

Based on the foregoing, the following (more specific) requirements for pigs can be formulated:

- Use the "same" air as much as possible. This reduces the required ventilation capacity.
- Try to enlarge the temperature difference of the circulated air over the cooling process (and the cooling battery).
- Take the smallest cross-section of a cooling tunnel to be circumfluenced, to reduce the required air quantity.
- Prevent stagnant air area, especially in the equalizing cell.
- The period in the rapid cooling unit should be kept to a minimum. Quality aspects should not be neglected when the air temperature is chosen low to reduce the dwelling time.
- Prevent the freezing of important parts; in the equalizing phase they become wet by condensation. This constitutes a health hazard.
- The sluice should be long enough and constitute a sufficient air seal.
- The tunnel design should be easy to clean.
- The weight loss should not exceed 1.2 % in total (after 24 h. *post mortem*)

§ 4 Chicken cooling methods

Three methods are used to cool chickens. First, *immersion chilling* for which ice water is used. A large screw in a tank moves the carcasses against the ice water current (hence it is also known as *spin chilling*), which is sometimes cooled with additional ice. The process generally consists of two or three stages, each phase using a separate tank. The same water is used for all the animals. Therefore, cross-contamination is very likely to occur, in spite of the fact that fresh water is supplied at a rate of ± 2 l/product (EU-Regulation).

Such a system consumes large amounts of water (the water cannot be recycled).

Advantages of this method are the high velocity of the cooling process and the fact that it causes a weight increase (in Europe, the permitted maximum water absorption of carcasses is 8%). By agitating the water, a high heat transfer rate is achieved. In addition, the use of water is a very intensive way to treat the carcass. Finally, the high cooling rate of the process causes the cooling system to be relatively small, keeping the costs of investment low.

The spin chilling method is the eldest cooling process, and is still used in the USA, Canada, the former USSR, the Middle East and the Far East. Nowadays, this system is hardly used in Europe anymore. In the seventies and eighties, many European slaughterhouses were forced to replace their cooling systems, due to European Regulations. Alternatives had to be developed. *Sprinkle cooling* was suggested as a substitute (Veerkamp, 1974). In this method each carcass is sprinkled separately with cold water. This system is the first which made *in-line* production possible. This proposal complies with the wish of the meat industry to keep their products wet to lose not too much weight. Because of the widespread use of sub-scalding, the epidermis was removed from the skin, causing surface colouring after drying up. On account of that, the industry decided to turn to soft-scalding (which protects the epidermis) which allowed for *air cooling*. During this method chickens are moved in-line through a large air cooled space. Except for drip from one carcass on the other (which lasts for ± 10 minutes), the chickens are no longer in contact with each other, as a result of which a highly hygienic product is created.

Disadvantages of this system compared to spin chilling are the large weight changes (a 1.5-2% decrease compared to an 8% increase with spin chilling) and the long time of processing. At an average daily turnover of 50000 animals, with a slaughtered weight of 1.2 kg the financial losses are considerable! The dwelling time varies between 1 to 1½ hours for a well-chilled product. Long process times generally lead to large (and expensive) cooling tunnels and logistical difficulties. A compromise between air cooling and sprinkle cooling is the *spray cooling* method. This method consists of an air cooling tunnel in which a spray system has been installed. Although the principal cooling is achieved by means of convection, the drying out is compensated for by spraying. This prevents weight loss of the product and renders a much more efficient use of the cooling process owing to the continuous evaporation of water from the surface of the carcass. Because of this, spray cooling is sometimes called *evaporative cooling* (Veerkamp, 1985). With the spray cooling method, sub-scalded chickens can be used as well, because the product remains wet and colouring afterwards is prevented.

Having discussed the main cooling types, we will now consider the various forms of implementation. We will focus on the **air cooling method**, since the use of immersion cooling is declining and evaporation cooling can be carried out in an air cooling tunnel.

The basic design of the air cooling tunnel is the generally applied *Down-Flow* system (I, see figure 3).

Fans have been installed above the transport system with which the chickens are moved, blowing air down on the chickens at a high speed. In some cases, groups of fans have been combined with a cooling battery (I). In other versions, the fans have been installed in a ceiling, drawing their air from a series of separate cooling batteries behind the ceiling (II, see figure 4).

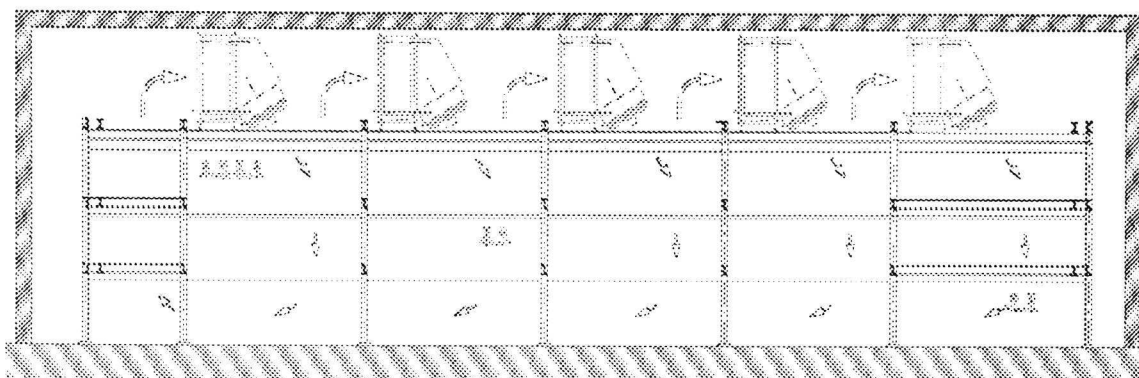


Figure 3. Down-Flow system (I) with combined cooling battery/fans. The air flow directions are shown. Some of the chickens, arranged in three layers here, are shown as well.

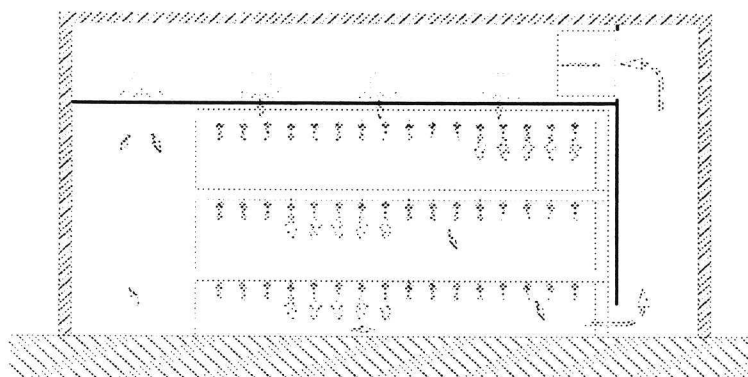


Figure 4. Cross-section of the Down-Flow system (II) with separate cooling battery and fans and with a suspended ceiling and a side-return channel. The air flow directions are shown as well as some chicken carcasses (in three layers).

Both arrangements have a return air cooling battery and their fans are directed at the products, to achieve a rate of heat transfer as high as possible by using air turbulence. The systems I and II both have a variant. System I has an alternative in which the fan is directed straight down, and which has two cooling batteries instead of one that are placed opposite to each other. The fan draws the air through the cooling batteries (I', not shown). System II has an alternative, in which the cooling unit is not placed at the top, but at the bottom, in the return opening of the side return panel (II', not shown).

Compared to system I, system II has the disadvantage that extra facilities have to be installed (and cleaned), such as the ceiling and the side-return channel.

Two entirely different cooling tunnel arrangements are the Horizontal-Flow and the Linear Air Jet systems.

The Horizontal-Flow system is shown in figure 5 and is intended to reduce the amount of circulated air. Less air means lower energy consumption (provided that the air pressure has not been risen). This new system has been designed and installed as a prototype during this study (see for results § 5).

Because of the reduced air quantity, the temperature rise of the chilling air in the chilling process will increase (in (I) and (II) typically 0.5°C , while in (III) $2\text{-}3^{\circ}\text{C}$).

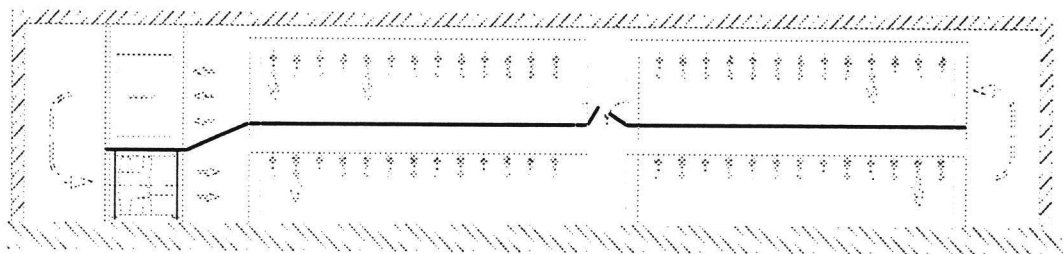


Figure 5. Cross section of the Horizontal-Flow system (III). Again the direction of the air flow is shown.

A disadvantage of system III is that all products are in each others wake, as a result of which the intended convection is much less than in system I. Connected to this phenomena are the by-pass air flows, above and beneath the product layers. The advantage of a smaller amount of necessary air is partly undone by the loss of heat transfer caused by by-pass flow. A solution would be the lowering of the entire layer heights. In that way, the flow is forced to circumfluence the chicken carcasses. Another advantage is the cleanability of the cooling battery, but, the cleanability of the layers is difficult because of the partition floor between the two layers.

With the Linear Air Jet system (IV) a well-aimed air jet is directed at the carcass. Elongated jets (slots) have been fitted above the products, so that they are constantly in a cold air flow.

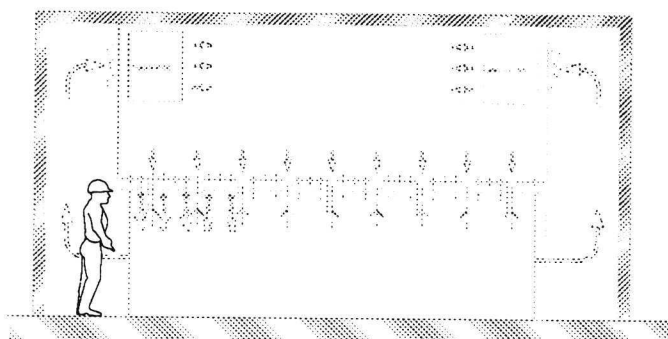


Figure 6. Cross section of the Linear Air Jet system (IV). The air flow directions are shown. The linear air jets (drawn across) are directly above the carcass.

On the one hand, the aim of this system is to direct air only to the carcass where it is necessary and on the other hand, to flush the body cavity with air. An idea of this is given in figure 6. In this situation, the product circumfluence is very good and high air volumes are unnecessary.

However, the system is reasonably complicated compared to I. For every cooling

layer, a linear air jet and a supply construction of sheet steel will have to be installed. This is expensive and takes much space. A variation on this system is the application of two linear jets instead of one (IV'). One for the body cavity and one for the breast (see figure 7).

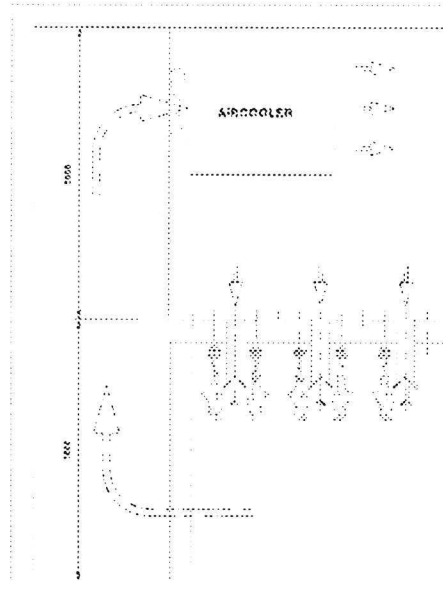


Figure 7. Detailed picture of the variant on design (IV), with two linear air jets directed at the chicken carcass (IV').

Due to the extra air jet, the variant increases convection around the carcass. Therefore, it does need a larger amount of air than (IV).

In the table 2, the pros and cons of all arrangements have been listed. It is based on a capacity 6000 birds per hour, with a grill-weight of 1.2 kg, a line spacing of 291 mm, and a bird spacing of 6" (15.2 cm). Lengthways two aisles have been installed of 60 cm wide.

All systems appear to have their own specific advantages and disadvantages. After installing a traverse, system (II) is easy to service. System (III) has a low energy consumption, but the process takes more time and the tunnel is difficult to clean. System (IV) has a much shorter length of stay but an energy consumption which is only slightly higher than system (I). The large space inside the air distribution system of (IV) is very difficult to clean. The surface area necessary for system (III) and system (IV) is almost twice as large as the space needed for system I.

The loss of weight is hard to compare, because this is determined to a large extent by ambient temperature, length of stay, humidity and air speed. With cooling up to 4°C in the centre of the breast muscle, the loss of all types is approximately 1.0-1.5 %.

Criteria	Down-Flow with combined cooling battery/fan (I)	Down-Flow with separate cooling battery, suspended ceiling and side-return channel (II)	Horizontal-Flow (III)	Linear Air Jet System (IV)
Design	Simple design, cooling battery and fan can be integrated.	More complicated design, caused by ceiling and partition. Cooling battery and fans can be assembled independently.	Simple assembly cooling battery and fan, separate partition floor necessary.	Complicated airjet supply system. Cooling battery and fan can be integrated.
Air flow				
Complexity		± 88%	± 93%	± 76%
Dwelling time ^a	± 90 min			
Circumfluence	Product circumfluenced completely, no stagnant air areas	Product circumfused away from the side, stagnant air zones possible in the corners	Products in each others wake, large by-pass air flow just above the floor	Excellent circumfluence products, including body cavity. No stagnant air areas.
Average air velocity	2.5 m/s	2.5 m/s	2.5 m/s	Supply velocity air jet: 15 m/s
Quantity/bird ^b	98 m ³	148 m ³	35 m ³	91 m ³
Total static pressure	140 Pa	250 Pa	150 Pa	180 Pa
Energy consumption				
Fans only	119 kW	218 %	58 %	110 %
Total (incl.refr.equipment)	241 kW	171 %	81 %	106 %
Dimensions				
Total height	5.10 m	5.10 m	1.90 m	2.60 m
Surface area	206 m ²	196 m ²	310 m ²	387 m ²
Total volume	1050 m ³	105 %	55 %	96 %
Maintenance				
Technical	Difficult, many motors are located at high places.	Reasonable, when a traverse has been installed.	Excellent, everything is situated within reach.	Excellent, everything is situated within reach.
Cleanability	Cooling battery: difficult. Rest is easy.	Cooling battery and ceiling reasonable, after installing a traverse at the top. Rest is easy.	Cooling battery: easy. Rest is difficult due to small height.	Air jet supply system and cooling battery: difficult. The space beneath it, excellent (completely free).

Table 5.2. Advantages and disadvantages of the various chicken air cooling tunnels. Percentages refer to Down-Flow (system I), at a production of 6000 birds/h. The numbers mentioned are indicative.

^a The dwelling time is estimated for a chicken carcass of 1.2 kg (grill weight) cooled down from ± 40°C to 4°C (deep muscle breast) at an air temperature of 0°C (expect Horizontal Flow -4°C).

^b The air quantity per bird is defined as the total airflow divided by the production capacity.

It should be mentioned that this depends strongly on the measuring method. Due to this, a measured loss of 1.0 % *could be* between 0.8% and 1.5%. The method employed by Stork Bronswerk (which has been used in this study as well), is described in the Appendix. Concluding from this a standardized weighing procedure would be appropriate. As a start, the procedure mentioned in the Appendix could be chosen.

Knowing the performance of the present air cooling tunnels, a more specific list of requirements can be formulated in addition to the general requirements already mentioned in § 1.

List of requirements for chicken air cooling tunnels:

- Assembly should be simple, using as few additional facilities as possible, such as ceilings, panels, floors, etc.
- Stagnant air areas in the cooling tunnel should be avoided.
- The products should be circumfluent well. Therefore, a caudal air flow should be used, if possible directed at an angle of 45°. With respect to this, the body cavity is very important.
- The amount of air to be used should be as small as possible, in connection with the energy consumption (ideally, around 30 m³ per bird).
- The dwelling time should be as short as possible (60 min.).
- The design should be flexible. It must be possible to built flat cooling tunnels with a large floor area (2-2½ m high) and in cooling tunnels with a small floor area (≤ 170 m²).
- The weight loss should be low, maybe less than 1.0 %
- The microbiological hazards should be avoided (sharp edges, horizontal surfaces, spots hard to clean, easy cleaning of the evaporators).
- The design should have a good cleanability.
- The design should be flexible in capacity, as the carcass weight differs much.

Apart from the above-mentioned requirements, additional requirements can be formulated with regard to product quality.

- In the case of a shorter dwelling time, at a lower air temperature, the chance of cold-shortening increases. This limits the applied cooling rate to a maximum. However, the question remains whether this happens with air cooling, since anything like it has never been observed during the (much faster) immersion cooling process.
- With shorter stays in the cooling tunnel, a maturation period should be taken into account so the meat is given the opportunity to become more tender.
- The air temperature should not be too low to cause freezing of the important parts, such as the thigh and the thinner parts of the breast. Technically speaking, freezing of the wing tips and the scruff of the neck may seem to be of little importance, however they might well be a source of condensed water, causing packaging problems and increasing perishability.

REFERENCES

- Allen, D.M., Hunt, M.C., Luchiari Filho, A., Danker, R.J. & Goll, S.J. (1987) Effects of spray chilling and carcass spacing on beef cooler shrink and grade factors, *J. Anim. Sci.* **64**: 165 -170
- Anon. (1987a) Hypersnelle koeling contra PSE-vlees, *Vleesdistributie en Vleestechnologie*, **9** (39)
- Anon. (1993) Verdampingskoelen van varkensskarkassen, Novem Leaflet concerning energy saving measures, Novem, Apeldoorn (NL)
- Brown, T & James S.J. (1992) Process design data for pork chilling, *Int. J. Refrig.* **15** (5): 281-289
- Gigiel, A.J. (1984) Energy consumption and weight loss in pig chilling, Proc. 30th Meeting Eur. Meat Res. Workers Bristol, UK (63-64)
- Graveland, R.A.C. (1995) (PVV) Personal Communications about the average age of slaughter and slaughter weight.
- Hamby, P.L., Savell, J.W., Acuff, G.R., Vanderzant, C. & Cross, H.R. (1987) Spray-chilling and carcass decontamination systems using lactic and acetic acid, *Meat Science* **21**: 1-14
- Hermansen, P. (1987) "Warm" boning of pigs including problems of interfactory transport of chilled meat, in: Accelerated Processing of meat, Elsevier 127-130
- Létang, G. (1990) Brumisation des viandes, *Rev. Gen. Froid*, Mai: 25-29
- Veerkamp, C.H. & Hofmans G.J.P. (1974) Factors influencing cooling of poultry carcasses, *J. of Food Science* **39**: 980-984
- Woltersdorf, W. & Troeger, K. (1989) Improving the quality of PSE pork by very quick chilling, *Fleischwirtsch* **69** (5): 875-878
- Veerkamp, C.H. (1985) Developments in poultry chilling, *Poultry International*, febr. 68-74

APPENDIX

MEASURING PROCEDURE FOR BROILERS**A. Product weighing method**

The scale used for this weighing operation must be accurate to within 1 gram and calibrated by a competent authority. If necessary, the instrument must be calibrated immediately before the weighing, using a standard weight.

The product weight for an air-chilling tunnel is fixed as follows. The product is:

- a. taken from the line before the inside / outside washer;
- b. shaken from side to side, held upside down three times and wiped with a tissue (surface moisture is removed)
- c. put on the scale with the neck skin under the body and the belly pointing upwards.

Weighing "in" : The weight of any water remaining behind on the scale must be deducted from the weight reading. The product is again hung on the line after the inside / outside washer.

Weighing "out" : The weight must be done within two minutes after it has left the chilling tunnel, to eliminate increase in weight due to condensation.

Procedure for establishing the average change in weight (in percentage):

- a. For each product the change in weight is calculated, divided by the initial weight and multiplied by 100 (percentage change in weight).
- b. All percentage changes in weight are averaged.
- c. The reading exceeding this average by 30% or more will be left out of consideration, as well as readings being 0.5 time this average or less.
- d. The average change in weight is now determined once more in line with the method described under b.

The minimum number of products to be weighed is 50.

B. Product temperature determination

The measuring instrument must be accurate to within 0.1°C. Furthermore, it must be calibrated every year. If necessary, the instrument must be calibrated immediately before the measurements by placing it in melting ice (0°C).

The broilers are taken from the line in a non-selective way, after which the exit temperature is measured. The weight is also fixed.

Definition

Temperatures governing the chilling process are measured in the breast fillet. Two temperatures may be important:

- Core breast temperature T1. This is the highest temperature prevailing in the thickest part of the fillet.
- Average core breast temperature T2. This is the average temperature local to the thickest part of the fillet.

Measurement location

- T1; on the connecting line B across the breast side between the two wing pits according to figure 8 and figure 9, both on the left-hand and right-hand sides. T1 is the highest temperature prevailing on the line and can be found at a width being 1/6 of the overall width from the median plane of the carcass.
- T2; ditto but now at 1/3 of the overall insertion depth.

Accuracy

At least 50 individual products must be measured with the chilling tunnel operating under design conditions (utilization, line speed, air temperature).

All exit temperatures are plotted on a curve against the weight. A line is drawn through the measuring points, using linear regression (least squares method).

By drawing a line from the weight in the horizontal axis to the regression line, and by reading the corresponding temperature on the vertical axis, the product temperature is determined.

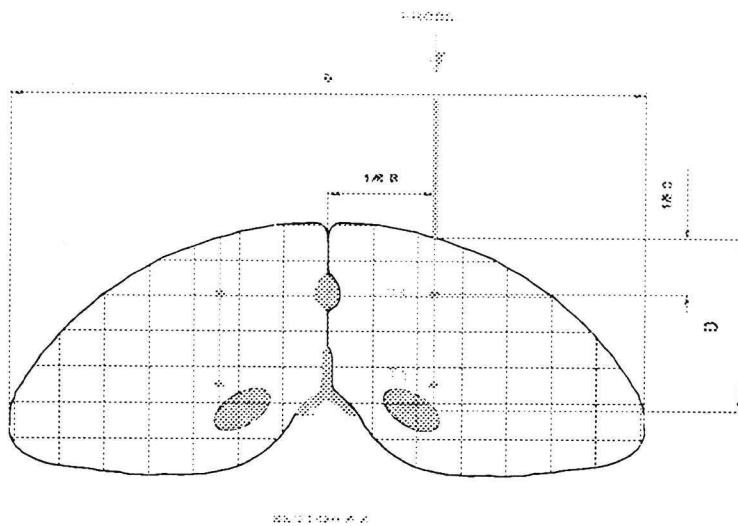


Figure 8. Transversal section of the chicken breast showing the locations of the temperature measurements.

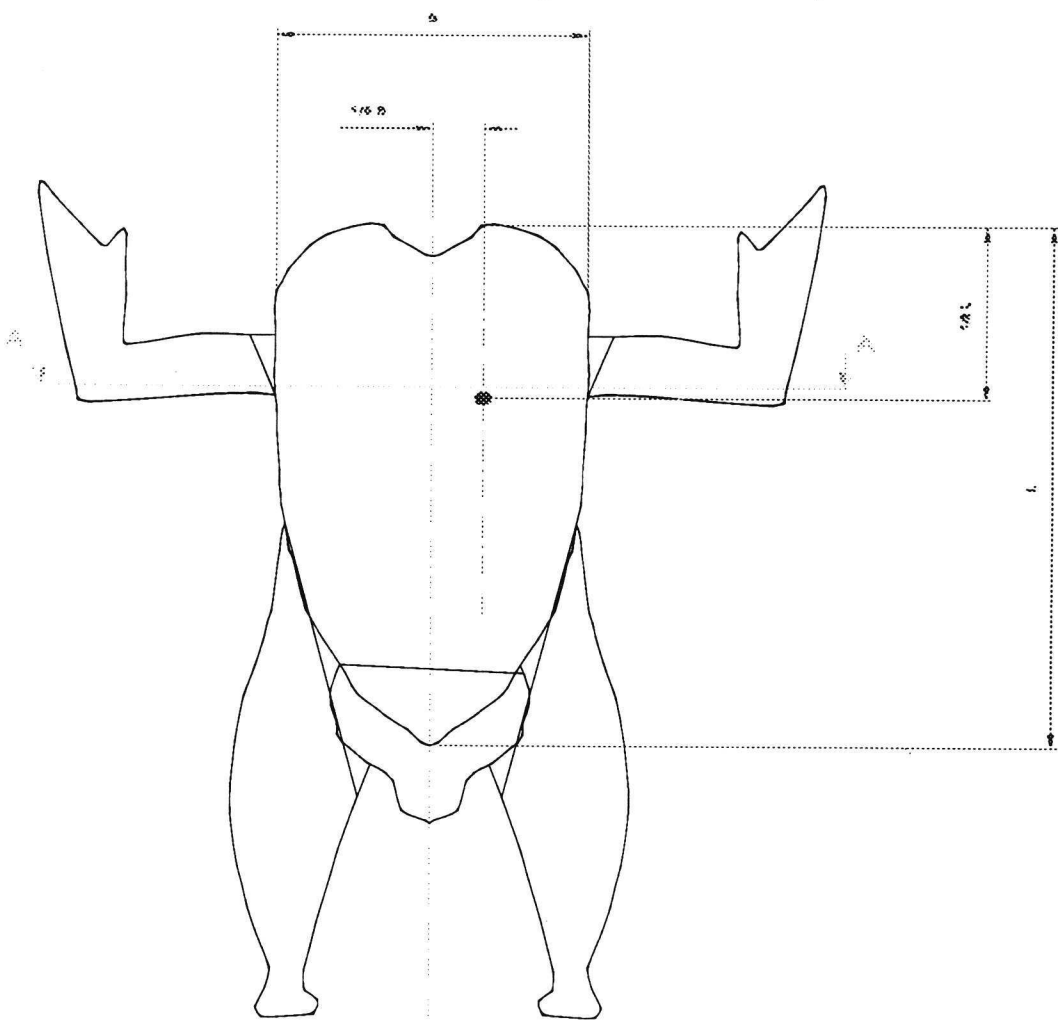


Figure 9. Frontview of the chicken showing the location of measurement of the temperature.

ASPEKTEN VAN LUCHTVERDELING EN KLIMAATSTURING BIJ HET KOELEN VAN SIERTEELT- EN TUINBOUWPRODUKTEN

ir. J.W. Rudolphy, ATO/DLO, Wageningen

Het onderzoek van ATO/DLO op het gebied van het koelen van agrarische produkten richt zich vooral op het beheersen en het sturen van het koel- en opslagproces in koelcellen en transportmiddelen. Het onderzoek houdt zich verder bezig met de inrichting van de genoemde koelruimten, alsmede de opstelling van produktstapels, warmte- wisselaars en sensoren om de gewenste klimaatbeheersing te realiseren. Het laatste onder de belangrijke beperkende voorwaarden, dat de produktbehandeling in de praktijk de eerste prioriteit heeft en niet (ernstig) mag worden belemmerd.

Het resultaat, dat met een koelinstallatie kan worden bereikt, is vooral afhankelijk van een goede warmte-, vocht- en gasuitwisseling tussen produkt en koellucht. Bij het ontwerp en de procesvoering van een installatie behoort dan ook het luchtcirculatiesysteem in samenhang met het stapelpatroon, de transport-eenheid, het type verpakking en de overdrachtseigenschappen van het produkt, de volle aandacht te krijgen. Deze factoren bepalen namelijk de realiseerbare koeltijd en de traagheid, waarmee het microklimaat rondom het produkt en het produkt zelf het door de installatie opgelegde celklimaat volgen. In dat verband zijn zij bepalend voor de dimensionering van de installatie en hebben zij grote invloed op de procesvoering en de mate van ontvochtiging bij het produkt. De ontwikkeling en verifikatie van rekenmodellen, die de interactie beschrijven tussen het celklimaat, het microklimaat en het produkt nemen dan ook in het onderzoek een belangrijke plaats in.

In de lezing zullen een aantal gebruikte luchtcirculatiesystemen in de sierteelt- en tuinbouwsector met hun kenmerken worden gepresenteerd. Voor wat betreft de klimaatbeheersing zal worden ingegaan op enkele aspecten van de vochtbeheersing in koelcellen, o.m. het verschil tussen het stellen van eisen aan de vochtigheid van het celklimaat en het stellen van eisen aan de ontvochtiging van het produkt.

1. De kunst om een goed koelproces te realiseren ligt niet op de eerste plaats bij de koelinstallatie, maar in het systeem dat warmte moet vrij maken uit de lading van een koelruimte. Het aantal te beïnvloeden parameters voor dit doel is beperkt tot de overdrachtscoëfficiënten voor warmte en vocht aan de grensvlakken tussen ladings-elementen en koellucht, de grootte van het uitwisselend oppervlak (effectieve oppervlak) en de grootte van de drijvende krachten i.e. het lokale temperatuurverschil en het verschil in dampdruk. In dit verband worden behandeld de onderwerpen "celinrichting en luchtverdeling" en "luchtvochtigheid en ontvochting" in koelruimten.

