

Bouw en inrichting van gascellen

door

Ir. P. Noordzij

*Instituut voor Bewaring en Verwerking van Tuinbouwproducten
te Wageningen*

Prijs ƒ6,-

(Mededeling No. 19 van het I.B.V.T.)

Bij het samenstellen van dit boekje, in het bijzonder voor hoofdstuk 8, werd een belangrijke bijdrage geleverd door Dipl. Ing. H. F. Th. Meffert en M. P. Karelse, medewerkers van het I.B.V.T.

Inhoud

1. Inleiding	7
2. Gasdichtheid	8
3. Isolatie	15
4. Typen gascellen	24
4.1. Intern gekoelde gascellen	26
4.1.1. Gasdichte bekleding en isolatie	26
4.1.2. Interne luchtcirculatie	32
4.2. Extern gekoelde gascellen	36
4.2.1. Constructie van de mantel	37
4.2.2. Luchtcirculatie buiten en binnen de mantel	40
4.2.3. Condensatie binnen de mantel	43
4.3. Gascellen met interne en externe koeling	47
5. Gebouw	50
5.1. Constructies	50
5.2. Indeling	61
6. Verandering van bestaande opslagruimten	68
6.1. Landbouwschuren	68
6.2. Bewaarplaatsen	69
6.3. Gewone koelcellen	71
7. Accessoires	73
7.1. Luiken en afdichtingsmaterialen	73
7.2. Gasmeetplaatsen en regeling luchtsamenstelling	75
7.3. Temperatuurregeling	80
7.4. Verlichting	82
8. Koolzuurwassers	83
8.1. Absorbens	84
8.1.1. Niet regenerereerbare absorptiemiddelen	84
8.1.2. Regenerereerbare absorptiemiddelen	86

8.2. Constructie en werking der wassers	88
8.2.1. Waters voor vloeibare absorptiemiddelen	90
8.2.2. Waters voor vaste absorptiemiddelen	96
8.2.3. Leidingwerk	98
8.2.4. Materiaalkeuze	101
8.3. Kosten van het luchtwassen	101
9. Beproeving lekdichtheid	107
10. Bouwkosten	109
Literatuur	113

Ten geleide

Spreading van de consumptieperiode van de veelal spoedig aan bederf onderhevige tuinbouwprodukten is voor de afzet van grote betekenis.

In de jaren na de 2de wereldoorlog is ook in ons land de belangstelling voor het bewaren van vruchten sterk toegenomen. Tientallen bewaarplaatsen, koelhuizen en gascellen werden door veilingsverenigingen, telers en handelaren hiervoor ingericht.

Bij de bewaring gaat het vnl. om problemen, waarbij het verse karakter van het levende produkt zoveel mogelijk behouden blijft. Het spreekt welhaast vanzelf, dat bij het Instituut voor Bewaring en Verwerking van Tuinbouwprodukten (I.B.V.T.) aan de ontwikkeling van nieuwe en/of betere bewaar-methoden veel aandacht wordt gegeven.

In dit boekwerkje behandelt ir. P. Noordzij, wetenschappelijk medewerker van het I.B.V.T., de bouw en inrichting van gascellen voor het bewaren van vruchten. De schrijver gaat uitvoerig in op de eisen, waaraan bij de bouw en inrichting van gascellen moet worden voldaan.

Dit boekje is geen gemakkelijke lectuur. Dit behoeft de lezer echter geenszins af te schrikken, aangezien de schrijver er o.i. op uitnemende wijze in is geslaagd, om naast de wetenschappelijke verantwoording, de problemen waarom het bij de bouw en inrichting van gascellen gaat, op een voor ieder begrijpelijke wijze, naar voren te brengen en dit werkje tot een waardevolle informatiebron te maken.

De belangstelling voor de bouw en inrichting van gascellen voor de bewaring van bepaalde fruitrassen neemt nog steeds toe. Wij twijfelen niet of vele belanghebbenden zullen van dit gedegen werk van ir. Noordzij kennis willen nemen en er hun voordeel mede kunnen doen.

C. Boudewijn
Voorzitter I.B.V.T.

's-Gravenhage, november 1961.

1. Inleiding

De laatste jaren wordt ook in Nederland bij het bewaren van fruit steeds meer van zgn. gascellen gebruik gemaakt. De uitdrukking gascel, die een letterlijke vertaling is van het Engelse "gas store", heeft algemene ingang gevonden. Hetzelfde kan worden gezegd van de Engelse term "gas storage", die door gasbewaring is vertaald. Degenen, waarvoor dit boekje is geschreven, zullen met de betekenis van deze woorden bekend zijn. Voor de leek is dit echter niet altijd even duidelijk. Het idee, dat een gascel met gas wordt gekoeld, komt men nog vaak tegen. Ook wordt hier wel eens een vergelijking gemaakt met een speciaal soort gas, dat bijv. voor verwarmingsdoeleinden wordt gebruikt. De Amerikanen spreken van „Controlled Atmosphere Storage", hetgeen veel duidelijker de juiste werking aangeeft. Ook de Fransen met hun „Atmosphère Contrôlée" zijn gemakkelijk te begrijpen. In het Duits spreekt men van Gaslagerraum en Gaskühllagerung. Hoewel de ingeburgerde termen gascel en gasbewaring slecht de zaken weergeven, heeft het ons inziens weinig nut ze thans nog eens te gaan veranderen. In het vervolg zullen we ze daarom blijven gebruiken.

In de sector van de tuinbouw verstaan we onder een gascel een speciaal geconstrueerde koelruimte voor de opslag van vruchten, groenten en andere produkten. De speciale constructie bestaat hierin, dat de wanden van de opslagruimte geen of zeer weinig koolzuur en zuurstof doorlaten. Verse tuinbouwprodukten blijven tijdens de opslag in leven. Om in leven te blijven moet evenals bij de mens een verbrandingsproces in stand worden gehouden. Voor dit proces is zuurstof nodig, terwijl koolzuur als afvalprodukt vrij komt. De uitwisseling van deze gassen noemen we het ademen van de produkten. De levensprocessen worden bij lage temperaturen vertraagd, waardoor de produkten langer houdbaar zijn. We kunnen door het verlagen van de temperatuur deze processen zover terugbrengen totdat beschadigingen, zgn. lage temperatuurbeschadigingen, aan het produkt optreden. Naast het verlagen van de temperatuur is het verlagen van de zuurstofconcentratie van de lucht, waarin de produkten worden bewaard, een ander middel om de levensactiviteiten te remmen. Evenals met de temperatuur kunnen we hiermede niet willekeurig doorgaan. De grenzen worden namelijk weer door het voorkomen van koolzuurbeschadigingen aan het produkt bepaald.

Het verlagen van de zuurstofconcentratie van de lucht in de bewaarruimte kan het produkt tot op zekere hoogte zelf verzorgen. Doordat het zuurstof opneemt en koolzuur afstaat zal de lucht steeds armer worden aan zuurstof en rijker aan koolzuur. De hoedanigheid van de wanden van de bewaarruimte en de mate, waarin de omzetting zuurstof-koolzuur plaats vindt, bepalen nu de gasconcentraties van de lucht. Het laat zich gemakkelijk verstaan dat een menselijke ingreep noodzakelijk is om een bepaalde gasconcentratie in te stellen. Dit laatste geschiedt door in de wand een instelbare opening aan te brengen. Meestal wordt hiervoor een zgn. luchtschuif gebruikt.

Er is nog een tweede manier om de gassamenstelling te regelen. De samenstelling van de lucht rondom het aardoppervlak is ongeveer als volgt: 79 % stikstof en 21 % zuurstof. Daar er in de bewaarruimte met de stikstof niets gebeurt zal de som van de concentraties zuurstof en koolzuur steeds 21 % blijven. Dit houdt in dat bij lage zuurstofconcentraties het koolzuurpercentage hoog is. Sommige produkten kunnen slechts een lage concentratie koolzuur verdragen. Willen we het zuurstof- en het koolzuurgehalte laag houden, dan zijn we gedwongen om het koolzuur te vervangen door een ander gas. De meest eenvoudige vervanger is stikstofgas uit de omgevingslucht. Daartoe wordt het koolzuur uit de bewaarlucht gewassen en omgevingslucht met relatief veel stikstof toegelaten. Het gehalte aan stikstof in de bewaarlucht stijgt en de som van de concentraties zuurstof en koolzuur daalt. Het uitwassen van de koolzuur geschiedt in "scrubbers" of koolzuurwasapparaten.

In de volgende hoofdstukken zullen we nader ingaan op de constructie van de gascellen waarbij we de belangrijke onderdelen hopen te behandelen als de gasdichtheid van de wanden en hun beproeving, de koeling van de ruimte, de isolatie, de koolzuurwassers en de verschillende hulpmiddelen, die een belangrijke functie vervullen.

2. Gasdichtheid

De geringe uitwisseling van koolzuur en zuurstof noemden we in het vorige hoofdstuk de meest karakteristieke eigenschap van een gascel. De uitwisseling van gasen kan op twee manieren plaatsvinden. In de eerste plaats kan gasuitwisseling optreden via openingen van de wand door luchtstromingen, die ten gevolge van drukverschillen ontstaan. Deze drukverschillen worden opgebouwd door temperatuurverschillen, door verschillen in soortelijk gewicht, door een ventilator, enz. Reeds bij zeer kleine drukverschillen kan de gasuitwisseling grote proporties aannemen.

Verder kan een gas van de ene plaats naar de andere diffunderen. Daarvoor is het bestaan van een drukverschil tussen beide plaatsen nodig. Bij een mengsel van gasen en gelijke drukken kunnen de verschillende componenten afzonderlijk diffunderen, indien hun concentraties en daardoor hun zgn. partiële drukken niet gelijk zijn. Tijdens het diffunderen ondervinden de gasen op hun wegen weerstanden. De grootte van deze weerstanden wordt bepaald door de eigenschappen van het materiaal, waardoor diffusie optreedt, en van de diffunderende gasen zelf. Zo zal een gas door een stuk hout gemakkelijker worden doorgelaten dan door een metalen plaat van gelijke dikte. Deze weerstanden kunnen in getallen worden uitgedrukt, welke we dan diffusie-coëfficiënten noemen.

Tabel I. CO₂-Diffusiecoëfficiënten voor verschillende materialen.

	diffusiecoëfficiënt cc CO ₂ /cm 24 uur mm Hg x 10 ⁶
0,0254 mm aluminiumfolie	0,003
„ ondoorschijnend polyethyleenfilm	1,8
„ doorschijnend polyethyleenfilm	5,3
„ polyvinylchloride film	3,9
„ polystyreen film	8
3 mm bitumenweefsel	9,6
50,8 mm Onazote (4 lbs/cu ft)	35600

Eén en ander over de grootte der gasuitwisseling willen we hieronder nader uitwerken. Daartoe stellen we ons een gascel voor met een inhoud van 200 m³. De bergingscapaciteit van deze cel is 48.000 kg appelen. De appelen zullen bij het bewaren in een koolzuur-milieu met een concentratie van 6 % CO₂ en een temperatuur van 4°C ongeveer 90 gram koolzuur per ton appelen en per dag

afgeven. Tweederde deel van de cel blijft dus met lucht gevuld. Het koolzuurpercentage kan nu per dag oplopen met $\frac{90 \times 48}{2000 \times 2/3 \times 200} \times 100\% = 1,62\%$ (2000 is het soortelijk gewicht van koolzuur in g/m³). Het is normaal wanneer na het sluiten van de gascel de koolzuurconcentratie met 1 % per dag oploopt. In ons geval zal dus 0,62 % verloren gaan. Dit komt overeen met $\frac{0,62}{1,62} \times 90 \times 48$

= 1650 g CO₂/dag. Deze hoeveelheid koolzuur zal als onderdeel van de ruimtelucht door lekkage verdwijnen. Is het concentratie-verschil van het koolzuur in de lucht binnen en buiten de gascel bijvoorbeeld 3 % en zou het verlies aan koolzuur uitsluitend plaatsvinden door vrije uitwisseling van lucht (dus niet door diffusie) dan lekt er $\frac{1650 \times 22,4}{44 \times 0,03} = 28000$ liter lucht per dag naar buiten (22,4

is een voor alle gasen constante waarde in liter/mol. en 44 is het moleculair gewicht van koolzuur in g/mol.). We zien dat de hoeveelheid leklucht bijzonder groot kan zijn. De grootte van de openingen waardoor de lucht lekt is te bepalen (zie hoofdstuk 9). We nemen hier aan dat de lekopening 10 cm² is. Het drukverschil dat verantwoordelijk is voor de lekkage is nu te berekenen. We duiden dit drukverschil aan met de Griekse letter π en vinden $\pi = \left(\frac{28}{35 \times 10} \right)^2 = 0,0064$ mm WK.

(28 is hoeveelheid leklucht in m³/dag, 35 is een getal afhankelijk van enkele stoffeigenschappen van de lucht, 10 is de lekopening in cm²). Slechts zeer kleine drukverschillen veroorzaken hier een grote uitwisseling van lucht. Bovendien blijkt duidelijk dat we aan de gasdichte afwerking van de wanden, enz. zeer hoge eisen moeten stellen.

Is de gascel op de vereiste concentratie koolzuur gekomen dan mag dit niet meer toenemen. Er moet meer lucht uitgewisseld worden en wel $\frac{1,62}{0,62}$ maal zoveel. De lekopening moet dan in dezelfde verhouding groter worden, dus $\frac{1,62}{0,62} \times 10 = 26$ cm². Een eenvoudig middel hiertoe is een opening in de wand, die door een schuif naar believen min of meer kan worden afgesloten. Ook andere methoden zijn denkbaar (zie paragraaf 7.2).

Bij bovenstaande calculaties hebben we nog geen rekening gehouden met koolzuurverliezen door diffusie. Hiervoor moeten, naast het oppervlak waarvoor diffusie plaats vindt, de diffusiecoëfficiënten en de partiële drukken bekend zijn. Over koolzuurdiffusie door verschillende materialen is zeer weinig bekend. We kunnen echter veilig aannemen, dat koolzuurdiffusie door metalen platen zeer gering en te verwaarlozen zal zijn. Van het in Nederland vaak gebruikte bitumenweefsel is meer bekend. De diffusiecoëfficiënt hiervan voor koolzuur is 0,0000004 cc/cm uur mm Hg bij 3 mm dikte. Het wil zeggen dat, bij een

concentratieverschil van 10 % CO_2 in bovenstaande gascel met een wandoppervlakte van 215 m^2 , $15,7 \text{ g CO}_2/\text{dag}$ op deze manier verloren kan gaan. Dit is vergeleken met de verliezen door leklucht wel bijzonder laag. Zouden we de verliezen door leklucht meer in de hand hebben dan zou het mogelijk zijn materialen te gebruiken met een grotere diffusiecoëfficiënt. Daar het in de praktijk moeilijk is een gascel volledig luchtdicht te maken (denk aan het doorvoeren van leidingen en aan de deuren) accepteren we de grotere verliezen door luchtlekken en passen we voor de gasdichte bekleding slechts die materialen toe, die heel weinig koolzuur doorlaten.

