Ondichtheden in de wanden van koude ruimten

De invloeden die ongewilde lekopeningen in de wanden van koude ruimten op de bedrijfsvoering kunnen uitoefenen

Bij het uitvoeren van metingen in gekoelde opslagruimten werd herhaaldelijk geconstateerd dat de hoeveelheid rijp die zich op de luchtkoelers afzette, aanzienlijk groter was dan overeenkwam met de vochtafgifte van de opgeslagen goederen en de gecontroleerde luchtverversingen. Het surplus kon slechts worden verklaard uit ongecontroleerde luchtlekkage door de wanden van de ruimte.
Bijgevolg wierpen zich de volgende vragen op:
- *Hoe ondicht zijn wanden van koude ruimten in de praktijk?*
- *Op welke wijze kan de ondichtheid in een getalwaarde worden uitgedrukt?*
- *Welke mate van ondichtheid is voor koude ruimten, afhankelijk van hun aard en werkomstandigheden, maximaal toelaatbaar?*

Het bleek dat de literatuur hierover maar zeer weinig informatie verstrekt en dat hier duidelijk sprake was van een nog vrijwel geheel braakliggend probleemgebied.
Naar aanleiding daarvan is door de Stichting Ontwikkeling Koeltechniek (SOK) een werkgroep-ad hoc ingesteld, met de opdracht het probleemgebied enigszins in kaart te brengen en na te gaan welke onderzoekingen nodig zijn en antwoord te kunnen geven op de gestelde vragen.
Aan deze werkgroep, onder voorzitterschap van ir T. van Hiele, hebben de volgende personen deelgenomen:
ir G. van Beek (Sprenger Instituut, Wageningen),
ir J. van Male (SOK, Delft),
ir H. J. Meerman (TFDL, Wageningen),
ir G. H. van Nieuwenhuizen (Sprenger Instituut, Wageningen),
A. van de Raadt (Veldhoen B.V., Raalte),
ir H. van der Ree (MT-TNO, Apeldoorn),
ir K. W. H. Schol (MT-TNO, Apeldoorn),
ir L. M. E. Schouteten (Heineken nv, Zoeterwoude),
prof. dr ing. L. Váhl (adviseur).
Naar aanleiding van de discussies in de vergaderingen hebben de werkgroepleden over de afzonderlijke problemen en aspecten het onderwerp betreffende beschouwingen op schrift gesteld, die zijn samengevat in een rapport, uitgebracht aan het bestuur van de SOK. Dit rapport wordt hieronder onverkort weergegeven. Het omvat de volgende hoofdstukken:
1 Inleiding
2 Het kwantificeren van ondichtheid
3 Grootte van de luchtwisseling
4 Het meten van luchtlekken
5 Functionele luchtuitwisseling
6 Lekzoekmethoden
7 Conclusies.

De eindredactie is verzorgd door ir J. van Male.

1 Inleiding

De consequentie van luchtlekken
Bij bouwopdrachten van koel- en vrieshuizen is het tot dusver, met uitzondering van koelcellen voor CA-bewaring van fruit, niet gebruikelijk dat er nader bepaalde condities worden gesteld met betrekking tot toelaatbare ondichtheden in de wanden der koude ruimten. Deze gedragslijn vindt wellicht zijn verklaring in het stilzwijgend aannemen dat eventuele lekken geen merkbare invloed zullen uitoefenen op de twee bedrijfsaspecten die dienaangaande van belang zijn: het energieverbruik en het bewaarklimaat, en bijvoorbeeld te verwaarlozen zijn ten opzichte van de verliezen ten gevolge van open deuren.
Uit dit rapport moge blijken dat dit standpunt niet juist is en dat het wel degelijk belangrijk is het aspect van luchtlekkage door de wanden van koude ruimten mede te betrekken in de bij de bouw van koel- en vrieshuizen te stellen condities. In eerste instantie kunnen daarvoor de volgende argumenten worden aangevoerd:
— De gevolgen van luchtlekken door de wanden van koude ruimten anders dan voor CA-bewaring zijn, voorzover bekend, nauwelijks aan een systematisch, afgerond onderzoek onderworpen; gegevens daaromtrent ontbreken althans. Het is derhalve tot nu toe niet mogelijk geweest te bepalen welke fractie van het totale energieverbruik voor hun rekening komt, laat staan of zij voor elke situatie zonder meer kunnen worden verwaarloosd.
— Ook al zal in vele gevallen het energieverbruik ten gevolge van open deuren in koude ruimten van een grotere orde zijn dan dat ten gevolge van lekopeningen in de wanden, het is onjuist om deze zelfstandig optredende verschijnselen gekoppeld te beoordelen en op grond daarvan de ondichtheid van koude ruimten bij de bouw van koel- en vrieshuizen geheel te verwaarlozen door geen condities dienaangaande te stellen. De praktijk leert dat de hoeveelheid rijp die op de luchtkoelers neerslaat, groter, in veel gevallen zelfs beduidend groter is dan uit de vochtafgifte van de produkten en de deuropeningen kan worden verklaard en dit maakt het gewenst een verband te leggen tussen die overmatige rijpvorming en de mate van lekkage door de ruimtewanden.
— Lekopeningen kunnen aanleiding geven tot het penetreren van waterdamp in de isolatie van de wanden. Condensatie en ijsvorming zullen de isolerende werking daar ter plaatse doen verminderen en aangezien dit proces zich geleidelijk kan voortzetten, zal dit leiden tot een steeds grotere warmtetransmissie door de wanden en bijgevolg een toenemend energieverbruik.

Begripsbepalingen
Voor enige vaker gebruikte uitdrukkingen wordt hieronder de betekenis gegeven waarin ze in dit rapport dienen te worden opgevat:
- Een ruimte wordt *dicht* genoemd indien bij een tussen ruimte en omgeving optredend luchtdrukverschil geen luchtstroming door de wanden plaats heeft die het drukverschil doet afnemen.
- Treedt zulk een luchtstroming wel op, dan is er sprake van *ondichtheid* van de wanden. Ongewenste ondichtheden in de wanden van koude ruimten worden aangeduid met *lekopeningen.*
- Onder *wanden* van de koude ruimte wordt verstaan de volledige omhulling, dus met inbegrip van de vloer en het plafond.
- Met *koude ruimte* wordt bedoeld een ruimte die is bestemd voor het bewaren van produkten bij een lagere temperatuur dan die van de omgeving.
- Onder *luchtuitwisseling* wordt verstaan het al of niet gelijktijdig naar buiten en naar binnen stromen van lucht door ondichtheden in de wanden van koude ruimten.
- Met *totale lekopening* wordt aangeduid de gesommeerde vrije doorstroomoppervlakten van alle zich in de wanden bevindende lekopeningen.
- Het quotiënt van totale lekopening en totale wandoppervlakte wordt *specifieke lekopening* genoemd.

Lekopeningen
Lekopeningen kunnen in diverse modificaties optreden en door een reeks van fac-

toren worden veroorzaakt. Zij komen meestal voor als gevolg van:

a niet goed afsluitende deuren, b.v. door kromtrekken of beschadiging;
b ondeugdelijke doorvoeringen van leidingen;
c scheuren in wanden en spleten langs de randen van plafond en vloer, b.v. veroorzaakt door zettingen van de bouwconstructie;
d kieren tussen panelen, veroorzaakt door thermische krimp en ondeugdelijke afdichting van naden;
e veroudering van afdichtingsmaterialen, zoals kit, rubber afdichtingsstrip en lijm;
f mechanische beschadiging van de afschermende laag op zijwanden en plafond;
g porositeit van isolatieschuimen, die werkzaam kan worden b.v. als gevolg van de onder f genoemde oorzaak.