2. Rekenen met lokale verschillen naar plaats en tijd vraagt om een modelmatige aanpak. Als uitgangspunt voor de bespreking van bovengenoemde onderwerpen is een bestaand dynamisch koelcelmodel (naam KOBAs) gekozen, dat naast de later op deze dag aan bod komende raster- en elementen- modellen staat. Het model is simpeler van opzet doordat de luchtverdeling in de ruimte wordt voorgeschreven; met name de verdeling over effectieve lucht en leklucht. Verder doordat slechts gebruik wordt gemaakt van één volume-element nl. het volume lucht, dat per tijdséénheid de warmtewisselaar passeert. Dit volume-element neemt warmte en vocht op tijdens de passage door de koelruimte en staat dit weer af tijdens het doorlopen van de warmtewisselaar. Daardoor vervalt het rekenwerk, dat samenhangt met het vaststellen van het luchtsnelheids-veld in de ruimte. Een bewerking die normaliter nodig is voordat de temperatuurverdeling in de ruimte kan worden berekend. De transparant geeft weer een stripkaart van de luchtcirculatie en ventilatie in het KOBAs-model. Het model berust op het balansprincipe d.w.z. bij de start van een tijdstap wordt het koelvermogen iteratief zo ingesteld, dat de enthalpieverandering van de circulerende lucht wordt opgeheven in de warmtewisselaar. Dit leidt o.m. tot de vaststelling van een dT/dt per ladings-element op dat tijdstip. Met behulp daarvan en uitgaande van de momentane temperaturen kan de temperatuurtoestand van ieder van de ladings-elementen bij de start van de volgende tijdstap worden vastgesteld. Het voordeel van het model, tegenover raster- en elementen-modellen, ligt in de korte rekentijd (op een 486-p.c. in de orde van seconden, minuten, tegenover uren). Het nadeel is, dat de temperatuurverdeling en luchtsnelheidsverdeling in een ruimte grover worden benaderd. Zo ook de schatting van het optredende vochtverlies. Het model is dan ook vooral ontworpen voor het snel aftasten van alternatieven bij het dimensioneren van koelinstallaties.

3. De twee belangrijke elementen in de koelruimte zijn de warmtewisselaar(s) en de lading. Het is goed zich te realiseren, dat "koude w.w.'s" eigenlijk passieve elementen zijn in het koelproces. Ze nemen alleen de warmte weg, die wordt aangeboden. Dit proces is werkzaam tot het maximaal geïnstalleerde koelvermogen wordt bereikt. Daarboven kan de koeler de luchttemperatuur niet handhaven en vermindert de oplopende luchttemperatuur de warmte-afgifte door de lading, waarmee warmtebelasting en aanwezig koelvermogen weer in balans komen. De verschillende typen warmtewisselaars, die in de land- en tuinbouw in gebruik zijn en die in het model kunnen worden ingezet zijn aangegeven op de transparant.

De lading van de koelcel dient te worden gemodelleerd op basis van éénheden, die betekenis hebben voor de warmte- en vochtuitwisseling met de circulerende lucht. Deze éénheden vallen niet noodzakelijkerwijze samen met verpakkingséénheden of éénheden, die worden gebruikt in het interne transport. Voor het onderscheid is de benaming 'produktelementen' gebruikt. Deze kunnen

afhankelijk van het type opstelling en het toegepaste lucht-circulatiesysteem (langsstroom, doorstroom) lopen van 'palletstapel' tot 'laag met dozen' tot het 'individuele produkt'. Een produktelement wordt gekenmerkt door een gemiddelde temperatuur, een massa, een warmtecapaciteit, een warmteproductie, een evenwichts relatieve vochtigheid aan het oppervlak (ERV) en de overdrachtscoëfficiënten.

4. Voorbeeld van een modelresultaat in de vorm van een curve van het opgenomen koelvermogen als functie van de tijd bij het chargegewijze beladen van een koelcel van een bloemengroothandel. Palletladingen worden na opnieuw verpakken en herschikken in een koelcel geplaatst. Het betreft een lading van 12 pallets, die met tussentijden van ca. een half uur worden ingezet. Het geïnstalleerde koelvermogen is beperkt tot 22 kW. Op grond van de gebruikelijke rekenmethode (warmtelast bij de inzet van de laatste charge) zou ongeveer 25 kW in de koelcel zijn geïnstalleerd. Het voorbeeld komt uit een studie met de vraagstelling, hoeveel reductie op het te installeren koelvermogen kan worden toegepast voordat de totale koeltijd essentieel toeneemt. In het geval van een chargegewijze belading van een koelruimte blijkt vaak, dat het koelvermogen wel tot ca. 2/3e van het berekende volgens de standaard-methode kan worden gereduceerd.
5. Temperatuurverloop van produkt (1e en 12e charge), koellucht-temperatuur en retourlucht-temperatuur. Model had de opdracht om voortdurend het temperatuurverloop van laatst ingebrachte charge te volgen (verklaart zigzaglijn bovenzijde). In de temperatuurcurve van de eerste charge is het buigpunt zichtbaar waar het koelvermogen het maximum bereikt.
6. De overdrachtscoëfficiënten voor warmte en vocht worden in de fysica gebruikelijk gegeven per éénheid van oppervlak. Gezien de luchtstroming door en langs stapels doet vaak niet het volledige oppervlak mee aan de uitwisseling. Dit is vooral het geval bij doorstroom-luchtcirculatiesystemen en individuele produkten. Er is dan sprake van een effectief oppervlak. Praktisch is het aan te bevelen om beide te combineren en te werken met overdrachts-coëfficiënten per massaéénheid produkt. Deze zijn uit experimenteel verkregen gegevens eenvoudiger vast te stellen.
7. Voor de opstelling van de produktelementen in relatie tot de richting van de luchtstroom wordt onderscheid gemaakt in serie-opstellingen, parallel-opstellingen en parallel-serie-opstellingen. Serie-opstellingen met en zonder menging van leklucht en opgewarmde lucht tussen de produktelementen. Parallelopstellingen, waarbij in niet volledig gevulde koelcellen de luchtstroom blijft gaan door de wel aanwezige produktelementen (pressure systemen) of parallelopstellingen, waarbij de luchtverdeling min of meer onafhankelijk is van de celvulling (zuigwanden waar de luchtweerstand grotendeels geconcentreerd is in de wand zelf).
8. Voorbeelden van celinrichtingen met serieopstellingen. Fruitkoelcellen zijn in breedte gestandaardiseerd op basis van geschikte combinaties van verkrijgbare verdamper-groottes en palletbreedtes. Dit om een gelijkmatige luchtstroming over de breedte van de koelcel te bevorderen.
9. Voorbeeld van een sectie van een bloemenhal (12m * 50 m; water-lucht-warmtewisselaars gevoed vanuit kleine ijsbanken; totale installatie 20.000 m² in twee verdiepingen) met injecteursysteem voor luchtcirculatie. Ontwerpvoorstelling en resultaat als gevolg van een te sterke injecteurwerking. Koude kan niet goed doordringen in de tweede helft van de ruimte.
10. Voorbeelden van parallelopstellingen. Op de veilingen is in de laatste 10 jaren voor

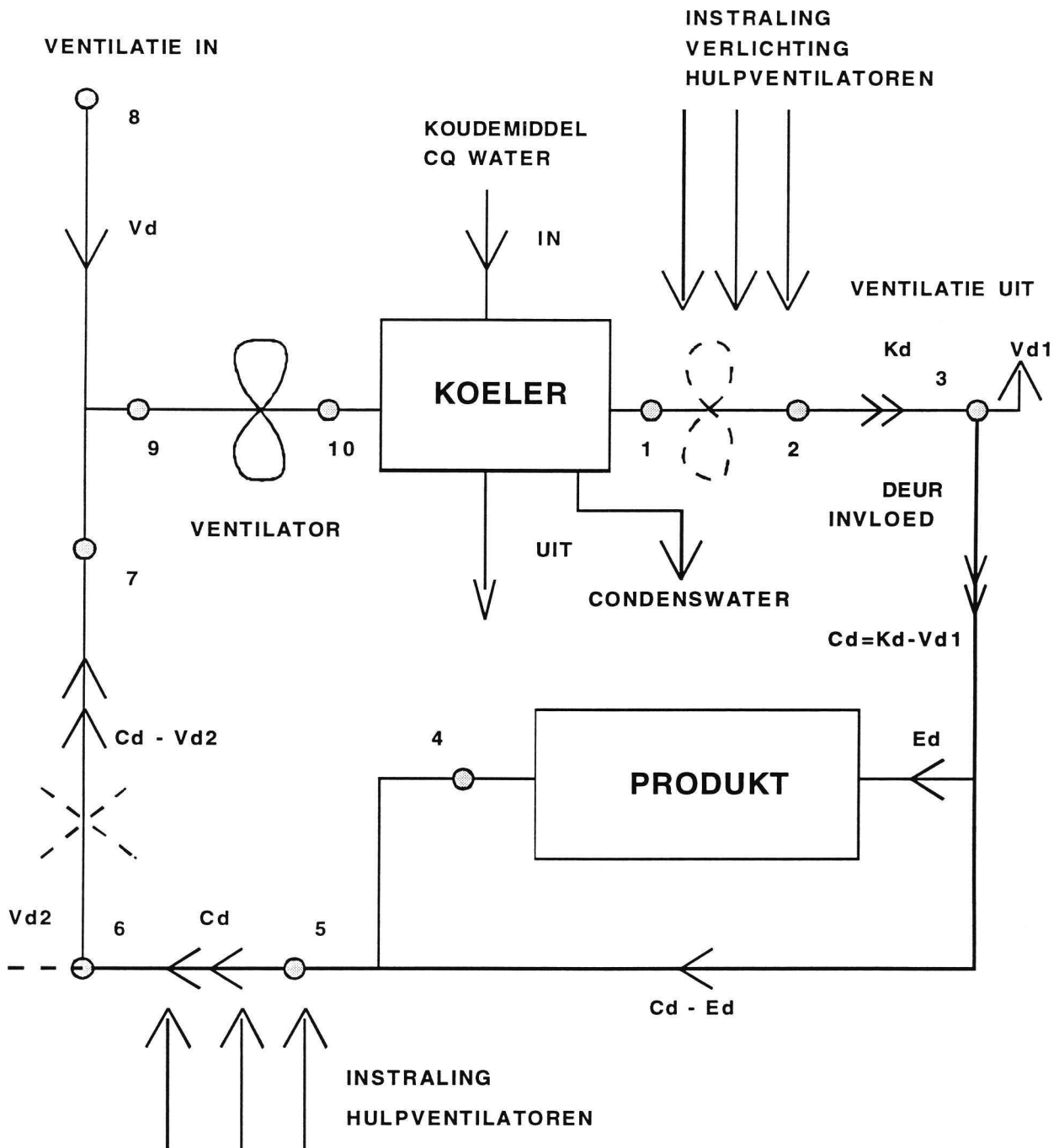
kartonverpakkingen vooral het (under)pressure systeem ingevoerd. Dit betreft een inrichting van koelcellen in éénheden van ca. 3.50 m breed en 10 - 12 pallets diep en een midden-kanaal van ca. 60 cm. Totaal blok van 24 pallets één hoog of 48 pallets twee hoog.

11. Parallel-serie-systeem in de vorm van een aardappelopslag met roostervloer. Combinatie van ventilatie-koeling in koude perioden en mechanische koeling in warme perioden.
12. Kleinschalig doorstroomsysteem voor het voorcoelen van dozen met snijbloemen. Het systeem kan praktisch in iedere koelcel worden toegepast. Ontkoppeling van de luchtcirculatie door de warmtewisselaars en de luchtcirculatie in de produktomgeving. Te grote ontkoppeling is een fout, die nogal eens voorkomt bij voorcoeltunnels. Het gevolg is, dat de ontwerp-luchttemperatuur niet wordt bereikt en de koeltunnel niet aan het doel beantwoordt.
13. Meetresultaten van de koeling van komkommers in een pressure systeem. Weergegeven zijn de temperatuur van de koellucht, de retourlucht en de produkttemperaturen aan de instroom- en uitstroomzijde van de pallets op plaats 1 en plaats 10 in de palletrijen. Het betreft een produkt van tropische oorsprong, dat bij langdurige blootstelling aan te koude lucht last krijgt van koudebederf. De optimale houdbaarheidstemperatuur van het produkt ligt in het gebied 10 oC - 15 oC. De eerste uren wordt geforceerd gekoeld met koellucht van ca. 7 oC. Daarbij treedt een spreiding op tussen produkttemperaturen van ruim 5 oC. Deze spreiding wordt gereduceerd door later in het koelproces de koelluchttemperatuur op te hogen naar 10 oC. Zodra ongecoat karton wordt gebruikt als verpakkingsmateriaal moet voor het handhaven van de stevigheid ervan later in het koelproces ook de eis worden gesteld, dat de luchtvochtigheid van de koellucht wordt teruggebracht van ten naaste bij 100 % rv. naar 80 % rv. Koelinstallaties moeten worden ingericht om de klimaateisen aan te passen aan het stadium van het koelproces of opslagproces.
14. Meetresultaten van het voorcoelen van rozen uit een studie om de koeltijd bij snijbloemen voor transport terug te brengen tot minder dan 1 uur. De grote vochtafgifte zorgt ervoor, dat later in het koelproces de produkttemperatuur en de retourluchttemperatuur zakt beneden de koelluchttemperatuur. De warmte nodig voor verdamping van vocht aan het produktoppervlak wordt in dit geval onttrokken aan de lucht.
15. Transparant met definitie van het locale dampdrukdeficit dat of vochtafgifte of condensvorming bij het produkt veroorzaakt. Benadrukt moet worden, dat voor de verdamping van water uit het produkt een voldoende warmtebron aanwezig moet zijn. Tijdens een afkoelproces zijn dit logischerwijze de veldwarmte en de warmteproductie. Tijdens een opslagproces, vooral met een aan/uit koelregime ligt dit minder duidelijk. De warmteproductie is vaak te gering om de waargenomen ontvochting te verklaren. Veldwarmte-effecten zijn in de praktijk niet goed waarneembaar. Korte schakeltijden of tot de oppervlaktelaag beperkte verschijnselen verhinderen dit wellicht. In modelresultaten van opslagprocessen zien we dat het niveau van de produkttemperatuur zich vaak instelt enigszins onder de door de thermostaat vastgelegde celtemperatuur. Theoretisch is de vochthuishouding van een opslagproces aanmerkelijk interessanter dan die van een afkoelproces en verdient dit aspect in het onderzoek meer aandacht. Veelal wordt nl. in theoretische beschouwingen uitgegaan van continu in bedrijf zijnde warmtewisselaars. Deze komen in de opslagpraktijk nauwelijks voor en wel omdat het grote verschil in inkoelvermogen en opslagvermogen van een verdamper moeilijk kan worden overbrugd zonder tot intermitterend bedrijf over te gaan. Aanpassing via het uitschakelen van een deel

van het verdamperoppervlak is technisch slechts beperkt mogelijk.

16. Een overzicht van de dampdruk als functie van de temperatuur met parameter de relatieve luchtvochtigheid en de plaatsing van de produkttoestand gedurende afkoeling en de toestand van de koellucht daarin. Het illustreert, dat vochtverlies tijdens afkoeling alleen kan worden beperkt door korte koeltijden te realiseren. De keuze tussen een hoogvochtig koelsysteem en een droog koelsysteem heeft een relatief geringe invloed. Echter deze invloed neemt toe naarmate minder wordt geforceerd en de gewenste produkttemperatuur ten naaste bij gelijk is aan de ingestelde koelluchttemperatuur. Voor de toepassing van ongecoat karton als verpakkingsmateriaal is het goed zich te realiseren, dat de verpakking mogelijk eerder de eindtemperatuur bereikt dan het produkt en in die periode vocht opneemt.
17. Het stellen van eisen aan de relatieve vochtigheid van het klimaat in een praktijkkoelcel heeft vaak geen reële betekenis. In feite gaat het meestal om sturing van de ontvochtiging of het voorkomen van condensvorming. Handhaving van een gewenste RV komt in feite neer op nauwkeurige handhaving van de dauwpunttemperatuur en de reële temperatuur van de koellucht. Op het temperatuurniveau 0 - 5 oC geeft een bandbreedte in de luchttemperatuur van 1 oC reeds een bandbreedte in de RV van ca. 9%. Voor echte RV handhaving komen dan ook alleen combinaties van continu gestuurde bevochtigers, koelers en heaters in aanmerking. In de genoemde volgorde geplaatst in de stroom van de luchtcirculatie. Ook in de fruit- en groente-opslag bij voorkeur gestuurd op basis van temperatuurmetingen en niet op basis van RV-metingen. RV-sensors zijn na enige tijd notoir onbetrouwbaar als gevolg van aanslag van olieachtige stoffen op het sensoroppervlak.
18. In de fruitbewaring wordt al sinds jaren het vochtverlies tussen totaal 3 % en 4.5 % gewichtsverlies gestuurd. Een meer drogend koelregime is vereist voor bruingevoelige rassen. Dit gewichtsverlies is het totaal na inkoelen en 6 maanden opslag. Voor het doel wordt gebruik gemaakt van de differentie-instelling van de thermostaat en wordt zonodig één van de hogere trappen van het geïnstalleerd koelvermogen in de verdamper ingeschakeld. De transparant geeft een beeld van in principe te realiseren koelregimes. De donker gearceerde oppervlakte stelt de warmtebelasting voor, de licht gearceerde gedeelten de wijze waarop de belasting wordt afgevoerd. De kort-lang methode geeft het minste vochtverlies. Het vochtverlies, dat op basis van het vochtdeficit tijdens het in bedrijf zijn van de koeler moet optreden wordt niet bereikt; waarschijnlijk door stagnatie in de warmteaanvoer voor verdamping. Het opvullen door het produkt van het achtergelaten vochtdeficit in de koelruimte na het stoppen van de koeler, wordt beperkt door het aantal schakelingen in een periode te beperken. Verder hoort bij dat systeem het terugschakelen van de luchtcirculatie tijdens de uit-periode van de koeling en het celontwerp uitvoeren met een minimum aan vrije ruimte rond het produkt.
19. Bij de transparant met conclusies. In principe kan op de weg van de kort-lang methode worden voortgegaan. Verplaatsen we de thermostaatvoeler voor de sturing van de koeling van de lucht naar het produkt en laten we een geringe periodieke schommeling van de produkttemperatuur toe rond de optimale opslagtemperatuur, dan kunnen koelregimes voor opslag worden gerealiseerd die alleen in laagtariefuren electriciteit afnemen en die beter passen in systemen waar afvalwarmte voor koeling ter beschikking staat. De vochthuishouding in koelcellen met een gewenst droog klimaat kan in zo'n geval niet meer via de koelinstallatie worden geregeld. Daarvoor zullen dan regenererbare vochtabsorbers moeten worden toegepast.

Universeel koelcelmodel





Celelementen

Warmtewisselaars

Verdamper

Glycol w.w.

Water - lucht w.w.

passief

Vloeistof heater

Electrische heater

actief

Produktelementen

palletstapel

palletkist / draadkist

bloemendoos

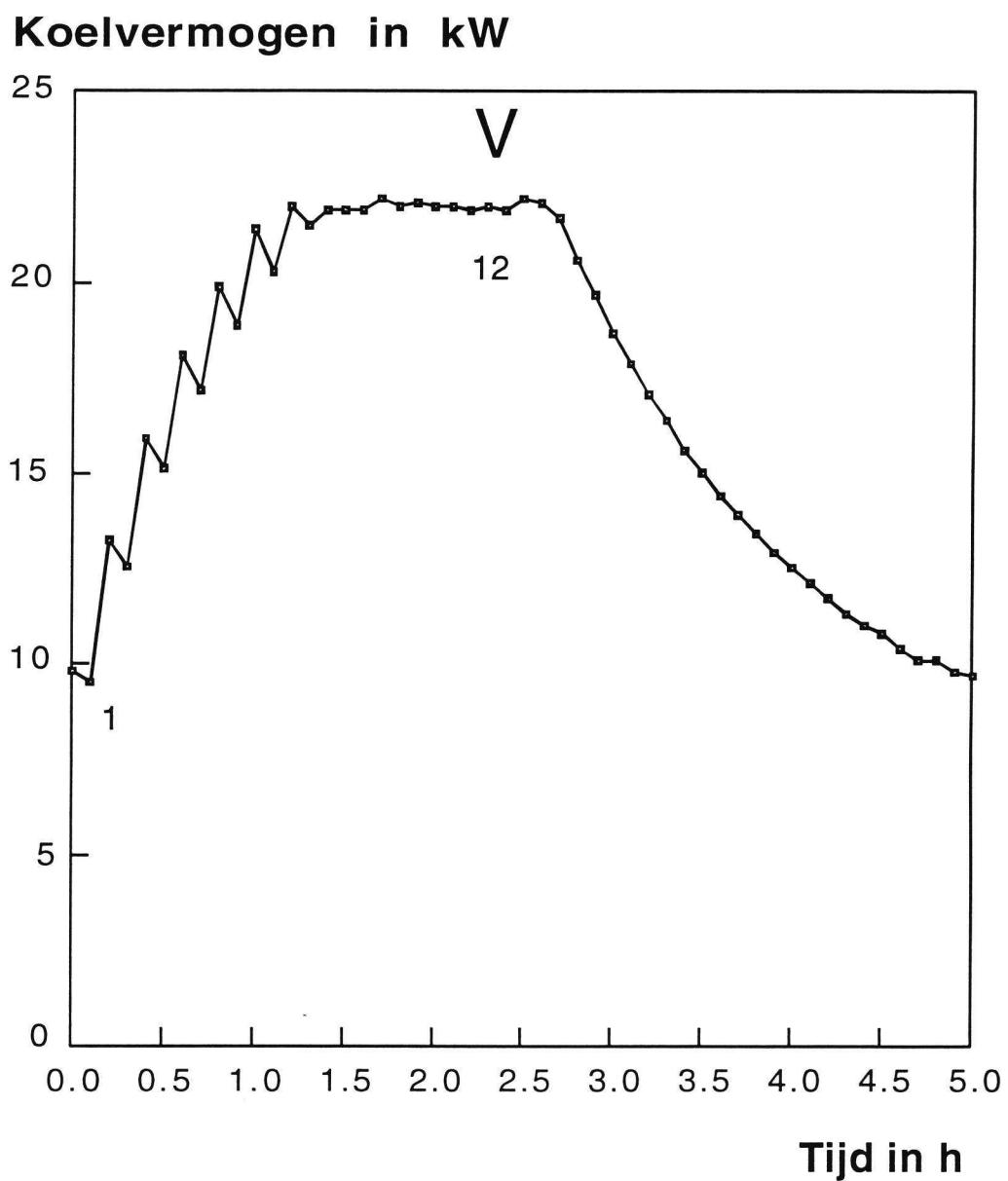
laag met dozen



Koelen van rozen

Koelvermogen - tijd curve; 22 kW max.

Koelcel groothandel

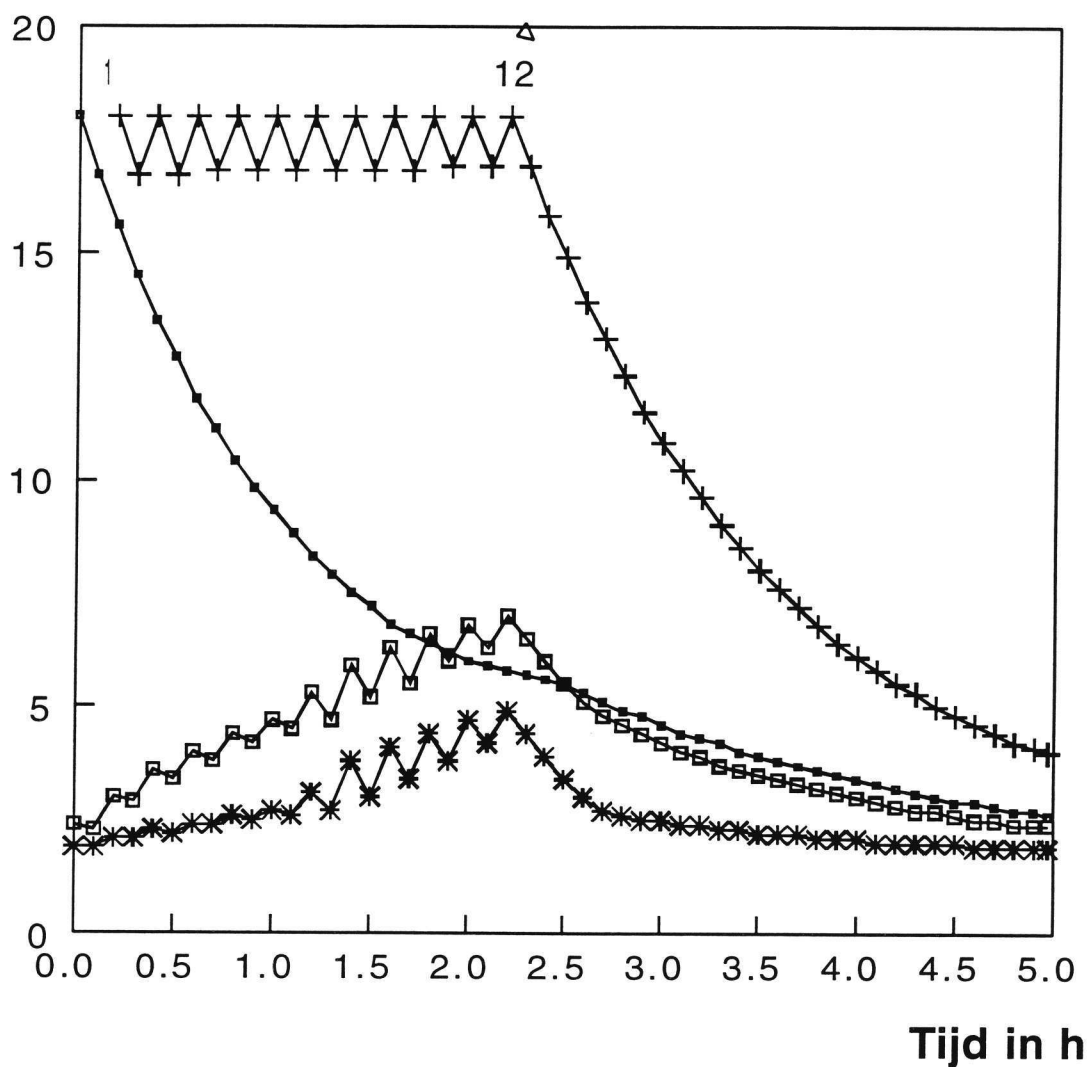


Koelen van rozen

12 pallets na elkaar ingebracht; 22 kW max.

Koelcel groothandel

Temp.in °C



—■— 1e pallet

-+ - volgende pallets

-* - koellucht

-□- retourlucht



Lading / produkt parameters

Warmteoverdracht:

coëfficiënt [W/m².K]

effectief oppervlak [m²/kg]

Overdracht [W/kg.K]

Vochtoverdracht

coëfficiënt [kg/m².Pa.s]

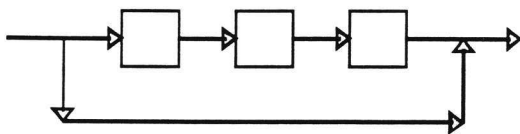
effectief oppervlak [m²/kg]

Overdracht [kg/kg.Pa.s]

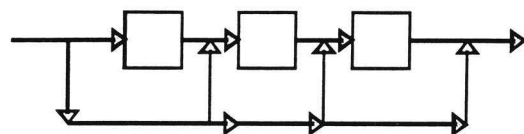
Opstelling produktelementen

in relatie tot de richting van de luchtstroom

1. serie opstellingen

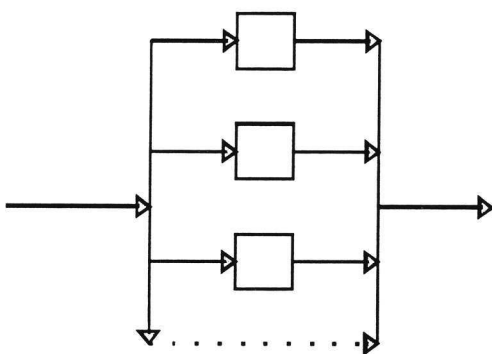


cel met zuigwand

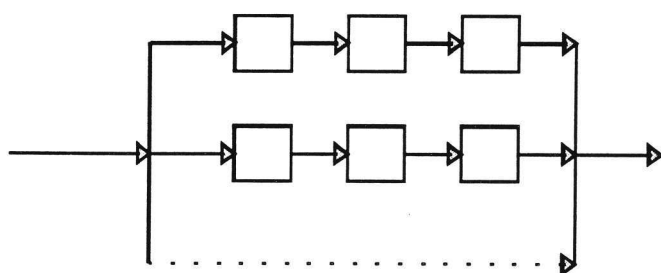


fruitkoelcel

2. parallel opstellingen



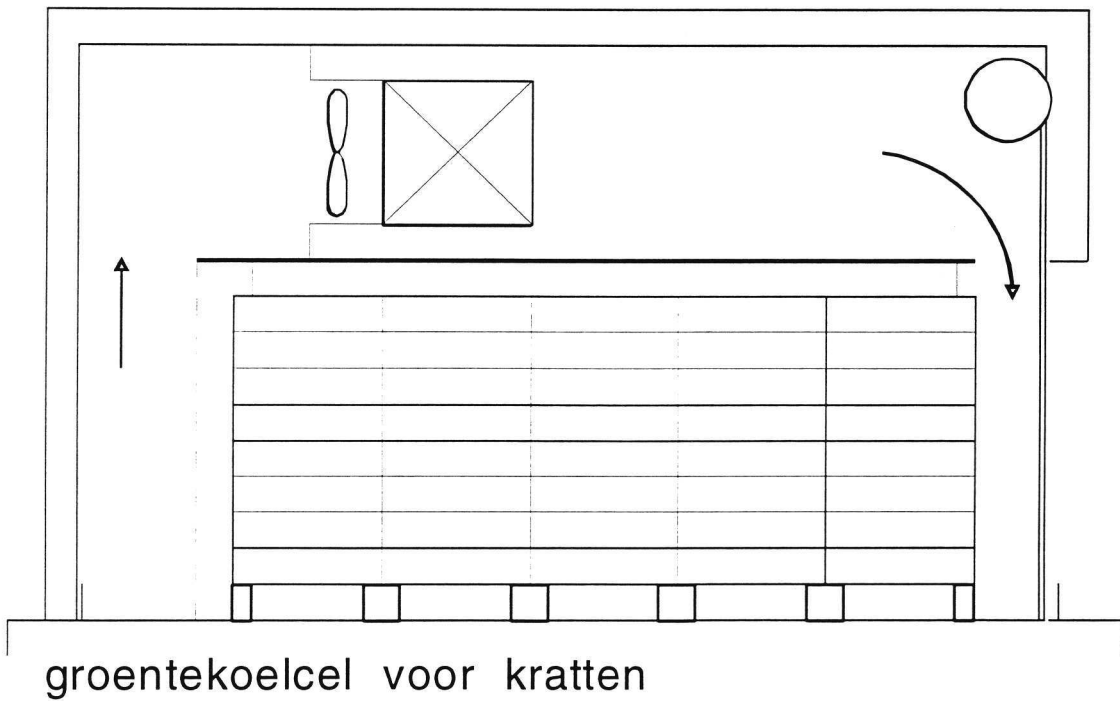
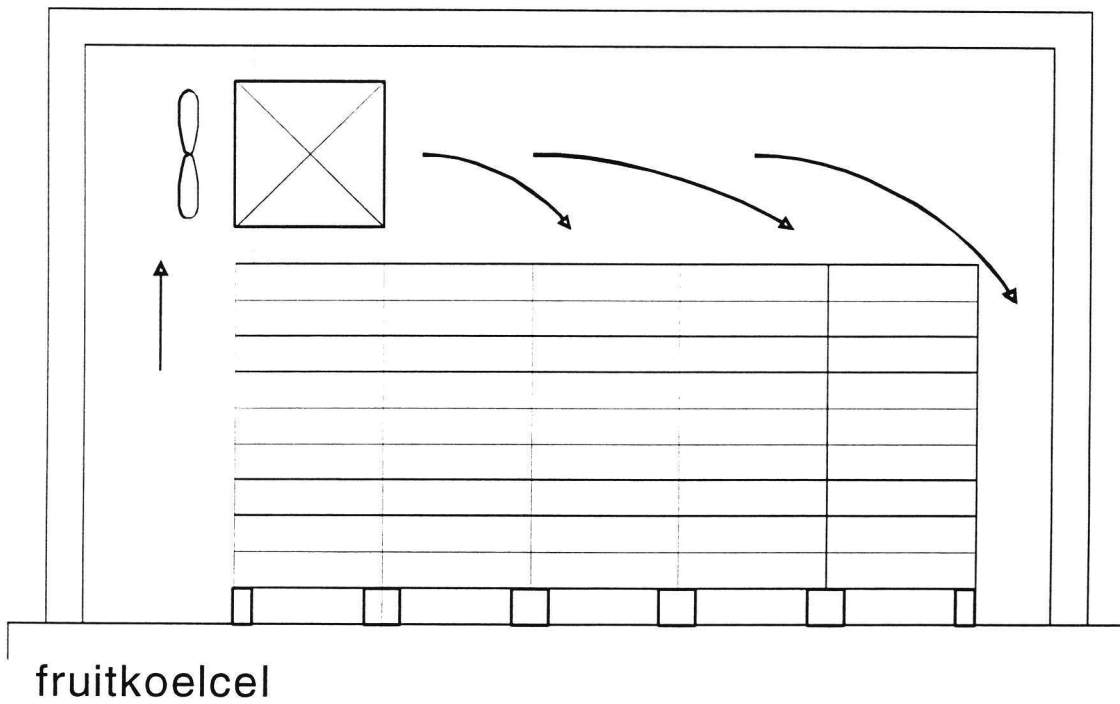
pressure circ. syst.