De gasdichtheid van gascellen, waarin koolzuur wordt uitgewassen, is niet zo eenvoudig te behandelen. Daarom nemen we hier onze toevlucht tot het gebruiken van een nomogram (fig. 1). In dit nomogram wordt het verband tussen de koolzuurproduktie door het fruit, de afname van de zuurstofconcentratie en de specifieke lekfactor aangegeven. Bij de opzet ervan namen wij aan dat de koolzuurproduktie van het fruit gedurende het proces constant blijft en dat het koolzuurconcentratieverschil van de lucht tussen binnen en buiten 3 % bedraagt. Is de afname van de zuurstofconcentratie in de gasdichte ruimte b.v. 1, dan kunnen we populair zeggen dat de afname 1 % per dag zal zijn. Willen wij namelijk een eindconcentratie van 5 % O_2 bereiken, dan rekenen wij erop, dat we voor de afname van 15 % ook 15 dagen nodig zullen hebben.

In werkelijkheid zal gedurende de eerste dagen de afname groter zijn dan 1 % per dag, terwijl aan het eind van de periode van 15 dagen de afname kleiner zal zijn dan 1 %. Onder de specifieke lekfactor van een gasdichte ruimte verstaan we het aantal m^3 gasmengsel, dat per dag en per m^3 ruimteinhoud met buitenlucht wordt uitgewisseld. Deze factor bepaalt onafhankelijk van de grootte der ruimte, welke zuurstofconcentratie is te behalen. Nemen wij als voorbeeld een koolzuurproduktie aan van 100 g CO_2 per ton produkten per dag en een concentratie-afname van 1 % O_2 per dag, dan vinden wij voor een concentratie van 5 % O_2 een specifieke lekfactor van 0,036. Is deze factor groter b.v. 0,058, dan is de te bereiken eindconcentratie voor de zuurstof hoger, namelijk 10 % O_2 .

Het diagram lezen we als volgt af: Vanuit de koolzuurproduktie, die rechts boven in het nomogram horizontaal is afgezet, gaan we verticaal naar beneden

tot we de kromme voor de concentratieafname $\frac{\Delta}{\tau} = 1$ snijden. Door het snijpunt trekken we een horizontaal, die op zijn beurt de verticaal door het concentratieverschil 0 % O_2 snijdt. Het concentratieverschil O_2 is beneden links in het nomogram horizontaal afgezet. Via een schuine lijn vanuit het laatste snijpunt gaan we links naar boven totdat we de verticaal door de vereiste O_2 -concentratie snijden. Dit snijpunt geeft de daarbij behorende maximale lekfactor aan, die links van het diagram verticaal is af te lezen.

We willen nu de specifieke lekfactor van een cel voor gescrubde gasbewaring vergelijken met die van een cel voor gewone gasbewaring. Voor zo'n gascel hebben we nu ook een nomogram opgesteld (fig. 2). Aan de vorm en het gebruik

→ koolzuurontwikkeling g CO₂/ton 24 uur

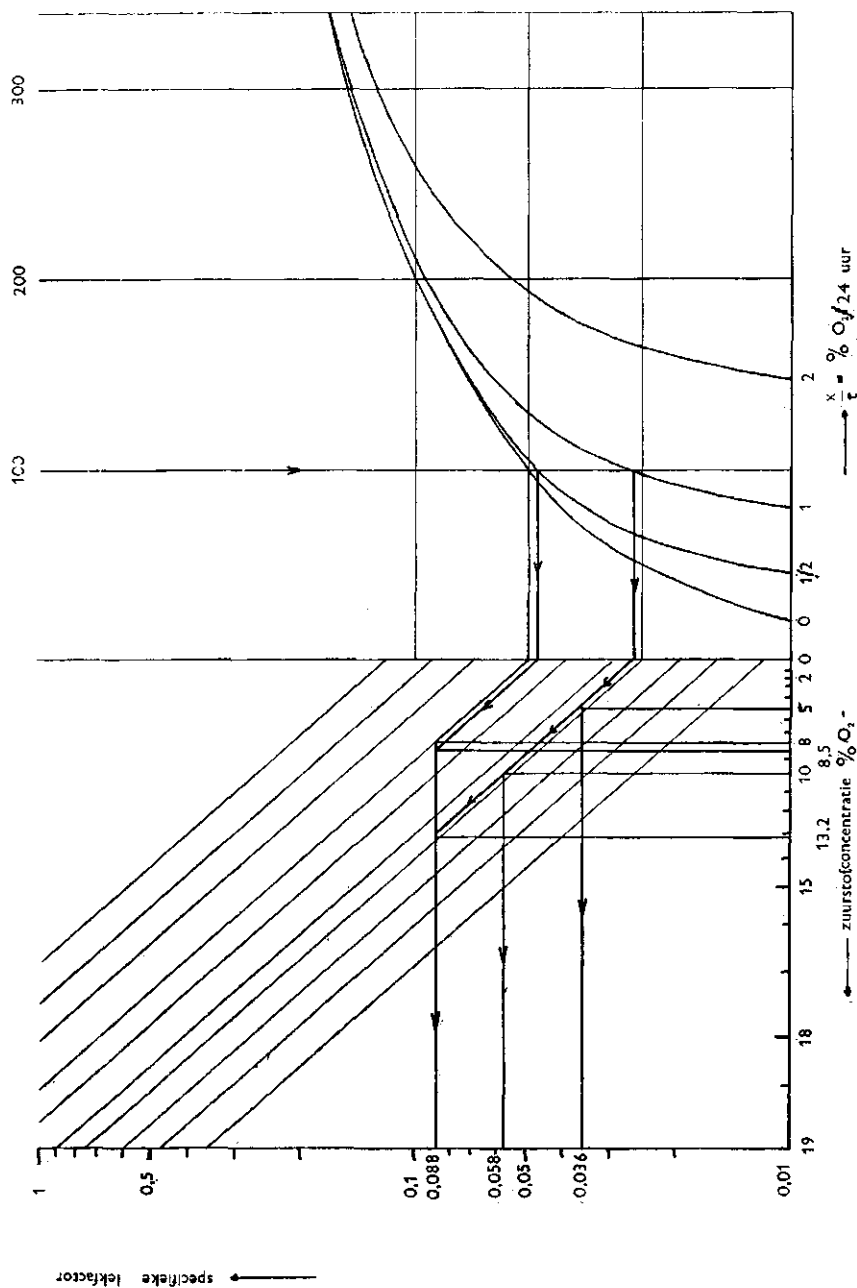


fig. 1. — Verband tussen koolzuurproductie en zuurstofconcentratie en specifieke lekfactor in een ruimte voor gescrubde gasbewaring.

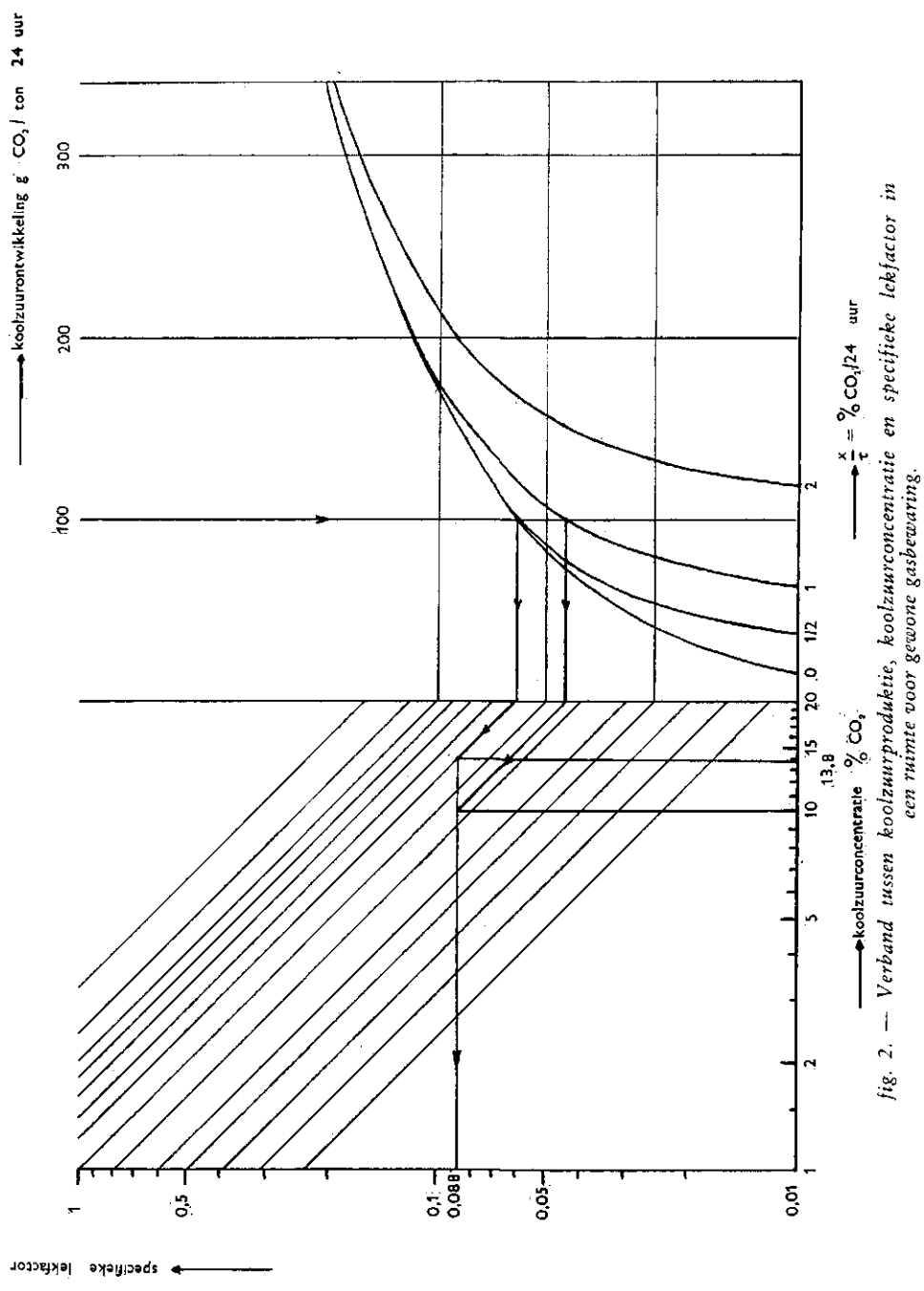


fig. 2. — Verband tussen koolzuurconcentratie en specifieke lekfactor in een ruimte voor gewone gasbewaring.

van dit nomogram is ten opzichte van het vorige weinig veranderd. Alleen de eenheden zijn verschillend. De zwaarste eis, die aan een gascel voor gewone gasbewaring wordt gesteld is, dat de koolzuurconcentratie tenminste 10 % CO₂ kan zijn. Willen we die 10 % CO₂ na 10 dagen bereiken, dus $\frac{x}{t} = 1$, dan vinden we bij een koolzuurproduktie van 100 g CO₂ per ton produkten en per dag op gelijke wijze als zoëven een lekfactor van 0,088. Zouden wij deze gascel voor geschrubde gasbewaring gebruiken, dan zouden we na 7 dagen een concentratie hebben bereikt van 13 % zuurstof en na 23 dagen slechts één van 8,5 % (fig. 1). De vraag welk concentratieverschil zich maximaal kan instellen komt nu in ons op. Daartoe letten we op een concentratieafname $\frac{x}{t} = 0$; dit betekent dat het oneindig lang zal duren voordat een bepaalde concentratie bereikt is. Of met andere woorden: een bepaalde concentratie kan nooit bereikt worden. Voor het laatste voorbeeld vinden we in het diagram voor gewone gasbewaring (fig. 2) geheel overeenkomstig het beschreven gebruik bij dezelfde koolzuurproduktie en dezelfde lekfactor en voor $\frac{x}{t} = 0$ een concentratieverschil van 13,8 %. Deze gascel is dan ook goed bruikbaar voor het bewaren van Golden Delicious. Willen we in dezelfde ruimte echter Cox's Orange Pippin of Goudreinette opslaan, dan kunnen we een concentratie van 8 % zuurstof nooit krijgen. Hieruit zien we, dat normaliter aan de lekdichtheid van gascellen voor geschrubde gasbewaring hogere eisen moeten worden gesteld dan aan die van gascellen voor gewone gasbewaring.

3. Isolatie

De warmte, die vanuit aangrenzende ruimten binnenkomt, moet door de koelmachine worden verwijderd. Het onttrekken van warmte door de koelmachine gaat altijd gepaard met verlies van vocht in de lucht. We zullen dus trachten de warmtebelasting van een koelcel zo klein mogelijk te houden. Het op peil houden van de luchtvochtigheid is niet de enige reden, waarom we de binnenkomende warmte willen beperken. Het opwekken van koude is naar verhouding een kostbare zaak. Om financiële redenen zullen we de warmtestroom door de wanden, de vloer en het plafond binnen bepaalde grenzen houden. Dit kan geschieden door isoleren.

Soorten isolatiemateriaal

Voor het isoleren maken we gebruik van materialen, die de warmte slecht geleiden. Een heel slechte warmtegeleider is lucht. Of een materiaal goed of slecht de warmte geleidt hangt voor een groot deel af van de in het materiaal aanwezige lucht. Een soortelijk licht materiaal geleidt de warmte slecht; een soortelijk zwaar materiaal geleidt de warmte goed. Het in rust zijn van de lucht is een andere voorwaarde voor een goed isolerend vermogen. De lucht kan op verschillende manieren omsloten worden. In geëxpandeerde kurk en rubber (Onazote) zit de lucht in gesloten cellen. De afmetingen der cellen zijn zeer klein. In de meeste bouwmaterialen echter vinden we open kanaaltjes, zoals bij baksteen, hout, bouwplaten gemaakt van b.v. houtspaanders, vlasseven, stro, enz. Open kanalen zijn met het oog op vochtig worden ongewenst. Hierover spreken we later nog. Tenslotte kennen we de zgn. folie isolatiematerialen (Wellit, Isoflex). Zij zijn opgebouwd uit diverse lagen, waartussen zich lucht bevindt. De afstanden der lagen onderling is zo klein gekozen, dat de luchtbewegingen zeer gering zijn. Hierdoor zal de warmtegeleiding beperkt blijven. Een nog beter isolerend vermogen krijgen we, indien we de straling van de lagen verkleinen. Daarom worden de lagen ook uitgevoerd als aluminium folies (Alfol).