Op details inzake het voorkomen en het herstellen van deze lekopeningen wordt in dit rapport niet nader ingegaan. De beschouwingen richten zich uitsluitend op de invloed van lekopeningen op de warmte- en vochtbelasting van de koude ruimte.
Een ideale situatie bestaat, zo kan men stellen, indien er geen lekopeningen aanwezig zijn. Dit evenwel als conditie bij de oplevering te stellen zou niet juist zijn, omdat een dergelijke stringente eis gepaard zou gaan met onevenredig hoge bouwkosten en bovendien niet noodzakelijk is. Een zekere mate van lekkage zal in de praktijk moeten worden geaccepteerd, zij het dat aan de omvang ervan duidelijk bepaalde grenzen dienen te worden gesteld.

Grenzen van toelaatbare lekkage
Waar voor een koude ruimte de grens van toelaatbare lekkage moet worden gelegd, zal in eerste instantie afhangen van zijn gebruik. Een globaal onderscheid kan worden gemaakt naar:

— gescrubde CA-bewaring;
— niet-gescrubde CA-bewaring;
— gekoelde opslag;
— vriesopslag.

In tweede instantie is de verhouding tussen volume en wandoppervlakte van de ruimte bepalend voor deze grens.
Bij vriesopslag van verpakte produkten zullen de condities vrijwel geheel worden bepaald vanuit het aspect van energieverbruik, terwijl bij CA-bewaring, vooral gescrubde, het aspect van het bewaarklimaat doorslaggevend zal zijn. Het is echter ook mogelijk dat beide aspecten tegen elkaar dienen te worden afgewogen, bijvoorbeeld in gevallen waar men een hoge relatieve vochtigheid bewust in stand wil houden door penetratie van vocht uit de omgeving.
In het algemeen zullen de grenzen van toelaatbare lekkage afhankelijk van het gebruiksdoel optimaal dienen te worden vastgesteld met inachtneming van het effect op de kwaliteit van het opgeslagen produkt, het extra energieverbruik en de bouwkosten. Het behoeft weinig betoog dat dit een uiterst gecompliceerd probleem is, voor de oplossing waarvan men over een uitgebreid scala van basisgegevens zal moeten beschikken.

Drukverschillen
Wij wezen in het voorafgaande op de noodzaak van een bovengrens; echter, in de problematiek van ondichtheid van koude ruimten vormt een ondergrens eveneens een niet te verwaarlozen aspect. In een dichte ruimte of bij aanwezigheid van slechts zeer minieme lekopeningen kunnen drukverschillen ten opzichte van de omgeving optreden en wel als gevolg van temperatuurverandering binnen de ruimte en van verandering in de barometrische druk.
Alhoewel deze drukverschillen altijd slechts een geringe fractie zijn van de heersende absolute druk, kunnen zij niettemin zeer grote krachten op en in constructiedelen teweegbrengen. Nemen wij ter gedachtebepaling een drukverschil van 1000 Pa, d.w.z. niet meer dan ca. 1% van de atmosferische druk, dan oefent dit op een wandoppervlak van 10 m² een kracht uit van 10 kN, overeenkomend met het gewicht van ruim een ton massa. Bedenkt men voorts dat in een dichte ruimte bij constant blijvend volume met elke kelvin temperatuurverloop een drukverandering van ca. 350 Pa gepaard gaat, dan is het duidelijk dat daarbij al gauw ontoelaatbaar grote constructiebelastingen kunnen optreden, die op hun beurt lekopeningen kunnen doen ontstaan. Daarmee zijn de overbelastingen dan wel geëlimineerd doch ongewenste luchtuitwisselingen geïntroduceerd. Grote barometrische drukveranderingen — 1000 Pa in enkele uren is beslist niet uitzonderlijk — kunnen eenzelfde effect teweegbrengen.

Grenzen van toelaatbare drukverschillen
Koude ruimten dienen derhalve te worden beveiligd tegen te grote drukverschillen. Het is mogelijk dat de, binnen de grens van toelaatbare lekkage, aanwezige lekopeningen voldoende beveiliging bieden; het moet dan echter zeker zijn dat deze ook inderdaad aanwezig zijn. Zo niet, dan moet die beveiliging worden verwezenlijkt met een in de wand aangebrachte constructie die zowel een positief als een negatief drukverschil in voldoende mate egaliseert. De hierbij optredende luchtuitwisselingen dienen voor elke toepassing in acht te worden genomen.
Teneinde de luchtuitwisseling tot een minimum te beperken zal de egalisatie slechts moeten functioneren bij het overschrijden van toelaatbare grenzen van over- en onderdruk. Het is binnen de bouwkundige en niet de koeltechnische discipline dat deze grenzen moeten worden bepaald, doch bij het bouwkundige ontwerp zal met koeltechnische condities rekening dienen te worden gehouden.

Voorwaarden voor het opstellen van richtlijnen
Wil men bewerkstelligen dat bij opdrachten voor koel- en vrieshuizen het aspect van ondichtheid van de wanden der koude ruimten mede zal worden betrokken in de te stellen condities, dan zullen zowel de koeltechnische als de bouwkundige ontwerper desbetreffende richtlijnen ter hand moeten worden gesteld, waarmee het mogelijk is optimale constructies voor elk toepassingsgebied na te streven.
Alvorens zulke richtlijnen kunnen worden opgesteld, moet antwoord worden gegeven op een aantal vragen die zich binnen het kader van de betrokken problematiek opwerpen. Deze vragen kunnen als volgt worden geformuleerd:

a Op welke wijze kan ondichtheid van de wanden van een koude ruimte kwantitatief, d.w.z. in een getalwaarde en een eenheid, worden uitgedrukt?
b Welk verband kan worden gelegd tussen ondichtheid en de grootte van de luchtuitwisselingen die onder diverse invloeden zullen optreden?
c Hoe kan ondichtheid worden gemeten?
d Welke ondichtheid is voor elke der diverse soorten en grootten van koude ruimten toelaatbaar c.q. vereist?

In de hoofdstukken 2 ... 5 van dit rapport worden deze vragen successievelijk aan de orde gesteld, terwijl in hoofdstuk 6 een overzicht wordt gegeven van de diverse lekzoekmethoden, een onderwerp dat in het besproken probleemgebied ongetwijfeld thuishoort.