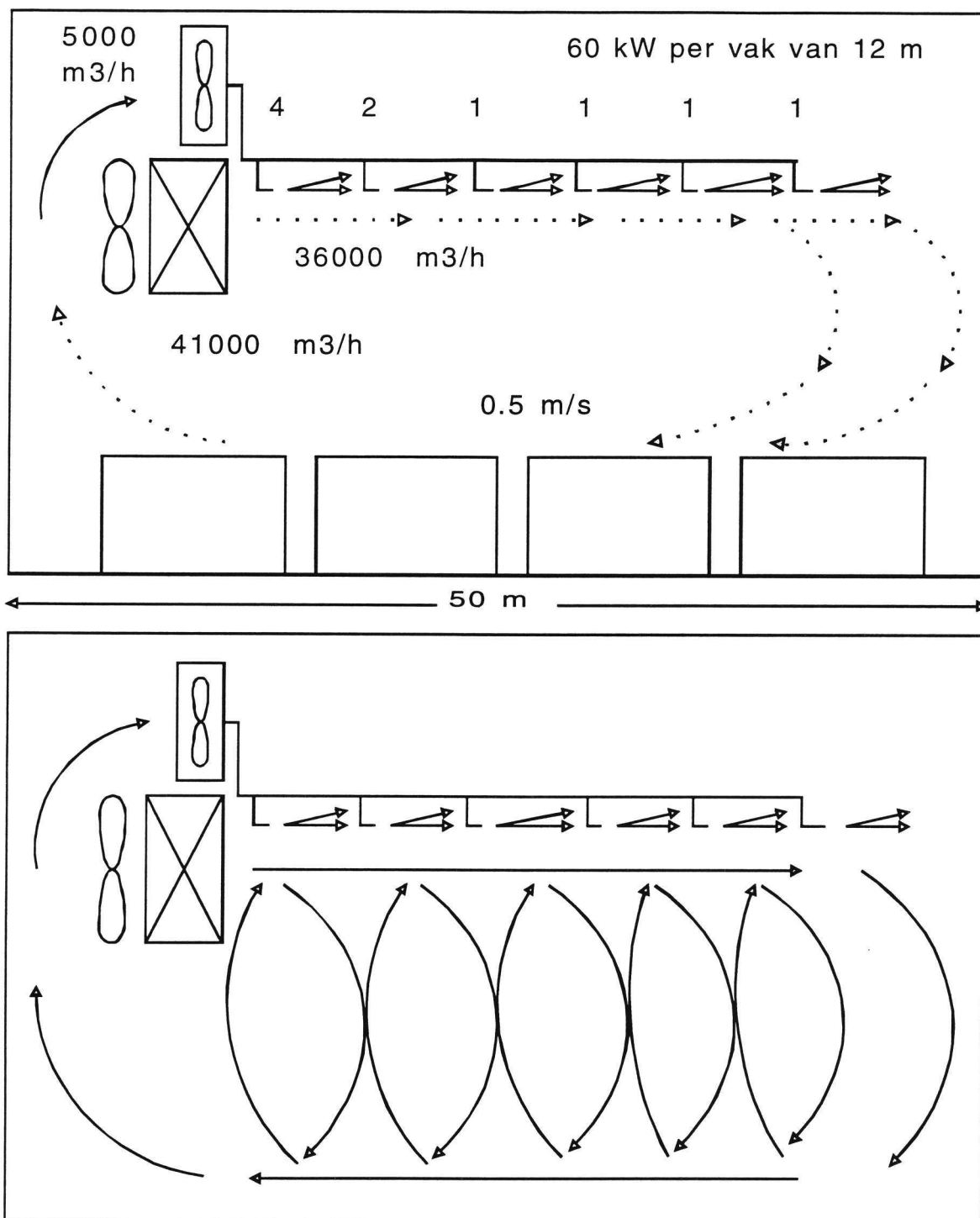
persvloer



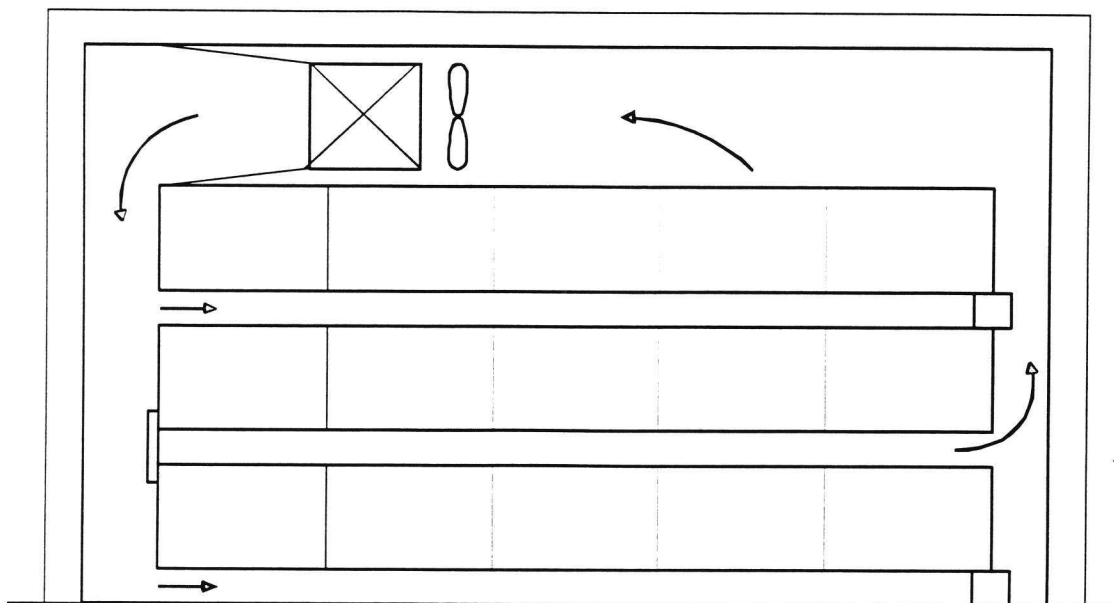
Serie-opstellingen



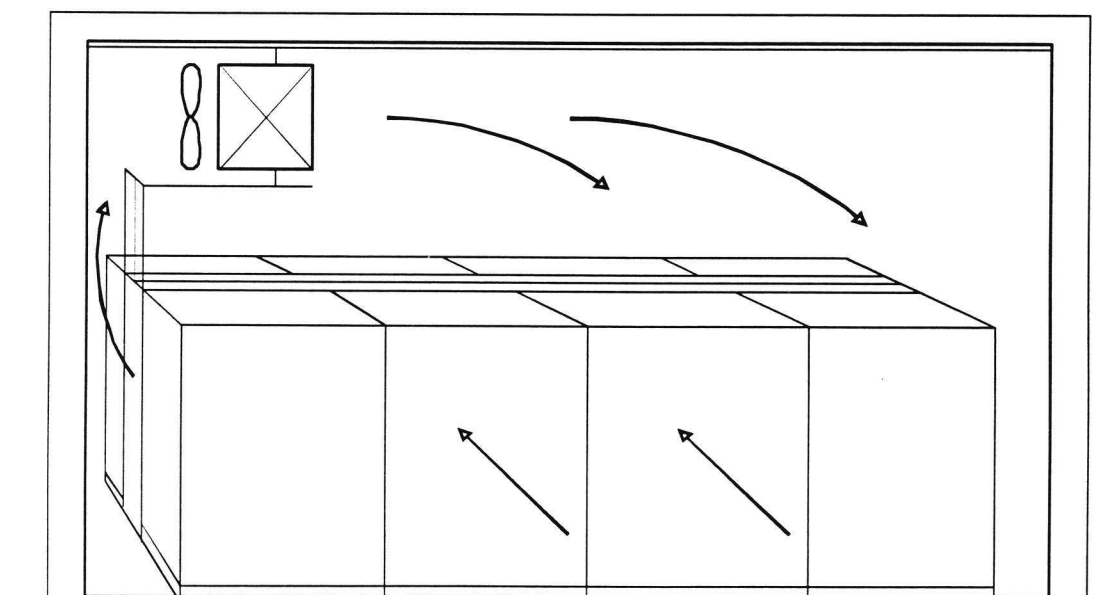
Koeling bloemenhal



Parallel - opstellingen

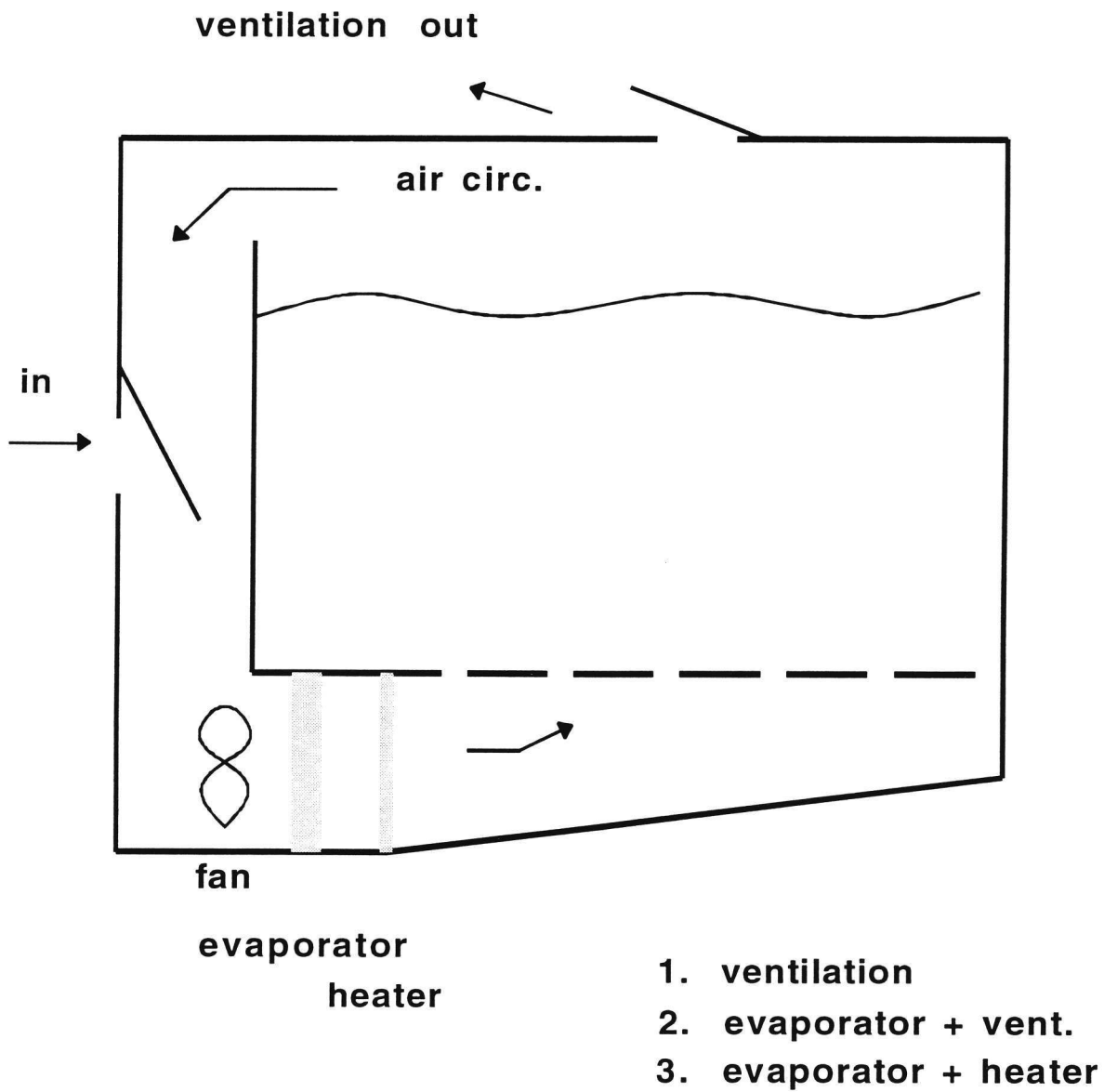


opslag / drogen uien

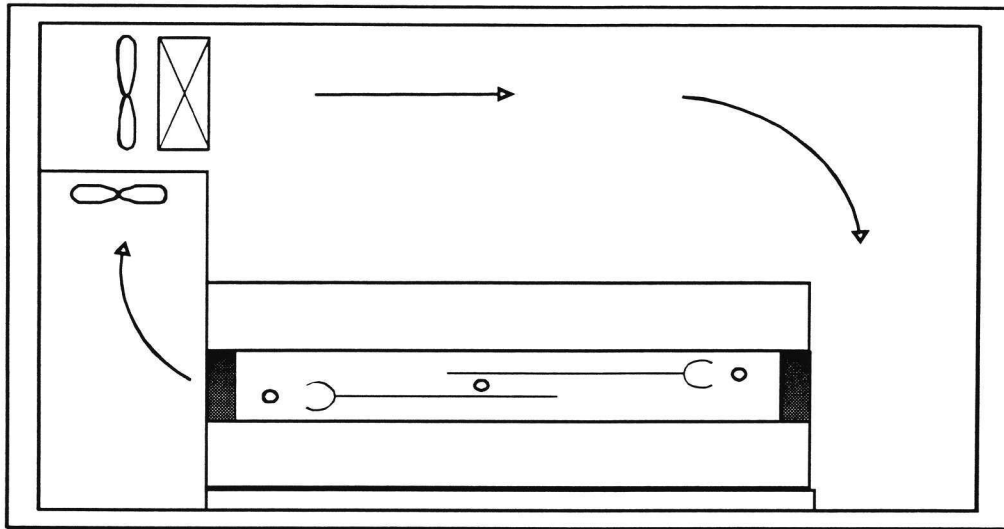


koelen produkt in dozen

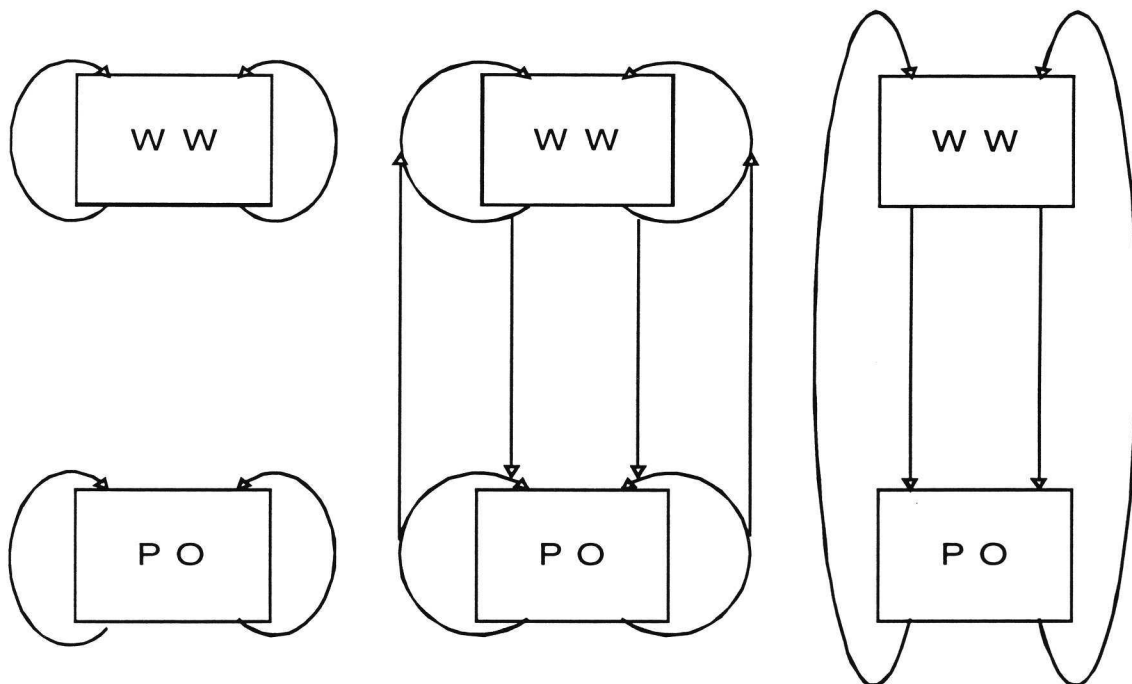
Outline potato store



Voorkoelen snijbloemen



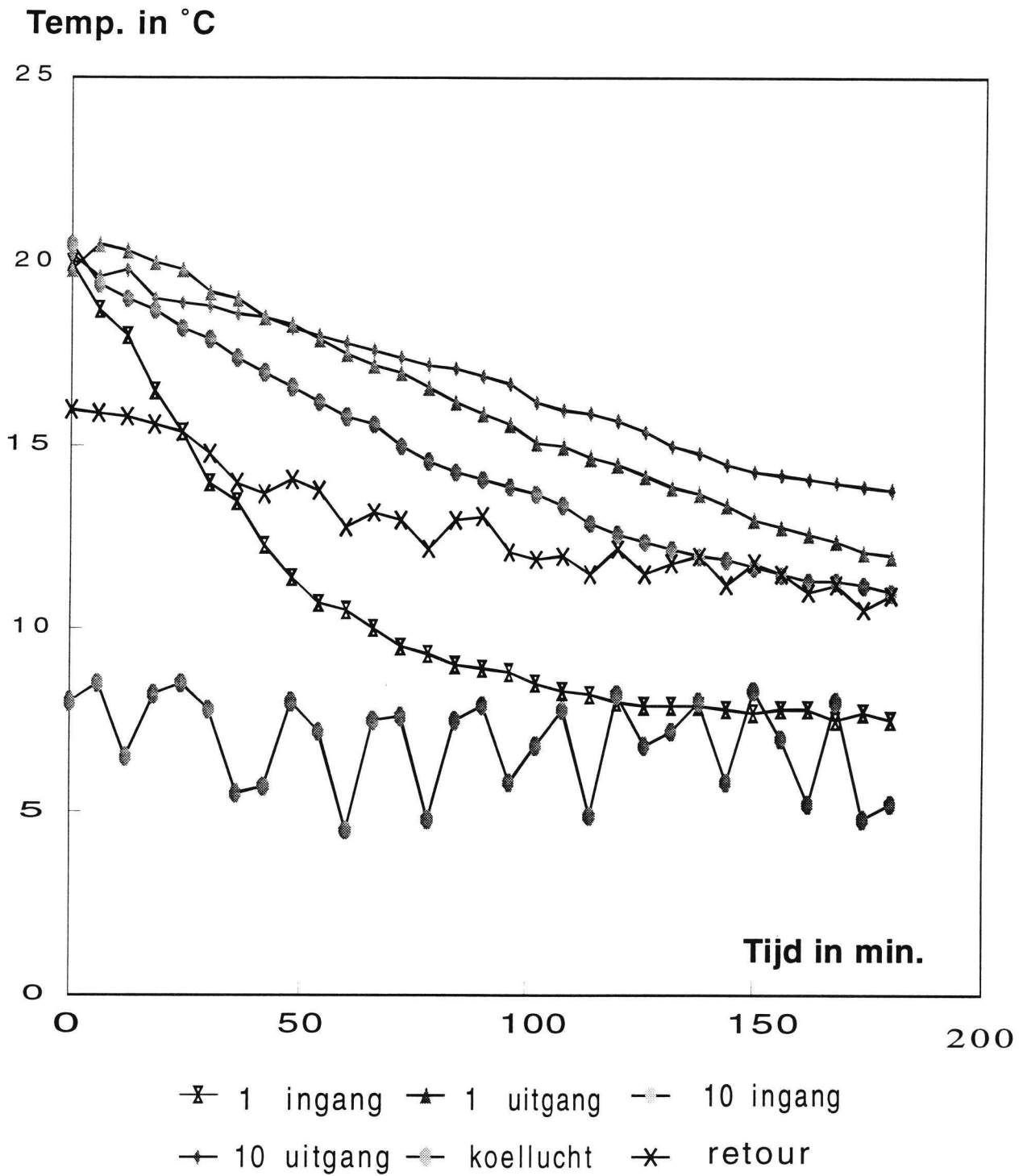
Voorkoel-opstelling in koelcel



Scheiding van circulatie circuits

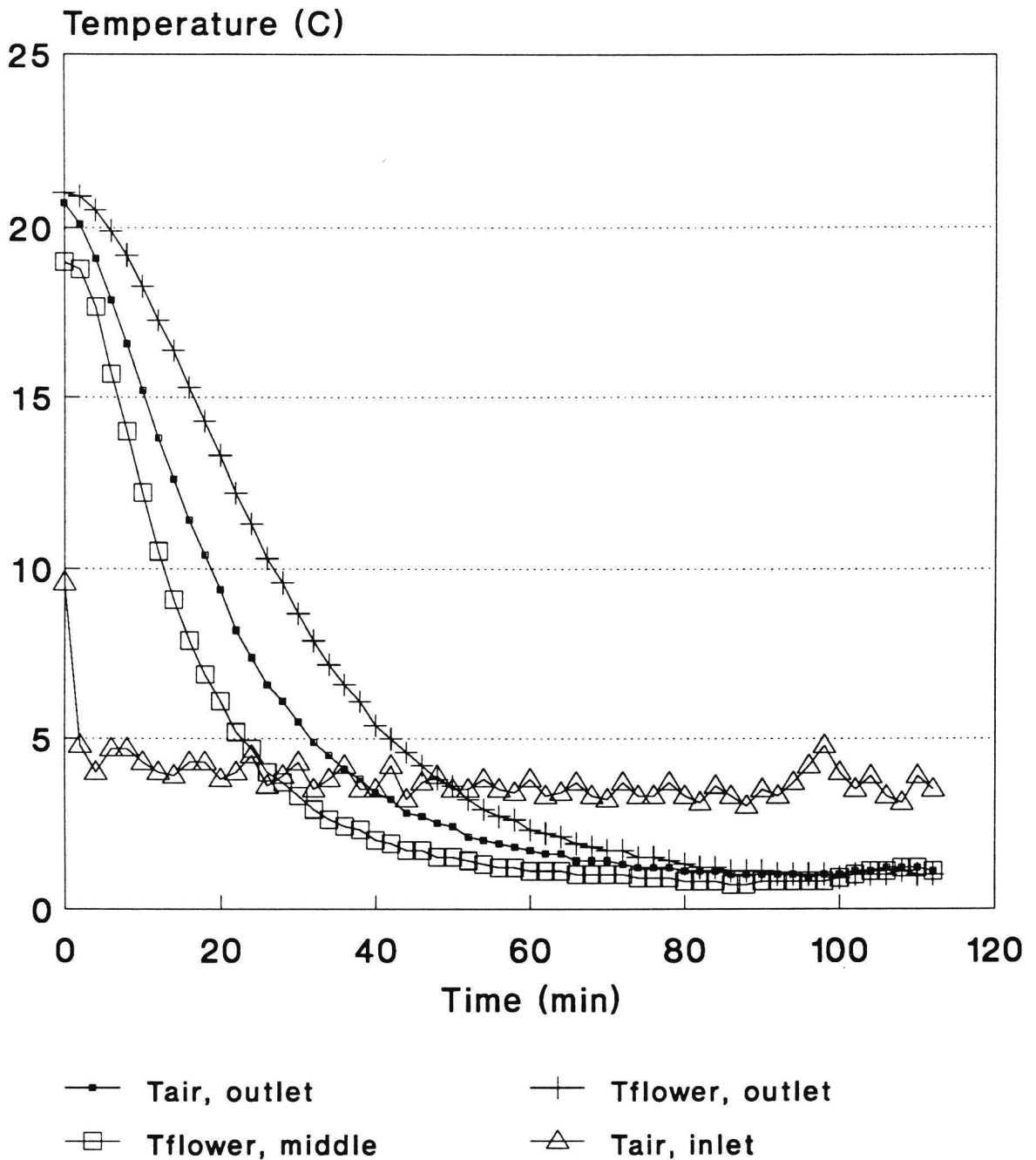
ww = warmtewisselaar
po = produktomgeving

Koelen komkommers





Voorkoelen rozen



sier10b, fan5, roses

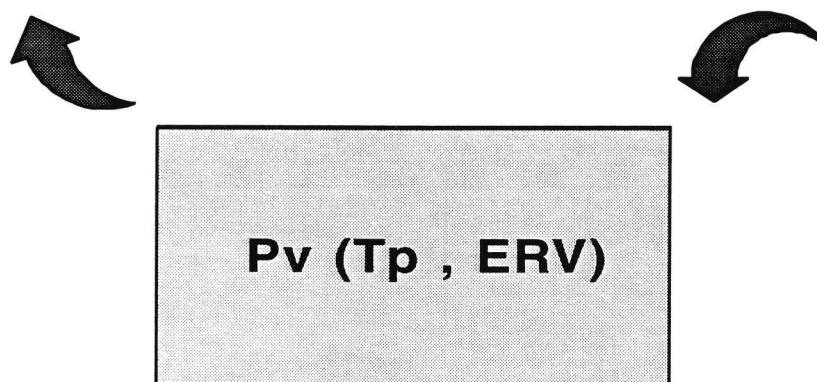


Vochtafgifte / condens

Locaal

Deficit $P_v - P_{vl} > 0$ vochtverlies
Warmtebron vereist

Deficit $P_v - P_{vl} < 0$ condens
Warmteput vereist



dampdruk lucht $P_{lv} (T_l , r_v)$

vochtgehalte x (P_{lv})