Een andere wijze van indeling van de isolerende materialen is de onderscheiding naar hun oorsprong. Van organische oorsprong zijn o.a.: kurk, Iporka, Onazote, Drakavinyl en andere moderne kunststoffen. Anorganische materialen zijn o.a.: gasbeton, Durox, Ytong, klinkerisoliet, vermiculiet, enz. De laatste jaren ondervindt het bekende en zeer veel toegepaste produkt kurk zware concurrentie van kunstprodukten, die vervaardigd zijn van polyvinylchloride, polystyreen, polyurethaan, enz.

Tenslotte zouden we nog een onderscheid kunnen maken naar de wijze van aanbrengen. Sommige materialen worden losgestort, zoals afvalprodukten van houtzagerijen, vlasfabrieken en kurkindustrieën. We noemen dit vulisolaties. Hoogwaardige vulmaterialen zijn de poederisolaties (santocel, perlite, enz.). Deze worden hier vanwege de hoge kosten niet gebruikt. Nog een andere methode van isoleren is het ter plaatse schuimen van materialen (polystyreen, polyurethaan).

Warmtetransport

De warmtestroom door wanden, plafond en vloer bepalen we met behulp van de formule

$$Q = kF \Delta t$$

Hierin is Q de warmtestroom in kcal/h, k de transmissiecoëfficiënt in kcal/m²h °C, F het oppervlak waardoor de warmte stroomt in m² en Δt het temperatuurverschil tussen de lucht binnen en buiten in °C. De transmissiecoëfficiënt k is opgebouwd uit een aantal coëfficiënten; o.a. de warmtegeleidingscoëfficiënten. De samenhang tussen deze grootheden wordt gegeven door de formule:

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \sum \frac{d}{\lambda}$$

Hierin is α_1 de warmteoverdrachtscoëfficiënt tussen de buitenzijde en de buitenlucht in kcal/m²h °C, α_2 idem tussen de binnenzijde en de lucht in kcal/m²h °C,

$\sum \frac{d}{\lambda}$ de som van de warmtegeleidingsweerstand van de verschillende

bouw- en isolatie-elementen, d is de dikte van het beschouwde element in m, λ de warmtegeleidingscoëfficiënt van het beschouwde element in kcal/m h °C. Veel in de praktijk gebruikte waarden voor de α 's zijn: $\alpha_1 = 25$ kcal/m²h °C en $\alpha_2 = 7$ kcal/m²h °C. De warmtegeleidingscoëfficiënten van enige veel in ons land gebruikte materialen vinden we in tabel II.

Tabel II. Warmtegeleidingscoëfficiënt van isolatiematerialen.

	warmtegeleidingscoëfficiënt kcal/m uur °C
alfol	0,027 — 0,034
isoflex	0,04
Wellit	0,035
polystyreen	0,024 — 0,027
polyvinylchloride	0,027
kurk, ruw	0,14 — 0,26
kurk, geëxpandeerd	0,029
kurk, geëxpandeerd geïmpregneerd	0,03 — 0,036
Kurkkorrel	0,027 — 0,038
kurkstenen (Rudi)	0,068
steenwol	0,03
vlasscheven	0,043
houtschaafsel	0,05 — 0,06
klinkerisoliet	0,08 — 0,12
duroxsteen	0,09 — 0,1
gasbeton (Trisola)	0,07 — 0,09
houtvezelcementplaten (Mevriet)	0,06 — 0,088
baksteen	0,75
bimsbetonsteen	0,30
glaswol	0,036

De isolatiematerialen worden meestal met een ander materiaal (bitumen, kleefstof) aangebracht. De voegen tussen de isolatieplaten en eventueel slecht aansluitende kanten isoleren minder goed dan het moedermateriaal. Verder stellen we aan bepaalde onderdelen meer constructieve dan isolerende eisen. Zulke slecht geïsoleerde delen, zoals deurkozijnen noemen we warmtebruggen. Een zeer belangrijke factor is ook het vochtig worden van het isolatiemateriaal. In tabel III is de invloed van het in het materiaal aanwezige vocht te zien. Al deze invloeden zullen de koudeverliezen groter doen zijn dan we ze berekenen. Daarom bepalen we in de praktijk de warmtestroom door de berekende waarde 20 à 30 % groter te nemen.

Isolatie en vocht

Een isolatie kan door twee oorzaken vochtig worden. In de eerste plaats de natuurlijke vochtopname van het materiaal volgens zijn dampspanningsisotherm, die aangeeft hoeveel water per gewichtseenheid droge stof aanwezig is bij een gegeven vochtgehalte van de omringende lucht. In de tweede plaats door condensatie van waterdamp in de lucht, die in de isolatie is opgesloten. De waterdamp komt in de isolatie door onvolkomen vochtwering en condenseert, wanneer de partiële waterdampspanning gelijk wordt aan de verzadigde waterdampdruk.

Tabel III. Invloed van vocht op de warmtegeleidingscoëfficiënt.

vochtgehalte in vol. %	Toeslag op warmtegeleidingscoëfficiënt in %
1	30
2,5	55
5	75
10	108
15	132
20	155
25	175

In enkele figuren hebben we voor verschillende geïsoleerde constructies de belangrijkste toestandsveranderingen getekend. Het temperatuurverloop (t) is zodanig, dat in de isolatie een grote verandering optreedt. Bij elke temperatuur kunnen we een waterdampspanning opgeven, waarbij waterdamp neerslaat. Deze lijn is de verzadigingslijn (p''). De werkelijk optredende waterdampspanning hebben we met de letter p' aangegeven. In fig. 3 zien we wat er kan gebeuren, wanneer we de isolatie, zonder verdere voorzorgen te nemen, direct tegen de muur aanbrengen. Over een groot gedeelte van de dikte der isolatie is de druk van de waterdamp gelijk aan de maximaal mogelijke druk. In dit gebied treedt nu condensatie van waterdamp op. Deze condensatie kunnen we echter voorkomen. Daartoe bezien we figuur 4. We trekken vanuit het punt, dat de

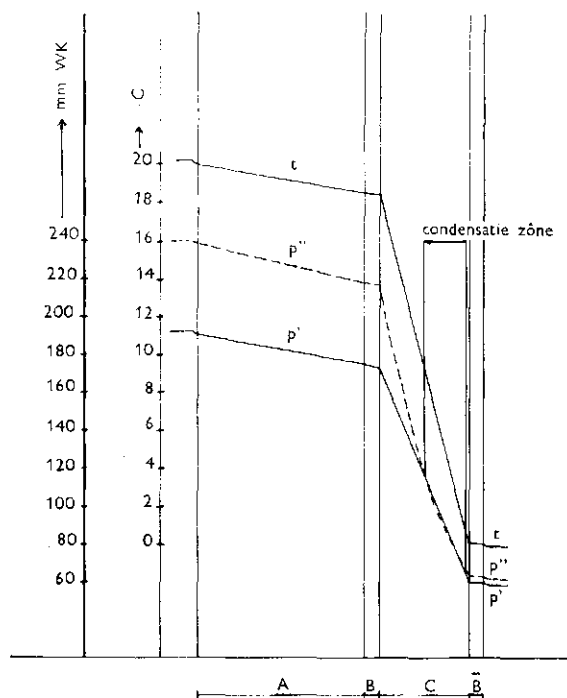


fig. 3. — Isolatie zonder dampdichte afwerking.

	dikte in mm	warmtegeleidings- coëff. in kcal/°C m h	diffusiecoëff. voor waterdamp in kg/m h mm WK
A = muur	220	0,7	200×10^{-8}
B = pleisterlaag	20	0,8	100×10^{-8}
C = isolatie (polystyreen)	120	0,03	15×10^{-8}

waterdampspanning binnen aangeeft, een raaklijn aan de lijn van de maximale waterdamp. Deze raaklijn geeft aan de buitenzijde van de isolatie een bepaalde waterdampdruk aan. Deze druk is kleiner dan die daar werkelijk heerst. Zouden we middelen vinden om de druk van de waterdamp aan de warme zijde van de isolatie plaatselijk sterk te verlagen, dan zouden we in staat zijn condensatie in de isolatie te voorkomen. Die middelen zijn inderdaad aanwezig. In hoofdstuk 2 zijn we materialen tegengekomen, die een grote weerstand hadden tegen diffusie van bepaalde gassen. Er zijn ook materialen, die waterdamp moeilijk doorlaten; daardoor zal het waterdampdrukverschil groot zijn. Het aanbrengen van zulke materialen aan de warme zijde noemen we het waterdampdichte afwerken van de isolatie. De keuze van de materialen naar hun hoedanigheden en dikte wordt bepaald door de noodzakelijk toe te passen drukval.

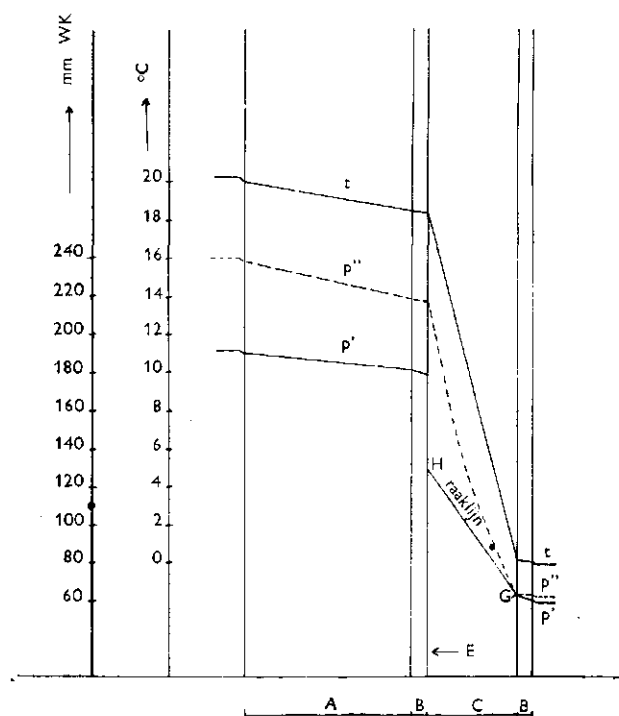


fig. 4. — Isolatie met dampdichte afwerking aan de warme zijde.

	dikte in mm	warmtegeleidings- coëff. in kcal/°C m h	diffusiecoëff. voor waterdamp in kg/m h mm WK
A = muur	220	0,7	200×10^{-8}
B = pleisterlaag	20	0,8	100×10^{-8}
C = isolatie (polystyreen)	120	0,03	15×10^{-8}
E = dampdichte laag	2	—	$0,26 \times 10^{-8}$

Het snijpunt H van de raaklijn in G aan de maximale dampspanningslijn met de buitenzijde van de isolatie geeft de drukafname aan om condensatie in de isolatie te voorkomen. Uit deze drukafname is de toelaatbare waterdampdiffusie te berekenen.

Een andere methode om de condensatie van waterdamp tegen te gaan is de waterdampdruk aan de binnenkant te verlagen. Om dit te bereiken wordt in de praktijk wel een gepatendeerde methode toegepast. Hierbij wordt via kanaaltjes in de isolatie lucht gevoerd, welke bijv. vooraf in een koelmachine is gedroogd. De in de isolatie doorgedrongen waterdamp kan nu met de circulerende lucht worden meegevoerd en buiten de isolatie worden verwijderd. Deze methode is betrekkelijk kostbaar en nogal ingewikkeld van constructie, vandaar dat zij,

niettegenstaande haar elegance, in de tuinbouwsector geen toepassing heeft gevonden.

Het aanbrengen van een moeilijk waterdampdoorlatend materiaal aan de koude zijde van de isolatie is af te raden. In zo'n geval wordt de drukval aan de warme zijde altijd kleiner en aan de koude zijde groter. Het gevolg is, dat de condensatiezone groter wordt, hetgeen in figuur 5 duidelijk is te zien. We moeten trachten de weerstand tegen waterdamp aan de koude zijde zo gering mogelijk te maken.

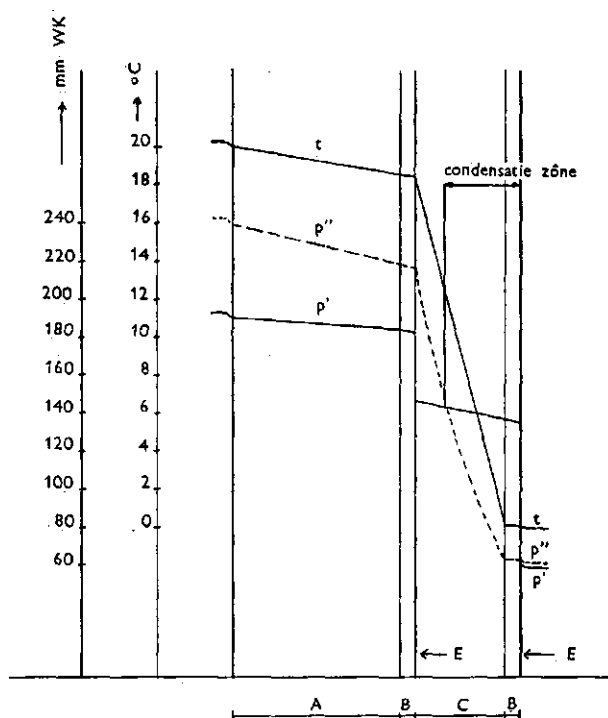


fig. 5. — Isolatie met aan beide zijden een dampdichte afwerking.

	dikte in mm	warmtegeleidings- coëff. in kcal/°C m h	diffusiecoëff. voor waterdamp in kg/m h mm WK
A = muur	220	0,7	200×10^{-8}
B = pleisterlaag	20	0,8	100×10^{-8}
C = isolatie (polystyreen)	120	0,03	15×10^{-8}
E = dampdichte laag	2	—	$0,26 \times 10^{-8}$

De condensatiezone is nu veel groter dan in fig. 3.