2 Het kwantificeren van ondichtheid

De aan een kwaliteitscijfer te stellen voorwaarde
Wanneer zich in een wand lekopeningen bevinden dan laten deze lucht passeren indien aan weerszijden verschillende drukken heersen. De grootte van de lekstroom door een opening is afhankelijk van het

drukverschil en van het oppervlak van de vrije doortocht.
Voor het uitdrukken van de kwaliteit van de wanden met betrekking tot de ondichtheid in een kwaliteitscijfer, wordt in de literatuur doorgaans gebruik gemaakt van de specifieke lekopening (voor de begripsbepaling raadplege men hoofdstuk 1); deze wordt dan uitgedrukt in mm^2/m^2, hetgeen overeenkomt met ppm (part per million).
Dit kwaliteitscijfer lijkt zinvol — gemiddeld zoveel vrije doortocht per eenheid van wandoppervlak — doch zonder nadere specificatie dient het geen enkel nut en wel om twee redenen:

1e Lekopeningen zoals die in de praktijk optreden — men leze nogmaals de in hoofdstuk 1 vermelde omschrijvingen — onttrekken zich vrijwel geheel aan de mogelijkheid tot directe meting van de vrije doortocht; langs die weg kan men dus nooit vaststellen of een opgegeven kwaliteitscijfer met de werkelijkheid overeenstemt.
2e De correlatie tussen lekstroom en totale lekopening is sterk afhankelijk van de verdeling van de laatste over de wanden; zeer vele kleine openingen geven een geringere lekstroom dan een geringer aantal grotere openingen met overigens eenzelfde totale lekopening, en de lekstromen kunnen voor beide gevallen gemakkelijk een factor twee — zelfs veel meer — verschillen bij eenzelfde drukverschil.

Een praktisch bruikbaar kwaliteitscijfer moet voldoen aan de voorwaarde dat de grootte van de luchtuitwisselingen onder de diverse in de praktijk optredende omstandigheden met behulp ervan kan worden afgeleid. Het is immers de luchtuitwisseling die bepalend is voor het extra energieverbruik en de beïnvloeding van het bewaarklimaat voor welke de ondichtheid debet is te stellen.

Specifieke equivalente lekopening
Indien de luchtstroom V door een kanaal van geheel bepaalde geometrie als functie van het drukverschil Δp over de uiteinden wordt gemeten, dan kan men uit de meetresultaten in een bij voorkeur dubbel logarithmisch Δp, V-diagram een lekkarakteristiek van dat kanaal samenstellen.
Eveneens is het mogelijk om door middel van een overdrukproef, als beschreven in hoofdstuk 3, een lekkarakteristiek van een koude ruimte te verkrijgen.
Bezitten zowel het kanaal als de lekopeningen in de wanden van de koude ruimte een grote verhouding tussen lengte en vrije doortocht, dan is in beide gevallen de stroming nagenoeg laminair; de luchtstroom is daarbij praktisch evenredig met het drukverschil en de beide karakteristieken zijn in het genoemde diagram rechten met dezelfde richtingscoëfficiënt.
Vertoont de karakteristiek van de ruimte en duidelijke afwijking van dit patroon, dan duidt dit op aanwezigheid van grotere lekopeningen in de wanden. Deze zullen in het algemeen met één der in hoofdstuk 6 beschreven methoden kunnen worden opgespoord en gedicht, waarna aan bovengestelde gelijkheid van richtingscoëfficiënt zal worden voldaan.
Onder deze voorwaarde bestaat er dus bij gelijk drukverschil maar onafhankelijk van de grootte daarvan een constante verhouding tussen luchtstroom door de lekopeningen in de wanden en die door het geometrisch bekende kanaal. Omdat de luchtvolumestroom door een cylindrisch kanaal, bij behoud van de veronderstelde laminaire stroming, omgekeerd evenredig is met de lengte en rechtevenredig met de vierde macht van de diameter, is de gekozen geometrie van het kanaal in belangrijke mate bepalend voor die constante verhouding.
Deze overwegingen maken het mogelijk de geometrisch niet maar qua lekgedrag wél te meten specifieke lekopening te vervangen door de wél bekende totale vrije doortocht van het aantal geometrisch bepaalde kanalen dat eenzelfde lekgedrag vertoont. Deze laatste grootheid kan worden aangeduid met *specifieke equivalente lekopening,* of kortheidshalve met *selo.*
Met 'equivalent' wordt tot uitdrukking gebracht dat deze lekopening niet realiter in de wand aanwezig is, maar uit een vergelijkingsobject is afgeleid.
Een kanaal dat als vergelijkingsobject kan dienen is een cilindrisch buisje met een lengte van 200 mm en een diameter van 2 mm. In het laboratorium voor koudetechniek aan de TH Delft is een uit twintig van deze buisjes samengestelde bundel zeer nauwkeurig doorgemeten over een drukverschilleninterval van 10 tot 200 Pa.
De experimenteel gevonden karakteristiek vertoont een grote overeenkomst met de theoretisch afgeleide. Tot aan een drukverschil van 100 Pa houdt de karakteristiek een laminair karakter.
Wordt het genoemde buisje aangenomen als uitgangspunt voor de equivalentie, dan kan de selo worden uitgedrukt door de vergelijking:

$$S = \dot{V}_S / (0.039\ \Delta p)$$

waarin S de selo in mm^2/m^2, $\dot{V}_S$ de gemiddelde lekstroom per wandoppervlakte in $cm^3/(s.m^2)$ en Δp het drukverschil in Pa voorstellen.

Als voorbeeld nemen wij een ruimte met 1500 m^2 wandoppervlak, waarin bij een drukverschil van 20 Pa een lekstroom wordt gemeten van 8,2 dm^3/s. De specifieke lekstroom bedraagt dan:

$$\dot{V}_S = 8200/1500 = 5{,}47\ cm^3/(s.m^2)$$

en voor de selo vindt men:

$$S = 5{,}47/(0{,}039 \times 20) = 7{,}0\ mm^2/m^2$$

Mogelijke toepassing in de praktijk
Aan het slot van dit hoofdstuk mogen wij niet nalaten erop te wijzen dat de praktijk nog moet leren inhoeverre een kwaliteitsbeoordeling met betrekking tot ondichtheid van de wanden van koude ruimten op grond van een lekkarakteristiek, zoals boven beschreven, bij nieuwe en reeds in bedrijf zijnde koel- en vrieshuizen tot de reële mogelijkheden behoort. Dit zal in sterke mate afhangen van de nauwkeurigheid waarmee in het veld een overdrukproef kan worden uitgevoerd. Een dergelijk experiment is bijvoorbeeld voor CA-cellen reeds vaker toegepast, doch voor andere ruimten, in het bijzonder die voor vriesopslag, zijn dienaangaande nog geen gegevens bekend.

3 Grootte van de luchtuitwisseling

Bepalende factoren
Aan het begin van hoofdstuk 2 merkten wij reeds op dat lekopeningen in de wanden van een koude ruimte luchtuitwisseling tussen ruimte en omgeving doen ontstaan en dat de grootte daarvan mede wordt bepaald door de grootte van de optredende drukverschillen binnen en buiten de ruimte. Deze drukverschillen kunnen niet alleen in de tijd variëren doch ook plaatselijk. Het is mogelijk dat zich op eenzelfde tijdstip op een bepaalde plaats een positief en op een andere plaats een negatief drukverschil instelt, zodat tegelijkertijd lucht naar binnen en naar buiten stroomt. Eveneens is het mogelijk dat de druk in de ruimte over het gehele wandoppervlak hoger of lager is dan aan de buitenzijde, waarbij de luchtstroming overal naar buiten resp. naar binnen plaatsheeft.
Hieruit valt af te leiden dat niet alleen het *drukverschillenpatroon* bepalend is voor de grootte van de luchtuitwisseling, doch dat de verdeling van de diverse lekopeningen over de wand, dus het *lekopeningenpatroon,* daarop mede van invloed moet zijn.

Het ontstaan van drukverschillen
Voor het ontstaan van drukverschillen over de wanden van een koude ruimte kunnen vijf oorzaken worden onderschei-

den:
- temperatuurfluctuaties in de ruimte;
- veranderingen in barometrische druk;
- verschillen in soortelijke massa van de lucht;
- wind;
- luchtcirculatie in de ruimte.