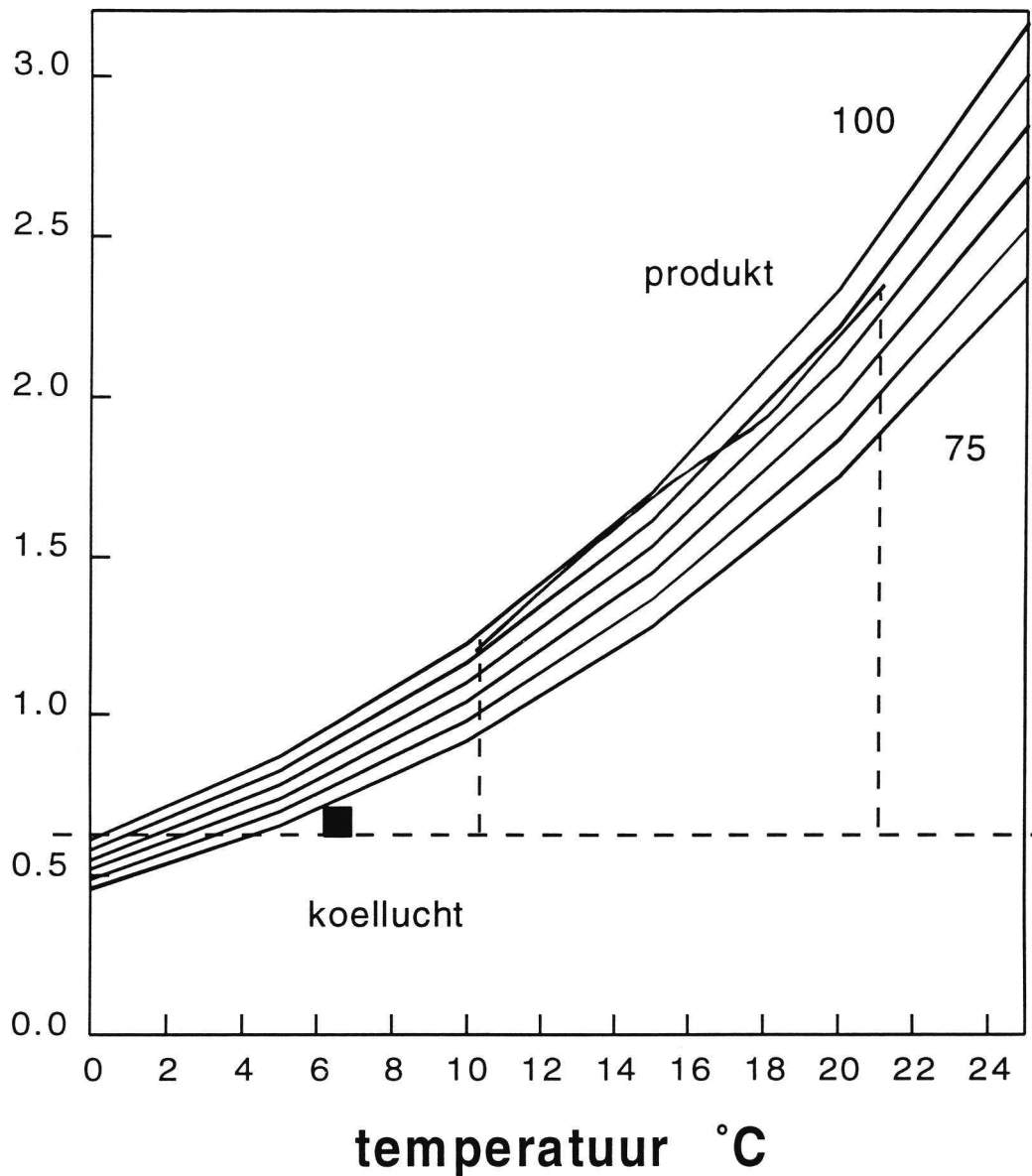
verzadigingstoestand P_{ls} en x_s



Dampdruk - temperatuur

Afkoelproces

dampdruk Pa (* 1000)



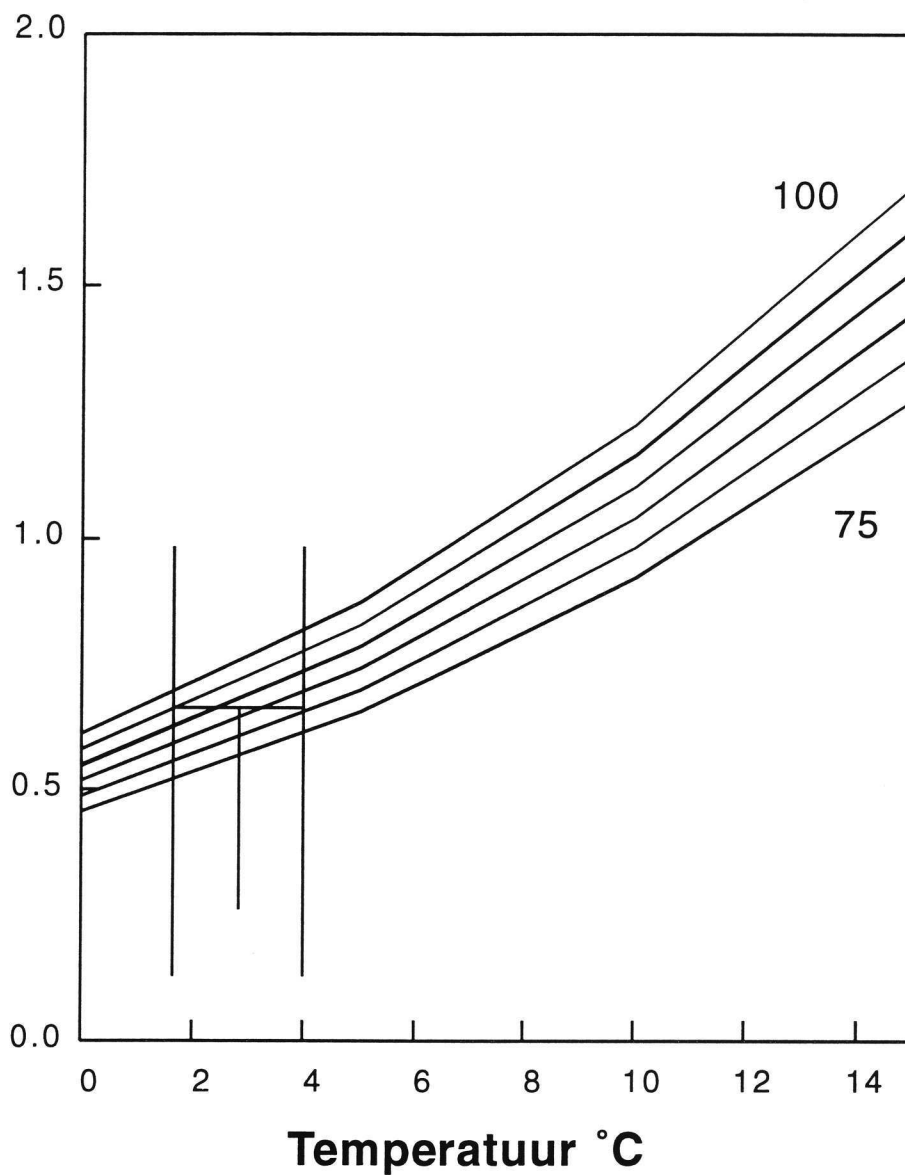
— P75% — P80% — P85%
 — P90% — P95% — P100%



Dampdruk - temperatuur

parameter r.v.

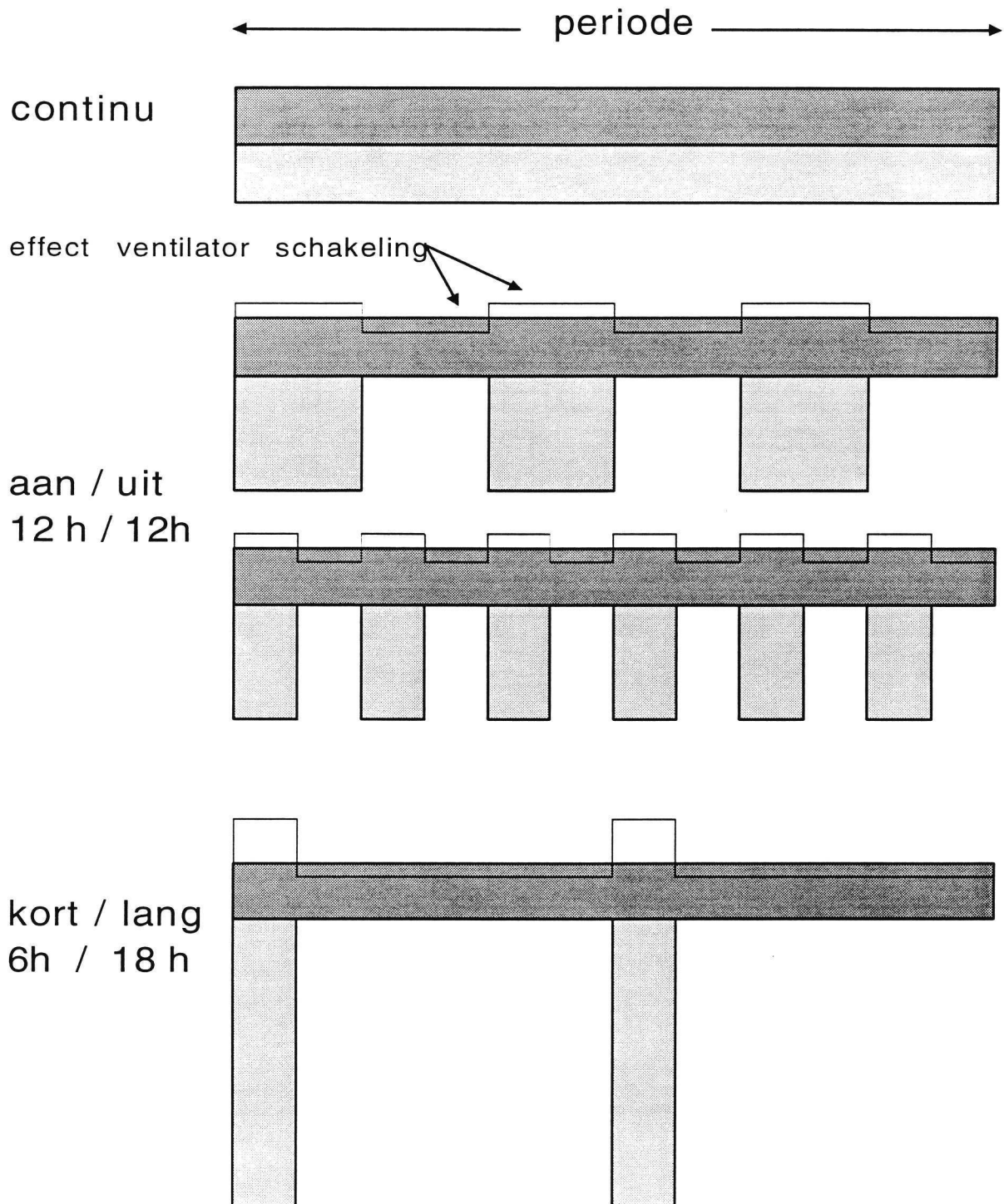
Dampdruk Pa (* 1000)



— P75% — P80% — P85%
 — P90% — P95% — P100%



Koelregimes; opslag





Samenvatting

- ▶ Het is van belang zich te realiseren dat koude ww's passieve elementen zijn
 - ▶ Een goed koelproces is slechts te realiseren d.m.v. een goed luchtcirculatiesysteem
 - ▶ Er is een dynamisch koelcelmodel voor het berekenen van kwantitatieve ontwerp - gegevens. Het model is gebaseerd op een simpeler grondslag dan de netwerk of elementen modellen. Dit heeft het voordeel van een korte rekentijd en het nadeel van geringe detaillering
 - ▶ Het is gewenst tot uniforme afspraken te komen over de definitie van te hanteren overdrachtscoëfficiënten bij stapelpatronen
 - ▶ De vochthuishouding tijdens opslagregimes verdient meer aandacht
 - ▶ Klimaateisen wijzigen tijdens een koel - proces
-

KLIMAATBEHEERSING IN KAASPAKHUIZEN

ir. E. Viswat, GTI-Navep, Groningen

De inleiding beperkt zich tot systemen voor harde en halfharde kaassoorten. Na korte produktinformatie en informatie over opslagsystemen wordt ingegaan op de invloed van enige kenmerkende parameters. Een toelichting betreffende het produktkeuringssysteem in Nederland maakt, naast financieel-economische aspecten, de noodzaak van indroogbeheersing, en met name een hoge systeemgelijkmatigheid duidelijk. Als maat hiervoor wordt het begrip variatiecoëfficiënt ingevoerd.

De basisprincipes voor het bereiken van een hoge gelijkmatigheid worden besproken. Verder wordt nog kort ingegaan op enige hygienische aspecten. Een en ander wordt tenslotte geïllustreerd door middel van een video-presentatie.

INLEIDING

=====

In opslagsystemen voor kaas wordt gebruik gemaakt van luchtbehandelingssystemen met tamelijk gecompliceerde luchtverdeelsystemen.

Juist dit laatste is interessant in het kader van het hoofdthema van deze dag, n.l. "het modelleren van luchtstromingen".

Gezien de beperking in tijdsduur van de voordracht zullen we ons beperken tot systemen voor halfharde en harde kaassoorten (Gouda, Edam, Parmesan, e.d.) vanwege de grotere complexiteit van de daarbij toegepaste luchtverdeelsystemen.

Systemen voor "gesmeerde" soorten (Münster, Tilsiter) alsmede soorten met een oppervlaktecultuur (Camembert, Brie) blijven buiten beschouwing.

PRODUKTINFORMATIE

=====

Bij de beschouwde kaassoorten gaat het bijna altijd om bolvormige (Edam, $d = 120-200$ mm, 1-4 kg) of cilindervormige (Gouda, $\varnothing 300-400$ mm x 130 mm, 10-12,5 kg) typen.

Het produkt ondergaat een rijpingsproces waarin chemische en biologische omzettingen, in het produkt, een rol spelen.

Het rijpingsproces vindt plaats in lucht en het produkt verliest daarbij gewicht (vnl. water).

Kaas wordt van oudsher opgelegd op houten planken.
 Meer en meer worden echter ook RVS "planken" of kunststof "planken" toegepast.
 De planken worden geordend geplaatst in meer of minder geautomatiseerde opslagsystemen.

Tijdens de rijping wordt het produkt regelmatig gekeerd en behandeld (plastificeren, oliën).
 De behandelings- en keurfrequentie neemt af met toenemende produktleeftijd.

Gedurende de rijping liggen de luchtcondities in het gebied van 12-15°C. en 80-90% RV, uitgaande van luchtsnelheden zoals deze in moderne systemen voorkomen.

De figuren 1, 2 en 3 geven een indruk van de invloed van temperatuur, luchtvochtigheid en luchtsnelheid op de indroogsnelheid.

De gegevens zijn ontleend aan een onderzoek van Ir. S. Bouman van het Nizo te Ede.

In Nederland is het rijpingsproces verdeeld in twee fasen.

De eerste fase is de produktiefase en beslaat de eerste 12 dagen van het rijpingsproces.

Het gewichtsverlies ligt aan het eind van deze periode in de orde van 3,5 - 4%.

Daarna volgt de tweede fase of bewaarfase waarin het produkt wordt gerijpt tot jong, jong belegen, belegen, oud enz.

De indroogsnelheid neemt daarbij voortdurend verder af.

Het totale gewichtsverlies kan daarbij oplopen tot 20% of meer.

Kenmerkend voor de Nederlandse situatie is dat de produktiefase plaats vindt op het producerende bedrijf, en dat het produkt daarna wordt afgestoten naar een handels/verkooporganisatie alwaar verdere rijping plaats vindt (bewaarfase).

BELANG VAN INDROOGBEHEERSING

=====

Bijna iedere in Nederland geproduceerde kaas wordt voorzien van een rijkskaasmerk met een uniek nummer.

Dit merk garandeert in binnen- en buitenland de produktkwaliteit.

Deze garantie kan worden gegeven op basis van een keuring op de 14e dag na produktie.

Deze keuring is streng en beoordeelt aanzien, korstkwaliteit, smaak en samenstelling (dus ook het vochtgehalte) van het produkt.

Bij onvoldoende kwaliteit of een te hoog vochtgehalte treedt een boetesysteem in werking.

Ook de kwalificaties jong, belegen, oud e.d. zijn controleerbaar omdat de produktiedatum uit het kaasmerknummer is af te leiden.

In Nederland bevinden zich producerende bedrijven met een productiecapaciteit van 120 ton kaas/dag, in continue bedrijf.

Het is voor deze bedrijven van groot belang dat hun produkt aan alle kwaliteitseisen voldoet zonder dat teveel gewicht aan indroog, gedurende de rijping, verloren is gegaan.

Een producerend bedrijf met een capaciteit van 60 ton/dag zal bij een teveel aan indroog van 0,50

gewichtsprocenten, en een kaasprijs van $f 7,-/kg$, jaarlijks onnodig $f 766.500,-$ verliezen. Soortgelijke argumenten gelden uiteraard ook voor de verkoop en/of handelsorganisaties (bewaarfase).

In bovengenoemd voorbeeld zal het productiebedrijf en opslagsysteem met een capaciteit van ca. 800 ton moeten hebben.

Bij de verkoop en/of handelsorganisaties moet de opslagcapaciteit veel groter zijn gezien de langere opslagtijd van het produkt (tot meerdere maanden).

GELIJKMATIGHEID IN INDROOG

=====

Het indroogniveau in een opslagsysteem wordt, bij gegeven luchtverdeelsysteem, bepaald door de keuze van de regelparameters "temperatuur" en "relatieve vochtigheid".

In hoeverre de indroog beheerst wordt hangt echter ook in belangrijke mate af van de gelijkmatigheid van het klimaatbeheersingssysteem.

Immers, in een systeem met een hoge ongelijkmatigheid zullen de regelparameters zo ingesteld moeten worden dat de resultaten op de "slechtste plaats" in het opslagsysteem nog acceptabel zijn, waardoor het indroogverlies op "betere" plaatsen onvermijdelijk te hoog zal worden.

Het is gebruikelijk om in opslagsystemen voor kaas de gelijkmatigheid van het klimaatbeheersingssysteem te kwalificeren met de term "variatie-coëfficiënt" (v.c.).

De variatie-coëfficiënt is het quotiënt van standaardafwijking en gemiddelde indroog, vermenigvuldigd met 100 en wordt dus uitgedrukt in procenten.

Figuur 4 geeft een vergelijking van twee systemen met een verschillende variatie-coëfficiënt, uitgaande van een minimaal gewenste indroogwaarde ($\bar{x} - \sigma$) voor beide gevallen.

Het verschil in gemiddelde indroog bedraagt in het voorbeeld 0,55% en kan in de praktijk gemakkelijk optreden.

BEREIKEN VAN HOGE GELIJKMATIGHEID

=====

Een hoge graad van gelijkmatigheid kan worden bereikt door :

- a. Perfectioneren van het luchtverdeelsysteem
- b. Wegnemen van randeffecten
- c. Symmetrie van het opslagsysteem
- d. Produktpositiewisseling

- a. Perfectioneren van het luchtverdeelsysteem

In het ideale geval wordt iedere produkteenheid, iedere kaas, voorzien van zijn eigen luchttoevoeropening en luchtafvoeropening, zodanig dat als het ware een zeer groot aantal, klimaattechnisch, volledig gelijke kamertjes ontstaan.

In de praktijk is dit niet realiseerbaar uit het oogpunt van logistiek en investeringskosten.

De meest geavanceerde systemen hebben een luchttoevoeropening en een luchtafvoeropening per 4 kazen (Gouda-type).

Daarbij wordt gestreefd naar een "luchtweg" (afstand tussen twee tegenover elkaar liggende inblaaspunten) van maximaal 2 - 2,3 m.

Door gebruik te maken van het inducerend effect van "in blaastuiten" worden de verschillen over de luchtweg zo veel mogelijk geminimaliseerd.

Voor kleine kaassoorten wordt, omdat hierbij sneller verschillen optreden dan bij grotere soorten, gestreefd naar een kortere "luchtweg".

E.e.a. is geïllustreerd in figuur 5.

b. Wegnemen van randeffecten

Ter plaatse van wanden en daken zullen, ook wanneer ze zeer goed zijn geïsoleerd, afwijkingen optreden.

Uitgaande van een wandisolatiewaarde van $0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$, een ΔT over de wand van 20 K, een inwerkingsdiepte van 1 meter en een voor kaaspakhuizen gebruikelijk ventilatievoud, geldt dat de temperatuurstijging bij de wand ca. $0,4^\circ\text{C}$. zal bedragen.

Omdat het werkgebied in kaaspakhuizen ligt bij $12-15^\circ\text{C}$. en $80-90\%$ RV, correspondeert $0,4^\circ\text{C}$. met een RV-wijziging van ca. $2,5 - 3\%$ RV, hetgeen de buitengewone gevoeligheid illustreert.

Een afdoende oplossing voor deze ongewenste effecten is de realisatie van mantelkoeling (zie figuur 6, 7), separaat of als onderdeel van de luchtbehandelingsinstallatie.

c. Symmetrie van het opslagsysteem

Het is aan te bevelen om de vorm van de opslagruimte eenvoudig te kiezen en de opslaginstallatie zo symmetrisch mogelijk op te stellen, waarbij "lege" plaatsen zo weinig mogelijk moeten voorkomen (zie figuren 8, 9).

Op deze wijze worden afwijkende luchtstromingen vermeden of wordt gezorgd dat, zo zij al voorkomen, dit overal gebeurt.

d. Produktpositieverwisseling

Door de min of meer regelmatige behandeling (oliën, keren, plastificeren) van het produkt in kaaspakhuizen wordt het mogelijk het produkt met opzet steeds een andere positie te geven (onder - boven, voorin - achterin).

Het zal duidelijk zijn dat dit op de gelijkmatigheid in indroog een positief effect zal hebben. In de beste systemen voor produktiepakhuizen wordt een v.c. van 8 - 10% bereikt.

Opmerking : Verdere illustratie door GTI Navep-video.

HYGIËNISCHE ASPEKTEN

=====

Hygiënisch ontwerpen is een apart onderwerp op deze lezingendag, en wordt daarom hier slechts kort behandeld.

Voor zachte kaassoorten met een oppervlaktecultuur gelden strenge regels betreffende de hygiëne. De produktiegroottes zijn hier beduidend lager dan bij de Nederlandse soorten en ze worden batchgewijs opgeslagen en gerijpt.

Na de rijping (maximaal 1-2 weken) moet de gehele opslagruimte, als ook de onderdelen van de luchtbehandelingsinstallatie, worden gereinigd met agressieve middelen.

Dit leidt tot aangepaste ontwerpen waarbij een compromis tussen reinigbaarheid en gelijkmatigheid, wat betreft de luchtbehandelingsinstallatie, moet worden gevonden.

Er zijn duidelijke signalen dat de reinigbaarheid ook in Nederlandse kaasopslagsystemen een steeds belangrijkere rol gaat spelen.

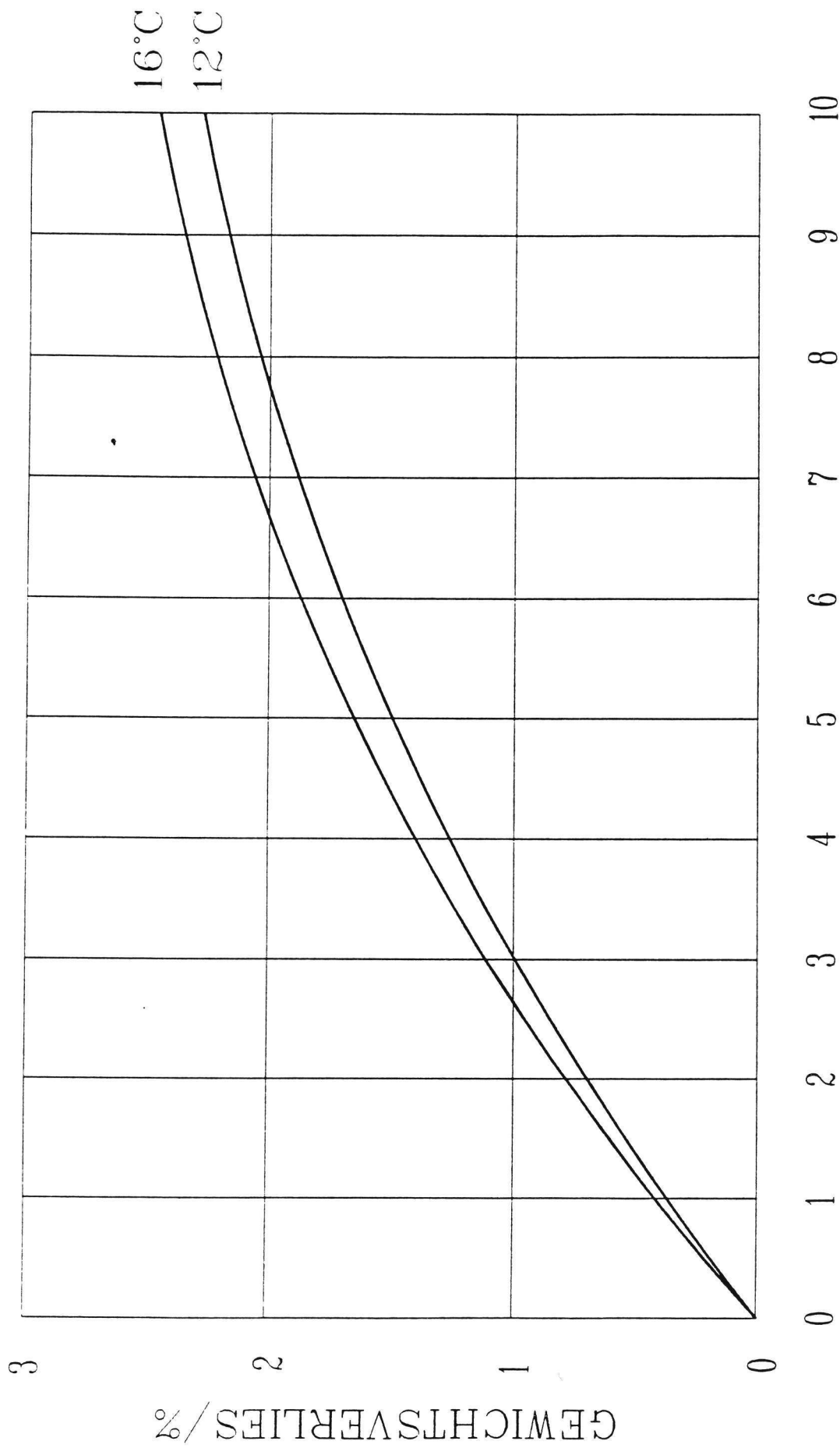
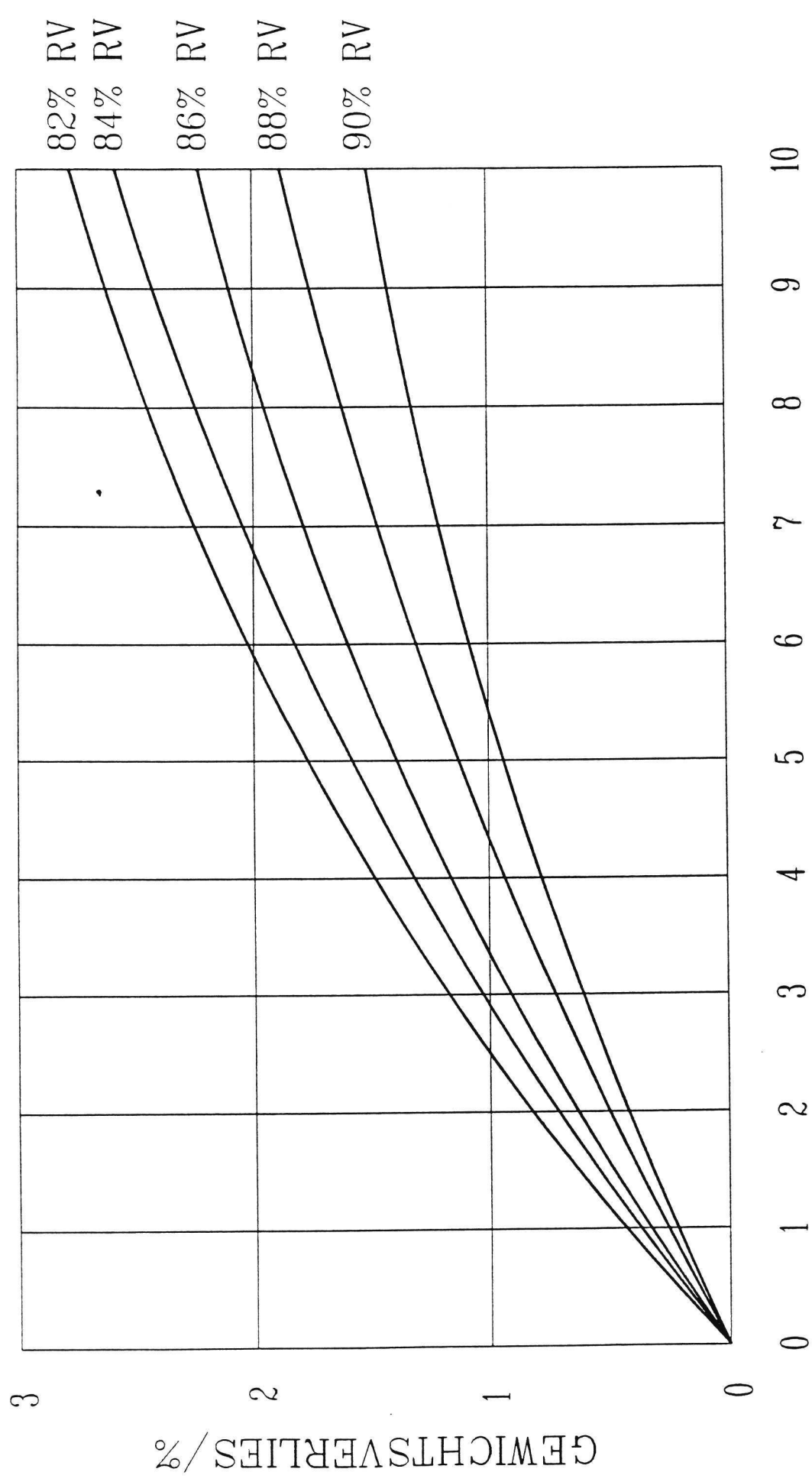