Voordat bij zgn. intern gekoelde gascellen de constructie, waarbij de isolatie zich binnen de gasdichte bekleding bevond, werd toegepast moest de bekleding toch aan de koude zijde worden aangebracht. Om condensatie in de isolatie te voorkomen zou hier bovengenoemde elegante methode kunnen worden toegepast. De praktijk leerde echter, dat een andere, enigszins vergelijkbare methode, ook goed voldeed. De constructie hiervoor is in figuur 6 getekend. Op enige

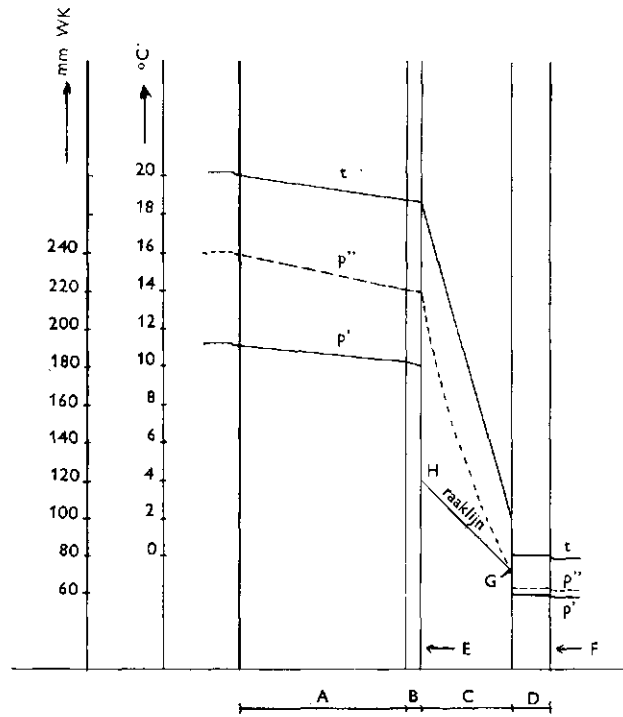


fig. 6. — Isolatie met aan de koude zijde een dampdichte afwerking, echter door een luchtsponw van de isolatie gescheiden.

	dikte in mm	warmtegeleidings- coëff. in kcal/°C m h	diffusiecoëff. voor waterdamp in kg/m h mm WK
A = muur	220	0,7	200×10^{-8}
B = pleisterlaag	20	0,8	100×10^{-8}
C = isolatie (polystyreen)	120	0,03	15×10^{-8}
D = luchtsponw	50	—	—
E = dampdichte laag	2	—	$0,248 \times 10^{-8}$
F = zink	1	—	nihil

Het punt H geeft weer de diffusie-eigenschappen van de dampdichte laag aan de warme zijde om condensatie in de isolatie te voorkomen.

afstand van de isolatie is een waterdampdichte bekleding aangebracht. De lucht in de aldus gevormde spouw wordt door deze wand afgekoeld. Een teveel aan waterdamp slaat neer op de koude wand. Zorgen we er nu voor, dat er geen uitwisseling optreedt met warmere lucht naar buiten, dan zal de waterdampspanning in de spouw zich altijd aanpassen aan de verzadigde waterdampspanningslijn. Door in het punt G van de maximale dampspanningslijn p'' een raaklijn te trekken vinden we aan de buitenzijde van de isolatie de waterdampdruk waarbij nog geen condensatie in de isolatie zal optreden. Het eventueel in de spouw gevormde water kan door een afvoer met waterslot in de grond worden geloosd.

Economische aspecten

In het begin van dit hoofdstuk is gewezen op de invloed van de warmtestroom op de luchtvochtigheid bij het opwekken van koude. Bij een lage luchtvochtigheid zullen de produkten meer uitdrogen dan bij een hoge. De kwaliteit van de produkten kan hierdoor achteruitgaan. Daarentegen doet een hoge vochtigheid meer bederf optreden. Beide verschijnselen werken elkaar tegen. Ergens ligt een waarde, waarbij de resultaten optimaal zijn. Daar over deze verschijnselen te weinig bekend is, zullen we de toelaatbare warmtestroom door de isolatie alleen bepalen met de kostenberekening over opwekking en verlies aan koude als basis. De aldus gevonden toelaatbare warmtestroom geeft aan hoe dik we de isolatie moeten kiezen.

In figuur 7 zijn de kosten van de door een isolatie van kurkplaten verloren gegane koude gegeven. Zij worden voorgesteld door de gebogen lijnen. De getallen, die erbij vermeld staan, geven het produkt aan van de prijs van een kilowattuur in centen, het gemiddelde temperatuurverschil over de isolatie in $^{\circ}\text{C}$ en het aantal dagen waarop de ruimte in bedrijf is. De koude, welke door de isolatie wegvloeit, is afhankelijk van de dikte der isolatie. Bij een bepaalde dikte kunnen we nu de stroomkosten onder diverse omstandigheden aflezen. Stellen we bijvoorbeeld de stroomprijs op 10 ct per kWh, het temperatuurverschil 10°C en de bedrijfstijd 200 dagen, dan vinden we via de lijn aangeduid met 20000 (is $10 \times 10 \times 200$) voor een isolatiedikte van 12 cm voor de stroomkosten f 1,20 per m^2 isolatie.

De dwars door de stroomkostenlijnen getekende rechten stellen de kosten van de isolatie voor. Hiervoor hebben we de afschrijving en rente van de te investeren bedragen genomen. Elke lijn vertegenwoordigt een zekere afschrijving. In werkelijkheid verlopen de lijnen niet zo mooi recht. Daar de afwijkingen slechts gering zijn en we met de grafiek niet meer dan een richtlijn willen geven, is voor de duidelijkheid deze vereenvoudiging toegepast. Voor een isolatiedikte van 12 cm vinden we bij het afschrijven van de isolatie in 25 jaren als jaarlijkse kosten f 1,68 per m^2 isolatie.

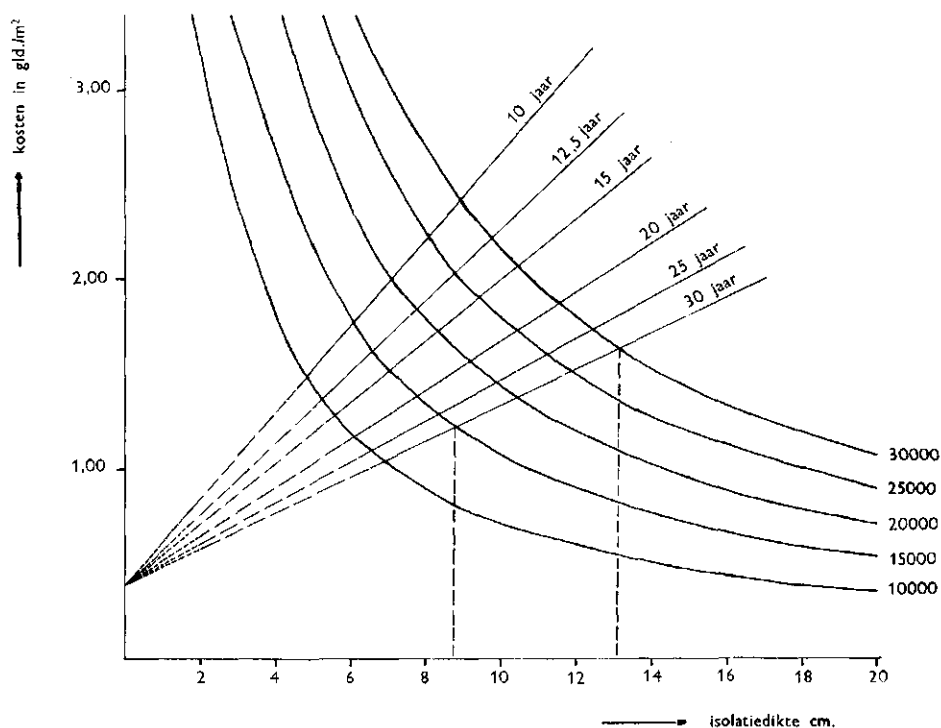


fig. 7. — Kosten van de isolatie en van de koudeverliezen door de isolatie afhankelijk van de dikte.

De totale kosten bedragen dan $f\ 1,20 + f\ 1,68 = f\ 2,88$ per m^2 . Deze kosten zijn minimaal, wanneer de twee lijnen elkaar snijden. Dit snijpunt bepaalt dan tevens hoe dik we moeten isoleren. Stel dat we in het vorige voorbeeld de isolatie in 20 jaren willen afschrijven. De hierbij behorende isolatiedikte is ongeveer 9 cm. Voor een telerskoelhuis, dat slechts rond de winter in bedrijf zal zijn, ligt het gemiddelde temperatuurverschil betrekkelijk laag. Ook de bedrijfstijd is kort. Hier zullen we met de lijn 15000 rekenen. Bij een afschrijving in 30 jaren behoort dan een isolatiedikte van ongeveer 9 cm. Een koelhuis bij een veiling of van een handelaar zal daarentegen dikwijls het gehele jaar in bedrijf zijn. Daarom moeten we voor de isolatie rekenen met de lijn 30000 of meer. Bij een zelfde afschrijving komt nu een isolatiedikte van 13 cm of meer.

Hiermede is aangetoond, dat de isolatiedikte niet onder alle omstandigheden dezelfde waarde behoeft te hebben. In verband met de uitdroging van de producten zullen we de buitenmuren echter nooit minder dan 12 cm dikte kurkplaten of gelijkwaardig hieraan isoleren.

4. Typen gascellen

Naar de wijze van koelen onderscheiden we drie soorten gascellen en wel intern gekoelde, extern gekoelde en gascellen met een combinatie van beide. Omdat in Engeland de interne koeling het eerst werd toegepast, wordt dit type ook wel aangeduid met Engelse gascel. In ons land werd aanvankelijk het tweede type gemaakt. Vandaar dat dit ook wel eens Hollandse gascel wordt genoemd. Bij de intern gekoelde gascellen wordt het koelelement binnen de gasdichte bekleding geplaatst. De produkten komen hier direct met de in het koelelement gekoelde lucht in aanraking. Bij de extern gekoelde gascellen koelt de uit het koelelement komende lucht alleen de gasdichte bekleding. Het koelelement is namelijk erbuiten gemonteerd. De produkten worden nu gekoeld via de door deze bekleding afgekoelde lucht. We hebben hier dus te maken met twee gescheiden luchtstromen. Deze methode van koelen wordt ook aangeduid met het woord „mantelkoeling”.

Het belangrijkste onderscheid tussen beide systemen ligt in de wijze waarop de door de isolatie en deuren binnengekomen warmte weer wordt afgevoerd. Bij de interne koeling geschiedt dit via de lucht, die in direct contact komt met de produkten en bij de externe koeling via de van de produkten gescheiden luchtstroom (fig. 8). Het onttrekken van warmte aan vochtige lucht gaat altijd

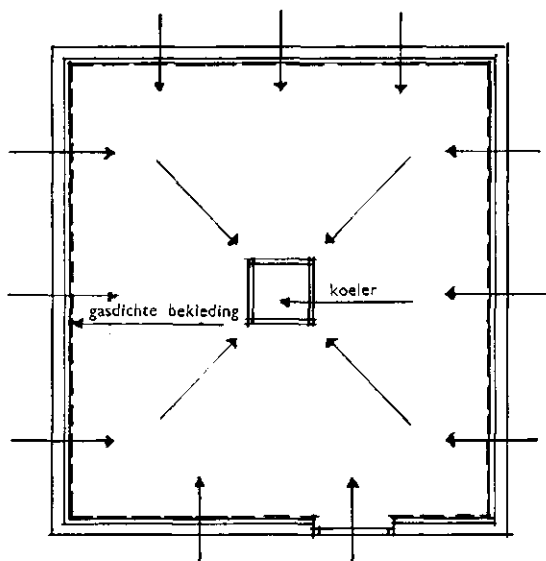


fig. 8a. — Schema van inwendig gekoelde gascel (Engels systeem) met de wijze, waarop de door de isolatie binnekomende warmte wordt afgevoerd.

samen met het neerslaan van waterdamp. De droger geworden lucht is dan niet meer in evenwicht met de produkten. De produkten moeten in de regel zelf dit evenwicht herstellen. Hoe meer warmte uit de cel onttrokken moet worden des te meer drogen de produkten uit. Daarom zullen de gewichtsverliezen in extern gekoelde gascellen minder zijn dan in intern gekoelde gascellen.

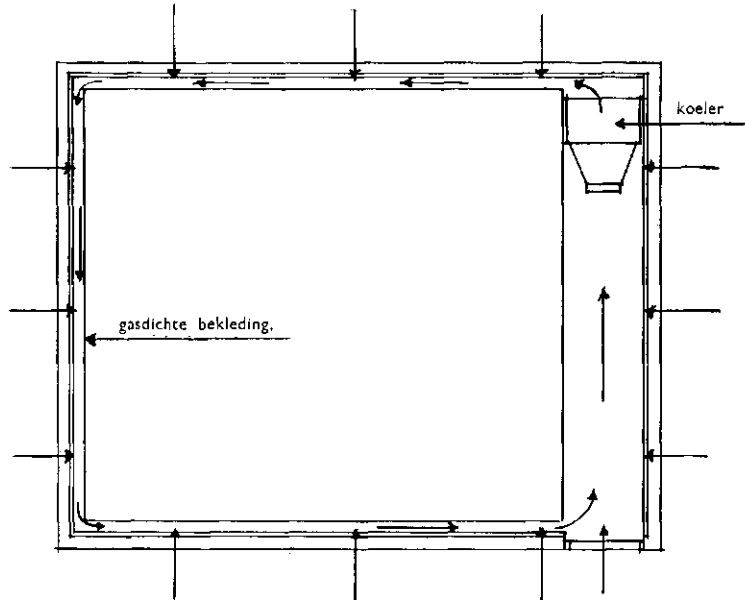


fig. 8b. — Schema van uitwendig gekoelde gascel (Hollands systeem) met de wijze waarop de door de isolatie binnenkomende warmte wordt afgevoerd.

Een tweede verschil tussen beide systemen ligt in de luchtbeweging. In het geval van interne koeling wordt de lucht met een ventilator kunstmatig verplaatst. Door het in- en uitslaan der ventilatoren ontstaan luchtdrukgolven, die het klimaat om de produkten verstoren. Ook onregelmatige luchtstromingen hebben uitdroging van de produkten tengevolge. De verstoringen worden weer door de produkten opgeheven, waardoor extra vochtverlies ontstaat. In extern gekoelde gascellen kan de lucht zich op een natuurlijke wijze, zonder onderbrekingen en verstoringen, zeer gelijkmatig langs de produkten bewegen. Een éénmaal opgebouwd klimaat zal hier moeilijker worden verstoord.

Beide onderscheidingen spreken in het voordeel van de externe koeling. Een essentieel nadeel van dit type is de beperkte dagelijkse inbreng. Voor een goede bewaring is een snelle afkoeling van de produkten na de oogst noodzakelijk. Nu is de afkoelsnelheid in intern gekoelde gascellen gemiddeld genomen ongeveer twee maal zo groot als in extern gekoelde gascellen. Voorts kan de ruimtebenutting bij een extern gekoelde gascel onvoordeliger zijn. Dit nadeel is echter afhankelijk van de grootte en de indeling van de cellen.