Bij een gegeven lekopeningenpatroon is het optredende drukverschillenpatroon te beschouwen als de resultante van de respectieve invloeden van deze vijf grootheden. In de praktijk treden zij alle permanent op, in grootte steeds variërend, en het is daarom nauwelijks mogelijk in het veld hun individuele invloeden experimenteel te bepalen.

Beperking van het drukverschil door elastische constructies

Bij het optreden van drukverschillen worden op de wanden van de ruimte krachten uitgeoefend. De zijwanden en het plafond zullen hierdoor de neiging hebben door te buigen, waardoor het volume van de ruimte zich wijzigt, met als gevolg een geringer drukverschil dan bij gelijkblijvend volume zou optreden. Bij starre constructies zal dit effect klein of verwaarloosbaar zijn. Het is evenwel denkbaar dat een constructie bewust zo elastisch wordt uitgevoerd, dat door het beschreven effect een beduidende beperking van het drukverschil en derhalve ook van de luchtuitwisseling kan worden geëffectueerd.
Een voorziening waarmee dit effect kan worden verkregen is een gasdichte zak die binnen of buiten de ruimte wordt aangesloten op een opening in de wand en die bij fluctuerend drukverschil als buffer kan functioneren. Voor toepassing op CA-cellen is deze voorziening beschreven in 'De Fruitteelt' 1978 p.1098 door B. Jongerius, G. van Beek en H. Boerrigter, terwijl deze voorziening al eerder werd beschreven in de IIF-publikatie 'Packing Stations for Fruits and Vegetables' (1973), p. 126.

De invloed van temperatuurfluctuaties

Als gevolg van de temperatuurregeling in een koude ruimte zal het temperatuurverloop een golfkarakter vertonen. Doordat temperatuurverandering steeds gepaard gaat met verandering van druk zal het drukverloop eveneens een golfkarakter hebben. Onder invloed van het zich voortdurend tussen een negatieve en een positieve waarde wijzigend drukverschil gaat de ruimte door het voortdurend uitzetten en krimpen van de lucht door de lekopening 'ademen' en is er sprake van luchtuitwisseling.
Indien de ondichtheid van de wanden gering is, kan de druk periodiek de toelaatbare boven- en ondergrens overschrijden, waarbij de drukegalisatie in werking moet treden. Daar de druk bij gelijkblijvend luchtvolume met ca. 350 Pa/K verandert en het toelaatbare drukverschil in de grootte-orde van 100 à 150 Pa moet worden aangenomen, is het duidelijk dat bij een niet-elastische constructie, ook bij geringe ondichtheid van de wand, ten gevolge van de drukegalisatie nochtans een relatief grote luchtuitwisseling kan optreden als gevolg van temperatuurfluctuaties.

De invloed van barometrische drukverandering

Deze invloed is vergelijkbaar met die van de temperatuurfluctuatie, zij het dat het verloop gemeenlijk grilliger is. Bij beperkte omvang en frequentie van de drukfluctuaties is de invloed op de luchtuitwisseling klein en bij geringe ondichtheid van de wanden te verwaarlozen. Bij een sterke en snelle verandering van de barometrische druk moet de drukegalisatie inwerking treden en zal de grootte van de luchtuitwisseling ook hier weer door de elasticiteit van de constructie worden beïnvloed.

De invloed van soortelijke-massaverschillen

Als gevolg van de zwaartekracht daalt de absolute druk van de lucht bij toenemende hoogte; de grootte van de daling is afhankelijk van de soortelijke massa van de lucht. Omdat de lucht in de koude ruimte een grotere soortelijke massa bezit dan de buitenlucht, kunnen de luchtdrukken aan weerszijden van de wand hoogstens op één niveau, het neutrale vlak, gelijk zijn; op alle andere niveaus heerst een drukverschil.
Door het verlopende drukverschil ontstaan luchtstromingen door de lekopeningen en het neutrale vlak stelt zich afhankelijk van het lekopeningenpatroon op een bepaalde hoogte ergens tussen vloer en plafond van de ruimte in. Door de lekopeningen boven het neutrale vlak stroomt continu lucht naar binnen, door die eronder een gelijke massahoeveelheid naar buiten.
In tegenstelling tot de beide voorgaande invloeden speelt hier het lekopeningenpatroon een belangrijke rol. Zouden alle lekopeningen zich op eenzelfde niveau bevinden, dan stelt zich hier het neutrale vlak in, waarna de luchtuitwisseling tot stilstand komt. Bevindt zich daarentegen de helft van de totale lekopening bij het plafond en de andere helft bij de vloer, dan is het hier beschreven effect — vaak aangeduid met schoorsteeneffect — maximaal. Het maximum ligt hoger naarmate de totale (equivalente) lekopening groter is, terwijl de hoogte van de ruimte hier uiteraard eveneens een rol speelt.

De invloed van wind

Bij aanwezigheid van wind treedt over de aangeblazen wanden van een gebouw een drukverhoging op, terwijl zich over de wanden aan lijzijde een drukverlaging instelt. Het patroon van drukverschillen over het gehele wandoppervlak is evenwel bijzonder gecompliceerd en in sterke mate afhankelijk van de situering van het gebouw in zijn omgeving. Om die reden is het zeer moeilijk, zo niet onmogelijk omhet drukverdelingspatroon over de wanden van een koude ruimte onder verschillende windcondities anders dan globaal vast te stellen, teneinde daaruit de maximale luchtuitwisseling die de wind zal veroorzaken te kunnen berekenen.
Ook bij het beschouwen van de windinvloed is het lekopeningenpatroon een medebepalende factor. Zouden alle lekopeningen zich in één wand bevinden, dan zal de druk in de ruimte zich naar de heersende winddruk aan die zijde instellen, waarna de door winddruk veroorzaakte luchtuitwisseling tot stilstand komt. Bij sterk wisselende wind zal de ruimte 'ademen' en is er sprake van luchtuitwisseling. Het windeffect zal echter maximaal zijn indien de helft van de totale lekopening zich in de aangeblazen wand bevindt en de andere helft in de wand aan lijzijde. Ook hier is het maximum weer hoger naarmate de totale (equivalente) lekopening groter is.

De invloed van de luchtcirculatie in de ruimte

De in een koude ruimte benodigde luchtcirculatie en eventuele luchtverversing vereisen een inwendig drukgradiëntenpatroon, dat door de ventilatoren van de luchtkoelers in stand wordt gehouden. De hierin optredende drukverschillen kunnen mede van invloed zijn op de drukverschillen over de wanden en zodoende op de grootte van de luchtuitwisseling.
Het is gewenst hiermee bij het ontwerp van een koude ruimte en de daarin onder te brengen apparatuur rekening te houden. Met name zal een drukegalisatievoorziening bij voorkeur zo moeten worden aangebracht dat binnentredende buitenlucht direct door een luchtkoeler wordt gevoerd, om te voorkomen dat op ongewenste plaatsen sneeuw- of ijsvorming optreedt. Hierbij moet echter worden vermeden dat de ventilatoren juist bij de aansluiting van de egalisatie een te groot drukverschil doen ontstaan.