FIG 1. INVLOED TEMPERATUUR BIJ 85% RV EN 0,2 M/S

- 5 -



LIGTIJD / DAGEN

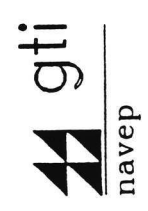
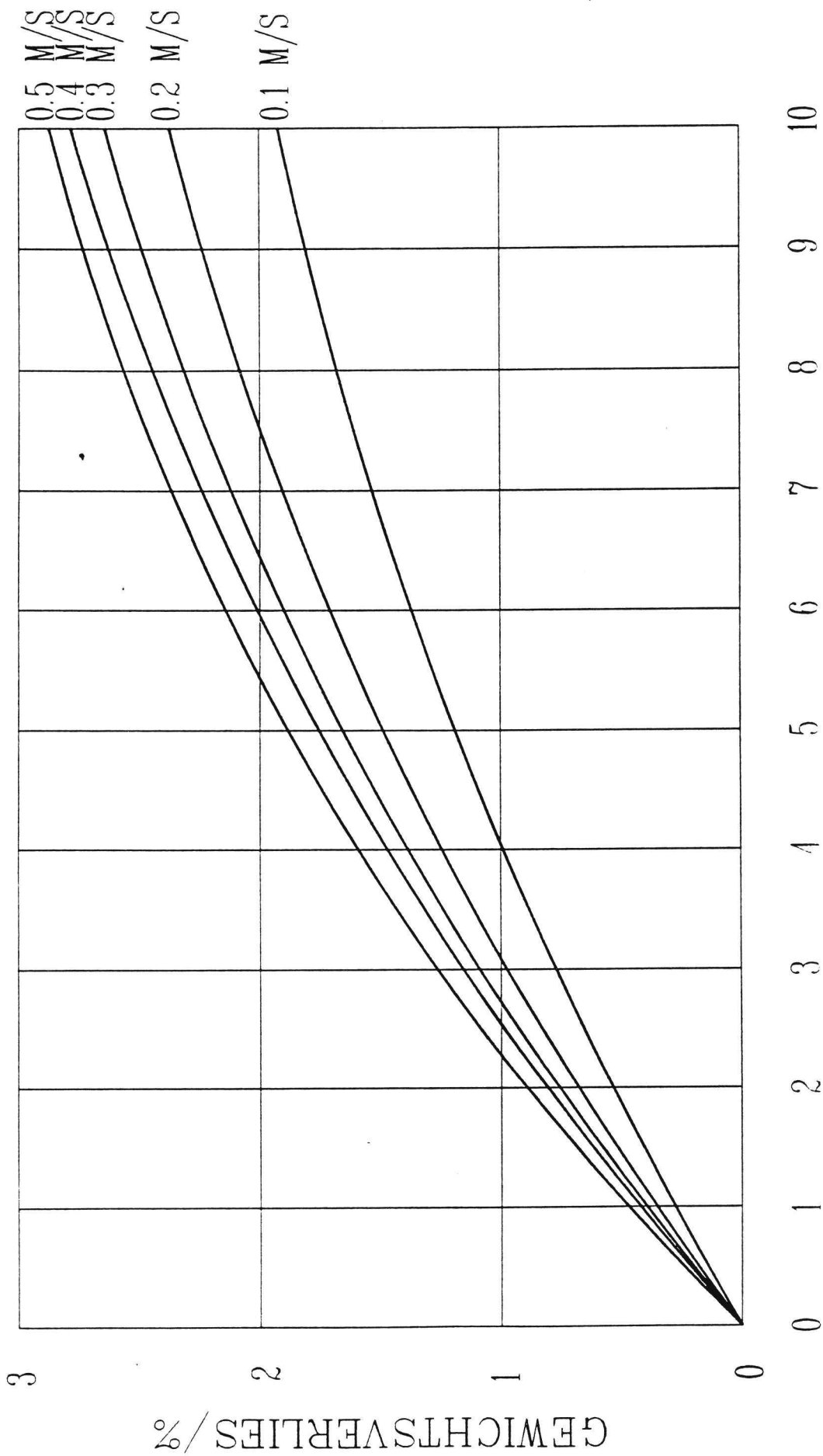


FIG 2. INVLOED RELATIEVE VOCHTIGHEID BIJ 14°C EN 0,2 M/S



LIGTIJD / DAGEN



FIG 3. INVLOED LUCHTSNELHEID BIJ 14°C/85% RV

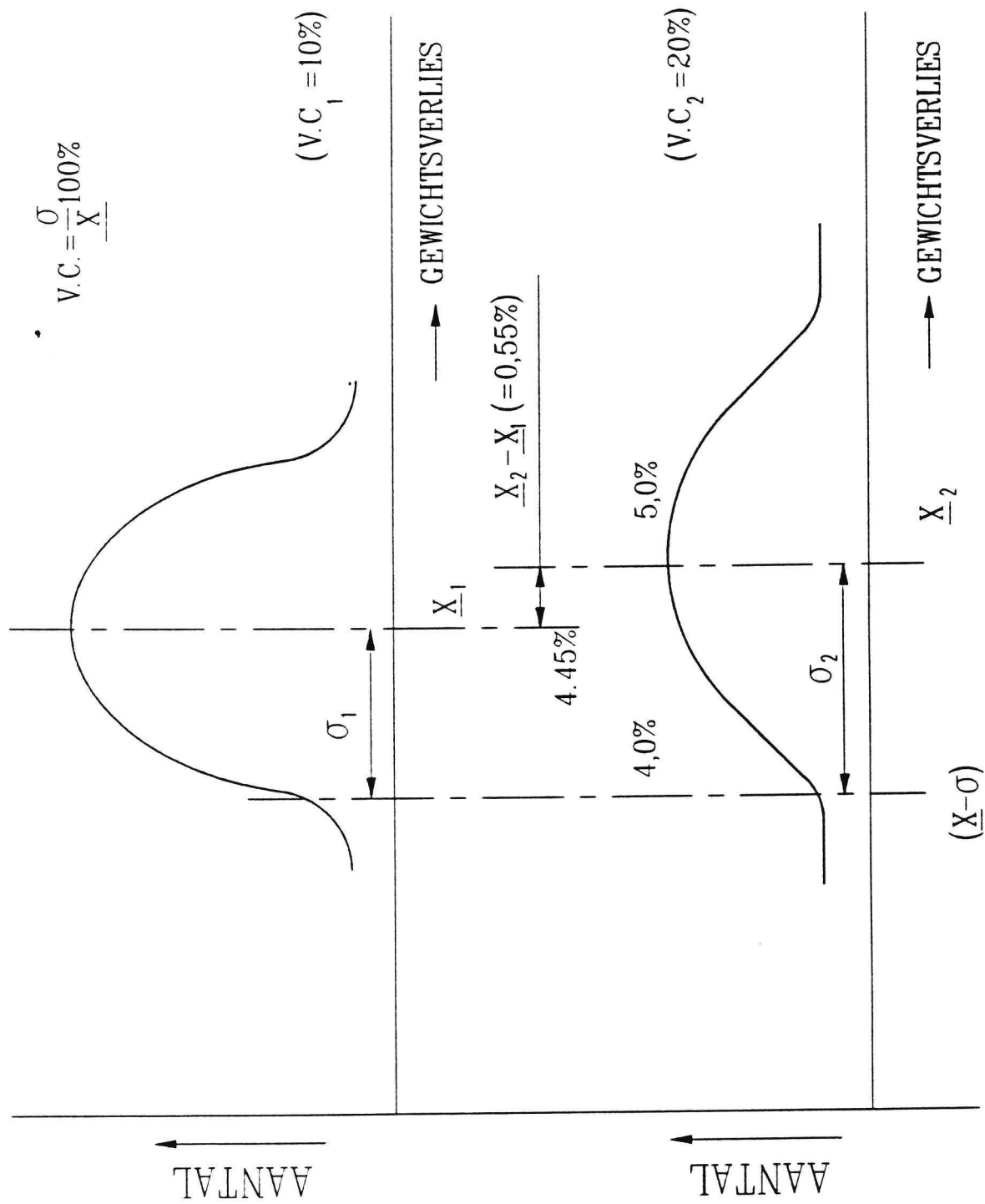


FIG 4. GELIJKMATIGHEID/VARIATIECOEFFICIENT

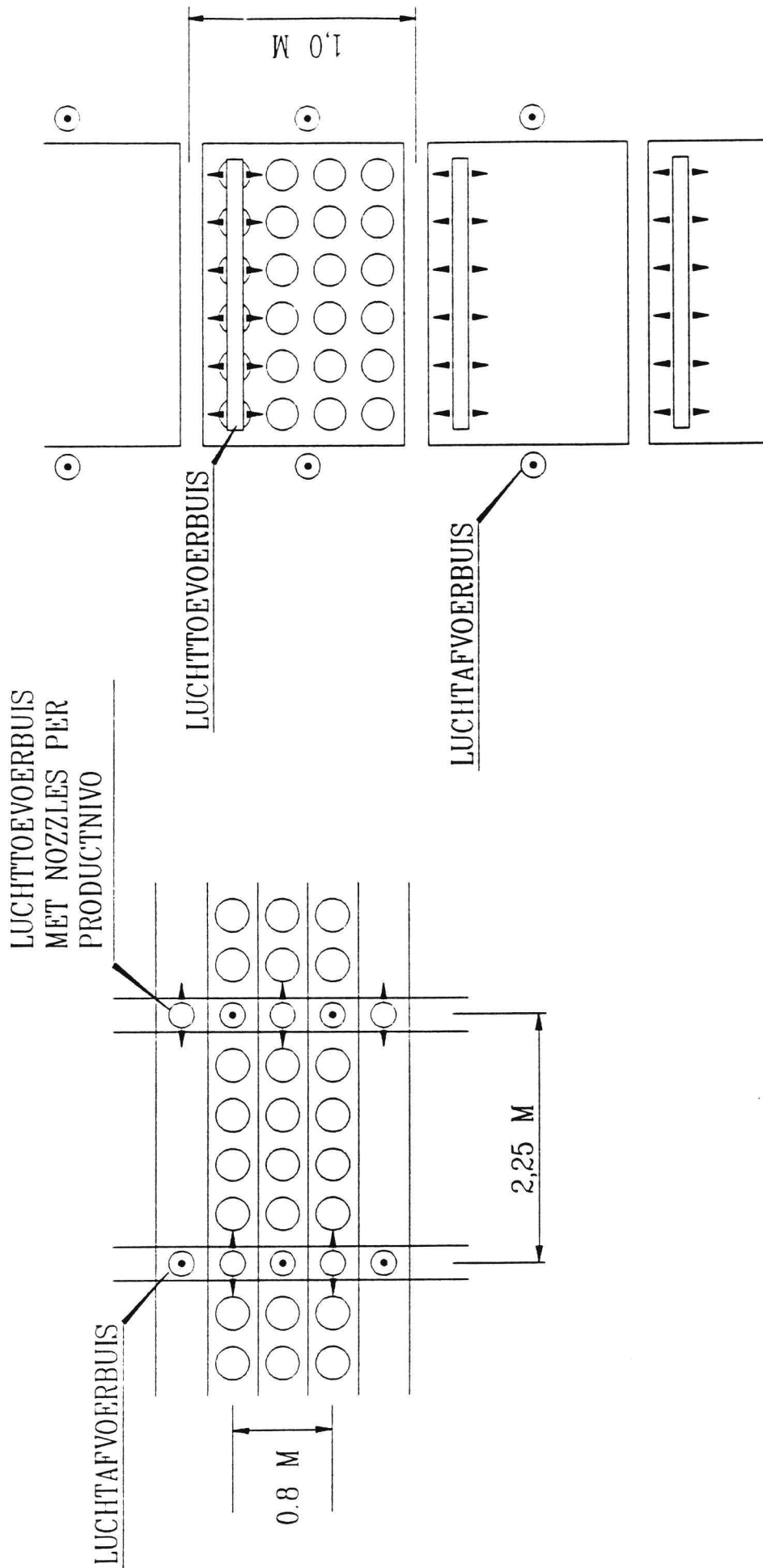


FIG 5. POSITIONERING LUCHTVERDEELSYSTEEM

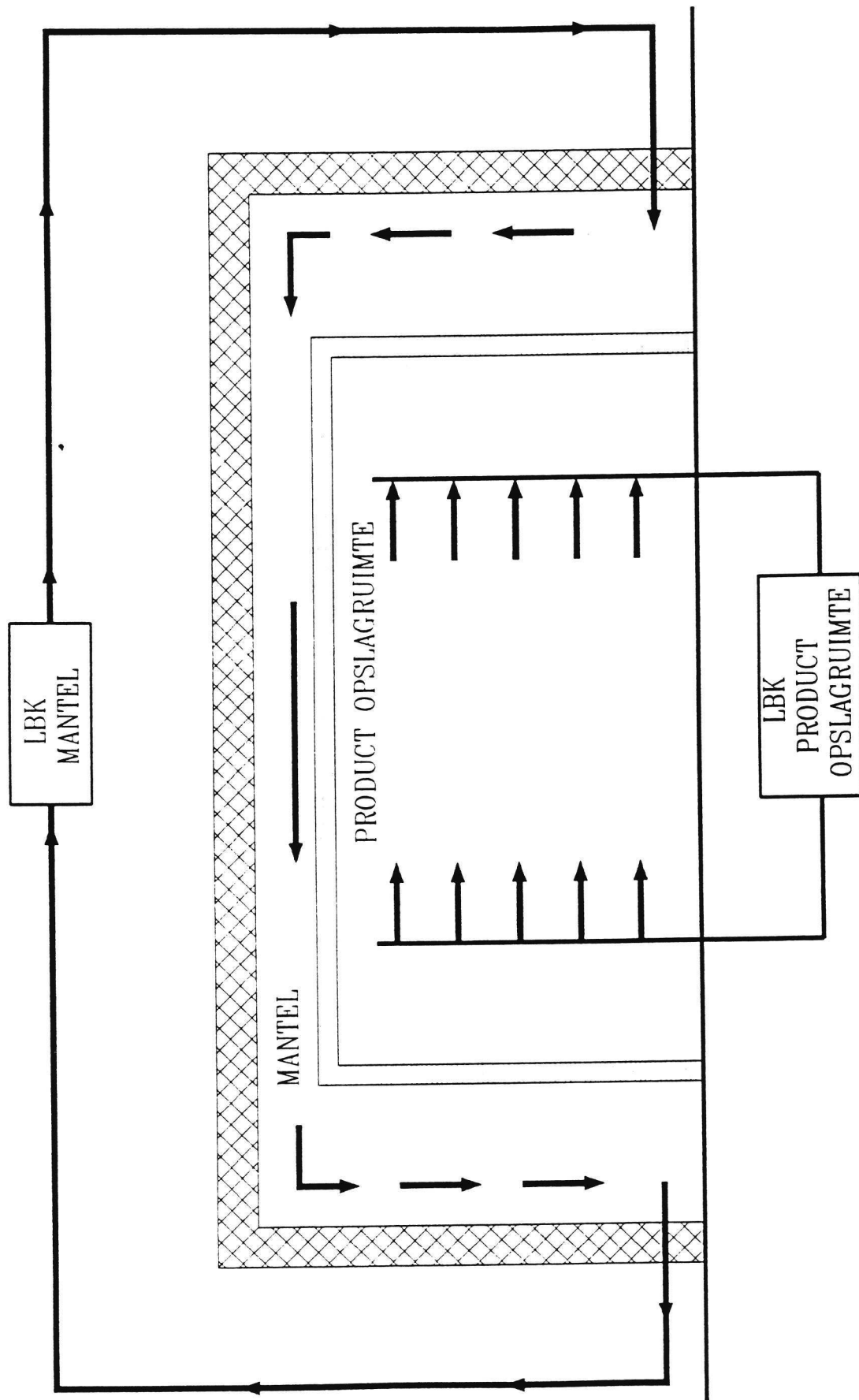


FIG 6. SEPARATE MANTELKOELING

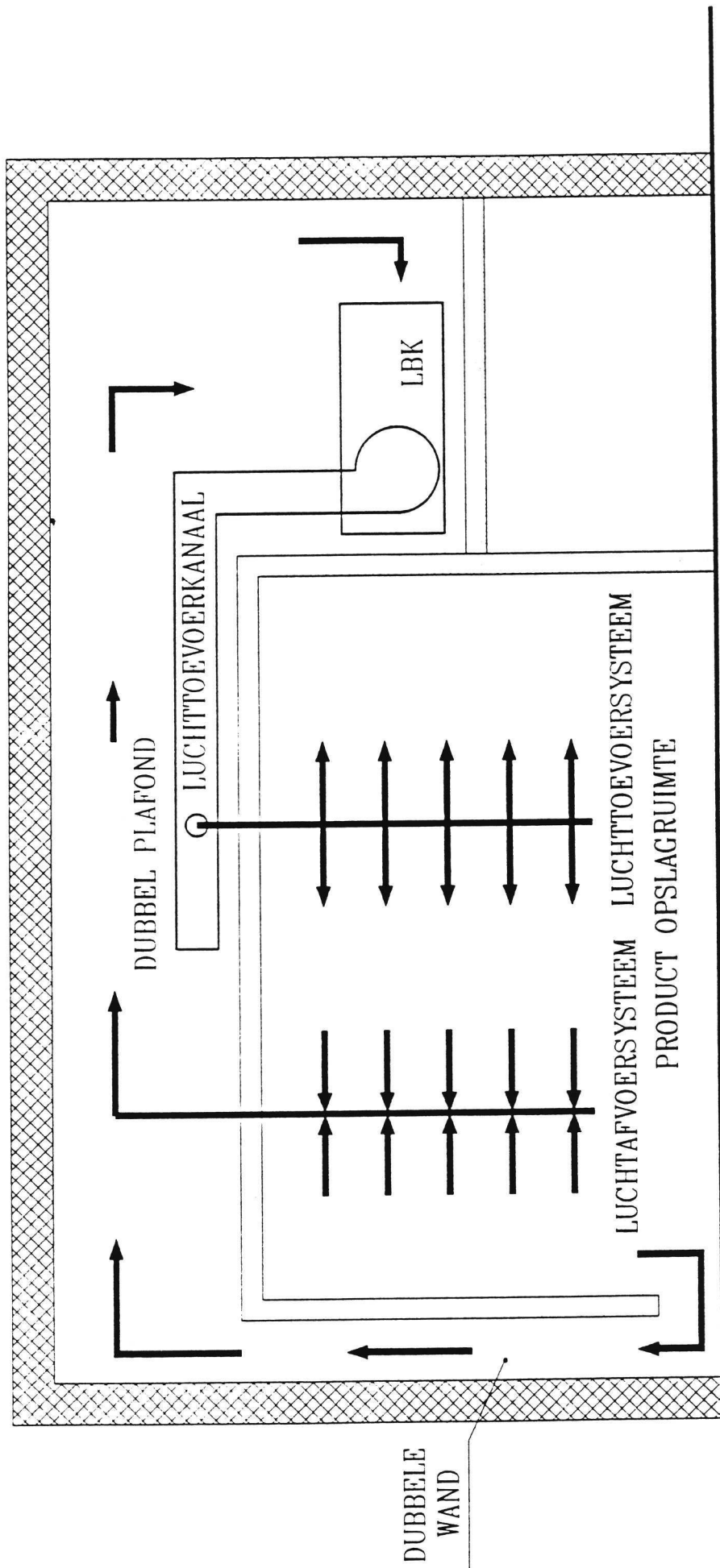
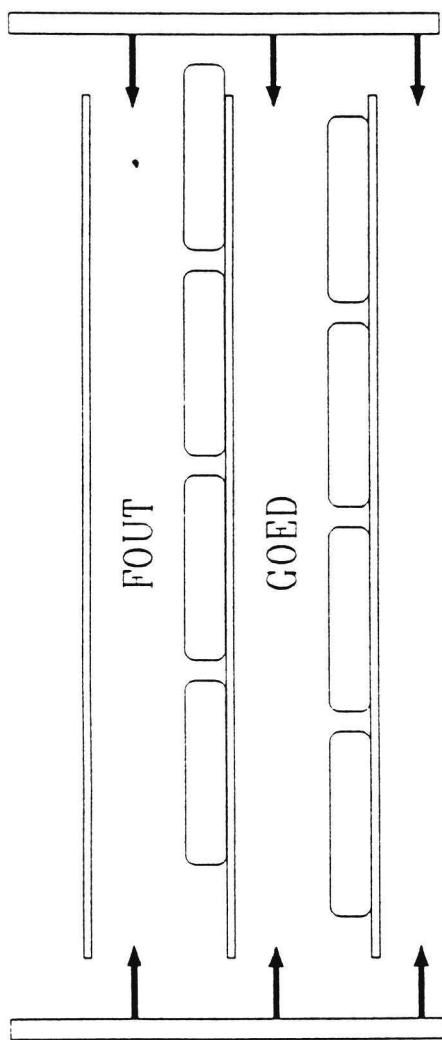
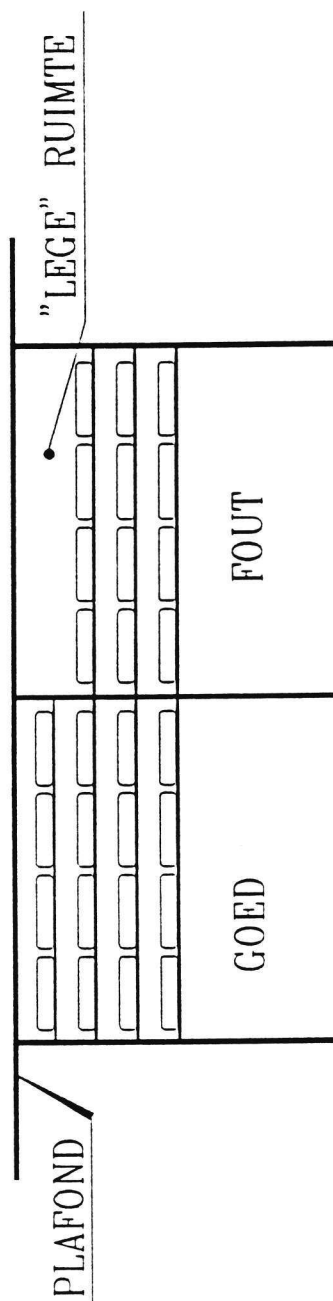


FIG 7. GEINTEGREERDE MANTELKOELING



POSITIONEERING PRODUCT T.O.V. LVD SYSTEEM



VOORKOMEN VAN LEGE RUIMTES

FIG 8. EXTREME VOORBEELDEN/GEWENSTE SYMMETRIE

TOEPASSING VAN “COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD)” BIJ STROMINGS-OPTIMALISATIE IN DE KOELTECHNIEK.

ir. H. van Oort, TNO-ME, Apeldoorn

Stroming speelt bij veel processen een belangrijke rol; bij koeling bijv. neemt de lucht de warmte op uit de te koelen delen en transporteert dit naar de koeler. Om dergelijke processen te kunnen optimaliseren is dus o.a. kennis van de stroming noodzakelijk. Deze kennis kan worden verkregen door het meten aan het proces of door het uitvoeren van berekeningen.

Met behulp van CFD-rekenpakketten kunnen geavanceerde berekeningen worden gemaakt van de stroming en daaraan gerelateerde processen, zoals warmteoverdracht, stofverspreiding, etc. Er zal kort worden ingegaan op de achtergrond en werkwijze van CFD. Ook zullen de voor- en nadelen van CFD t.o.v. meten en andere (eenvoudige) rekenmethoden worden genoemd. Een belangrijk deel van de lezing zal bestaan uit het tonen van voorbeelden en het toelichten daarvan. Daaruit zal de kracht van CFD-technieken blijken.

Inleiding

De luchtstroming in gekoelde ruimten (koel- en vriesmeubelen / koel- en vrieshuizen / etc.) is in hoge mate bepalend voor het goed functioneren van het meubel. Daarom dient de luchtstroming reeds in het ontwerpstadium betrokken te worden.

Tot nu toe gebeurt dit vaak op basis van ervaring en vuistregels; in een verdere fase van het ontwerpproces van bijvoorbeeld koelmeubelen worden vervolgens metingen verricht aan een prototype van het meubel.

Dit lijkt eenvoudig, maar de stroming van lucht is een zeer complex proces dat zich niet zomaar in vuistregels laat vatten. Ook het meten van stroming en temperaturen is erg moeilijk als gevolg van fluktuaties in de temperatuur en luchtsnelheden, en van allerlei storende invloeden en veranderingen van omgevingscondities. Vaak moet lang worden gewacht voordat er een thermisch evenwicht is bereikt, en er gemeten kan gaan worden.

De rol van luchtstroming

In alle gekoelde ruimten speelt de stroming van lucht een essentiële rol: lucht neemt de warmte op uit de te koelen delen en neemt deze warmte mee naar de koeler, waar de warmte aan de lucht wordt onttrokken.

Voor een optimale koeling dient de stroming aan specifieke voorwaarden te voldoen. Zo is de gelijkmatigheid van de stroming van belang om te voorkomen dat sommige delen minder goed gekoeld worden. In koelmeubelen voor onverpakte produkten is de luchtsnelheid van belang om te voorkomen dat produkten zoals vlees en gebak als gevolg van te hoge luchtsnelheden uitdrogen.

CFD: het berekenen van luchtstroming, temperatuur en luchtvochtigheid

Sinds kort is het mogelijk om met Computational Fluid Dynamics (CFD) stromingen en temperaturen in een vroeg stadium in het ontwerpproces te voorspellen.

Deze techniek maakt gebruik van geavanceerde computerprogramma's waarmee stromingen worden gesimuleerd. Deze computerprogramma's lossen de vergelijkingen op die het stromingsveld, de temperatuurverdeling, de vochtverdeling, etc. beschrijven. In de berekeningen kunnen allerlei fysische transportverschijnselen zoals warmtegeleiding en warmtestraling worden meegenomen.

De laatste jaren is deze methode door de snel voortschrijdende toename van computercapaciteit en de sterke vooruitgang in de numerieke modellering van stromingen binnen praktisch bereik gekomen.

Het grote voordeel van CFD ten opzichte van experimenteel onderzoek is dat het stromingsbeeld, de temperatuurverdeling, luchtvochtigheidsverdeling, etc., in de gehele ruimte bekend wordt. Dit geeft een zeer goed inzicht in de werkelijke situatie. Bij experimenten wordt meestal op een beperkt aantal plaatsen gemeten en is over het verloop van de gemeten grootheden tussen de meetpunten weinig bekend. Bovendien ondervinden berekeningen geen last van veranderende omgevingsomstandigheden, in tegenstelling tot metingen. Daarnaast worden fluktuaties van bijvoorbeeld de temperatuur direkt in de berekeningen meegenomen.

Het nadeel is dat het gebruik van CFD een gedegen kennis vereist van de stromingstechnische processen en de vergelijkingen die deze processen beschrijven, en van de wiskundige technieken die worden toegepast om de vergelijkingen op te lossen. Het op de juiste manier toepassen van CFD is dan ook voorbehouden aan experts.

CFD expertise bij TNO

Het TNO-Instituut voor Milieu- en Energietechnologie (TNO-ME) voert sinds vele jaren onderzoek uit op stromingstechnisch gebied, zowel experimenteel als met behulp van CFD. Bij de afdeling zijn twee CFD pakketten in gebruik: PHOENICS en TASCflow, beide met hun specifiek sterke punten.

Het grote aantal projecten in de afgelopen jaren waarin CFD is ingezet, heeft geleid tot een grote kennis en ervaring op het gebied van CFD. Mede daardoor is het mogelijk geweest in eigen beheer uitbreidingen op de bestaande CFD-programma's te ontwikkelen, waarmee het mogelijk is stromingen met temperatuur- en vochtinvloeden nog nauwkeuriger te berekenen dan met de bestaande standaard CFD-programma's mogelijk is. Hiermee zijn verschillende projecten met succes uitgevoerd. Een aantal hiervan zijn als voorbeeld toegevoegd.

Bundeling van expertise

Bij gekoelde ruimten gaat het altijd om een combinatie van produkt en (koel)techniek. Binnen TNO is er ruime expertise op beide gebieden aanwezig. Naast de genoemde CFD-expertise is er een uitgebreide ervaring op stromingstechnisch gebied. Ook beschikt TNO over een aantal klimaatcellen (overeenkomstig ISO-1992 of EN-441) waarin de temperatuur en de relatieve vochtigheid constant gehouden kunnen worden. Deze faciliteiten, tezamen met het gebruik van geavanceerde meetapparatuur, maken het mogelijk metingen te verrichten onder constante omgevingscondities.

Daarnaast voert TNO ook onderzoek uit naar onschadelijke alternatieven voor de CFK's, worden er technieken en werkwijzen ontwikkeld om de emissies van milieuschadelijke koudemiddelen te beperken, worden er veiligheidskeuringen aan koelinstallaties verricht en wordt het functioneren van industriële koelinstallaties beoordeeld.

TNO-experts op het gebied van koudetechniek, stromingstechniek, produktontwikkeling en voedingsmiddelentechnologie werken dan ook voortdurend samen om de klant een compleet pakket aan dienstverlening te kunnen aanbieden.

TOEPASSING VAN CFD BIJ STROMINGSOPTIMALISATIE IN DE KOELTECHNIEK

Ir. H. van Oort

TNO-ME, afdeling Warmte- en
Koudetechniek

- * Inleiding
- * CFD - wat is het
- wat kun je ermee (blijkt
zeer geschikt voor stro-
mingsoptimalisatie)
- * Toepassing: enkele voorbeelden
uit de koeltechniek

INLEIDING

Stroming bij veel processen een belangrijk onderdeel

Voorbeelden: - menging
- koeling
- verbranding

Voor optimalisatie van deze processen is kennis van de stroming nodig

Deze kennis kan verkregen worden middels: - meten
- rekenen

CFD (1)

Stroming kan beschreven worden door wiskundige vergelijkingen:

- Continuïteitsvergelijking (wet van behoud van massa)
- Navier - Stokes vergelijkingen ($F=m.a$)
- Energievergelijking (wet van behoud van energie)

Deze vergelijkingen vormen een stelsel:

gekoppelde	}	differentiaal- vergelijkingen
niet-lineaire		
2e-orde		
partiele		

Stelsel is niet analytisch oplosbaar

CFD (2)

Bewerking van het stelsel:

- (Reynolds)middeling
 - turbulentiemodellering
 - diskretisatie
 - iteratieve oplosmethode
- } CFD

CFD = **C**omputational **F**luid **D**yna-
mics

Het oplossen van enigszins vereenvou-
digde stromingsvergelijkingen

Verdere vereenvoudiging mogelijk:
leidt tot eenvoudiger formules, maar
afnemende nauwkeurigheid

CFD (3)

Hoe werkt CFD?