Een bijna aan de externe koeling gelijkwaardige methode is die, waarbij beide systemen worden gecombineerd. De grondgedachte bij deze wijze van werken is, dat de van buiten komende warmte door de externe koeling wordt afgevoerd. De warmte van de binnengebrachte warme produkten, alsmede de warmte afkomstig van de ademhaling van de produkten, worden door een aparte koeler, welke binnen de gasdichte bekleding is geplaatst, opgevangen (interne koeling). De door de isolatie en deuren binnenkomende warmte wordt hier dus ook op een manier zonder de produkten te beïnvloeden afgevoerd. Daar hier evenals bij de intern gekoelde gascellen de koeler het koudste punt in de opslagruimte is, zal men weinig last van condensatie op produkten en kisten ondervinden. De afkoelsnelheid van de produkten in een ruimte voorzien van beide soorten van koeling zal over het algemeen groter zijn dan alleen met externe koeling. Deze methode zal daarom alleen worden toegepast indien de nadelen van externe koeling zoals beperkte inbreng en condensatie te veel overwegen.

4.1. INTERN GEKOELDE GASCELLEN

Van dit type gascellen zullen we in twee paragrafen de meest karakteristieke aspecten bespreken. In de eerste paragraaf behandelen we de gasdichte bekleding en de rol die deze speelt in de keuze van het isolatiemateriaal. Ter onderscheiding van de diverse constructies zullen we daarbij spreken over een tweetal plaatsen, waar de bekleding kan worden aangebracht. In het ene geval bevindt de isolatie zich binnen en in het andere geval buiten de gasdichte bekleding. In de tweede paragraaf zullen we enige aandacht schenken aan de voor de koeling van de ruimte zo belangrijke luchtcirculatie. Hierbij spreken we over de plaats van het koelement, over de luchtgeleiding en over de functie van de roostervloer.

4.1.1. Gasdichte bekleding en isolatie

De luchtkoeler in intern gekoelde gascellen bevindt zich dus binnen de gasdichte bekleding. Voor een goed functioneren van de isolatie hebben wij reeds gezegd, dat het niet onverschillig is waar wij de bekleding aanbrengen. De meest gunstige plaats is volgens hoofdstuk 3 aan de warme zijde van de isolatie. De isolatie zelf bevindt zich dan binnen de gasdichte ruimte en kan daardoor het koolzuurgehalte beïnvloeden. Sommige materialen kunnen veel koolzuur opnemen, andere reageren ermee. Een voorbeeld van de eerste soort materialen zijn de isolatiestoffen met open cellen of poriën. Het tweede geval doet zich voor wanneer vrije kalk (in de cement voor het voegen van stenen of zich bevindende in bouwplaten) met koolzuur in aanraking komt en carbonaten vormt. Verder stellen we als eis, dat de materialen door koolzuur niet aangetast mogen worden.

Voorts kunnen isolatiematerialen b.v. door hun geur de produkten beïnvloeden. Het spreekt vanzelf, dat wij in elk geval zulke materialen moeten mijden.

Gasdichte bekleding aan de warme zijde van de isolatie

Brengen wij nu de gasdichte bekleding aan de buitenzijde van de isolatie aan,

dan gebruiken wij om bovenstaande redenen het zgn. Isoflex (opgebouwd uit kunststoffen folies). Vocht en koolzuur hebben hierop in het geheel geen invloed. Hoewel in deze constructies tot nu toe alleen Isoflex is toegepast is het gebruik van andere materialen nog geenszins uitgesloten. Een goede isolatie zou in dit geval gemaakt kunnen worden van Wellit (opgebouwd uit met bitumen geïmpregneerde papieren folies).

Het aanbrengen van de isolatie geschiedde tot nu toe door Isoflex achter een houten stijl- en regelwerk te schuiven, dat op een afstand van iets minder dan de dikte van de isolatie van de wanden werd aangebracht (fig. 9). Om de houten stijlen aan de onderkant niet nat te laten worden, plaatste men ze niet

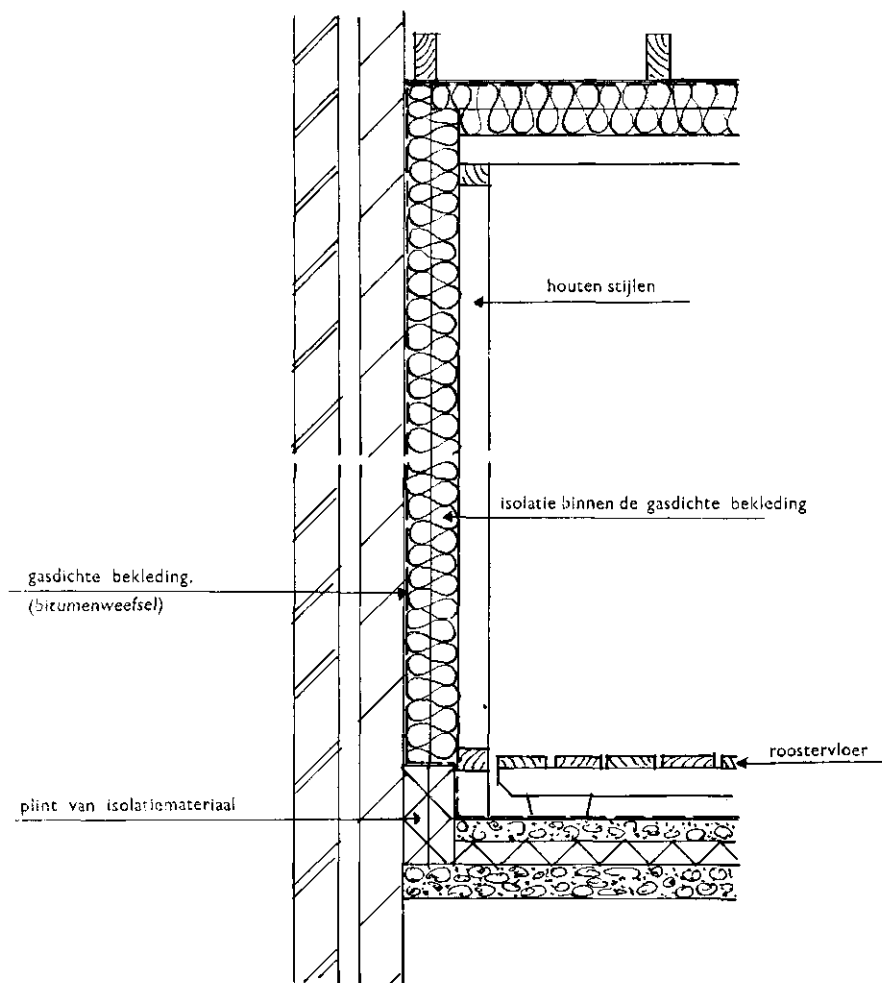


fig. 9. — Doorsnede over een met Isoflex geïsoleerde wand van een inwendig gekoelde gascel. De dampdichte en gasdichte bekleding is aan de warme zijde van de isolatie aangebracht.

direct op de vloer, maar strak tussen het plafond en een plint van kurk opgezet tegen de wanden. Voor het isoleren van het plafond gebruikte men houten regels in één richting gelegd, waarboven de platen Isoflex werden aangebracht. De hartafstanden tussen de stijlen aan de wanden en tussen de regels aan het plafond bedragen voor Isoflexplaten met afmetingen 61 cm in het vierkant ongeveer 60 cm. Wellit kan in tegenstelling tot Isoflex met bitumen geplakt worden.

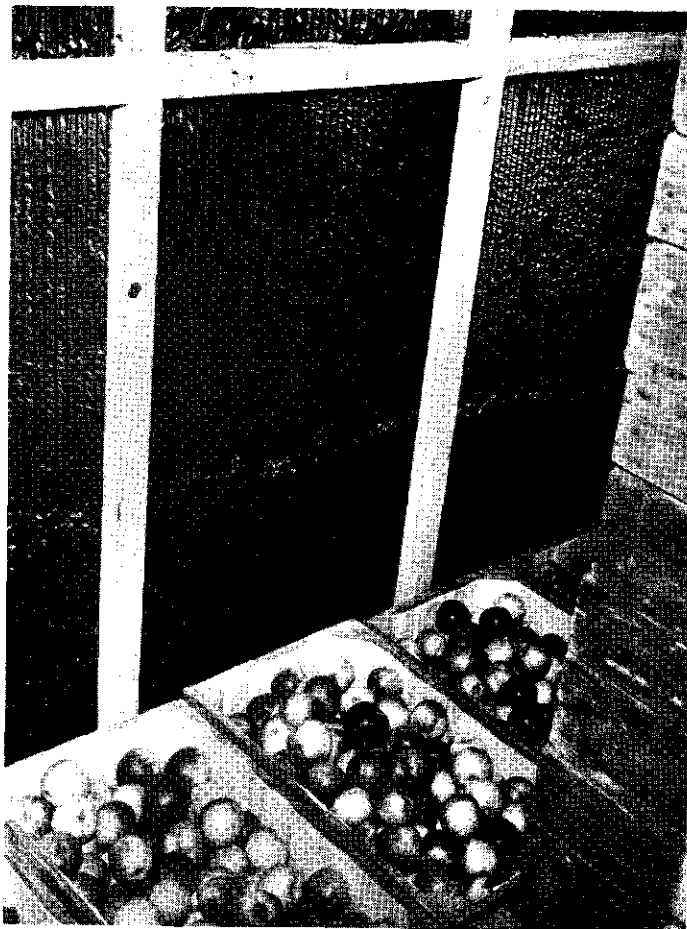
De aldus aangebrachte isolaties binnen de gasdichte bekleding dienen aan de wanden tot een hoogte van 2 m te worden beschermd. Daartoe kan men gebruik maken van gegalvaniseerd harmonicagaas, dat op de houten regels wordt bevestigd. Ook is het mogelijk om asbestcementplaten als bescherming aan te brengen.

In bovenstaande constructies, waarbij de isolatie binnen de gasdichte bekleding is aangebracht, werd tot nu toe alleen van bitumenweefsel gebruik gemaakt. Dit is een bitumenprodukt versterkt met een juteïnlage. Het materiaal heeft een dikte van ongeveer 3 mm en weegt 3 kg/m². Het laat koolzuur en waterdamp zeer slecht passeren. Natuurlijk zijn ook andere materialen denkbaar.

Het aanbrengen van bitumenweefsel op muren gaat als volgt. De muren, die van verschillende materialen mogen zijn, moeten wel goed vlak zijn. Er mogen geen voegen met zgn. baarden worden gemaakt. Komen zij wel voor, dan moeten zij eerst worden verwijderd. Daarna worden de muren vertind met een benzolhoudende, bitumineuze vloeistof. Er is dan een zodanig oppervlak verkregen, dat het bitumenweefsel voldoende aan de muren hechtend kan worden aangebracht. Daartoe worden afgepaste stukken met een gasbrander op de muren gebrand. Door de hitte smelt het bitumen. De vloeibare bitumen hecht na aandrukken zeer goed op de van te voren aangebrachte zgn. hechtlaag. Het werken met een gasbrander vereist grote oplettendheid, daar bij oververhitting niet alleen de bitumen verbrandt doch zelfs gaten in de bekleding kunnen ontstaan. Daarom wordt de bekleding ook wel eens met vloeibare bitumen op de muren bevestigd. Voor het aandrukken van het bitumenweefsel gebruikt men bij voorkeur kartonnen rollen. Het materiaal zit op de rol en wordt van beneden naar boven tegen de wanden afgerold. In plaats van de gasbrander boven de rol te houden giet men vloeibare bitumen tussen de rol en de wand en wordt de bekleding uitgerold. Men giet zoveel bitumen boven de rol uit dat, na stevig aandrukken, er juist een kleine hoeveelheid aan de zijanten naar buiten wordt geperst. De naden van de aangebrachte bekleding moeten nog extra worden afgewerkt. Zij worden met een brander even verhit. Wordt het bitumen plastisch dan strijkt men de naden met een stevig glad voorwerp (mes of spatel) dicht.

Ook andere oppervlakken kunnen op dezelfde manieren worden bekleed. Het spreekt voor zich dat plafonds alleen met de brander zijn te behandelen. Daarom wordt hier wel eens een andere methode van aanbrengen toegepast. De aan het plafond te bevestigen bouwplaten worden op de grond van bitumenweefsel voorzien en daarna op hun plaats bevestigd. Hiertoe worden de randen

foto 1. — Intern gekoelde gascel; de isolatie is hier Isoflex, dat achter een houten stijl- en regelwerk is opgesloten. Achter de isolatie bevindt zich de gasdichte bekleding.



van de platen niet bekleed, zodat in het onbektele gedeelte de bevestigingsmaterialen komen. Daarna worden stroken bitumenweefsel met de brander over de nog onbektele gedeelten aangebracht. Eventuele bevestigingsmaterialen, die door de bekleding zijn aangebracht, moeten extra worden afgewerkt. Het is zeer eenvoudig deze met een stukje bitumenweefsel af te plakken.

Firma's met ervaren monteurs prefereren de bekleding alleen met de brander aan te brengen. De materiaalkosten zijn dan het geringst. Met het gieten van bitumen wordt betrekkelijk veel materiaal gebruikt, dat voor de gasdichtheid nauwelijks een rol speelt.

Gasdichte bekleding aan de koude zijde van de isolatie

Tot nog toe werd gesproken over constructies, waarbij de isolatie binnen de bekleding is aangebracht. Het is even goed denkbaar dat de isolatie erbuiten

wordt gehouden. De bezwaren, die aan deze constructie kleven, zijn in hoofdstuk 3 genoemd. De isolatie kan namelijk nat worden. Hierdoor worden de isolerende eigenschappen niet alleen slechter, maar ook eventuele bevestigingsmaterialen kunnen wegteren. Het is reeds voorgekomen, dat op deze manier de bekleding losraakte. Om nu bovenstaande narigheden te voorkomen moeten bij het toepassen van deze constructie extra voorzorgen in acht worden genomen.

Het aanbrengen van een goed „ademende” luchtsponw tussen de isolatie en de gasdichte bekleding is de belangrijkste voorzorgsmaatregel, welke moet worden getroffen. Onder een ademende luchtsponw verstaat men een ruimte, die voldoende groot is en waardoor altijd enige luchtbeweging mogelijk is. Luchtbeweging ontstaat door verschil in soortelijk gewicht, indien de sponw tenminste 1 cm is. Om praktische overwegingen neemt men echter minstens een breedte van 2 cm. De waterdampspanning in de sponw kan op deze manier ongeveer overal gelijk zijn. Zij zal dan overeenkomen met de verzadigde spanning van de waterdamp. Heeft de isolatie aan de warme zijde nu voldoende weerstand tegen het doordringen van waterdamp dan is de kans groot, dat er in de isolatie geen condensatie zal optreden.

Een tweede maatregel is het aanbrengen van onbelangrijke materialen in de gevaarlijke zone. Bij het isoleren van vloeren in koelcellen wordt hiervan, zij het niet als hoofddoel, gebruik gemaakt. De isolatie wordt hier namelijk met een betrekkelijk dikke betonlaag afgedekt, welke in eerste instantie de condensatie kan opvangen. Door het vochtig worden verandert het warmtegeleidingsvermogen — en dus ook de andere omstandigheden in het beton — nauwelijks. Hierdoor zal de condensatiezone zich eerst na betrekkelijk lange tijdsduur gaan verplaatsen in de isolatie. Bij de wanden vinden wij deze toepassing in de constructie in een met isolatiemateriaal gevulde sponw. De tweede sponwmuur is hier te vergelijken met de afwerklaag van een geïsoleerde vloer. Bij deze constructies is slechts sprake van een uitstel. Op de duur zal de isolatie toch nat worden.