Het kwantificeren van de diverse invloeden
Eerder werd reeds opgemerkt dat het vrijwel niet mogelijk is de individuele invloeden onder diverse werkcondities in het veld te meten. Echter, ook bij modelproeven in het laboratorium is men aan beperkingen onderworpen. Bij meting van het schoorsteeneffect kan de invloed van temperatuurveranderingen en van inwendige luchtcirculatie niet worden geëlimineerd, doch hun storingen zijn veel groter dan de te meten grootheid, te weten een miniem drukverschil. Ook bij de simulatie van wind zal de correlatie tussen model en werkelijkheid zeer moeilijk zijn vast te leggen.
De diverse invloeden zijn wel langs analytische weg te berekenen. Daarmee beschikt men over de mogelijkheid om in de praktijk vast te stellen of een gemeten luchtuitwisseling — de meetmethoden worden in hoofdstuk 4 behandeld — overeenstemt met, althans niet groter is dan de analytisch berekende.
Bij de analytische afleidingen kan met vrucht gebruik worden gemaakt van de in hoofdstuk 2 geïntroduceerde nieuwe grootheid: de selo.
Bij temperatuur- en barometrische-drukfluctuaties is de grootte van de luchtuitwisseling afhankelijk van amplitudo en frequentie van deze invloeden, voorts van de selo van de wand en tenslotte ook, en in niet te verwaarlozen mate, van de verhouding tussen volume en wandoppervlak van de ruimte. Ook dient rekening te worden gehouden met de elasticiteit van de ruimte.
Voor de bepaling van de invloed van soortelijke-massaverschillen en wind is de selo alleen niet voldoende, want hier speelt ook het lekopeningenpatroon een belangrijke rol. De aard van de meeste der diverse lekopeningen — zie hoofdstuk 1 — maakt een volledige plaatsbepaling, d.w.z. vaststelling van het lekopeningenpatroon, ten ene male onmogelijk. Men is daarom min of meer gedwongen een patroon aan te nemen; uit zekerheidsoverwegingen is het raadzaam daarvoor dat patroon te nemen waarbij de invloed maximaal zal zijn.
De invloed van de luchtcirculatie in een koude ruimte op de luchtuitwisseling zal niet alleen afhankelijk zijn van de opstelling van de diverse apparaten en het luchtverdelingssysteem, maar eveneens van de wijze waarop de ruimte is beladen. Goede gegevens hierover ontbreken nog en een nader onderzoek van dit probleemgebied is dan ook gewenst.
De vraag rijst in hoeverre de diverse invloeden elkaar zullen versterken en verzwakken. In sommige situaties zullen zij elkaar gedeeltelijk opheffen; de fluctuaties van temperatuur in de ruimte en barometrische druk zullen zelden gelijktijdig verlopen en de wind zal het schoorsteeneffect meestal verkleinen. Zolang hieromtrent echter nadere inzichten nog ontbreken, is het raadzaam om in de ontwerpfase van een koude ruimte voor het vaststellen van de hoogst toelaatbare selo de invloeden van wind en temperatuur- en barometrische drukfluctuaties te sommeren.

Het vaststellen van criteria
Uiteindelijk zal het gewenst zijn de in de praktijk optredende drukverschillen ten gevolge van de diverse invloeden te standaardiseren, d.w.z. berekeningswaarden vast te stellen die voor de beoordeling van de gevolgen van ondichtheden in de wanden van koude ruimten voor normale bedrijfsomstandigheden kunnen worden gebruikt.
Zo zou men bijvoorbeeld kunnen aannemen dat de temperatuur in de ruimte vier maal per uur over ± 1 K fluctueert, dat een permanente winddruk, overeenkomend met 4 m/s windsnelheid, loodrecht op de grootste wand wordt uitgeoefend en dat de barometrische druk één maal per etmaal met 500 Pa fluctueert. Tevens dienen richtlijnen te worden gegeven met betrekking tot het inkoelen en invriezen vanaf omgevingstemperatuur.

4 Het meten van luchtlekken

Meetmethoden en hun doel
Voor het meten van luchtlekken door de wanden van koude ruimten kunnen vier methoden worden onderscheiden; deze hebben elk hun voor- en nadelen en de keuze van een methode dient daarom afhankelijk van het doel van de meting te worden bepaald.
Het doel kan bijvoorbeeld zijn: het vaststellen van het gedrag van de totale lekopening, of het bepalen van de totale luchtlekkage die onder de heersende werkomstandigheden in het bedrijf optreedt, dan wel van het ventilatievoud, dit is de verhouding tussen de lekstroom en het volume van de ruimte.
De vier bedoelde meetmethoden zijn:
- stationaire lekstroommeting met over- of onderdruk;
- niet-stationaire lekstroommeting met over- of onderdruk;
- niet-stationaire tracergasmethode;
- stationaire tracergasmethode.

Stationaire lekstroommeting met over- en onderdruk
Bij deze methode wordt de ruimte met behulp van een ventilator op een bepaalde, constant te houden over- of onderdruk gebracht. De luchtstroom die de ventilator in of uit de ruimte voert, wordt gemeten. Deze moet in massa gelijk zijn aan de luchtstroom door de lekopeningen.
De meting wordt voor een aantal waarden van het drukverschil uitgevoerd, om aldus de correlatie tussen drukverschil en luchtstroom te kunnen bepalen.
Zijn de temperaturen van ruimte en omgeving verschillend, dan kan het, afhankelijk van de uiteindelijk te bepalen grootheid, nodig zijn het meetresultaat met de soortelijke-massaverhouding te corrigeren.
De presentatie van de metingen is het duidelijkst in de vorm van een grafiek waarin langs de assen schalen zijn opgenomen voor de luchtstroom en het drukverschil. Worden de schaalwaarden voor de luchtstroom gedeeld door het totale wandoppervlak van de ruimte, dan ontstaat een schaal voor de specifieke lekstroom waarin in het algemeen de constructeur het meest is geïnteresseerd; deling door het volume van de ruimte geeft een schaal voor het ventilatievoud, dat voor de gebruiker van de ruimte doorgaans primair van interesse is.
Deze methode zal worden gekozen indien men inzicht wil verkrijgen in de aard en grootte van de lekopeningen; hierover werd reeds in hoofdstuk 2 gesproken. Hij verschaft geen directe informatie over de luchtlekkage die onder normale werkomstandigheden zal optreden, omdat er steeds alzijdige uit- of instroming plaats blijft hebben en bovendien het drukverschil tussen ruimte en omgeving veel groter is dan normaal.
Voordelen van deze methode zijn dat er slechts korte tijd mee is gemoeid, dat normale invloeden van wind, schoorsteeneffect enz. verwaarloosbaar zijn en dat er geen invloed bestaat van de elasticiteit van de constructie. Men moet beschikken over voorzieningen voor een nauwkeurige meting van de luchtstroom; bovendien zal men de ruimte moeten beveiligen tegen mogelijke overschrijding van het hoogst toelaatbare drukverschil, tenzij een deugdelijke voorziening reeds aanwezig is.