- te beschouwen rekendomein verdelen in elementjes (het grid)
- randvoorwaarden + procesparameters invoeren
- stuurparameters voor rekenproces opgeven

- in ieder gridelement wordt de waarde van de opgegeven variabelen uitgerekend:
 - snelheid
 - druk
 - temperatuur
 - etc.

CFD (4)

Voordelen CFD

t.o.v. andere rekenmethoden:

- * nauwkeurig
- * resultaten in gehele domein

t.o.v. meten:

- * veranderingen eenvoudig
 - * buiten proces om
- (dus ideaal voor optimalisatie)

Nadelen CFD

t.o.v. andere rekenmethoden:

- * forse tijdsinspanning
- * vereist veel deskundigheid

t.o.v. meten

- * wiskundige beschrijving van proces nodig
- * vereist veel deskundigheid

TOEPASSINGEN

- * koelcel voor fruit
- * koelcel in varkensslachterij
- * vriesmeubel
- * gekoelde toonbank
- * gekoeld wandmeubel

GECONDITIONEERD TRANSPORT

Dipl.-Ing. H.F.T. Meffert, ex-ATO, Wageningen

Voertuigen voor geconditioneerd transport zijn gebonden aan voorgeschreven buitenmaten. Gestandaardiseerde palletafmetingen leggen een claim op de ruimte in het voertuig, waardoor isolatiedikte en de doortocht voor luchtcirculatie sluitposten worden.

Door het toelaten van 2,6 m brede koelvoertuigen, aangepast aan de standaardpallet, is hierin recent verandering gekomen. Een modulaire lengte is echter veel moeilijker en slechts met opoffering van vrijheidsgraden voor inrichting en belading bereikbaar. Voor een eenvoudig luchtcirculatie- en luchtverdeelsysteem met continue regeling van de koelluchttemperatuur kan de verdeling van lucht en ladingstemperatuur door eenvoudige modellen worden beschreven. Een 'beschermingsgraad' kan worden geformuleerd voor stationaire en instationaire thermische processen. Het effect van de expositietijd en van de mate van isolatie en koeling kan hiermee tot uitdrukking worden gebracht. Het resultaat van CA/MA-omstandigheden wordt sterk bepaald door handhaving van de gewenste condities in het temperatuurveld. Voor MA-verpakking is de temperatuur-afhankelijkheid van de gaspermeatie door de toegepaste materialen een complicerende factor. Door integratie van transport en conditioneerprocessen kan de totale doorlooptijd worden verkort.

Tenslotte zullen twee video's een indruk verschaffen van een beschermd overslagproces schip-wal en het bimodale vervoer spoor-weg.

Konditioneren

Konditioneren betekent beheersen van de klimaatfactoren temperatuur, vochtigheid en atmosfeer (O₂, CO₂, ethyleen) in een beladen gekoelde ruimte, in de lucht en in de lading. In de praktijk zijn dit vooral bederfelijke voedingsmiddelen van dierlijke en plantaardige oorsprong, gevoren of gekoeld, eventueel ter verlenging van het kwaliteitsleven in een conserverende atmosfeer.

Transport

Een gebruikelijke definitie van transport vat opslag-overslag en vervoer samen. Opslag wordt dan stationair vervoer. Een andere visie ziet transport als verlengstuk van de productie. Beide definities doen geen recht aan het partnerschap van beide activiteiten, die voor Nederland, dat 45% van het nationale inkomen uit de internationale handel trekt, aan elkaar vastgeklonken zijn. In Europa ligt alleen België voor met 60%. Ca. 15% (2.500 gld/hfd) van de jaarlijkse exporthandelswaarde haalt Nederland uit de export en doorvoer van bederfelijke goederen.

De grote deskundigheid op het terrein van produkt en transport heeft Nederland echter geen leidende rol kunnen verschaffen bij bouw en bedrijf van gespecialiseerde transportmiddelen, koelschepen, koelwagens, vrachtvliegtuigen.

Weliswaar is Seatrade s'werelds derde koelschiprederij, maar Zweden en Denemarken gaan voor.

1.1 Rangorde koelschiprederijen

Van Diepen, Waterhuizen, bouwt gespecialiseerde snelle koelschepen, maar Denemarken en Polen zijn de marktleiders. Nedlloyd houdt een 13e plaats als koelcontainereigenaar tussen SAFmarine en Nippon Liner.

1.2 Rangorde containerrederijen

In grootschalige koelvoertuig- en containerbouw speelt Nederland reeds lang geen rol meer. De ca. 10.000 wegvervoerseenheden (TEU) (ca. 20% vriesvervoer; 4500 vrachtwagens of aanhangers, 2750 opleggers) zijn voor bijna 90% een jaarlijkse vervangingsmarkt van 100.000.000 gld voor buitenlandse fabrikanten van vervoerseenheden en koelinstallaties.

1.3 Gekonditioneerde lading (volume) vervoerd over de weg

Vliegtuigbouw in Nederland zet geen zoden meer aan de dijk.

Ook het CA-Freshbox-project heeft de buitenlandse concurrentie niet het hoofd kunnen bieden.

Internationale standaardisatie (ISO, CEN) en wetgeving (ATP) toont grote nationale invloeden, maar niet vanuit Nederland. Indirekte invloed is wel aanwezig in de vorm van een additionele certificatie voor containers, geschikt voor transport van bloembollen, vereist voor een uitgebreide transportverzekering, en internationaal overgenomen door Genstar, de grootste containerlessor, alsmede de ontheffing op basis van een certificatie voor voertuig en proces voor het afkoelen van vlees tijdens vervoer.

1.4 Specificatie Bloembollencontainers

1.5 Specificatie Afkoeling tijdens vervoer

Het verkrijgen van een overzicht op de betrokken terreinen van economische activiteiten wordt een aparte taak, door het gebruik van uiteenlopende systemen in de onderhavige statistische rubrieken. Er is geen prioriteit bij de betrokken organisaties en instellingen om in het scheppen van duidelijkheid te investeren. Maar dit tekort is wel debet aan het wazige beeld van de sektor.

Het cruciale probleem van het transport van bederfelijke voedingsmiddelen is de eis van een steeds betere kwaliteits/ prijs verhouding op steeds grotere afstanden. Nauwere temperatuurgrenzen en/of verdergaande konditionering incl. vochtigheid en gassenstelling geven mogelijkheden om langere transporttijden zonder storend kwaliteitsverlies op te vangen. Dit geeft mogelijkheden om verkeersbelemmeringen het hoofd te bieden, langzamer/goedkoper vervoer te kiezen of verder gelegen markten te bereiken.

2.1 Overzicht bederfelijke produkten

Geavanceerde konditioneermethoden en systemen vereisen wel grotere kennis van de produkten en van konditioneermethoden alsmede van de bijbehorende technische toerusting.

2.2 Houdbaarheid, kwaliteitsleven afh. van temperatuur en atmosfeer

Kondities (Programma van Eisen)

Temperatuur, vochtigheid en samenstelling van de atmosfeer rond het produkt in het laadruim zijn de kondities waaraan het gekonditioneerde transport moet voldoen. De drie klimaat-factoren werken echter niet onafhankelijk van elkaar. De interacties tussen deze factoren en met de eigenschappen van het produkt zijn nog onvoldoend manifest in de programma's van eisen voor gekonditioneerde vervoermiddelen. ATP en ISO 1496-2 leggen een bodem in de markt, maar het fijne werk moet door aanvullende specificaties (Interfrigo, Transfrigoroute, RTF) en certificaties (Sprenger/ATO, TNO) gebeuren. De FOCWA-cursus geeft een stramien aan de Nederlandse carrosseriebouwer, waarop hij samen met de opdrachtgever kan voortbouwen. Grote ondernemingen, containerfabrikanten, scheeps- en vliegtuigbouwers worden door grote opdrachtgevers met eigen kennis gecoached.

Communicatie

De communicatie op ontwerpniveau tussen opdrachtgever- fabrikant-gebruiker laat vooral bij kleinere ondernemingen te wensen over. De vertaalslag van produkteisen naar technische toerusting gaat over vele schijven, die elkaar niet overlappen. Zo komen sub-optimale keuzen tot stand, bv. aan-uit regeling omdat de brandstofvoorraad te klein is, te kleine of te grote luchtkanalen.

Op bedrijfsniveau is een goede communicatie over de eigenschappen van het vervoermiddel en van de lading tussen eigenaar-verlader-gebruiker cruciaal voor de goede afloop van het transportproces.

Tijd

De schatting van de reijidte van het transportmiddel is van belang voor het beoordelen van marktkansen. Al te optimisme van vervoerssnelheden moeten vaak herleid worden tot gemiddelden met inbegrip van wachttijden en rijtijden. Vertrekfrequentie is een belangrijk aspect van verzameltransporten.

Een positie tussen de rubrieken is het onderhoud als ontwerp- (gevoeligheid) en bedrijfsfactor (vriendelijkheid), waarbij ook begeleiding door en opleiding van uitvoerend personeel een geduchte rol spelen.

De kennis van produkten en konditioneermethoden en systemen moet uit uiteenlopende kennisterreinen worden verzameld.

4.1 Kennisterreinen en interfaces

Bij 4.1: Interfaces van wetenschapsgebieden betrokken bij het konditioneren van ladingen

Werktuigbouw- & Maritieme Technieken
 Koudetechniek/Klimaatregeling (incl. ventilatoren, luchtkanalen)
 Transportkunde, voertuigbouw
 Technische Fysica/Proceskunde
 Warmte/stoftransport, aerodynamika
 Biologie/Fysiologie
 Produktkennis dierlijk/plantaardig

Levensmiddelentechnologie = interface Technische/Biologische Wetenschappen

Transport/Logistiek

Traditioneel is de kennis van de kerntaak transport het meest ontwikkeld. Logistiek is een nieuwe tak van de economische bedrijfskunde, noodzakelijk voor een optimale inzet van materieel en energie. Maar helaas heeft de logistiek van bederfelijke goederen in de opleidingen nog geen plaats kunnen vinden. De kennis van konditioneermethoden, systemen en producten is niet in een compleet kennissysteem beschikbaar.

Konditioneren

Terwijl Koudetechniek en Klimaatregeling in de thermisch/hygrische achtergrond voorzien, zouden Proceskunde en Technische Fysica de fysisch-chemische basis moeten vormen.

Produktkennis

Kennis van de producten (houdbaarheid: kwaliteitsleven afhankelijk van kondities en tijd) moet vanuit de Levensmiddelen-technologie en technische Fysiologie invloeden.

Statistiek

Statistiek, toegepast op het gehele transportproces en de transportstromen moet het stramien geven, waarin de ontwikkelingen in de tijd zichtbaar worden. Deze informatie is echter verspreid over meerdere rubrieken in verschillende systemen en daarom niet zonder meer beschikbaar. Onder deze omstandigheden is het bijkans ondoenlijk om de situatie van het gekonditioneerde transport in kaart, laat staan een juist beeld aan de buitenwacht over te brengen.

Transport van bederfelijke producten vormt zo een interface tussen uiteenlopende kennisgebieden. Maar deze is in het midden- en stafkader onvoldoende verankerd. Opleiding en diploma CCV-B Vervoer Bederfelijke Goederen Koelchauffeurs (ca. 3500 uitgereikt sinds 1983) steken hierbij gunstig af.

Modale flexibiliteit

De knelpunten op de weg naar een betere kwaliteits/prijs verhouding in het gekonditioneerde transport zijn uiteenlopend van karakter voor de verschillende verkeersdragers. Gemeenschappelijk is, dat zij, behalve de konditionering zelf, deel uitmaken van vraagstukken van transport algemeen. Het konditioneren voegt speciale aspecten aan de bestaande problematiek toe. Oplossingen worden vaak vanuit het grotere terrein van het algemeen transport gedikteerd, zonder op de speciale situatie van het gekonditioneerde vervoer te letten. Er is wel een recente uitzondering: het palletbrede koelvoertuig mag sinds 1988 in de VS en EU 2.60 m breed zijn.

Maar het palletlange voertuig heeft het minder ver gebracht.

In de vorm van de container is het multimodale transport gerealiseerd. Waar vroeger unimodale

voertuigen overheersten met veelvuldige overslag gaat nu koellading beschermd door een integrale koelcontainer van de ene verkeersdrager naar de andere. Voor minder ingrijpende vervoerstaken zijn bimodale systemen (weg-lucht) en voertuigen (weg-spoor) in ontwikkeling. Maar het unimodale concept met overslag op de interfaces is nog vaak aan te treffen in vele transportketens.

Standaardisatie

Een integrale Internationale Standaardisatie als voorwaarde voor een efficiënte goederenstroom met een redelijke beschermingsgraad komt slechts met veel vallen en opstaan tot stand. Steeds bedreigt de terugval op regionale of nationale interessen een universele optimalisatie van de goederenstromen. Modulaire coordinatie tussen verpakkingen, ladingeenheden (pallets) en vervoerseenheden (containers, voertuigen) is een sprekend voorbeeld. ISO-verpakkingen voor koel- en vriesgoederen passen alleen per uitzondering op ISO-pallets, en deze dito in ISO Thermal Containers.

Het is te betreuren dat het UNECE Inland Transport Committee in Geneve niet de visie heeft kunnen opbrengen om naast de bekende 20/40x8ft series in 1992 het ISO/CEn voorstel voor een reeks grotere containers 49ftx102inch (14,94x2x2,59m) te honoreren. Met deze maat had een acceptabele modulaire coordinatie en daarmee en optimale conditionering kunnen worden gerealiseerd.

Regionale vervoermiddelen zijn bij voorkeur afgestemd op regionale (sub)standaards (inch pallet P40 in Amerika, vierkantspallet P11 in Australië, P08 in Europa). Met het gevolg dat importen en doorvoer door hergroepering (depalletisatie/palletisatie) met kans op mechanische en thermische schade gehinderd worden.

Of exporteurs moeten een sortiment van pallets en verpakkingen er op na houden en verpakking als retourvracht accepteren dan wel een boom per vervoerseenheid meesturen.

Certificatie

Omdat de standardeisen, al dan niet wettelijk verplicht, niet voldoen voor speciale vervoerstaken, zijn er additionale certificaten ingesteld voor specifiek vervoer: door verladers, verzekeraars voor bloembollen (maar met een bredere strekking op temperatuurgevoelige lading) of publiekrechtelijke organen voor doorkoelen van vlees gedurende vervoer, en ook door professionele organisaties van vervoerder, verladers en fabrikanten (Refrigerated Transport Foundation-RTF). RTF heeft 1988 een uitvoerige open klassificatie geïntroduceerd. Andere klassificaties verstrekken slechts summier gegevens in code geen.

5.1 Klassificatie RTF

Daarnaast bestaan ook aanbevelingen van professionele organisatie van vervoerders en fabrikanten (Transfrigoroute-International).

Modulaire coordinatie

In de sector landtransport heeft de toelating van 2.60 m (102 inch) brede vervoermiddelen palletbrede stuwpatronen mogelijk gemaakt. Voor zeegaande containers is dit slechts met buitenmodellen mogelijk.

5.2 Ladingconfiguraties

Palletlange laadruimen, een voorwaarde voor optimale conditionering, zijn voorbehouden aan regionale systemen of integrale keten beheerders, die een afwijkende modulaire coordinatie handhaven.

Europese koelvoertuigen zijn bij voorkeur afgestemd op P08, ondanks de veel grotere verspreiding van P10 in het koel- en vriesbedrijf. Amerikaanse voertuigen op de P40. Slechts enkelingen (Interfrigo, United Brands/Chiquita) hebben het aangedurfd om een afwijkende maat te

introduceren met het oog op de afstemming in breedte en lengte tussen lading en laadruim.

Configuraties

De "palletvriendelijkheid" van laadruimen blijkt tamelijk eenkennig te zijn. P40 zijn te breed voor optimaal ontworpen Europese koelvoertuigen (2440 in 2430 mm). P08 en 10 geven te veel lucht in voertuigen volgens Amerikaanse regels (2400 in 2470 mm), met vergrote kans op mechanische en thermische schade en meer energiegebruik dan nodig voor koeling en luchtcirculatie. Onderzoek heeft in 1979 reeds aangetoond dat 30 mm stuwspeling voldoende is voor laden, lossen en luchtcirculatie.

De IATA vliegtuigpallets en containers zijn op vliegtuigmaten afgestemd en vormen een apart domein.

5.3 Vliegtuig pallets en container

Aan nauwgezette konditionering van vrachtruimen in vliegtuigen is weinig aandacht geschonken in vertrouwen op de korte vervoerstijden. Lange wachttijden in niet of nauwelijks geconditioneerde omgeving zijn echter funest voor de beschermingsgraad.

In scheepskoelruimen doet zich het probleem eveneens gelden. Vormgeving en konstruktie-elementen zorgen samen met onvoldoende modulaire coordinatie voor gebrekkige luchtverdeling cq. konditionering.

5.4 Flat Rack Systeem, Grenco, Gdansk 1994

5.5 Gratingless System, Cool Carriers, Gdansk 1994

5.6 Stellingsysteem in koelruim, KWS, Gdansk 1994

"Rijpingsnesten" worden verantwoordelijk gesteld voor 5% verlies. Vergroten van de luchtcirculatie helpt maar verhoogt het energiegebruik aanzienlijk.

Compartmentering

Verdelen van laadruimte is gepropageerd voor koelschepen

- gescheiden maar tegelijk gekonditioneerde ruimen als ruimtebesparende maatregel (isolatie en luchtgeleidingen) - en voor distributievoertuigen - gescheiden gekonditioneerde compartimenten ter besparing op voertuigen en ritten. In beide gevallen moeten de gevolgen voor de kosten (ca. 1,4*volumeverhouding) konditionering (groter luchtsnelheden voor gelijke konditionering) en de totale kosten voor het transport (incl. produktverlies) onder ogen worden gezien.

Aan het konditioneren van een beladen koelruim is nog weinig samenhangend aandacht besteed. De beheersing van temperatuur, vochtigheid en atmosfeer in lucht en lading vereist inzicht in de fysische en fysiologische processen die zich tussen produkt en koudebron afspelen. Een modelmatige benadering zou dit inzicht enorm kunnen bevorderen, mits geconcentreerd tot faktoranalyse. Experimenteel is optimalisatie monnikenwerk.

Alleen al voor de klimaatfaktor temperatuur zouden bij 14 onderkende ontwerp- en bedrijfsparameters in 3 variaties, ca. 5.000.000 experimenten nodig zijn om de invloed van de parameters op de ladingtemperatuur vast te leggen.

Het bijtrekken van luchtvochtigheid en atmosfeer zou het aantal experimenten verder doen toenemen.

Temperatuur

Voor temperatuurband en temperatuurverdeling in de lading staan eenvoudige semi-kwantitatieve modellen voor quasi-stationaire kondities ter beschikking.

$DT_c = A' * Q_e + B' * Q_i$; A', B' afhankelijk van configuratie

Meffert, Melbourne 1976

- 6.1 Model temperatuurband
- 6.2 Grafisch model temperatuurband
- 6.3 Weibull-model, Meffert, Palmerston North 1993, TCSAM21: demonstratie, Meffert en Van Beek, Paris 1983, Wageningen 1988
- 6.4 Factoranalyse, Meffert & Van Beek, Wageningen 1988; Gdansk 1994
- 6.5 Optimalisatie
- 6.6

Zorgvuldig gepland experimenteel onderzoek is noodzakelijk om de modelmatig gelegde verbanden tussen temperatuur-huishouding, ontwerp en bedrijfsparameters te verifiëren.

De stationaire ideaaltoestand wordt verstoord door cyclische processen als gevolg van regeling, rijpvorming-ontdooing, dag-nacht, of meer monotoon ten gevolge van klimaatverandering, en verandering van eigenschappen van de lading door vervorming of fysiologie.

Voor temperatuurveranderingen in verpakkingen, lading- en vervoerseenheden kan men op Fo-Bi relaties teruggrijpen, die tot eenvoudige nomogrammen herleid kunnen worden.

- 6.7 Fo-Bi half-oneindig lichaam, Meffert London 1970;
- 6.8 Nomogram, Meffert Barcelona 1973

De flexibelere methoden van Partiele Differentiaal Vergelijkingen (grafische oplossing vlg Schmidt-Binder) zijn tot computer-modellen (eindige elementen methode) geavanceerd (BERTEM)

Van der Ree and Nievergeld, Wageningen 1974

Het hanteren van een Thermische Beschermingsgraad gebaseerd op de thermische eigenschappen van lading en bescherming maakt een praktische beoordeling van methoden, toerusting en hulpmiddelen mogelijk.

- 6.9 Thermische Beschermingsgraad, Meffert 1974, Klima-Kaelte-Technik 9/1974, 126-130

Vochtigheid

Vochtcondities in een laadruim zijn het resultaat van evenwicht tussen interne en externe factoren, die in beeld gebracht zijn. Voor een juiste voorspelling moeten de betrokken eigenschappen bepaald door ontwerp en bedrijf van laadruim en lading bekend zijn.

- 6.10 Grafisch model RV in laadruim, Van Nieuwenhuizen, Orlando, 1985; Davis 1989
Ook hier kan een Beschermingsgraad helpen bij de beoordeling van materialen en methoden.
- 6.11 Hygrische Beschermingsgraad, Van Beek 1979
Wiskundige modellen voor de verdeling van waterdamp in verpakkingen zijn ontwikkeld.
- 6.12 Waterdampconcentratie in verpakking, Cowell 1960, Van Beek en Meffert in Thorne 1981

Atmosfeer

Ook de atmosfeer in laadruim en lading is bepaald door het evenwicht tussen binnen en buiten. Ook hier spelen ontwerp- en bedrijfsfactoren naast de lading een beslissende rol.

- 6.13 Luchtverversing/lekkage, stikstofstroom en O₂/CO₂ concentraties, Van Nieuwenhuizen, Vienna 1987

Regeling

De temperatuurverdeling in een lading is bepaald door de configuratie laadruim-lading alsmede buitencondities. De nauwkeurigheid van de regeling geldt slecht voor de locatie van de regelvoeler. De thermostatische regeling van de temperatuur, afgeleid van de luchttemperatuur en ingrijpend op het koelvermogen is in het tijdperk van de microcomputer ver vooruitgelopen op de werktuigbouwkundige ontwikkeling. Zover, dat een scheiding tussen Hi- en Lotech ontwikkeling ter discussie staat. Waarbij het transport (weg en spoor) in minder ontwikkelde gebieden naar Lotech afgedwongen wordt.

In de containertoepassing is continue regeling op de koelluchttemperatuur bij koelbedrijf standaard. Bij vriesbedrijf heeft stappenregeling op de retourlucht-temperatuur de voorkeur, met het voordeel van een lager energiegebruik.

7.1 Regeling temperatuur/koelvermogen

7.2 Plaats van de regelvoeler

De opkomst van de microprocessor PDI-regelingen heeft niet allen de nauwkeurigheid en betrouwbaarheid van de temperatuur-regeling enorm verbeterd ($\pm 0,5$ K vries- $\pm 0,2$ K koelbedrijf, "Failure rate" $< 0,3\%$ in de eerste 3 jaren), maar ook het gemak van gebruik door volautomatische PTI, opsporen/signaleren van storingen en het inschakelen van reservesystemen bij storingen.

Luchtverdeling/temperatuurverdeling

Grotere ladingeenheden ter bescherming door grootte en overslagsnelheid, ondersteund door pallets, flatracks vragen om beter inzicht in de factoren die de luchtverdeling beïnvloeden. Gebrek aan modulaire coordinatie leidt tot problemen door schuiven en luchtverdeling. Correctie door grotere luchtcirculatie (tot meer dan 150 voud) gaat ten koste van snel stijgend energiegebruik. De herintroductie van stuw hulpmiddelen, luchtzakken, kartonkragen lijkt niet te ontkomen.

7.3 Afdichtingen Gratingless koelsysteem, Cool Carrier Gdansk 1994

7.4 Stuw hulpmiddelen, Mt.Muanganui 1993

Naast de luchtverdeling als gevolg van de ladingconfiguratie bepalen uitwendige en inwendige warmtelast het temperatuur-veld. Daarbij komt ook vermindering door vocht afgifte en gewijzigde atmosfeer van de voelbare warmteproductie van de lading aan de orde.

Temperatuurbewaking

Voornoemde punten spelen uiteraard indien men tot temperatuurbewaking wil komen. Het positivisme van de regelgevers heeft de problematiek van de temperatuurbewaking bij de instrumentmakers geplaatst. Aan de interpretatie van de verkregen informatie is echter geen aandacht geschonken, zodat gebruikers en inspectiediensten voor raadsel komen te staan. Bewaking van transportprocessen met behulp van produkt temperatuur-tijd-registratie, fysisch-chemische of elektronische TT-integratie is alleen bij deskundige interpretatie en steekproefsgewijze zinvol als basis voor een proces-certifikatie.

Energiegebruik

Ook heeft de relatie tussen energiegebruik van de doorgaans deelbelaste transportkoelinstallatie en temperatuurhuishouding nog weinig aandacht getrokken. Vooral de rendementen van de luchtkoelerventilatoren (doorgaans $< 30\%$) staan te boek, maar ook het deellastgedrag van transportkoelinstallaties laat nogal te wensen.

7.5 Energiegebruik regelsystemen, Sharp 1978

Luchtkoelerkonstruktie

Temperatuurverschillen bij de luchtkoeleruitlaat willen vooral bij deellastbedrijf groter uitvallen dan het geclaimde regelband. Daarmede wordt een nauwkeurige regeling op de onderste temperatuurlimiet tot een onmogelijkheid.

Sharp, Brisbane 1988

Optimalisatie

Optimalisatie van transportmiddelen naar temperatuurverdeling en energiegebruik blijft daarom nog veel natte-vinger-werk. De rol van de lading, configuratie, aerodynamische en thermische eigenschappen wordt nog nauwelijks onderkend door gebrek aan kennis bij ontwerper en bedrijver. Mogelijkheden voor optimalisatie van de verdeling tussen lucht en isolatie in de breedte van een gekoeld vervoermiddel liggen besloten in de toepassing van snelle computermodellen.

Bescherming tegen tijd-temperatuur-belasting

Bescherming in termen van temperatuur en tijd is van belang voor het bedrijven van koudeketens. Er zijn aanzetten tot de vorming van modellen, die bij verdere invulling en evaluatie als referentiekader tot praktische waarde gebracht kunnen worden.

Spiess, Wageningen 1988;

Torres, Davis 1989; JFoodEngng 1993

Zwietering, Wageningen 1993.

In het bovenstaande zijn enige aankopingspunten gegeven om tot een beheersing van tijd-temperatuurbelasting tijdens transport te komen.

Regeling

De vochtuishouding in een laadruim heeft recent opnieuw aandacht getrokken. Dit heeft geleid tot de introductie van vochtregelingen naast de temperatuurregeling. Naast het nadeel van een grote onderhoudsgevoeligheid van de regelvoeler is het verhogen van de luchtvochtigheid in het laadruim beperkt door de temperatuurhuishouding (regeling en luchtcirculatie/-verdeling, een temperatuur-verhoging van de lucht van een K op het niveau van 0 oC, 90% RV doet de RV dalen met 10% en het waterdampdrukdeficiet met 100% stijgen)

Moderne continu geregelde koelcontainers bereiken een RV van de uitgaande koellucht van 95% en hoger, zodat regeling alleen naar drogere omstandigheden in aanmerking komt. Hiervoor staan verlagen van de koelertemperatuur en naverwarming van de koellucht ter beschikking. Beide methoden veroorzaken een hoger energiegebruik. Het gedrag van deze regeling is goed voorspelbaar, mits de nodige gegevens van lading en konditioneerinstallatie bekend zijn.

8.1 Vochtregeling, droging, Van Nieuwenhuizen, Davis 1989

Matrix MA/CA

Met betrekking tot het toepassen van een gewijzigde atmosfeer voor verlenging van het kwaliteitsleven moet men onderscheid maken tussen passieve produkten (dood, zonder stofwisseling-attentie: kaas) en actieve (met O₂/CO₂ stofwisseling en warmteproductie), alsmede passieve systemen (werking op basis van dichtheid, evtl. ingesteld lek)

De praktische toepassing van gewijzigde atmosfeer voor het verlengen van het kwaliteitsleven (bekend sinds 1821) stuitte lang op de technische problemen bij het afsluiten van de buitenlucht en van de gasvoorziening. Voor landinstallaties werden deze vanaf 1929 en voor schepen vanaf 1935 opgelost.

Voor het creëren van gas-samenstellingen met laag CO₂-gehalte voor plantaardige produkten

komen fysische of chemische processen in aanmerking. Chemische binding in vast kalkhydraat in de afgesloten ruimte kan nog tot de passieve methoden worden gerekend, evenals de toepassing van kunststof-membranen met selectieve permeabiliteit.

Beide methoden kunnen ook in actieve systemen worden opgenomen, door middel van doorstroomapparaten met regeling op CO₂-concentratie. Membraantechnologie en het PSA-proces met moleculair zeef voor CO₂ lenen zich voor miniaturisering. Zo konden de nogal omvangrijke installaties voor scheepsruimen (vanaf de jaren 30 voor vers vlees uit Australië) tot containerafmetingen teruggebracht worden en konden in vervolg koelcontainers met een volledig geregelde gasgenerator worden toegerust.

De markt heeft een groot aantal fabrikanten aangetrokken. De levensvatbaarheid van de toerusting en de toepassing moet nog in de praktijk blijken.

Positieve resultaten worden verwacht van langer kwaliteitsleven, rijper produkt, lager energiegebruik voor conditionering (koeling en circulatie) en voortstuwing/ verplaatsing. Bij deze tegenstrijdige elementen zal de markt over de praktische toepassing beslissen.