Uit deze twee voorbeelden zien we, dat we niet aan een theoretisch volmaakte methode gebonden zitten. Het aanbrengen van een gasdichte bekleding direct op een isolatie (b.v. kurkplaten met of zonder gestucadoorde afwerking) moet echter worden afgeraden. Als gasdichte bekleding gebruikt men verschillende materialen. Zink wordt over het algemeen direct op een houten regelwerk aangebracht. Dit regelwerk mag niet in de isolatie worden opgesloten. In de isolatie worden eerst houten klossen geplakt, welke 2 cm buiten de isolatie uitsteken. Hierop worden de regels bevestigd (fig. 10). De afstanden der regels worden aangepast op de maten van de bekleding. Alle houtwerk moet vooraf tegen bederf worden behandeld, bij voorkeur met kopernaftenaat. Maakt men gebruik van bitumenweefsel, dan wordt eerst een bekleding van watervast board op het regelwerk gemaakt. Daarna wordt dit gasdicht gemaakt met bitumenweefsel. Bij een constructie met twee sponwmuren, waartussen isolatiemateriaal is opgesloten, past men over het algemeen alleen bitumenweefsel als gasdichte bekleding toe. Het

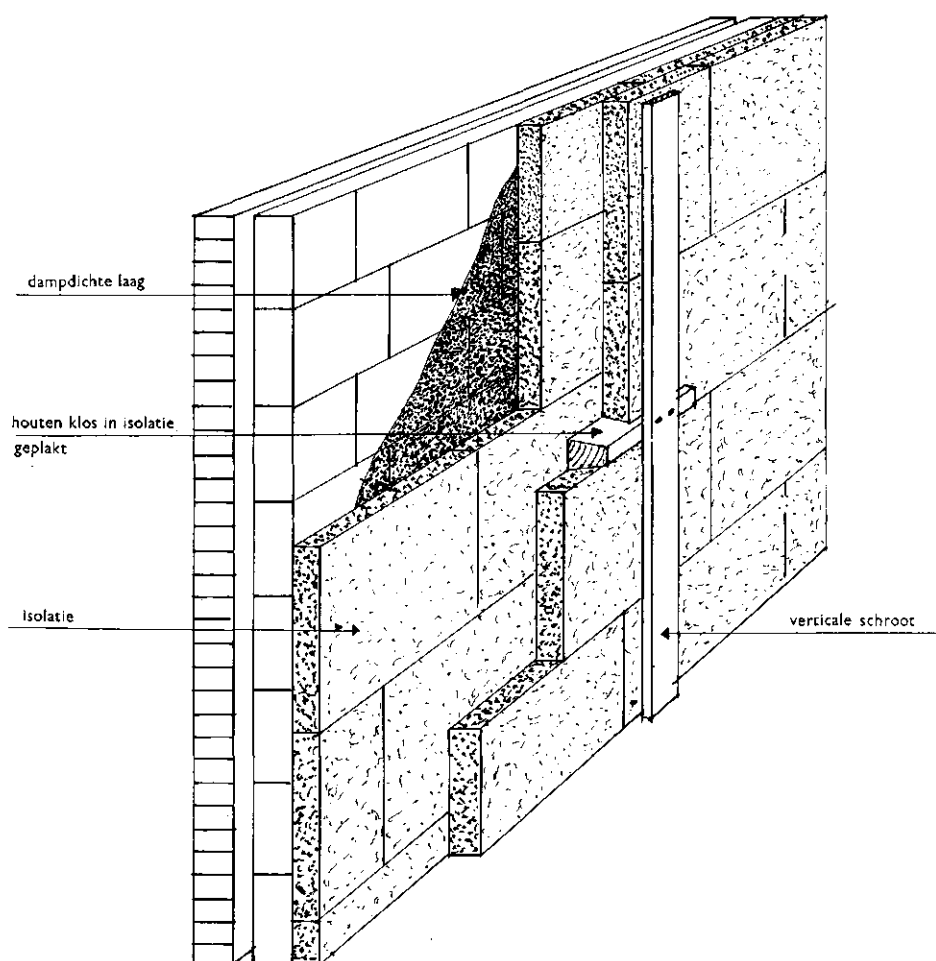


fig. 10. — Constructie van een met kurkplaten geïsoleerde wand van een inwendig gekoelde gascel. De gasdichte bekleding wordt op de verticale houten schroten aan de koude zijde van de isolatie aangebracht. De houten schroten worden op in de isolatie geplakte klossen bevestigd.

kan dan direct op de binnen-spouwmuur worden bevestigd.

In alle gevallen worden de vloeren bekleed met zink. In tegenstelling tot andere materialen, zoals bitumenweefsel, is zink gemakkelijk te reinigen. Het wordt ook niet zo gauw beschadigd, vooral niet wanneer het direct op een vlakke vloer wordt aangebracht. Daar zink door beton wordt aangetast, mag het nooit hiermede in contact komen. Daartoe wordt tussen de vloer en het zink een laag gebitumineerd kraftpapier of asfaltpapier gelegd.

Isolatie zelf is gasdicht

Een andere methode om een koelcel gasdicht te maken bestaat in het aan-

brengen van een isolatiemateriaal, dat zelf voldoende gasdicht is. Een voorbeeld hiervan is het polyvinylchloride. Vele problemen, zoals het nat worden van de isolatie, zijn dan opgelost. Daar deze materialen betrekkelijk duur zijn, is van een algemene toepassing nog niet te spreken.

4.1.2. Interne luchtcirculatie

We zullen hierbij de zuiver koeltechnische zaken zoveel mogelijk vermijden en ons beperken tot de voor de bouw belangrijke onderwerpen.

Luchtbeweging

Een met de koeling nauw samenhangend gegeven is de luchtbeweging in de ruimte. Gedwongen of geforceerde luchtcirculatie verdient de voorkeur. Daarbij wordt gebruik gemaakt van een ventilator, die altijd met het koelement tot één apparaat is samengebouwd. De lucht kan men op verschillende manieren in de ruimte verdelen. Een ongelijkmatige verdeling wordt verkregen door gebruik te maken van zgn. plafondverdamper. De lucht wordt aan de ene zijde van het koelement aangezogen en aan de andere zijde vrij in de ruimte geblazen. Door het installeren van meer dan een koeleenheid in de ruimte tracht men het bezwaar

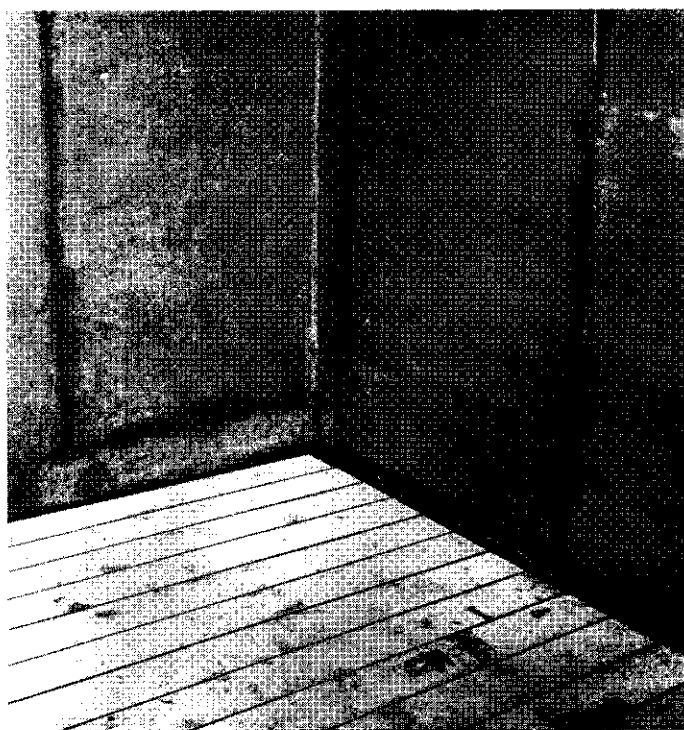


foto 2. — Intern gekoelde gascel. Als gasdichte bekleding is hier bitumen weefsel gebruikt, dat aan de binnenzijde van de cel zichtbaar is.

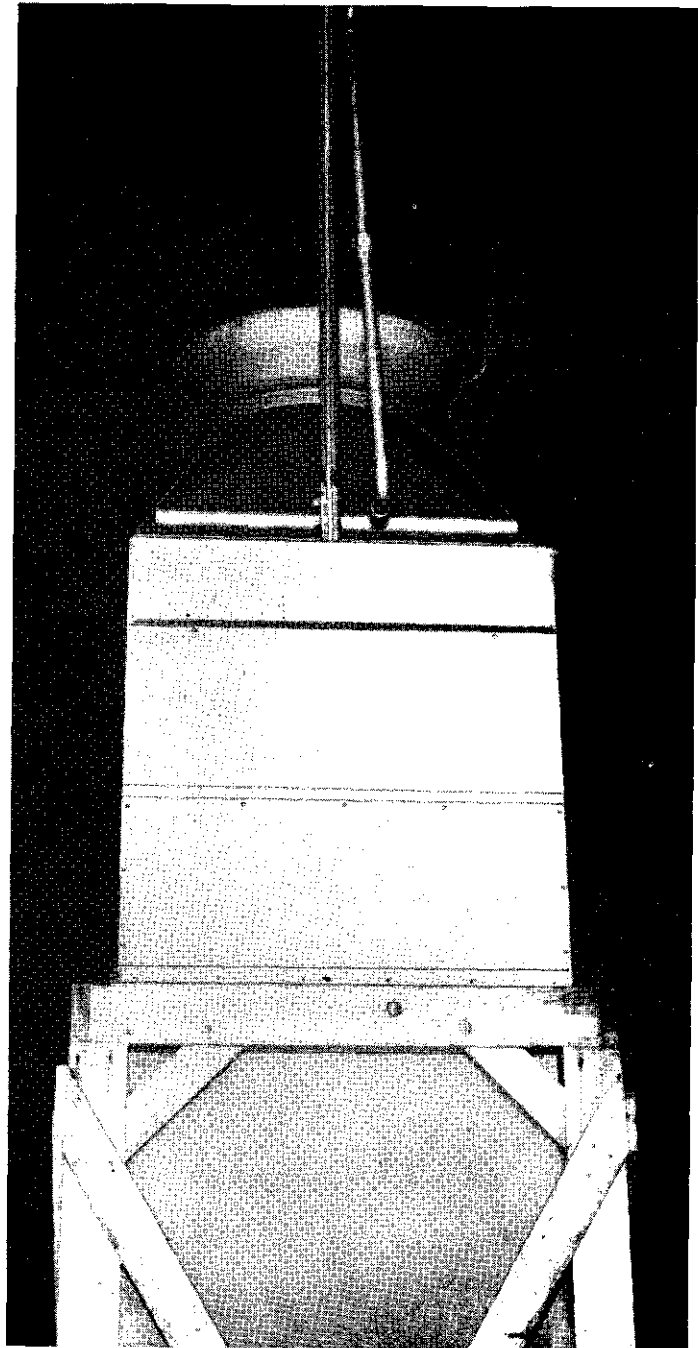


foto 3. — Een centraal opgestelde luchtkoeler in een intern gekoelde gascel. Boven de luchtkoeler is een controleluikje in het plafond gemaakt.

van een slechte luchtverdeling te ondervangen. Vaak wordt hierdoor de luchtverdeling nog slechter. Het is beter het koelement in een kokersysteem te bouwen. De lucht kan dan of horizontaal of verticaal door de ruimte stromen. Bij een horizontale luchtstroming is men verplicht de inrichtingen voor het geleiden van de lucht te bevestigen aan de gasdichte bekleding. De kans is dan zeer groot, dat er in de bekleding lekken ontstaan. Verder treden in de luchtgeleidingssystemen grotere drukverschillen ten opzichte van de buitenlucht op dan in de ruimte zelf, waardoor meer koolzuur met de buitenlucht kan worden uitgewisseld. Een verticale luchtstroming heeft deze bezwaren niet; daarom vinden we bij de interne koeling overwegend deze luchtverdeling toegepast. Omdat boven in de ruimte altijd de hoogste temperatuur heerst, zal eventuele rijpvorming op het koelement tijdens een periode van niet koelen gemakkelijker kunnen ontdooien wanneer het element hoog is gemonteerd. Natuurlijke luchtcirculatie bij de vloer is door de beperkte ruimte onder de koeler heel gering. Het koelement monteren we dus zo hoog mogelijk in een verticale koker. Een bijkomend voordeel van deze opstelling is de gemakkelijke toegang tot het koelement wanneer de cel is gevuld. Meestal is de verticale koker geheel omgeven door kisten fruit. Wanneer nu de bovenste kisten worden verwijderd kunnen we de koeler zonder veel moeite bereiken. Bij het monteren op de vloer zouden wij veel meer kisten moeten verzetten.

De ventilatoren worden altijd boven de koeleenheden gemonteerd. Voor een goede luchtdoorstroming van deze apparaten moeten zgn. diffussors tussen ventilatoren en koeler worden gemonteerd. Onder de koelers behoeven geen lekbakken aanwezig te zijn. We kunnen de bekleding van de vloer als een grote lekbak beschouwen. Het ontdooiwater van de koelers verzamelt zich dus op de vloer. Dit water en eventueel water voor het schoonmaken van de ruimte moet gemakkelijk kunnen worden geloosd. Daartoe wordt in de vloer een afvoer naar een buiten de koelruimte gelegen gemakkelijk toegankelijk afvoerputje gemaakt. Tijdens het bewaarseizoen plaats men een standpijpje in de afvoer, waardoor de vloer van de cel steeds nat blijft (fig. 11). Het water op de vloer mag niet zo hoog komen, dat de luchtdoorstroming onder de roostervloer wordt gestagneerd. De lucht, die door de ventilator benedenwaarts in de koker wordt geperst, moet namelijk in de ruimte worden verdeeld. Hiertoe maakt men gebruik van een roostervloer, waarop de kisten direct worden gestapeld.