Niet-stationaire lekstroommeting met over- of onderdruk
Deze methode leent zich inzonderheid voor ruimten met geringe ondichtheid van de wanden, met name CA-cellen.
De ruimte wordt met een ventilator op een willekeurige over- of onderdruk gebracht, waarna de ventilatoraansluiting wordt afgedicht. In de nu volgende fase wordt de druk met bepaalde tussenpozen gemeten; deze daalt geleidelijk en de snel-

heid waarmee dit geschiedt is een maat voor de ondichtheid.
Langs theoretische weg kan een correlatie worden bepaald tussen drukverschil, ventilatievoud en de tijd waarin het drukverschil een bepaalde teruggang doorloopt. Dit maakt het mogelijk een grafiek op te stellen met schalen voor druk en ventilatievoud en met de tijd als parametergrootheid. In principe moet men met deze methode derhalve eenzelfde resultaat verkrijgen als met de voorgaande methode. Het voordeel van deze methode is dat er geen meting van de luchtstroom bij nodig is en de meting tot alleen het drukverschil beperkt blijft. Nadeel is dat hij bij grotere ondichtheid niet bruikbaar is en voorts dat de elasticiteit van de constructie een onbekende invloed op het meetresultaat uitoefent.

Niet-stationaire tracergasmethode
Deze methode is gebaseerd op de aanwezigheid van een te meten concentratie van een speciaal gas — tracergas genoemd — in de lucht die zich in de ruimte bevindt. Treedt luchtuitwisseling op dan zal met de weglekkende lucht een hoeveelheid tracergas worden meegevoerd en de concentratie daarvan in de ruimte zal afnemen. De snelheid van deze afneming is eenmaat voor de ondichtheid van de wanden, zoals dat bij de voorafgaande methode met het drukverschil het geval was; ook hier kan de aan te brengen beginconcentratie willekeurig zijn. Tussen de verhouding van gemeten en beginconcentratie, het ventilatievoud en de tijd waarin de concentratieverhouding een bepaalde verandering doorloopt, is weer een correlatie vast te stellen, die grafisch kan worden weergegeven.
De methode is in het bijzonder geschikt voor het vaststellen van de luchtuitwisseling onder de op het moment heersende werkomstandigheden. Hij heeft het voordeel dat de meting beperkt blijft tot slechts één grootheid, de concentratie, die niet behoeft te worden geregeld. Daartegenover staat als nadeel dat de opname van het tracergas door diverse materialen de meting sterk kan beïnvloeden en niet kan worden vastgesteld. Eveneens is een nadeel dat bij geringe ondichtheid de methode uiterst traag kan zijn en aan de meetnauwkeurigheid van de concentratie hoge eisen worden gesteld.

Stationaire tracergasmethode
Bij deze luchtlekmeetmethode wordt ergens in de koude riumte een bepaalde, nauwkeurig te meten stroom tracergas ingevoerd, terwijl op een andere plaats, zóver van de eerste verwijderd dat volledige menging met de lucht verzekerd is, de concentratie zolang gemeten worden tot deze constant blijft. De lekstroom door de wanden is nu af te leiden uit de ingevoerde hoeveelheid tracergas en de gemeten concentratie.
Ook deze methode is, evenals de voorgaande, geschikt voor het vaststellen van de luchtuitwisseling onder gegeven werkomstandigheden. Hij komt in aanmerking indien binding van tracergas door de diverse aanwezige materialen kan worden verwacht, zodat de hiervóór beschreven methode niet bruikbaar is. De invloed van deze binding wordt immers ondervangen omdat deze bij de uiteindelijk constant blijvende concentratie niet meer in het geding kan zijn.
Een nadeel van de methode ten opzichte van de voorgaande is dat er nu twee grootheden moeten worden gemeten in plaats van één; daarbij dient de toevoer van het tracergas bijzonder kritisch te worden ingesteld om te voorkomen dat bij geringe ondichtheid de concentratie te hoog oploopt, hetgeen de meetnauwkeurigheid nadelig kan beïnvloeden.

5 Functionele luchtuitwisseling

Drukvariaties
In de voorgaande hoofdstukken is de wenselijkheid om koude ruimten te beveiligen tegen te grote drukverschillen reeds enige malen aan de orde geweest. In dit hoofdstuk willen wij de diverse aspecten van dit binnen ons probleemgebied belangrijke onderwerp nogmaals, maar nu op systematische wijze belichten.
De drukvariaties die binnen of buiten een koude ruimte kunnen optreden zijn te onderscheiden naar:
- grote drukvariaties, die weinig frequent optreden, zoals bij afkoelen of opwarmen van de ruimte en de lading, bijvoorbeeld bij het in- of buiten bedrijf stellen, of bij een sterke verandering van de atmosferische druk;
- kleine drukvariaties, die frequent voorkomen, bijvoorbeeld ten gevolge van kleine temperatuurfluctuaties in de ruimte door het in- en uitschakelen van de koelinstallatie.

Afhankelijk van de constructie van de geïsoleerde wanden en het plafond mag een bepaald drukverschil tussen ruimte en omgeving niet worden overschreden.

Weinig frequent voorkomende grote drukvariaties
De drukverschillen die in gesloten ruimten kunnen optreden ten gevolge van grote temperatuurverandering, zijn aanzienlijk, terwijl tevens de atmosferische druk een sterke verandering kan ondergaan. Hoewel het maximaal toelaatbare drukverschil over de wand- en plafondpanelen, zowel positief als negatief, per constructie kan verschillen, zal in de praktijk veelal een waarde van 100 à 150 Pa niet mogen worden overschreden. De genoemde grote drukvariaties zijn echter een veelvoud daarvan.
De ruimte dient daarom te zijn voorzien van een speciale opening waardoor de drukverschillen beperkt blijven. Het luchttransport van buiten naar binnen of omgekeerd zal in het algemeen veel te groot zijn opdat een aanvaardbare totale lekopening deze functie kan vervullen. Daarom dient te worden voorzien in een bewust aangebrachte drukegalisatieconstructie, die afhankelijk van het volume van de ruimte en van de maximale snelheid van temperatuurverandering, of barometrische drukverandering zo deze een groter effect sorteert, moet worden gedimensioneerd.

Frequent optredende, kleine drukvariaties
Omdat luchtuitwisselingen nadelig zijn voor energieverbruik en bewaarklimaat, dienen zij zoveel mogelijk te worden beperkt. Nochtans moeten onder alle omstandigheden de maximaal toelaatbare drukverschillen over wanden en plafond worden gerespecteerd. Teneinde ook binnen deze conditie de luchtuitwisselingen minimaal te houden kunnen de volgende maatregelen worden getroffen:
- de hiervoor genoemde drukegalisatieconstructie voorzien van kleppen die pas openen wanneer de maximaal toelaatbare waarden van over- en onderdruk worden overschreden;
- de regeling van de temperatuur zo nauwkeurig mogelijk uitvoeren, zodat de drukvariaties ten gevolge van temperatuurfluctuaties minimaal zijn;
- de constructie van wanden en plafond van de koude ruimte elastisch maken, waardoor het volume van de ruimte ook bij kleine drukverschillen merkbaar kan variëren.

In de praktijk zullen voor deze maatregelen compromissen dienen te worden gevonden. een passende richtlijn is hiervoor nog niet te geven en aan de hand van metingen zal veelal moeten blijken wat bij bepaalde temperatuurvariaties, nodig voor de klimaatregeling, de optredende drukvariaties zijn. De belading van de ruimte kan mede van invloed zijn op de frequentie van de temperatuurvariaties van de lucht. Naarmate de ruimten kleiner van afmetingen zijn, zijn de wanden en het plafond meestal minder elastisch en de eerste twee van de bovengenoemde maatregelen gaan dan zwaarder wegen. Vooral bij ruimten voor CA-bewaring van fruit is het

vermijden van luchtuitwisselingen een strenge vereiste en in die gevallen is het aan te bevelen een buffer, als omschreven in hoofdstuk 3, toe te passen waarmee het volume van de ruimte automatisch kan worden vergroot of verkleind en de ruimtelucht bij praktisch gelijkblijvende druk kan uitzetten en krimpen zonder dat daar luchtuitwisseling mee gepaard gaat.