Materiaal en Produktkennis

Het success van passieve methoden (zonder regeling) hangt af van de juiste combinatie van produkt, materiaal en kondities. Door uiteenlopende temperatuurafhankelijkheid van de betrokken eigenschappen (permeabiliteit en stofwisseling) is het venster van toepasbare temperatuur vaak smal. Een nauwe temperatuurband blijft noodzakelijk.

Naast op niveau van verpakkingen en ladingeenheden, is MA vanaf ca. 1975 in transporteenheden (containers) toegepast, speciaal nadat de lekkage door konstruktieve en additionele maatregelen verbeterd was.

10.1 Afdichting container

10.2 Temperatuur-venster, Sharp, Cornell 1993

Bij overschreidingen van de gegeven limieten kunnen "veiligheids-kleppen" geactiveerd worden, die een verbinding met de buitenatmosfeer openen

Exama 1903

Optimalisatie is zeer specifiek produkt en materiaalgebonden.

Ondanks vele tegenstrijdige resultaten wordt een mogelijkheid gezien om een code of practice samen te stellen

Church 1995

Systemen

Een grote verscheidenheid van systemen ter instelling en handhaving van conserverende atmosferen in laadruimen staat ter beschikking, afgeleid van landtoepassingen.

11.1 Principe CA-installatie, Hochhaus IF 1994

De kompakte bouw hebben een voorkeur voor PSA en membraan systemen doen ontstaan.

Miniaturisering van deze systemen maakt het mogelijk om de gehele installatie in 'verloren' ruimte rond containerkoelinstallaties onder te brengen.

11.2 INTAC-Sabroe

Praktijkervaring zal leren hoe betrouwbaar de installaties zijn onder harde bedrijfsomstandigheden.

Produktkennis

Voor de juiste dimensionering en instelling van MA en CA systemen en het voorspellen van het effect zijn produktgegevens noodzakelijk betreffende de stofwisseling (O₂/CO₂/ethyleen/warmte/vocht-afgifte) en het effect op de houdbaarheid (kwaliteitsleven bij heersende condities: temperatuur, vocht, atmosfeer). De talrijke wetenschappelijke publikaties geven zelden uitsluitel over deze verbanden in onderling verband, zodat de industrie het initiatief neemt tot eigen onderzoek. Voorzover dit niet uitbesteed wordt aan gespecialiseerde onderzoekinstellingen, dreigen in eigen belang gekleurde resultaten een positieve ontwikkeling van MA- en CA technieken te dwarsbomen. Bij onderzoek in opdracht kan ook geheimhouding de informatievoorziening van de markt ernstig belemmeren.

11.3 Energiebesparing CA (gecorrigeerd) Stera 1993

Systemen

De lage drempelwaarden (>0.1 ppm) van ethyleen als autokatalytisch plantaardig rijpingshormoon vormen een lastig probleem voor meting en regeling. Als goedkope methode om ethyleen te verwijderen komt luchtverversing(ventilatie) in aanmerking, vooral omdat levende produkten voor de O₂ voorziening al geventileerd moeten worden. De buitenlucht is echter niet gegarandeerd vrij van het verbrandingsprodukt ethyleen.

Katalytische verbranding is een meer afdoende methode maar vereist een reactiebed met een bepaalde verblijftijd voor een redelijke reductie van de al lage ethyleen concentratie, dus een juiste dimensionering van reaktieruimte en doorstromingsnelheid.

Regeling

De luchtstroom voor verversing wordt vast ingesteld door schuiven of kleppen op basis van een schatting van de produktie en is afhankelijk van de drukverdeling rondom en in het laadruim. Dit kan in tropisch klimaat tot grote voelbare en latente warmtelast leiden. Aan een echte regeling wordt daarom hard gewerkt. Meting op een niveau van 10 ppm zijn echter technisch moeilijker dan de instelling van ventilatiekleppen. Toch schijnt een samenwerking tussen Nieuw Zeeland en Japan de oplossing een stap nader te hebben gebracht.

Produktkennis

Geheel aansluiten aan de MA/CA-problematiek is produktkennis een cruciaal probleem voor de beheersing van de ethyleenhuishouding van gevoelige produkten. Globale kennis is niet voldoende.

12.2 Ethyleenproduktie

Voor de juiste instelling en dimensionering van ethyleen verwijderende systemen moet de ethyleenproduktie van de lading in het praktische bereik van de gewenste omstandigheden bekend zijn. Dit is echter vaak niet uit wetenschappelijke onderzoekresultaten af te leiden.

Op alle terreinen blijkt de ontwikkeling van het gekonditioneerde transport als deelgebied van Algemeen Transport een volgreactie op die in belendende terreinen te zijn. Dit eist van de sektor permanente oplettendheid en onderscheidingsvermogen voor succesrijke ontwikkeling. Risicos door vertekende informatie zijn verre van denkbeeldig. Kapitaalverslindende ontwikkelingen blijken niet levensvatbaar of eindigen als zeer specifieke toepassingen. (Grumman/Dormavac, Klimatainer, Freshbox, Coda-E)

De kennis in de sector van de belangrijke interfaces met andere kennisgebieden, enkele zeer grote ondernemingen nauwelijks uitgezonderd, lijkt nogal zwak om aan de gestelde eisen van permanente oplettendheid te voldoen. Een centraal punt voor beschikbare kennis, passende infrastructuur en een daarop gerichte opleiding voor midden- en stafkader zou hierin verandering kunnen brengen. De vraag is of binnen het onder beheer van de agrarische organisaties lopende KKI/KKC ICES-project hiervoor ruimte wordt gemaakt.

Ontwerp- en bedrijfsproblemen

Knelpunten	Ontwerp	Bedrijf
Kondities	PVE	produktkennis
Temperatuur	proceskennis	proceskennis
Vochtigheid	produktkennis	interactie
Atmosfeer	interactie	
Tijd	PVE	gemidd. snelheid
	energiebron	wachttijden
	onderhoud	rijtijden
		onderhoud
Communicatie	opdrachtgever	eigenaar
	fabrikant	verlader
	gebruiker	vervoerder

Conclusie

(Geconditioneerd) transport ontwikkeld in het kielzog van belendende terreinen:

"Schepen" zeilen dan wel misschien niet op de wind van gisteren, maar zeker varen zij met de zeilen van gisteren !

REKENMODELLEN VOOR HET SIMULEREN VAN TEMPERATUUR EN VOCHTGEHALTE IN PRODUKTEN BIJ VERSCHILLENDE KLIMAATKONDITIONS

ir. S.M. van der Sluis, TNO - ME

Bij het opstellen van klimaateisen voor de gekoelde ruimte, dienen de (lucht)kondities opgesteld te worden vanuit de eisen die het af te koelen of te bewaren produkt stelt. Door TNO is een "familie" thermische modellen ontwikkeld, die de invloed van het klimaat - en klimaatwisselingen - op temperatuur, vochtverlies en vochthuishouding in het produkt simuleren. Het BERTIX model is uitgebreid toegepast voor het beperken van vochtverliezen tijdens het koelen en bewaren van (varkens-, kalver en kuiken-) karkassen. Het BAKTIX model wordt momenteel toegepast voor de thermische simulatie van brood- en banketprodukten tijdens koelen, vriezen en opslag. Naast temperatuur (cq. afkoeltijden en vriestijden) en vochtverlies, geeft BAKTIX ook informatie over de interne vochthuishouding in de produkten, die belangrijk is voor de kwaliteit van deze klasse produkten.

De thermische modellen zijn, in tegenstelling tot de meer eenvoudige berekeningswijzen, in staat het gedrag te simuleren van produkten die samengesteld zijn uit meerdere bestanddelen, onder wisselende klimaatomstandigheden.

De modellen kunnen worden toegepast voor verschillende doeleinden:

- doorrekenen varianten uitgaande van een bestaand produkt/proces
- simulatie van de invloed op een bepaald produkt van een "koelproces op de tekentafel"
- simulatie van de uitwerking van een bestaand koelproces op een "produkt in ontwikkeling".

Rekenmodellen voor koelen en vriezen van voedingsprodukten

TNO Milieu- en
Energietechnologie
Afdeling Warmte- en
Koudetechniek

Nederlandse Organisatie
voor toegepast-
natuurwetenschappelijk
onderzoek TNO

Documentatieblad 2508

Het koelen en vriezen van produkten stelt de producent voor vragen op het gebied van logistiek en produktkwaliteit. De koeltechnische leverancier staat voor het probleem een ontwerp te maken, terwijl hij vaak niet bekend is met het koel- en vriesgedrag van de (steeds complexer wordende) produkten.

Eenvoudige koel- en vriestijdberekeningen geven geen antwoord op deze vragen; TNO biedt hiervoor een oplossing met een PC-programma dat reeds in verschillende bedrijfstakken met succes is toegepast.

TNO heeft in samenwerking met een aantal bedrijven een computerprogramma ontwikkeld voor de berekening van het temperatuur- en vochtverloop in voedingsprodukten bij het koelen en vriezen.

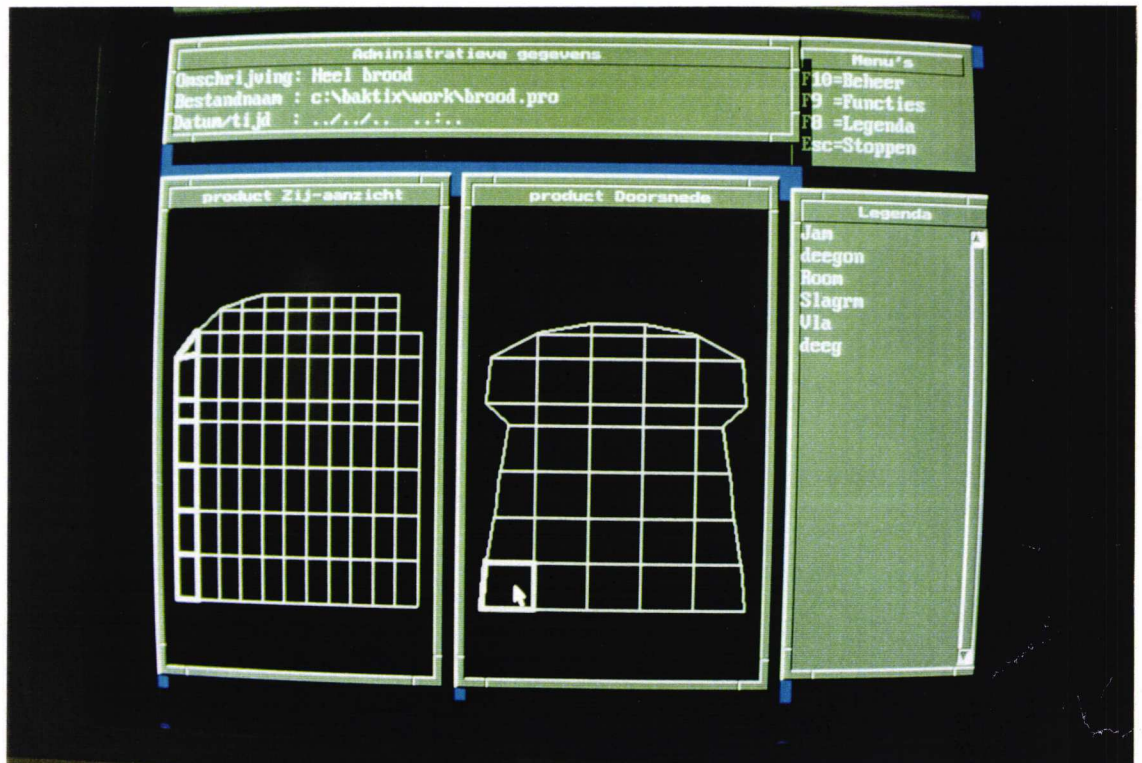
- Naast intern warmtetransport wordt ook intern vochttransport gemodelleerd. Vochtgehalte en vochtverdeling spelen een grote rol bij de kwaliteit van produkten.
- In het rekenmodel zijn fase-overgangen met een vriestraject gemodelleerd.

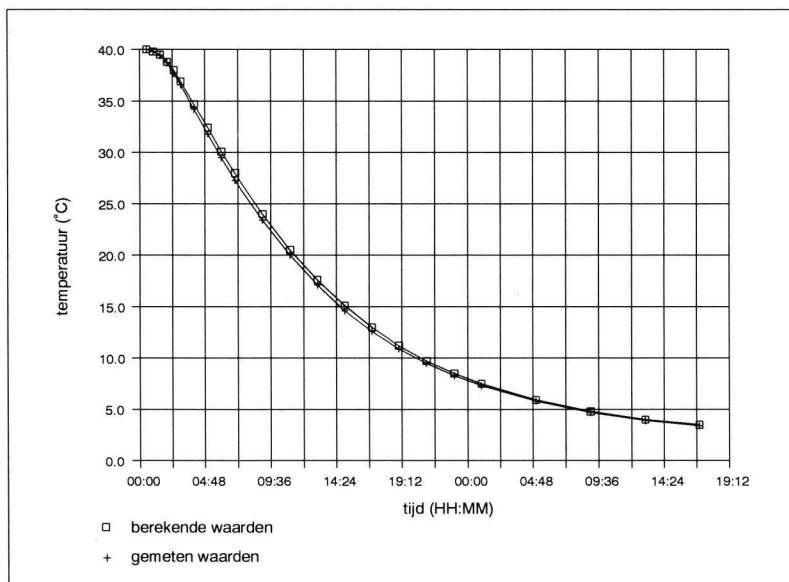
- De temperatuurafhankelijkheid van de stofwaarden is opgenomen in het programma.
- Naast interne warmtegeleiding wordt ook het warmtetransport door het 'evaporation-condensation' proces (in vochtige poreuze stoffen) berekend.

Het resulterende gebruikersvriendelijke PC-programma biedt de gebruikers de volgende mogelijkheden:

- berekening van koel- en vriestijden;
- berekening van vochtverlies;
- berekening van de benodigde koelcapaciteit;
- uitvoer tabellen en grafieken van:
 - temperaturen op te kiezen posities;
 - vochtgehalten op te kiezen posities;
 - warmte-afgifte in de loop van de tijd;
 - minimum-, maximum en gemiddelde temperatuur.

De gebruiker kan zelf het koel- of vriesproces opgeven (temperatuur, luchtsnelheid, duur etc.). Indien gewenst kan het proces uit een aantal fasen (met verschillende temperatuur) worden opgebouwd.





Vergelijking berekende en gemeten temperaturen

Informatie over
werkgebieden van TNO:
TNO-Infodesk
Postbus 6050
2600 JA Delft
Telefoon: 015 - 69 69 69
Fax: 015 - 61 24 03
E-mail: infodesk@tno.nl

juni 1995

Produktgroepen

Voor verschillende produktgroepen bestaan aparte programma's. Zo is voor de slachterij-sector het 'Bertix'-programma ontwikkeld en voor de brood- en banketbakkerijsector het 'Baktix'-programma. Deze programma's zijn tot stand gekomen in nauwe samenwerking met bedrijven uit de branche zoals het hier-naast vermelde Baktix-collectief.

TNO gaat door met het uitbreiden van de 'familie' programma's naar nieuwe produktgroepen, zoals bijvoorbeeld visserijprodukten. Daarbij hoeft niet uitsluitend aan voedingsmiddelen te worden gedacht; met het programma zijn bijvoorbeeld ook ontwerpen van kunstijsbanen doorgerekend.

Omdat TNO een 'contract research organisatie' is, wordt de keuze voor nieuwe toepassingsgebieden of produktgroepen bepaald door de vraag uit de markt.

Daarbij geeft TNO deskundig advies omtrent de mogelijkheden voor toepassing van het programma op het betreffende gebied.

Het Baktix-collectief

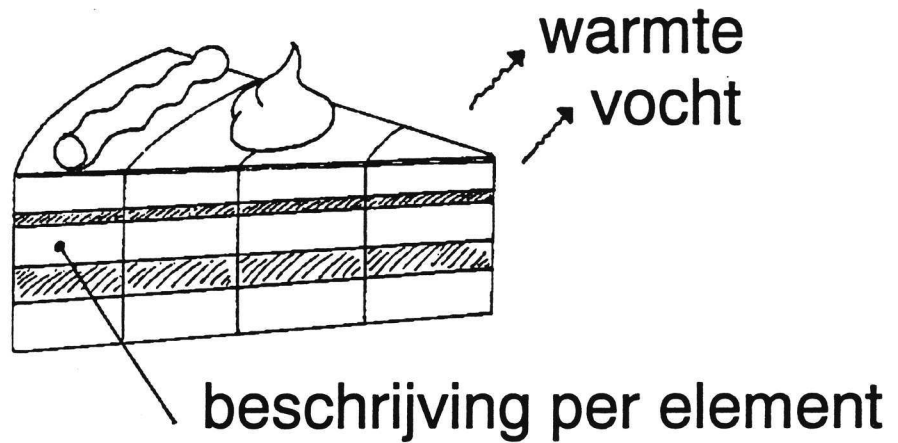
ALBRO bakkerijen B.V.
Bakker Welten B.V.
Bakkerij ENPÉ
Bakkerij Erkens
Bakkerij Roggy B.V.
Electrolux Bedrijfskoeling B.V.
ESKO Koeltechniek B.V.
Grenco B.V.
HEMA Bakkerijen B.V.
Post Koudetechniek B.V.
Smarius Bakkerij B.V.
Unilever Research Laboratorium
Van Buuren-Van Swaay B.V.

Voor meer informatie

TNO Milieu- en Energietechnologie
Afdeling Warmte- en Koudetechniek
Ir. S.M. van der Sluis
Postbus 342
7300 AH Apeldoorn
Telefoon: 055 - 49 38 01
Fax: 055 - 49 37 40

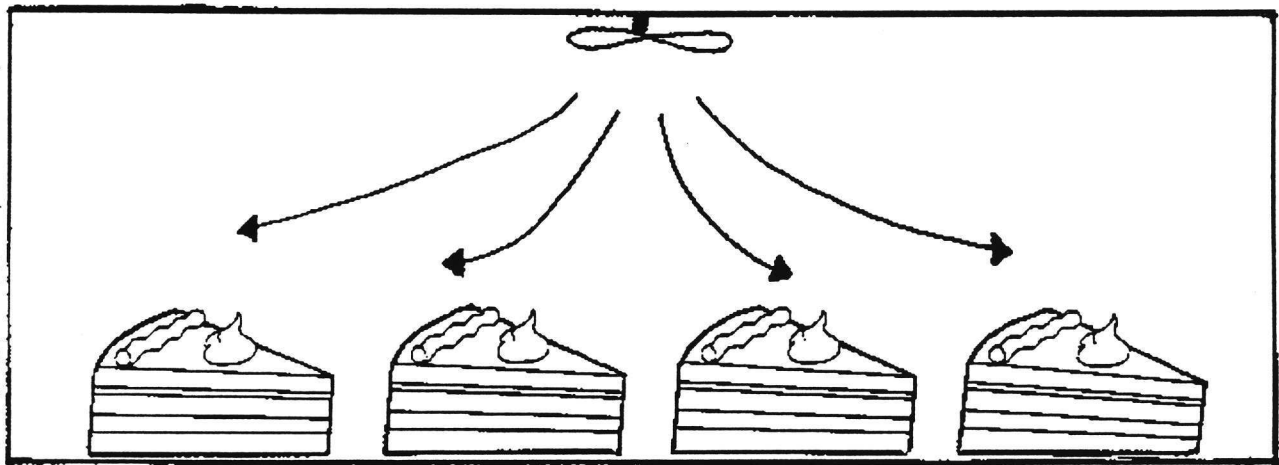
BAKTIX

1 Thermisch



2 Stroming

Stromingsverdeling in koel/vriesruimte



BAKTIX

○ WAT DOET HET PROGRAMMA?

HET BEREKENEN VAN:

- TEMPERATUUR VERDELING
- VOCHT VERDELING

BROOD- OF BANKETPRODUKT.

KOELTRAJECT, VRIESTRAJECT,
BEWAARTRAJECT

- COMPLEXE GEOMETRIEEN
- SAMENGESTELDE PRODUKTEN

○ HOE WERD DIT VOORHEEN GEDAAN?

TEMPERATUUR:

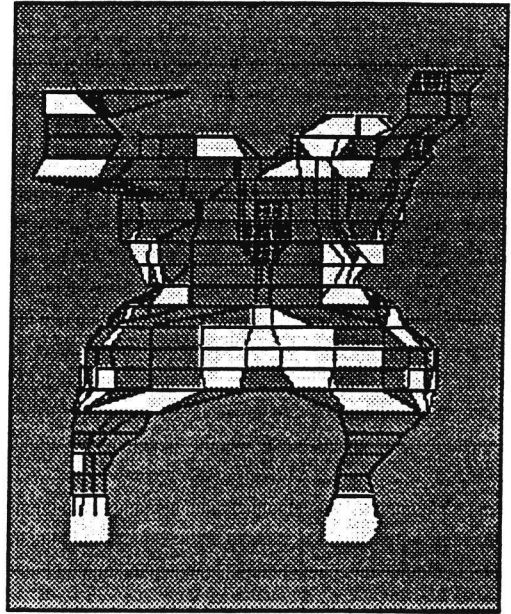
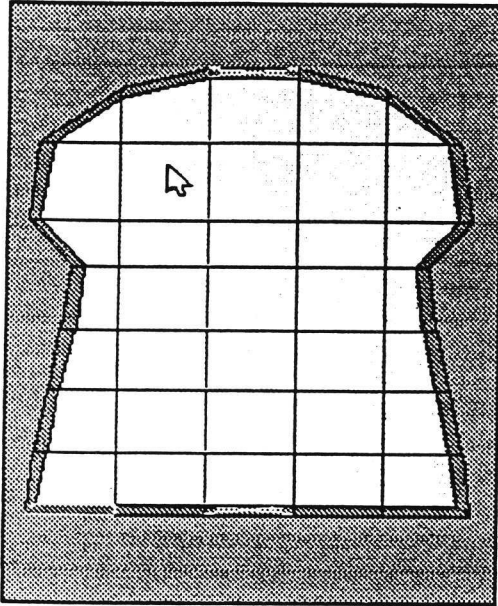
- EENVOUDIGE GEOMETRIE
- NIET-SAMENGESTELDE PRODUKTEN

VOCHT: WERD NIET GEDAAN

BAKTIX / BERTIX :
PROGRAMMA - STRUCTUUR

DATABASE (THERMOFYSISCH)

PRODUKT-MODELLEN



REKENKERN

OUTPUT

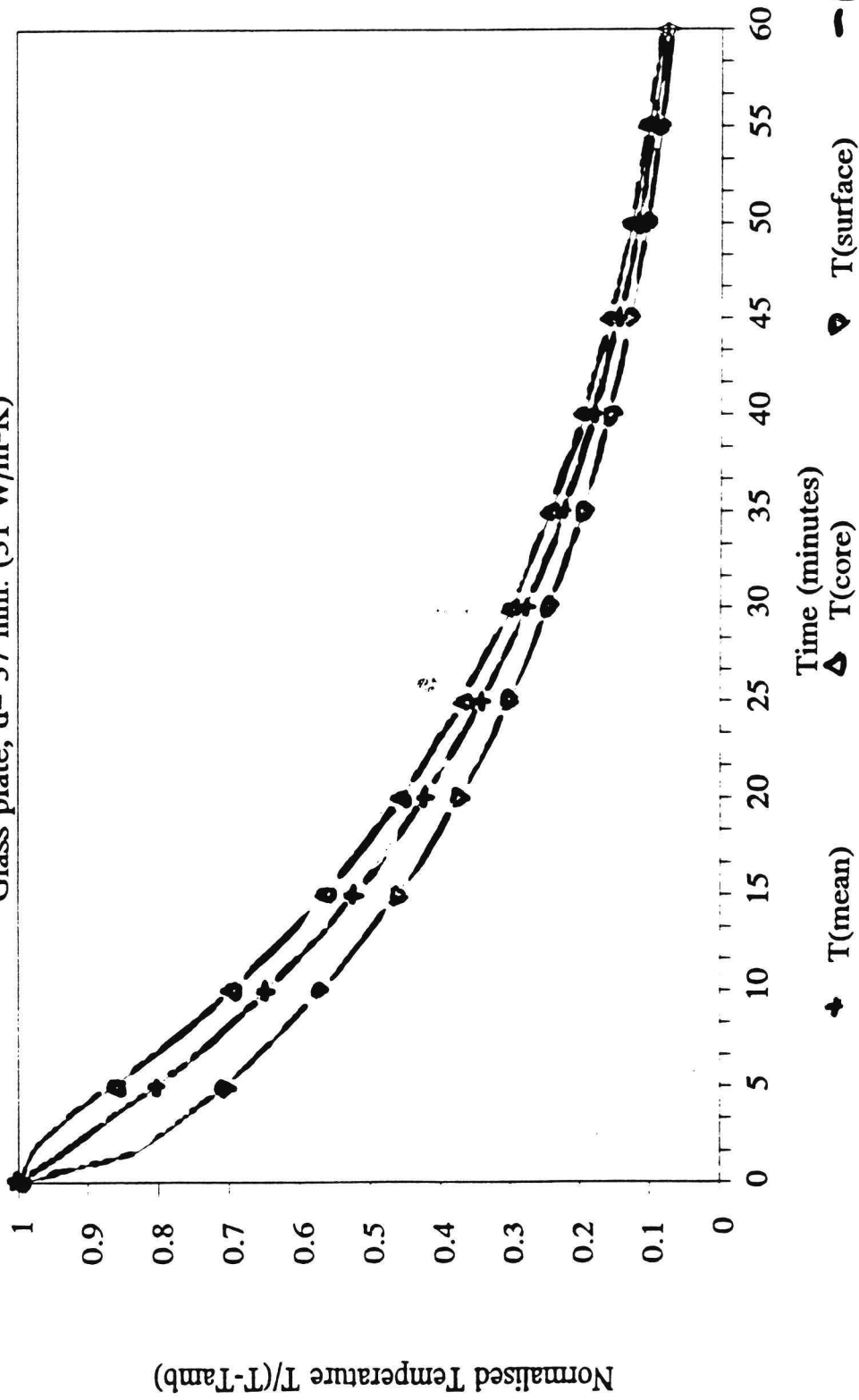
PROCESDEFINITIE

TEMPERATUUR
REL. VOCHTIGHEID
LUCHTSNELHEID

(10 FASEN)

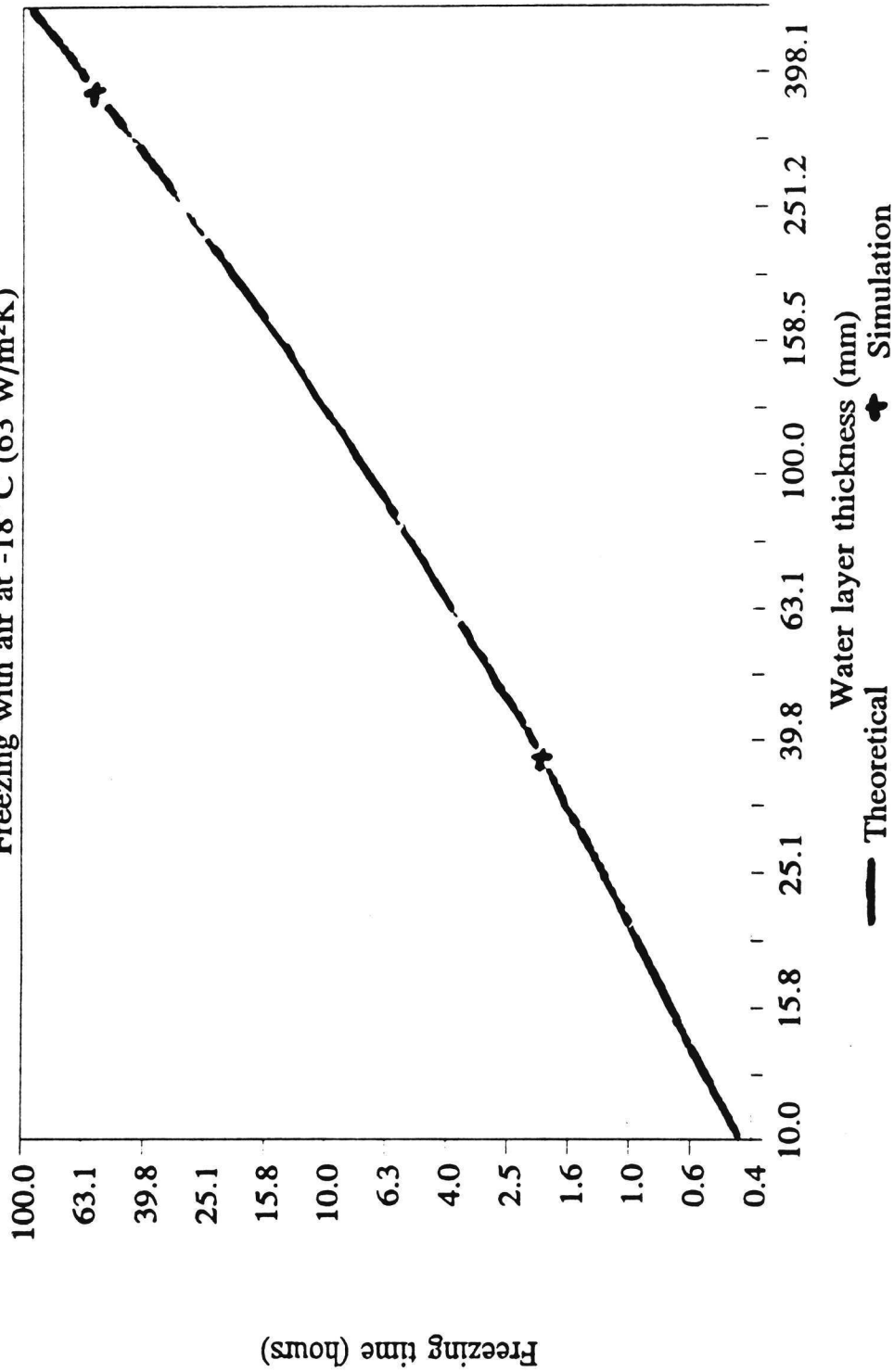
Cooling of inf. flat plate, $Bi = 0.5$

Glass plate, $d = 37$ mm. (31 W/m²K)