Roostervloeren

Men onderscheidt twee typen roostervloeren. Bij het ene type wordt de lucht onder de vloer nog geleid. Dit geschiedt door de liggers, waarop de roosterdeeltjes worden bevestigd, tot op de vloer te laten doorlopen (fig. 12). De liggers moeten daarom vanuit de toegang van de lucht, dus vanuit de omtrek van de luchtkoker, over het gehele oppervlak stervormig uitwaaieren. Een nadeel van dit type is de mogelijkheid, dat de lucht juist door de geleiding zich slecht over de ruimte verdeelt, in het bijzonder bij ongelijke vloerafmetingen. Het andere

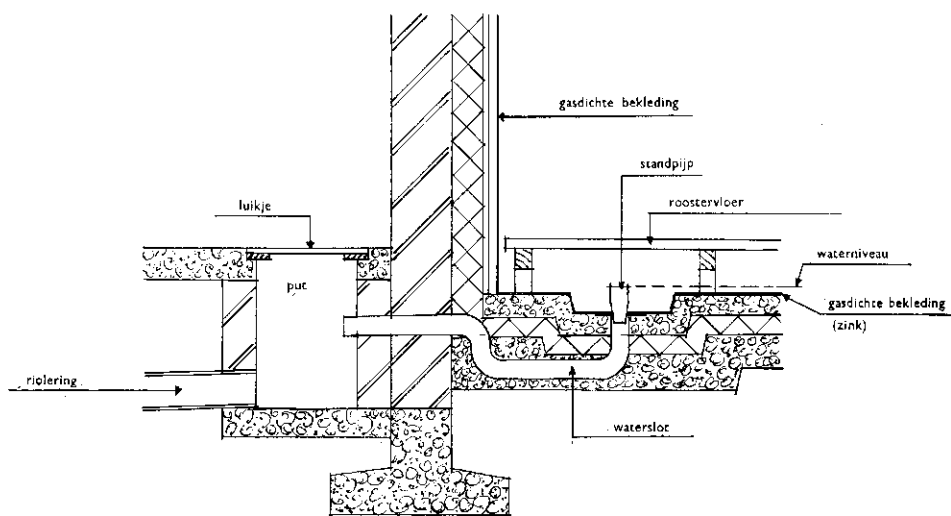


fig. 11. — Afvoer in de vloer van een gascel met een buiten de ruimte toegankelijke aansluiting op de riolering.

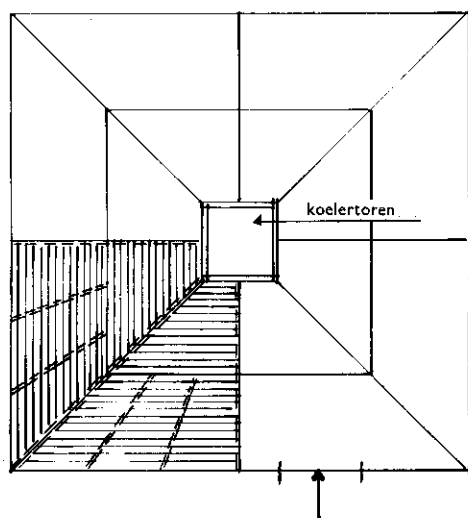


fig. 12. — Principe-schema van een stervormig ingedeelde roostervloer.

type roostervloer bestaat uit liggers, die in één richting liggen. De lucht moet hier onder de liggers door kunnen stromen. Daarom worden onder de liggers korte pootjes gemaakt (fig. 13). Onder het rooster bevindt zich een aaneengesloten luchtruimte. Wanneer in de koker een bepaalde druk kan worden opgebouwd, dan zal, indien de roostervloer weinig luchtweerstand bezit, de uitstroming van de lucht uit de roostervloer gelijkmatig verdeeld zijn. De regeling van de luchtverdeling kan nu eenvoudig aan de omtrek van de koker plaatsvinden.

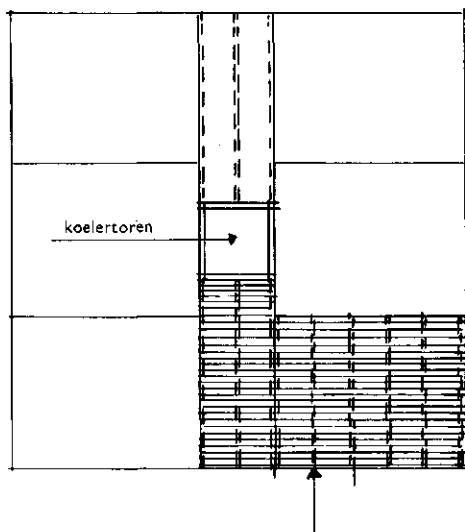


fig. 13. — Principe-schema van een rechthoekig ingedeelde roostervloer.

Over het algemeen heerst nog de mening, dat voor een goede luchtverdeling in de ruimte de koker in het midden ervan moet worden opgesteld. Deze plaats is voor een efficiënte stapeling van de kisten zeer ongunstig. Mits de afmetingen van de ruimte niet te groot worden, is men echter aan deze centrale plaatsing niet gebonden. Overigens is het plausibel te spreken over centrale plaats in een ruimte, wanneer de diepte de helft is van de breedte. In zo'n geval is de beste opstelling van de koker in het midden tegen de langste wand. Bevindt zich hierin de toegangsdeur, bijv. in het midden, dan is de meest geëigende plaats van de koker direct naast de deur. Het koelement met toebehoren is bij deze opstelling zeer gemakkelijk toegankelijk. Zijn de diepte en de breedte van een ruimte gelijk, dan is het ook mogelijk de koker in een hoek van de ruimte te plaatsen.

4.2. EXTERN GEKOELDE GASCELLEN

In de inleiding van dit hoofdstuk is de bij dit systeem behorende koeling ook genoemd „mantelkoeling”. De warmte, die in de gasdichte ruimte wordt ontwikkeld, moet via een mantel worden afgevoerd. Over deze belangrijke processen handelen de volgende paragrafen, waarbij ter sprake komen de constructie van

de mantel, de luchtcirculatie zowel binnen als buiten de mantel en de problemen rond de condensatie in de ruimte.

De isolatie zullen we hier laten rusten. In tegenstelling tot intern gekoelde gascellen schept deze hier geen bijzondere moeilijkheden. Elke goed geïsoleerde constructie zal met dit systeem geheel naar wens functioneren. Aan de afwerking van de isolatie aan de binnenzijde worden ook geen bijzondere eisen gesteld. Indien we voor lucht goed gesloten materialen gebruiken kunnen we de binnenzijde zonder afwerking, zoals een stuclaag, laten. Verder behoeven we voor eventuele door het isolatiemateriaal afgegeven reukstoffen niet bevreesd te zijn.

4.2.1. Constructie van de mantel

De mantel is voor een extern gekoelde gascel het belangrijkste onderdeel en heeft een tweeledige taak. In de eerste plaats dient de mantel als gasdichte bekleding. In zoverre kunnen we ten opzichte van de intern gekoelde gascel niet van een onderscheid spreken. Dit is wel het geval bij de tweede taak: de warmte, die in de omsloten ruimte wordt ontwikkeld, over te dragen aan de buiten de mantel circulerende lucht. Omwille van deze warmteoverdracht heeft men tot nu toe de mantel steeds van metalen platen gemaakt. Een goedkope plaat, die tevens goed gasdicht kan worden aangebracht, is van zink. De naden van de zinken platen worden uitsluitend gesoldeerd.

Voor ondersteuning van de mantel gebruikt men een houten frame. Dit frame bevindt zich aan de buitenzijde van de mantel. De constructie ervan is afhankelijk van de luchtcirculatie buiten de bekleding. Eén van de manieren, waarop de lucht buiten de mantel kan circuleren, is horizontaal. Hierbij worden alleen de verticale wanden omspoelt. Het houten framework wordt dan als volgt aangebracht (fig. 14). Op de geïsoleerde wanden worden zgn. consoles aangebracht, welke dienen om horizontale balken op de muren te bevestigen. De onderlinge afstand der balken is 1 à 1,5 m. De onderste balk ligt niet helemaal beneden, doch ca. 20 cm boven de roostervloer. Dit om beschadigingen van het zink door transportmiddelen te voorkomen. Aan de bovenzijde wordt eenzelfde afstand aangehouden t.o.v. het plafond.

Voor het aanbrengen van de zinken platen zou het gemakkelijk zijn om ook achter de verticale lasnaden ondersteuning te maken. Deze verticale delen worden wel van bijv. duims hout genomen en aan de voorzijde van de horizontale balken verzonken aangebracht. Deze delen zijn echter met het oog op de luchtcirculatie ongewenst. Het is daarom beter in plaats van de verticale delen meer horizontale liggers aan te brengen.

Voordat de naden gesoldeerd worden, bevestigt men de zinken platen met zgn. kopspijkers op het houten frame. De koppen van deze nagels worden met tin dichtgemaakt. De staande naden vormen zelfs voor ervaren loodgieters vaak een moeilijke opgave. Daarom worden de platen niet steeds één voor één aan-

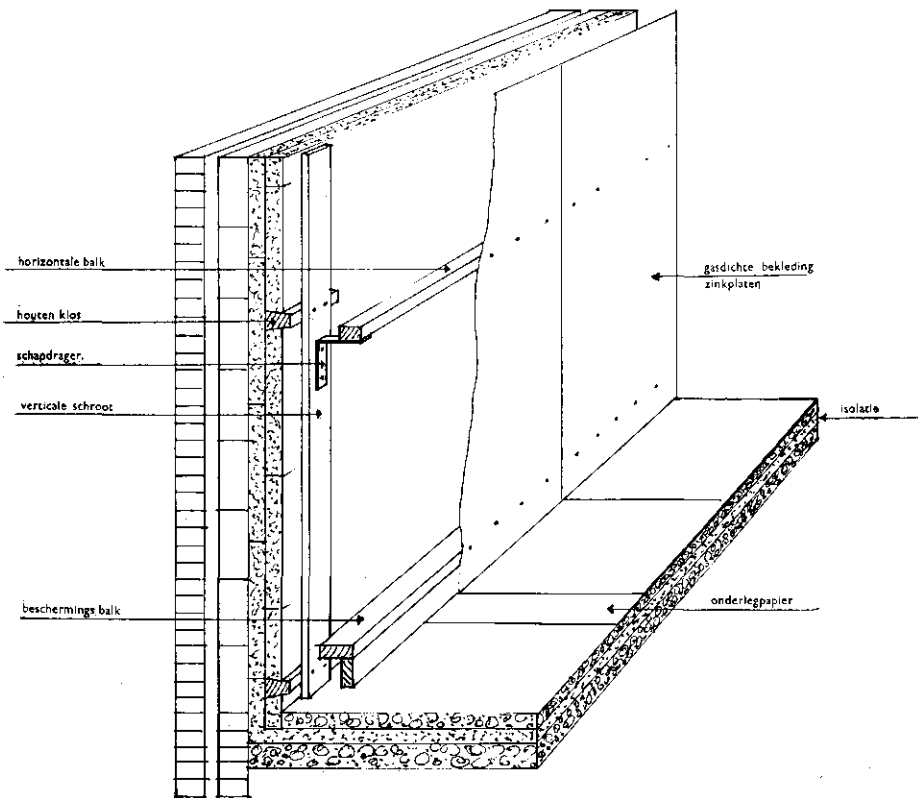
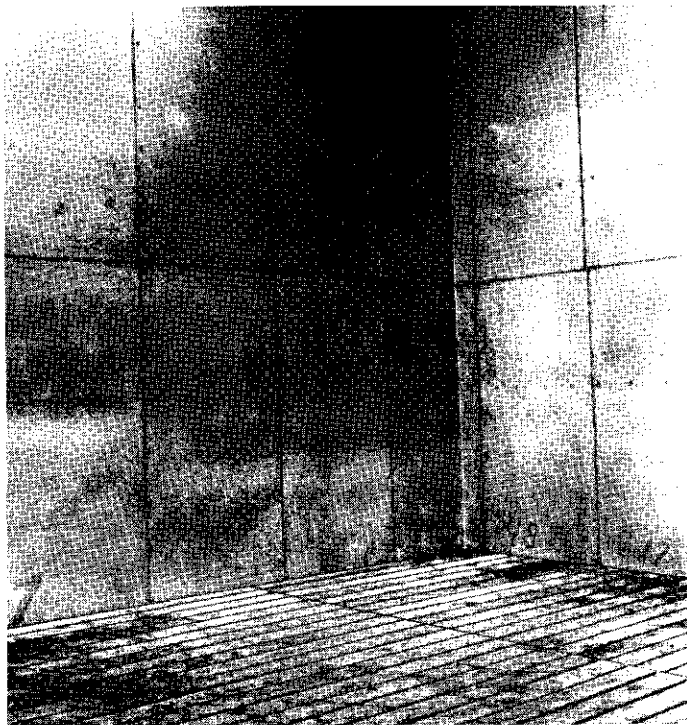


fig. 14. — Constructie van een geïsoleerde wand van een uitwendig gekoelde gascel. De gasdichte bekleding is van zink. De ruimte tussen de isolatie en de zinken mantel wordt gekoeld.

gebracht, maar eerst op de vloer aan elkaar gesoldeerd. Daarna stempelt men deze aan elkaar gesoldeerde platen tegen het houten frame om ze vervolgens definitief te bevestigen. Een gelijke werkwijze past men voor het plafond toe.

Het houten frame voor het plafond is zeer eenvoudig. Bij voorkeur wordt een doelbewuste luchtcirculatie boven het plafond voorkomen. Toch mogen de zinken platen niet regelrecht tegen de onderzijde van het plafond worden bevestigd, doch moet een kleine luchtsouw van 5 cm ruimte worden toegepast. Omdat de lucht in deze spouw niet helemaal stil mag staan, verbinden we deze met de verticale luchtruimte buiten de mantel en wel alleen aan de zijde waar de lucht door de ventilator wordt aangezogen. Door onnauwkeurigheden in de bouw zijn altijd in normaal afgesloten kanalen kleine openingen aanwezig, waardoor enige lucht kan lekken. Een kleine ventilatie van de spouw aan de bovenkant van de mantel is zo gegarandeerd.

Foto 4. — Het interieur van een extern gekoelde gascel. De gasdichte bekleding bestaat uit zinken platen. De gesoldeerde naden zijn duidelijk zichtbaar. De platen zijn vooraf met enkele nagels op een houten regelwerk bevestigd. Op de bodem ligt een roostervloer.



Het aansluiten van de verticale aan de horizontale platen van de mantel geschiedt als volgt. De zinken platen aan het plafond worden voor het bevestigen aan de zijde van de verticale delen ongeveer 20 cm haaks omgezet. Tegen deze omgezette rand worden later de verticale platen gesoldeerd. Op gelijke wijze wordt ook de aansluiting van de vloer en de verticale wanden gemaakt. De zinken platen voor de vloer kunnen zonder luchtruimte worden aangebracht. Daar er tussen beton en zink geen direct contact mag bestaan, bedekt men de betonnen vloer eerst met een laag onderlegpapier.