Bijkomstige aspecten
Uit het voorgaande blijkt dat een bepaalde luchtuitwisseling voor koude ruimten in het algemeen noodzakelijk is. Ook wanneer uit het oogpunt van de te bewaren produkten luchtverversing gewenst is, zoals bijvoorbeeld voor gekoelde opslag van levende produkten het geval is, is het aan te bevelen de noodzakelijke opening(en) in de wand in de omgeving van de luchtkoelers aan te brengen. Daarmee wordt bereikt dat het vocht dat noodzakelijkerwijze de ruimte binnendringt, niet op de produkten zal condenderen, doch op de koelers.
Tevens kan om deze reden worden overwogen in de gehele ruimte een geringe overdruk ten opzichte van de omgeving te handhaven teneinde het negatieve effect van ongecontroleerde lekkage van buiten naar binnen zo klein mogelijk te houden, dan wel geheel te ondervangen.

6 Lekzoekmethoden

Algemene aspecten
Het zoeken van lekopeningen in wanden, vloer en plafond van een koude ruimte dient systematisch te worden uitgevoerd. Begonnen moet worden op plaatsen waarvan uit ervaring is gebleken dat de waarschijnlijkheid de lekopeningen daar te vinden het grootst is. In volgorde van afnemende waarschijnlijkheid en toenemende inspanning zijn te noemen:
- zichtbare beschadigingen;
- afsluiting tussen deur en kozijn;
- afsluiting tussen deur en vloer;
- doorvoeringen van leidingen in wanden en plafond;
- aansluiting van wanden op de vloer en tegen het plafond;
- over- en onderdrukbeveiliging;
- alle naden in wanden en plafond (plastische kit).

Bij een aantal van de hierna beschreven lekzoekmethoden wordt gebruik gemaakt van over- of onderdruk in de koude ruimte. Of men over- dan wel onderdruk toepast, hangt af van de plaats waar men de lekopening wil opsporen: buiten resp. binnen de ruimte; de bereikbaarheid, ook ten aanzien van de te bezigen hulpmiddelen, is hierbij veelal bepalend.
Het aan te brengen drukverschil is, zoals reeds eerder opgemerkt, aan een maximum gebonden. Met een eenvoudige open drukverschilmeter, eventueel zelf vervaardigd uit doorzichtige plastic slang, kan het drukverschil worden gemeten; 10 mm niveauverschil met water komt overeen met ca. 100 Pa drukverschil. Voor kleine ruimten kan men doorgaans gebruik maken van een stofzuiger voor het aanbrengen van het vereiste drukverschil. Bij gasdichte cellen kan na het bereiken van dit drukverschil de aansluiting met een rubberstop worden afgesloten.
Uit veiligheidsoverwegingen is het raadzaam dat bij het opzoeken van lekken van binnen uit er zich tenminste twee personen in de afgesloten ruimte bevinden.

Gangbare methoden
De lekzoekmethoden die in de praktijk kunnen worden toegepast en in de literatuur zijn beschreven, zijn die waarbij van de volgende hulpmiddelen of verschijnselen gebruik wordt gemaakt: 1 geluid, 2 kaarsvlam of zeepsop, 3 tracergas, 4 licht, 5 inspectie, 6 infraroodfotografie, 7 rijp.
Van de bedoelde methoden volgt hieronder een summiere beschrijving.

ad 1 lekzoeken met geluid
Wordt in een koude ruimte een onderdruk aangebracht dan kan men, mits andere geluiden afwezig zijn, de stroming door grotere lekopeningen horen en daardoor opsporen.
Deze methode is geschikt voor middelgrote gekoelde ruimten met slechts enkele lekopeningen. Zijn er te veel lekopeningen dan is het niet mogelijk voldoende onderdruk aan te brengen.
Voor CA-cellen is de methode niet geschikt omdat de lekopeningen te klein zijn, de geluidssterkte daardoor te zwak en de geluidsfrequentie te hoog is. Wellicht is een elektronische geluidsdetector toe te passen. In Electuur (juli/aug. 1978) is een schakeling beschreven waarbij ultrasoon geluid in frequentie omlaag wordt getransformeerd.

ad 2 lekzoeken met een kaarsvlam of zeepsop
Een eenvoudige praktische methode voor het opsporen van lekopeningen maakt gebruik van de snelheid waarmee lucht door deze openingen de ruimte binnen stroomt indien daarin een onderdruk van ca. 100 Pa heerst. De luchtstroom kan met een kaarsvlam duidelijk worden aangetoond, waarmee de plaats van de opening is te bepalen. De methode wordt beschreven in Praktijkadvies no. 9 van het Sprenger Instituut: 'Het testen van gaskoelcellen op dichtheid'.
Deze methode is voor iedere koude ruimte toepasbaar, met uitzondering van kleine CA-cellen en cellen waarvan de te onderzoeken wand moeilijk bereikbaar is, zoals bijvoorbeeld bij een houten beschermwand voor en een spouw achter de te onderzoeken wand.
In plaats van een kaarsvlam kan zeepsop (Teepol) worden gebruikt; de groeiende zeepbellen geven de plaats van de lekopening nauwkeurig aan. Langwerpige openingen, zoals spleten en kieren, lenen zich minder goed voor deze methode.
Bij het gebruik van een kaarsvlam dienen de brandbeveiligingsvoorschriften inacht te worden genomen.

ad 3 lekzoeken met tracergas
Bij deze methode, waarbij eveneens gebruik wordt gemaakt van een drukverschil binnen en buiten de ruimte, wordt in de lucht aan de zijde van de hoogste druk, dicht bij de te onderzoeken wand een hoeveelheid tracergas — veelal wordt hiervoor R12 gebezigd — geblazen; de lucht die door de lekopeningen stroomt voert sporen van dit tracergas met zich mee en aan de zijde van de laagste druk kunnen de uitstroomplaatsen nauwkeurig worden aangetoond met behulp van een elektronische halogeen-lekzoeker.
Afhankelijk van de omstandigheden wordt in de ruimte hetzij een onderdruk hetzij een overdruk aangebracht.
Staat de cel vrij en rondom redelijk toegankelijk opgesteld in een bedrijfsruimte, dan komt de onderdrukmethode in aanmerking. Een onderdruk van ca. 50 Pa is doorgaans reeds voldoende.
Rondom de cel, van bovenaf beginnend, wordt een kleine hoeveelheid R12 uit een spuitbus verstoven. De personen in de cel tasten met de lekzoeker de plaatsen af waar de lekken verwacht kunnen worden. Zelfs lekken kleiner dan 1 mm² kunnen zo worden gevonden. Omdat R12 uitzakt moet men boven in de cel beginnen. Het verdient aanbeveling de koelerventilatoren te laten draaien, teneinde het uitzakken tegen te gaan.
Bij grote CA-cellen heeft de overdrukmethode de voorkeur. Bij het aanbrengen van de overdruk laat men de ventilator gelijktijdig een hoeveelheid R12 mee aanzuigen. Nu wordt de buitenzijde van de cel afgetast, speciaal de doorvoeringen en de deur. Een voordeel bij deze methode is dat men ook bij belading van de cel, de deur op luchtdichtheid kan onderzoeken; bij de brandende-kaarsmethode kan men de onderzijde van de deur niet bereiken en heeft men derhalve geen zekerheid dat deze dicht afsluit. De tracergasmethode

wordt beschreven in Koeltechniek/Klimaatregeling 70 (1977), nr 12, p. 196. A Scheer: 'Het opsporen van lekken in CA-cellen met een elektronische halogeenlekzoeker'.
In plaats van een tracergas kan ook gebruik worden gemaakt van rookpatronen. Met name kieren onder de deuren kunnen hiermee met succes worden opgespoord.