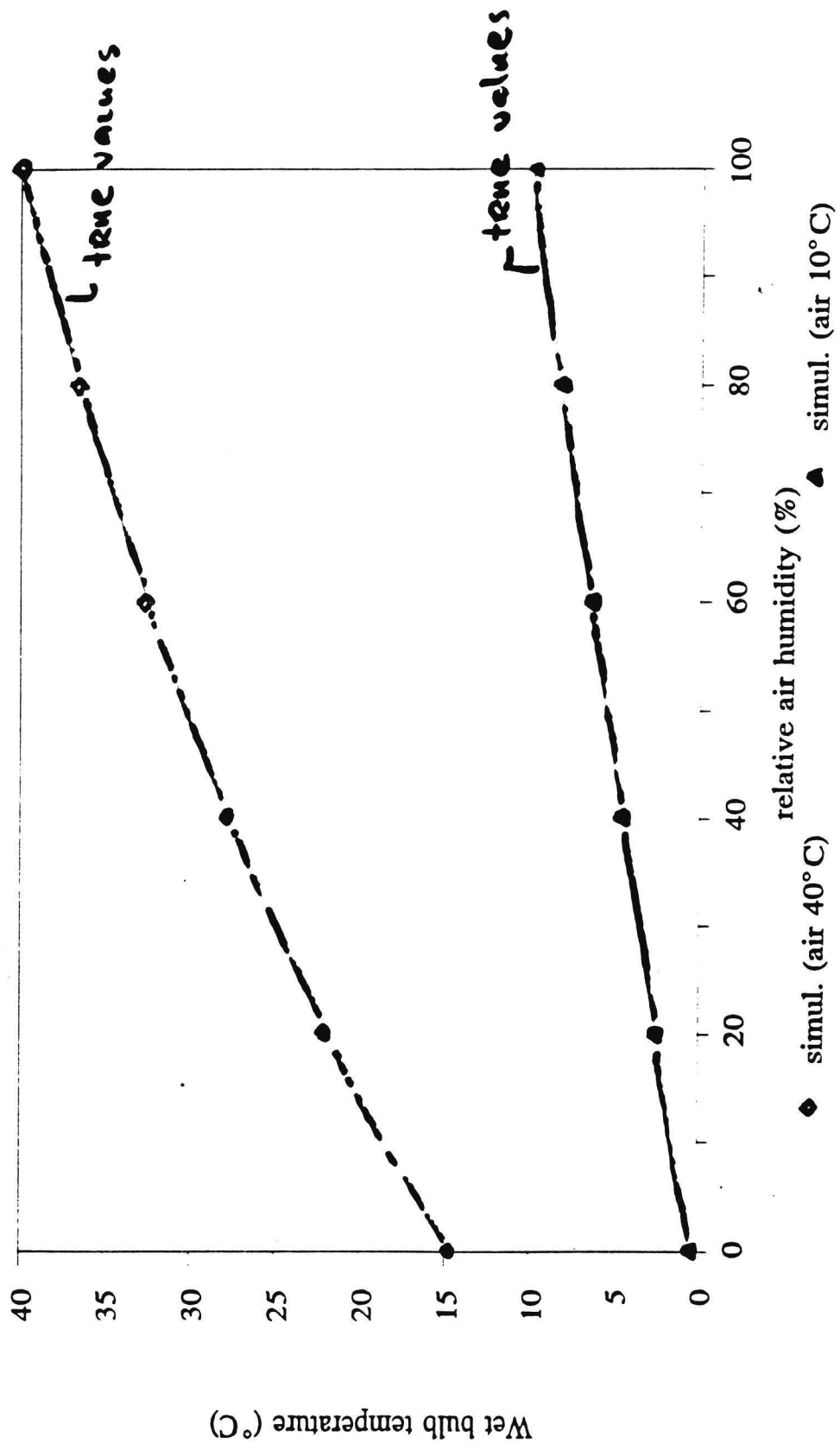


Freezing time of pure water

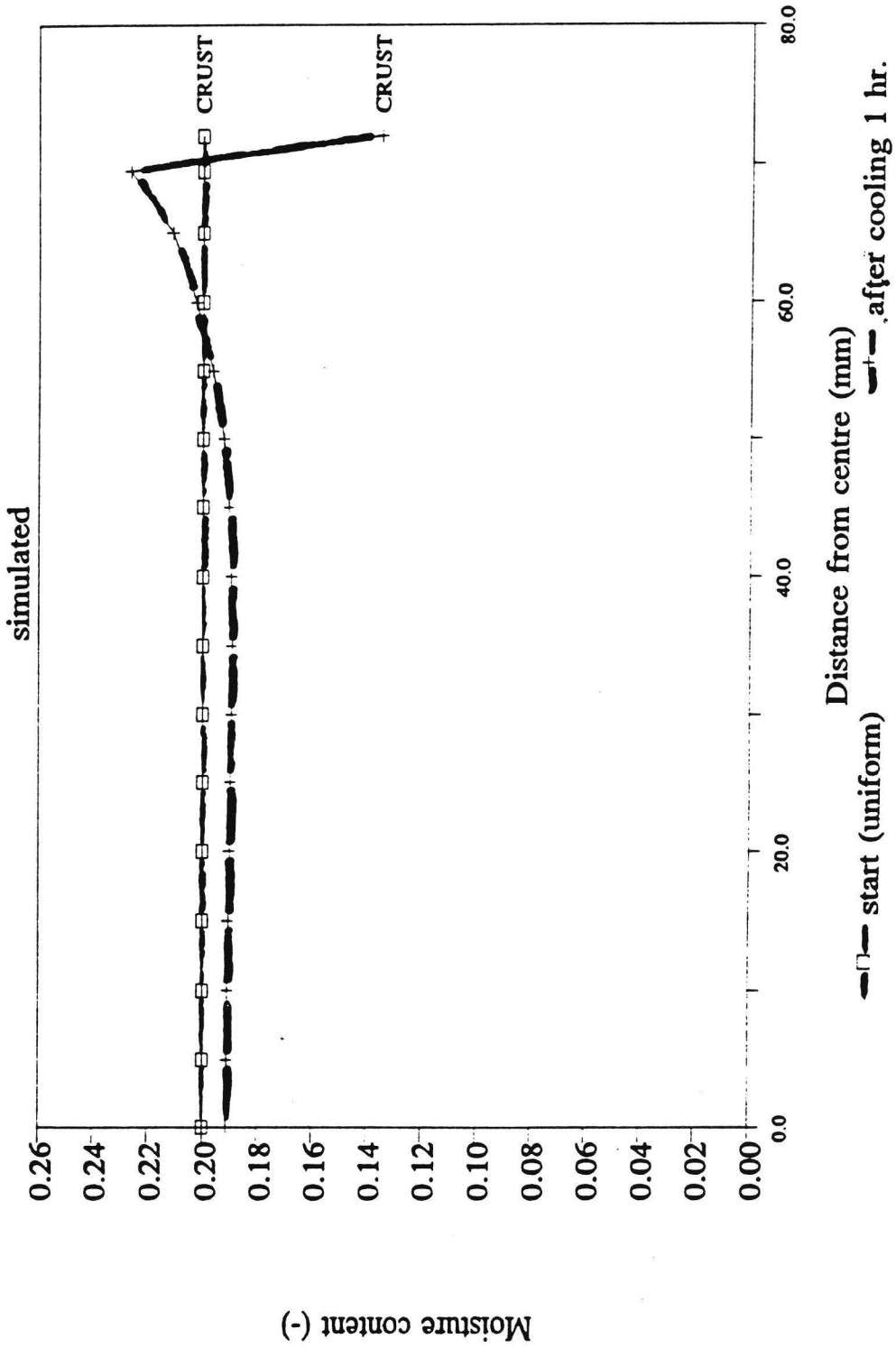
Freezing with air at -18°C ($63\text{ W/m}^2\text{K}$)



WET BULB TEMPERATURES



Moisture content profile (bread)



BERTIX / BAKTIX

DE "WAARDE" VAN DE RESULTATEN

- VOCHTVERLIEZEN
(SLACHTERIJEN: VOCHT = GELD)
- KOELTIJDEN & VRIESTIJDEN
(PROCES-OPTIMALISATIE)
- VOCHTGEHALTES
(BAKKERIJEN: KWALITEIT)
- KIEMGETAL (toekomstig)

- * OPTIMALISATIE PROCESSEN
(TIJD / KWALITEIT / ENERGIE)
- * ONTWERP (KOEL) PROCESSEN
(PRODUKTKENNIS 'IN HUIS')
- * "ONTWERP" PRODUCTEN
(GEDRAG BIJ KOELLEN/VRIEZEN)
- * PROCESBESTURING (toekomstig)

GEBRUIKERS:

- VOEDINGSMIDDELENSECTOR
- KOELTECHNISCH

ONTWIKKELINGEN:

BERTIX; BAKTIX; VISTIX;

DE REKENMETHODE LEENT ZICH VOOR
ALGEMEEN GEBRUIK BIJ WARMTE- EN
STOFOVERDRACHT IN PRODUCTEN.

HET PROGRAMMA WORDT "SPECIFIEK"
GEMAAKT DOOR DE INBOUW VAN
PRODUKT-MODELLEN EN TYPISCHE
THERMOFYSISCHE GEGEVENS

1990 - 1992: BERTIX; ADVIEZEN

1993 - 1994: BAKTIX; G.M.

1995 - : BERTIX; G.M.

1995 - : VISTIX (EC)

MOGELIJKHEDEN:

IJSBAANBEREKENINGEN
(TOEGEPAST IN GRONINGEN)

HUMANTIX
(VOORSTEL GERECHTELIJK LAB.)

BODEMTIX
(VOORSTEL ONDERGRONDS BOUWEN)

- VOEDINGSMIDDELEN -

CONCLUSIE: MOGELIJKHEDEN TE OVER

HYGIËNISCH ONTWERPEN VAN VOEDINGSMIDDELENFABRIEKEN

ir. C.J.A. Cieremans, ex-Unilever, Nieuw Beijerland

Door snelle analysemethoden kunnen bacteriologische problemen met voedingsmiddelen tegenwoordig vroegtijdig worden gesignaleerd. Deze snellere detectie veroorzaakte in de industrie een aantal kostbare problemen.

Als gevolg hiervan zijn de opvattingen over de bouw en het gebruik van voedingsmiddelenfabrieken en de daarin gebruikte apparatuur ingrijpend aan het veranderen. De voordracht gaat in op de vragen:

- * Hoe komt iemand in een fabriek zonder de buiten alom aanwezige bacteriën binnen de fabricage-omgeving te brengen en zo al gepasteuriseerd produkt opnieuw te verontreinigen.
- * Hoe komt bijv. gepalletiseerd verpakkingsmateriaal bij het produkt zonder aanhangend vuil en ongewenste 'bezoekers' binnen te brengen.
- * Hoe zijn door een goed ontwerp van een gebouw en de servicesystemen (elektrische bedrading, waterleidingen, lucht- verversing, koeling, reinigingssysteem en riolering) problemen te minimaliseren.
- * Hoe is door een goed ontwerp van de apparatuur en het gebouw reiniging doeltreffend en snel uit te voeren en met lage frekwenties.
- * Zijn er methoden om herinfectie van gepasteuriseerd en gereed produkt zo gering mogelijk te maken.

De integratie van deze aspecten is van belang en het gedrag van productiepersoneel is van groot belang.

A. De uitdaging

Voeding wordt gewoon thuis in de keuken bereid. Convenience, bij de voedselbereiding wint echter terrein. Dit komt neer op het fabrieksmatig bereiden van voedingsmiddelen. Als het bereiden van voedingsmiddelen gewoon thuis kan, waarom is dan het bereiden van voedsel in een fabriek een uitdaging?

De belangrijkste aspecten en elementen zijn:

1. Verantwoording.
Voor kwaliteit en microbacteriële kwaliteit voor een groot publiek. Kwaliteit belichaamt door "brands".
2. Opleiding.
Er zijn velen bij de produktie betrokken, die allen op basis van "good husbandry" mee moeten werken.
3. Schaal van produktie en omvang van de fabriekskeuken
De schaal vergroting voltrekt zich vaak via grote potten en pannen, het groot keukenbedrijf naar nieuwe apparatuur in een slechts ten dele aangepaste "keuken".

In het volgende wordt op die aspecten ingegaan:

Kwaliteit

Centraal bij die uitdaging is de organoleptische kwaliteit, waarover de klant beslist. Microbacteriële kwaliteit ligt anders. Er zijn vele problemen bekend en oplosbaar, er zijn er ook die nog echte uitdagingen vormen voor de grootschalige fabricage van sommige voedingsmiddelen, veroorzaakt door bijvoorbeeld bacillus cereus en bacteria listeria monocytogenes.

De uitdaging, die bacteria listeria monocytogenes vormt wordt in het bijzonder in het navolgende besproken.

Analytische methoden worden sneller. Die snelheid is essentieel: de arts kan "aantonen" dat een patiënt ziek werd van een produkt. De overheid kan die bewering staven via onderzoek. De fabrikant weet dan dat er iets gebeuren moet. Dit proces werkt niet met een analyse methode die 4 weken tijd vraagt.

- Die snellere analyse methode maakte het voor Carnation USA noodzakelijk om ijsbonbons van de markt te halen (kosten 70 miljoen \$). Nestlé, tot wie Carnation USA behoort, bouwde daarop een nieuwe ijsfabriek.
- Marks en Spencer, succesvol verkoper van gekoelde kant en klaar maaltijden zag dit marktsegment zeer onder druk komen door negatieve publiciteit, verband houdend met de bacteriële risico's
- Na een Zwitserse Vacherin - Mont d'Or epidemie in '87, overleden tussen 1990 en 1993 ondanks genomen maatregelen 32 mensen aan listeriosis, voornamelijk door zachte kaas en melk. Zie bijlage 0.

Bacteria listeria monocytogenes heeft specifieke karakteristieken:

- Bacteria listeria monocytogenes heeft een mortaliteitskans van 30% voor YPIES, the Young, the Pregnant, the Immunity affected, the Elderly and the Sick.

Personeel

Bij de opleiding en training van personeel is de kennis van complexer wordende machines met hun vaak hoge kosten en grote productstromen van groot belang. De instelling ten aanzien van bacteriologische aspecten heeft vaak onvoldoende aandacht gekregen. Produkt wat op de grond valt wordt nog steeds vaak weggespoten met water. Daarin voelt listeria zich wel. De informatie van personeel over bacteriologische resultaten laat vaak te wensen over.

Gebouwen en apparatuur

De overgang van potten en pannen produktie methoden naar moderne proces apparatuur is zeer geleidelijk verlopen en in de regel in de gebouwen waar de eerste fabricage begon. Die gebouwen zijn in veel gevallen niet meer geschikt om de condities te creëren waarmee de bacteriologische kwaliteit kan worden bereikt.

Ook de kennis ten aanzien van het ontwerpen van apparaten, die goed te reinigen zijn, laat nog veel te wensen over.

B. Een oplossing

Het proces

Analyse van het proces is nodig.

- Wat zijn de grondstoffen, welk verpakkingsmateriaal wordt gebruikt, welke bacteriologische risico's bestaan.
- Waar vindt pasteurisatie/sterilisatie plaats en waar kan reïnfectie plaats vinden, voordat het produkt door verpakking wordt beschermd.
- Maak een scheiding tussen de verschillende delen van het proces in:
 - Een schoon proces deel (grondstoffen, verpakking)
 - Een "ultra schoon" proces deel (waar reïnfectie kan plaats vinden; inclusief primaire verpakking)
 - Het resterende proces

Het gebouw

- Ontwerp een gebouw onder overdruk
- Maak scheidingen tussen de delen waar het "ultra schone" proces moet plaats vinden en andere delen: schoon en normaal.
Creer een overdrukgradient van ultra schoon naar schoon/normaal
- Creër eenduidige toegangen voor het personeel voor ieder van de proces gebieden en ook voor de daar benodigde grondstoffen en verpakkingsmaterialen
- Breng leidingen voor alle "services" aan bijvoorbeeld boven een vals plafond. of anders in een kelder (dit laatste is lastig vanwege waterdichte doorgangen). Beperk het aantal doorgangen naar de apparatuur.
- Zorg voor een uitstekende vloer (géén epoxy) met op de draagvloer verlijmde tegels en een rioleringsysteem met roestvrijstalen pijpen (AISI 316) en "hoge hoed" afdekkingen.

De conditioneringsinstallatie

Bacteria *listeria monocytogenes* vindt vocht fijn en vermeerderd zich bij hogere temperaturen sneller. Een conditioneringsinstallatie heeft dus als taak om lucht te filteren, te koelen en vochtigheid te reduceren. In de ultra schone ruimte is filtratie gewenst volgens "class 10.000" (BS5 295), een temperatuur tussen 12 en 18°C en een relatieve vochtigheid tussen 50 en 55%.

De keuze van die temperatuur is gerelateerd aan de groeisnelheid van *bacteria listeria monocytogenes* (appendix 7). Het is een compromis tussen de bacterioloog en de productiemanager. De leidingen voor AC liggen in het valse plafond (niet in de productie hal) en zijn reinigbaar!

Een combinatie van hoge inblaasopeningen en een lokale "hood" is een goede mogelijkheid (appendix 5). Het maakt nog betere luchtkwaliteiten ter plaatse van een "riskante" operatie mogelijk

De apparatuur

Ten aanzien van de bacteriologische kwaliteiten worden aan machines eisen gesteld, waaraan ze veelal nog niet voldoen.

1. Vuilresten/stof/condens moet zich niet kunnen verzamelen en eenvoudig weg te halen zijn. Dit vraagt om bereikbaarheid en aflopende vlakken. De voeding voor bacterien moet weg !
2. Bij de daarop volgende reinigingen moet het oppervlak van bacteriën ontdaan worden en droog worden. Gladde oppervlakten die warmte dan wel reinigingsmiddelen dan wel bactericiden kunnen weerstaan. Vaak dus rvst AISI 316

Enkele voorbeelden:

- Werktuigbouwers willen alleen maar haakse vlakken.
- Een leiding waarop zich condensatie verzameld moet geïsoleerd, maar moet reinigbaar zijn. Een goede methode is vacuüm isolatie met om roestvrij stalen leidingen gelaste roestvrij stalen, geevacueerde mantels.
- Veel ruimten moeten worden gekoeld worden tot 3°C. Uiteraard met verdamper, maar die moeten wel verstandig worden opgesteld

C. Gebruik van bovengenoemde voorzieningen/ideeën

Er zijn hiervoor elementen getoond, die in de praktijk gebruikt moeten worden. Dit stelt eisen aan management, personeel, leveranciers van ingrediënten en verpakkingsmateriaal. Enkele opmerkingen daarover, zeer globaal, alsmede over reiniging en bestaande gebouwen (Zie ook sheet 6).

- *Management*

Moet voor training zorgen, voor informatie over bacteriologische resultaten, voor de het personeel in de ultra schone, schone en normale delen van de fabriek. Ook de juiste voorzieningen zijn door hen te voorzien (kleding, laarzen, "wipes") Er is een aan de voedingsmiddelen fabricage aangepaste organisatie nodig. Ook heeft het management een voorbeeld functie. Ruimtes moeten naar categorie gecodeerd worden.

- *Personeel*

Met name het personeel in de ultra schone ruimte trekt in kledruimtes bovenkleding uit, inclusief schoenen, en steekt bijvoorbeeld een bank over naar de schone ruimte, trekt schone fabriekskleding en laarzen aan, passeert een handen-was station en een voetbad.

Laboratoriumpersoneel heeft geen vrij toegang meer tot de ultra schone ruimte maar krijgt van het fabriekspersoneel daar de gewenste monsters.

Technici hebben alleen toegang via de kledruimtes en de voor de desbetreffende ruimte geldende regels en kleding.

Er wordt naar de technische ruimte boven plafond of in de kelder een afzonderlijke technische toegang gecreëerd.

- *Ingrediënten en verpakkingsmateriaal*

Er moet een indeling gemaakt worden naar het gebruik van de ingrediënten / het verpakkingsmateriaal, rekening houdend met de gebieden van het proces / bacteriologische kwaliteit waarvoor de betreffende ingrediënten/verpakkingsmateriaal nodig zijn. Deze zullen voor een deel gepalettiseerd worden aangeleverd.

Om nu, als voorbeeld, primair verpakkingsmateriaal, (dat in contact komt met het produkt) in de ultra schone ruimte te krijgen is de volgende procedure een mogelijkheid:

Een pallet, met daarop het primaire verpakkingsmateriaal, met folie omwikkeld, wordt naar een overgangspositie in de opslagruimte gebracht en op een kiepinstallatie gezet. De folie wordt weggehaald, een "ultra schone pallet" wordt op de verpakking gelegd. Het geheel wordt omgekiept, de "vuile" pallet wordt weggehaald.

Een "schone" vorktruc brengt het primaire verpakkingsmateriaal naar de ultra schone ruimte, echter slechts zoveel als nodig is voor reiniging begint.

- *Reiniging*

De gewoonte uit de melkfabricage om met water alle produkt, dat niet in de verpakking hoort weg te spoelen is usance in de levensmiddelen industrie. Het is echter geen goede gewoonte. Veel beter is zo snel mogelijk, gericht, georganiseerd opvangen, eventueel ook met "wipes" resten weg te halen.

Reiniging heeft alleen zin na volledig weghalen van resten. Dat vraagt gladde oppervlakken. Daarna volstaat een warme spoeling (vet, proteïnen) en een hete reiniging met een wasmiddel. In moeilijke gevallen is sanitation door "foam" of "gel" reiniging dan wel door "fogging" vereist (dit laatste voor inadequaat ontworpen apparatuur).

Aandacht voor goede water kwaliteit is essentieel, anders ontstaat uit het watersysteem Caneerslag. Gladde oppervlakten in CIP systemen worden ruw en vuil blijft hangen. Reiniging maakt gebruik van roestvrijstaal. Gebruik van roestvrij staal type AIST 316 is veeleal essentieel. Het gebruik van bactericiden in "fogging" toepassingen kan problemen in aerobe en anaerobe afvalwaterinstallaties veroorzaken.

Instructie van personeel ook in verband met veiligheid is essentieel.

- *Bestaande gebouwen*

Het creëren van een juiste omgeving (overdruk, luchtkwaliteit, services, vloeren, riolen, reinigbare apparatuur) is essentieel. Bij oudere gebouwen is dit moeilijk, soms haast onmogelijk en in ieder geval duur. Veel van de voedingsmiddelen fabrieken met name in het "melk" gebied zijn oud, liggen bovendien dicht bij centra van dorpen en zijn nauwelijks met goede produktiehallen uit te breiden.

D. Conclusie

Voedingsmiddelen fabricage in de fabriek stelt hoge eisen aan organisatie van de productie, aan de gebruikte grondstoffen en verpakkingsmiddelen, aan de apparatuur en zeker aan de inrichting van de produktiehallen.

Tot op zekere hoogte zijn compromissen mogelijk, maar de eisen die dan aan de leveranciers van grondstoffen en apparatuur worden gesteld worden hoger, evenals die aan het gebouw.

Bovendien moet produktie- en laboratorium personeel en het management veel zorg hebben voor goede bacteriologische kwaliteit. Dit vergt continu hoge niveaus van training en aandacht.

Het creëren van een omgeving met behulp van een goed gebruik van koude helpt bijzonder veel om de uitdaging van grootschalige fabrieksmatige productie van veilig "convenience food" van hoge kwaliteit mogelijk te maken voor een groeiende markt.

SAMENVATTING EN CONCLUSIES

prof.ir. H. van der Ree, TU Delft

Goede koelprocessen zijn slechts te realiseren door middel van een goed luchtcirculatiesysteem. Aan de klimaatbeheersing rond produkten worden steeds hogere eisen gesteld. Dit vloeit in de eerste plaats voort uit de toenemende eisen die de consument stelt aan de kwaliteit van produkten. Ging het vroeger bij bederfelijke produkten om het beperken van bacteriële groei, tegenwoordig spelen ook de smaak, consistentie en image een grote rol. Ook de nieuwere inzichten over gezondheidsschadelijke bacteriën, die gedijen bij de lage temperaturen, welke voorheen als veilig werden beschouwd, oefenen grote invloed uit op de vormgeving van de klimaatapparatuur.

Produkten worden collectief bewerkt en opgeslagen. Deze collectiviteit impliceert een spreiding van de klimaatparameters en dus een spreiding in de uiteindelijke produktkwaliteit. De toleranties, die worden toegestaan, hangen af van de aard van de produkten en met name van de prijs ervan. Het is een economische afweging. De hoogwaardige klimaatbeheersing in kaaspakhuizen is een voorbeeld van een bewaarproces met een zeer hoge systeemgelijkmatigheid, waarbij de klimaatbeheersing per kaas bijna individueel is.

In de laatste decennia is er een sterke ontwikkeling geweest van rekenmethodes op basis van eindige elementen of differenties. Door de voortgaande capaciteitstoename van computers schuiven de grenzen voortdurend op. Een andere kenmerkende ontwikkeling is de koppeling van op deze leest geschoeide modellen voor de luchtstroming rond produkten en de fysische transportprocessen in de produkten. Behalve het warmtetransport kan zodoende ook de vochtinhouding van produkten in ingewikkelde configuraties worden beschreven. Voor deze geavanceerde methoden moet wel een prijs worden betaald. Het werken ermee en het interpreteren van de uitkomsten is een specialisme, dat een behoorlijke investering vergt. Ook is het, vergeleken met analytische werkwijzen, moeilijker om de procedures te volgen, en te taxeren hoe valide de resultaten zijn.

Vandaar dat de meer eenvoudige modelleringen en oplossingsmethoden langs analytische weg met korte rekentijd hun bestaansrecht niet hebben verloren. Zeker voor het snel bekijken van alternatieven in de ontwerpfase van ruimten en installaties, worden deze modellen veel toegepast.

Wetenschappelijke analyse en moderne rekenmethodes kunnen leiden tot een betere procesvoering en apparatuur, zoals blijkt uit het promotieonderzoek over het klassieke proces van het afkoelen van slachtkuikens. Ook hier zien wij overigens als één van de uitvoeringsvarianten het met gekoelde lucht individueel aanblazen van de kuikens.

Bij het geconditioneerde transport zijn er bijzondere problemen die te maken hebben met wetgeving, standaardisatie van modulaire eenheden, kennisoverdracht en economische druk. De klimaatbeheersing in vrachtwagens en containers is, mede in relatie tot het energieverbruik van de koelaggregaten, verre van optimaal. Desalniettemin kent de marktsector geen hoge prioriteit toe aan onderzoek en ontwikkeling op dit vlak.

Behalve voor het kwaliteitsaspect m.b.t. de produkten zal het energieverbruik van klimaatbeheersingssystemen een drijfveer zijn voor onderzoek en ontwikkeling. Overmatige luchtcirculatie, grote luchtweerstand en ventilatoren met een laag rendement moeten in dit verband worden teruggedrongen. De opmars van 'intelligente' regel- en monitoringsystemen markeert een belangrijke route naar een betere situatie m.b.t. kwaliteit en economie.

Deze themadag heeft laten zien dat de klimaatbeheersing in produktpartijen uiteenlopende uitvoeringen kent. Het is ongetwijfeld nuttig geweest om waar te nemen welke oplossingen in andere sectoren ontwikkeld zijn. Tevens is naar voren gekomen dat de rekenmethoden om het systeemgedrag te voorspellen, breed toepasbaar zijn. Juist dit grensoverschrijdende karakter blijkt zeer profijtelijk. Aan de kennisuitwisseling met dit doel heeft deze themadag willen bijdragen.

Samenstelling verslag:

Arie H. Visser
Technische Universiteit Delft
Laboratorium voor Koudetechniek en Klimaatregeling
Mekelweg 2
2628 CD Delft
tel : (015) 278 6977
fax : (015) 278 7204
e-mail ArieHVisser@WbMT.TU Delft.NL

LIJST VAN DEELNEMERS

Barnas, W.	FOCWA
Beek, G. van	DLO
Berg, prof.ir. M.G. van den	Landbouw Universiteit Wageningen
Bloois, C. de	Bloemenveiling Holland
Bosma, J.	NOVEM
Cieremans, ir. C.J.A.	(ex-)Unilever
Dool, J. v.d.	Bloemenveiling Holland
Doornbos, ir. G.J.	Stork/Bronswerk
Duiven, ing. J.E.	Sekretaris NVvK
Hartog, R. den	Albert Heijn
Hiele, ir. T. van	
Holtkamp, G.	Post Koudetechniek
Jager, dr. ir. T.	Langberg-Fassin
Jans, R.	Fri-Jado
Keizer, dr.ir. C.	RIVO
Knobbout, ir. J.A.	Voorzitter Redaktieraad K&L
Kolenbrander, ir. R.G.	Food Industr. Research & Engng.
Koomen, R.	C.N.B
Krol, prof.ir. B.	Universiteit Utrecht
Machielsen, ing. C.H.M.	TU Delft/lab. KK
Mann, J.C.	C.B.T.
Meffert, Dipl. Ing. H.F.T.	
Moerman, ir. P.C.	
Oort, ir. H. van	TNO-ME, Apeldoorn
Opheusden, dr. J.H.J. van	Agrotechniek en - Fysica
Papenhuijzen, dr.ir. J.M.P.	NRLO
Ree, prof.ir. H. van der	TU Delft/Lab. KK
Roelofs, ir. H.J.	Comprimo Computational Eng.
Rudolphij, ir. J.W.	ATO-DLO
Scheer, A.	Informatie & Kenniscentrum Akker- en Tuinbouw
Sluis, ir. S.M. van der	TNO-ME
Straatsma, H.	NIZO
Verhoef, P.J.	
Visser, ing. A.H.	TU Delft/Lab. KK
Viswat, ir. E.	GTI-NAVEP
Wang, ir. H.	ATO
Mollet, mw. G.C.M.	TU Delft/Lab. KK