ad 4 lekzoeken met behulp van licht
Om lekopeningen in de afdichting van deuren en leidingen van koude ruimten te vinden kan licht worden gebruikt. Men tast met een gebundelde sterke lichtstraal de verdachte plaatsen af, terwijl een waarnemer aan de andere zijde, die zo donker mogelijk dient te zijn, lekopeningen kan lokaliseren. Deze methode wordt beschreven in Refrigeration and Air Conditioning, oktober 1974, p. 40.

ad 5 lekzoeken door inspectie van materialen
Vaak kunnen grotere lekopeningen worden opgespoord door de toestand van rubbers en plastische kitten te onderzoeken. Deze methode vereist veel ervaring.

ad 6 lekzoeken met behulp van infraroodfotografie
Alhoewel dit in de praktijk voor koude ruimten nog weinig wordt toegepast is het in principe goed mogelijk met infraroos-foto's van de wand aanwijzingen te verkrijgen over de plaatsen waar zich lekopeningen bevinden.
Bij een onderdruk van ca. 100 Pa stroomt lucht door lekopeningen de koude ruimte binnen. Krijgt de binnenstromende warme lucht ca. 30 minuten de gelegenheid de wand in de buurt van lekopeningen op een hogere temperatuur te brengen, dan kunnen die warmere plaatsen op de gevoelige plaat worden vastgelegd. Ook thermische bruggen worden op deze wijze zichtbaar gemaakt. Het is mogelijk dat deze methode ook werkt bij het zoeken van lekopeningen in een wand die door een spouw en een andere wand aan het oog van een waarnemer wordt onttrokken.
Als literatuurplaats over infrarood-fotografie kan worden verwezen naar K. Schurer. 'Thermography in Agricultural Engineering', Thermography Proc. 1st Europ. Congr., Amsterdam 1974, Bibl. Radiol. nr 6, pp. 249-254 (Karger, Basel 1975).

ad 7 lekzoeken met behulp van rijpafzetting
Rijpafzetting in een vriesruimte kan worden veroorzaakt door de aanwezigheid van een lekopening. Vooral de vorm van rijpafzetting is een goede indicatie. Een spleetvormige opening bijvoorbeeld levert meestal een lijnvormige rijpafzetting.

Samenvatting
De zeven lekzoekmethoden zijn, volgens de aan het begin van dit hoofdstuk gegeven nummering, in onderstaand overzicht samengebracht, met indicaties omtrent de betrokken investeringskosten in verband met de benodigde apparatuur, tijdsduur voor het uitvoeren van een onderzoek en al dan niet moeten aanbrengen van een drukverschil over de wanden van de koude ruimte.

methode	1	2	3	4	5	6	7
investering	—/+	+	—	+	—	—	+	—
tijdsduur		—	+	+	—	—	—	—
drukverschil		x	x	x			x	

+ veel — weinig x toe te passen

7 Conclusies
Uitgaande van de in de praktijk opgedane ervaring dat koude ruimten vaak verre van dicht bleken te zijn, werd het wenselijk geoordeeld een duidelijker beeld te vormen van de invloed die ondichtheden kunnen uitoefenen op het energieverbruik en de klimatologische condities.
Een zekere mate van ondichtheid is onvermijdelijk maar ook toelaatbaar; echter dient te kunnen worden aangegeven waar, afhankelijk van het te verwachten gebruik van de koude ruimte en de aan te nemen omstandigheden, de grenzen dienen te worden gelegd.
Uit de door de werkgroep gevoerde besprekingen kunnen de volgende conclusies worden getrokken.
a Bij geringe ondichtheid van de wanden van koude ruimten kunnen ten gevolge van veranderingen van de ruimtetemperatuur en van de barometrische druk zo grote krachten op onderdelen van de bouwconstructie ontstaan, dat daaruit beschadigingen voortvloeien. Het zou daarom gewenst zijn dat iedere koude ruimte wordt uitgerust met een deugdelijke drukegalisatievoorziening, waarmee zeker gesteld kan worden dat het door de constructeur te specificeren, hoogst toelaatbare drukverschil niet wordt overschreden.
b Teneinde het mogelijk te maken condities te stellen met betrekking tot de nog toelaatbare lek van een koude ruimte, is het gewenst de ondichtheid van de wand te kunnen uitdrukken in een getal, zodanig dat de bij een bepaald drukverschil optredende lek daaruit ondubbelzinnig kan worden berekend.
De gebruikelijke kwaliteitsaanduiding voor de ondichtheid van een wand, uitgedrukt in mm^2/m^2, of p.p.m., onttrekt zich niet alleen aan een directe meting, maar vertoont bovendien geen vaste correlatie met de grootte van de lekstroom die bij een bepaald drukverschil zal optreden, omdat de afmetingen van de afzonderlijke openingen hierop van doorslaggevende invloed zijn. Dit bezwaar wordt opgeheven indien de lekstroom wordt gerelateerd aan die door een gestandaardeseerde opening, waarvoor hier een rond kanaal van 2 mm diameter en 200 mm lengte wordt voorgesteld.
c Langs de theoretische weg is het mogelijk de diverse invloeden van temperatuurfluctuaties, wind enz. op het energieverbruik als functie van de ondichtheid van de wand te berekenen. De bruikbaarheid van de theorie voor de praktijk dient echter te worden geverifieerd op basis van meetgegevens verkregen uit een bestaande koude ruimten uitgevoerde experimenten. Uit deze experimenten moet bovendien duidelijk worden welke lekgrootten in bestaande, in gebruik zijnde koude ruimten werkelijk optreden, Zodanige gegevens ontbreken thans nog vrijwel geheel en het is daarom noodzakelijk en aantal van dergelijke experimenten uit te voeren.
d De bevindingen van de werkgroep alsmede de diverse, uit de praktijk bekende problemen met betrekking tot de ondichtheid van koude ruimten, wijzen op de wenselijkheid van richtlijnen dienaangaande, bijvoorbeeld in de vorm van een norm die bij het ontwerp, de bouw en het gebruik van koel- en vrieshuizen inacht zijn te nemen. Een dergelijke norm kan pas worden opgesteld nadat aan het onder c gestelde is voldaan.

Summary
Non-tightness of cold room walls
Openings in cold room walls such as chinks and porosity cause an extra heat and moisture load due to temperature and barometric pressure variations and the influence of wind.
The magnitude of this extra load is not known to the designer of the refrigerating plant, nor does the cold store contractor know the flow of leaking air which will arise under various operating conditions.
It would therefore be desirable to state, in a cold store build contract, the accepted rate of leakage and to examine on delivery, whether the relevant requirements have been met.
In the report a method is recommended which enables one to determine — on the basis of a duly measured leak characteristic of a cold room — the probable extra load on a cold room resulting from above mentioned leakages, depending on operating conditions.
The method enables one to draw up criteria for qualifying cold rooms with respect to air tightness.