In plaats van zink mogen ook andere materialen worden gebruikt. Een goedkope constructie krijgt men door op de horizontale leggers gewoon hardboard te spijkeren en deze platen te bekleden met een plastic b.v. zacht pvc. De dikte van deze bekleding bepaalt men aan de hand van de vereiste gasdichtheid (hoofdstuk 2). Het plafond kan op dezelfde wijze worden gemaakt. Voor de vloeren is zink te allen tijde te prefereren. Daar het zink over zijn gehele oppervlakte door de vloer wordt gedragen behoeft men niet zulke zware zinkplaten te gebruiken. Meestal past men hier zink no. 14 toe. Langs de wanden wordt het zink tenminste 15 cm omhoog gezet. Eventuele plastic bekleding wordt over deze opzet geplakt.

4.2.2. Luchtcirculatie binnen en buiten de mantel

De luchtkoeler bevindt zich bij dit systeem in de ruimte tussen de geïsoleerde wand en de gasdichte bekleding. De mantel wordt omspoeld met lucht, die in de luchtkoeler wordt afgekoeld. Op deze manier kunnen we de mantel op een bepaalde temperatuur brengen.

Luchtcirculatie binnen de mantel

Indien nu binnen de mantel warmte wordt geproduceerd, zal de temperatuur van de binnenlucht hoger zijn dan van de mantel. De warmere lucht koelt bij de wanden af. Daar koude lucht zwaarder is dan warme zal de afgekoelde lucht langs de wand naar beneden stromen. Daarentegen stijgt de lucht op bij warmte-opname, hetgeen bij de produkten het geval is. Binnen in de mantel zal zich onder deze omstandigheden een continue natuurlijke luchtcirculatie instellen, welke zeer intensief kan zijn. Voorwaarden hiertoe zijn o.a. een onbelemmerde vrije luchtdoortocht tussen de stapels kisten, een onbelemmerde luchtstroming langs de wanden van de mantel en een goede toestroming van de lucht bij de vloer en het plafond. De hoeveelheid lucht, die per uur binnen de mantel circuleert, kan zelfs tienmaal de lege ruimteinhoud per uur bedragen. Ter ondersteuning van deze natuurlijke ventilatie wordt ook wel eens een ventilator in de ruimte gemonteerd. Beslist noodzakelijk is dit niet. Wel kan men ermee een gelijkmatige verdeling van de temperatuur in de ruimte bereiken.

Ook in een extern gekoelde gascel komt op de bodem een roostervloer, waarop de kisten worden gestapeld. Deze roostervloer wordt gemaakt van houten regels (5 x 7 cm), welke ongeveer 60 cm uit elkaar liggen. Op deze regels worden de houten delen (2,6 cm dik) bevestigd. Tussen elk deeltje blijft een luchtspleet vrij van 1 à 1½ cm. Inplaats van de regels direct op de vloer te laten rusten, is het beter deze op pootjes te zetten (zie par. 4.1.2). De lucht onder de roostervloer kan dan vrij stromen naar die plaatsen, waar de meeste warmte wordt ontwikkeld.

Luchtcirculatie buiten de mantel

De circulatie van de lucht buiten om de mantel is op verschillende manieren tot stand te brengen. Het eenvoudigste is om een zinken container in een normale koelcel te plaatsen (fig. 15). Hiervan wordt vaak gebruik gemaakt voor het nemen van proeven met nog onbekende herkomsten en rassen. In dat geval zijn de containers gewoonlijk klein van afmetingen bijv. met een inhoud voor 100 kisten. De luchtcirculatie aan de buitenzijde is afhankelijk van de in de koelcel optredende luchtbeweging en wordt overgelaten aan de omstandigheden. Omdat bij kleine afmetingen de verhouding oppervlak van de mantel tot de inhoud van de ruimte gunstig ligt, zal de temperatuurverdeling binnen toch aanvaardbaar zijn. Bij grotere afmetingen zal men aan de luchtcirculatie buiten de mantel meer aandacht moeten schenken.

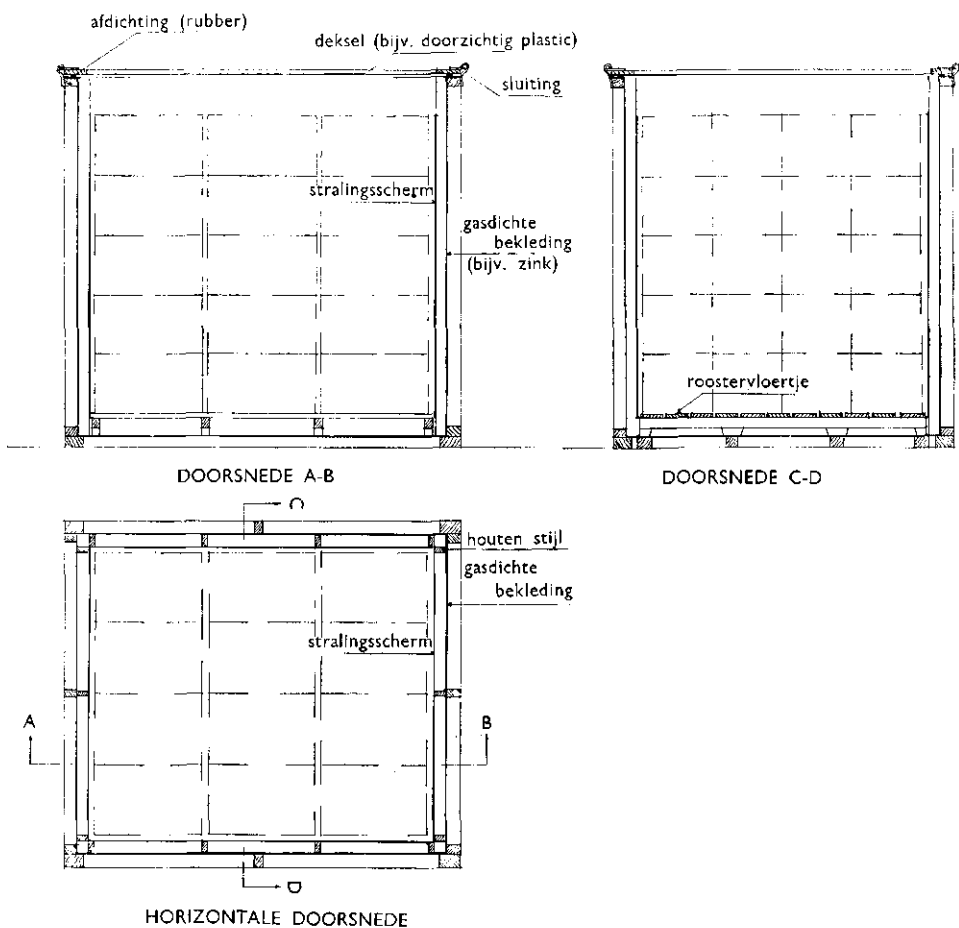


fig. 15. — Voorbeeld van een kleine container voor het nemen van gasbewaringsproeven in een gewone koelcel.

Uit proefnemingen is gebleken, dat, wanneer de vloer van een extern gekoelde gascel niet in de luchtcirculatie is betrokken, de temperatuurverdeling beter is. De constructie van de vloer kan nu eenvoudig en toch sterk genoeg zijn. Hoewel door het niet meekoelen van het plafond de temperatuurverdeling slechter wordt laat men dit om wille van de condensatie achterwege. Voor de warmteafvoer blijven dan alleen nog de verticale wanden over. Het ligt nu voor de hand de lucht horizontaal om de wanden te laten circuleren, hetgeen op een eenvoudige wijze mogelijk is. De luchtsnelheid in de spouw buiten de mantel wordt bij voorkeur beneden 5 m/sec gehouden.

Een voorbeeld van de luchtcirculatie buiten de mantel vinden we in figuur 16. De luchtkoeler is in een gang tussen twee containers opgesteld. De luchtstroom

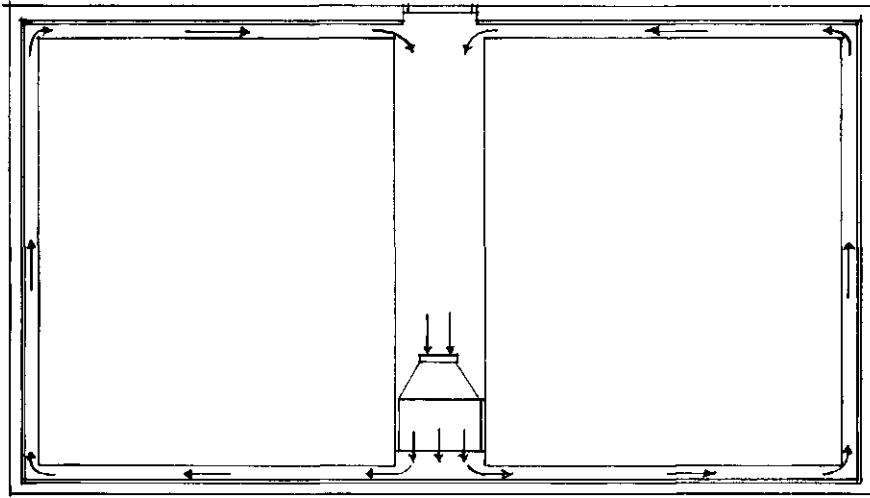


fig. 16. — Voorbeeld van een horizontale luchtcirculatie buiten de mantel van een uitwendig gekoelde gascel.

uit de koeler splitst zich in tweeën en stroomt aan beide zijden om de containers. Hiermede is bereikt, dat de weg, die de lucht moet afleggen, beperkt blijft. De temperatuur van de verschillende wanden loopt nu minder uit elkaar dan het geval zou zijn, indien de lucht beide containers achter elkaar zou omspoelen. Containers van grote afmetingen voorzien we van een scheidingswand. Om het afkoelend oppervlak van de mantel te vergroten, dus de temperatuurverschillen binnen de mantel te verkleinen, voeren we deze scheidingswand dubbel uit, zodat deze kan worden meegekoeld.

In enkele gevallen werden in bestaande koelcellen grote containers van zink geplaatst. Deze werden dan opgenomen in het luchtcirculatiesysteem van de koelcel. Bij een horizontale luchtbeveging biedt zo'n constructie weinig moeilijkheden. Wel moet gewezen worden op het feit, dat door de warmteweerstand van de mantel en de warmteproductie van het fruit in de container een temperatuurverschil tussen de inhoud van de container en de koelcel zal ontstaan. Onder bepaalde omstandigheden kan dit temperatuurverschil wel 3°C bedragen. Indien men nu appels in de overblijvende ruimte buiten de mantel wil opslaan bij een gemiddelde temperatuur van $3,5^{\circ}\text{C}$, dan zal de luchttemperatuur geregeld worden tussen 3 en 4°C . De temperatuur in de container past zich nu bij de hoogste temperatuur van de lucht buiten aan. Dus de gemiddelde temperatuur binnen is $4 + 3 = 7^{\circ}\text{C}$. Daar de temperatuurverschillen tussen de onderste en de bovenste kist in de gasdichte cel onder normale omstandigheden 2°C kunnen bedragen, zijn binnen de mantel zelfs temperaturen boven 8°C te verwachten. Het is dus veiliger om in een normale koelcel geen gewone bewaring naast gasbewaring toe te passen. Wil men toch beide methoden naast elkaar gebruiken

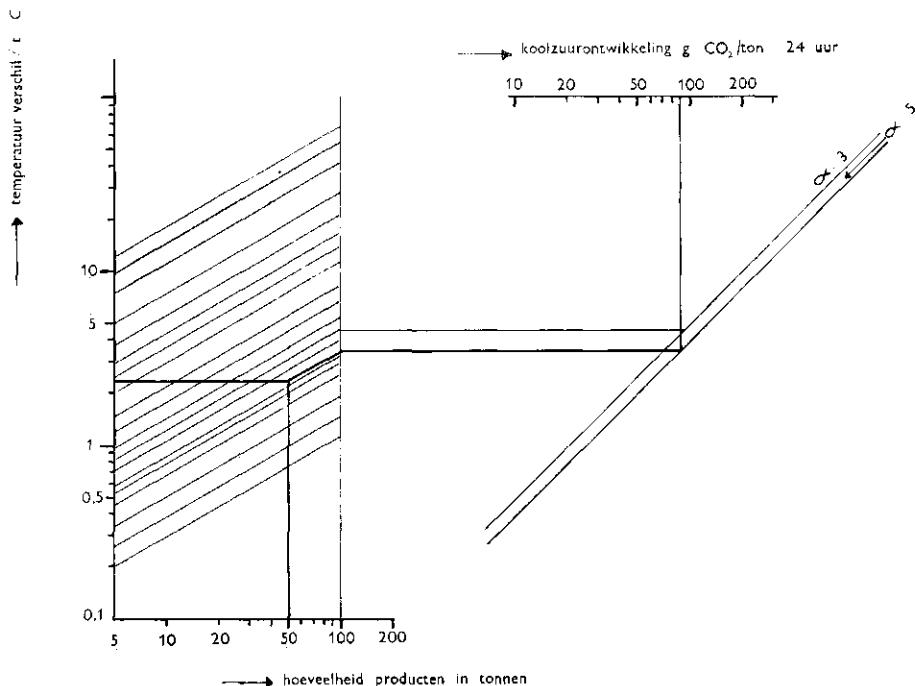


fig. 17. — Nomogram voor het aflezen van het temperatuurverschil tussen de lucht in de gasdichte ruimte en de lucht daarbuiten.

b.v. door in een gewone koelcel een gedeelte af te schieten of er een partij fruit in plastic te hullen dan kan figuur 17 een inzicht verschaffen over de te verwachten temperatuurverschillen tussen de lucht in de koelcel en die in de gasdichte afsluiting. De waarden in deze figuur zijn berekend voor verschillende manieren van warmteoverdracht. De waarde $a = 5$ heeft betrekking op een mantel, die opgenomen is in het luchtcirculatie-systeem van de koelcel. Is de koeling minder intensief dan neemt men de kleinere waarde $a = 3$. Uit de figuur is ook af te lezen op welke temperatuur de lucht om de mantel moet worden gekoeld. Stel dat in een mantelkoelcel voor 50 ton appels een gemiddelde temperatuur van 5°C moet heersen. De gemiddelde temperatuur van de onderste laag zal nu ongeveer 4°C en die van de bovenste laag ongeveer 6°C zijn. Bij een koolzuurproductie van $90\text{ g CO}_2/\text{ton 24 h}$ lezen we voor het temperatuurverschil tussen binnen en buiten af $2,4^{\circ}\text{C}$, d.w.z. de hoogste temperatuur buiten te mantel moet afgesteld worden op $2,6^{\circ}\text{C}$. De thermostaat laten we dan afslaan op $1,6^{\circ}\text{C}$.

4.2.3. Condensatie binnen de mantel

In het begin van de toepassing van extern gekoelde gascellen trad veel overlast tengevolge van condensatie op. Vooral tegen het plafond was deze zo groot,

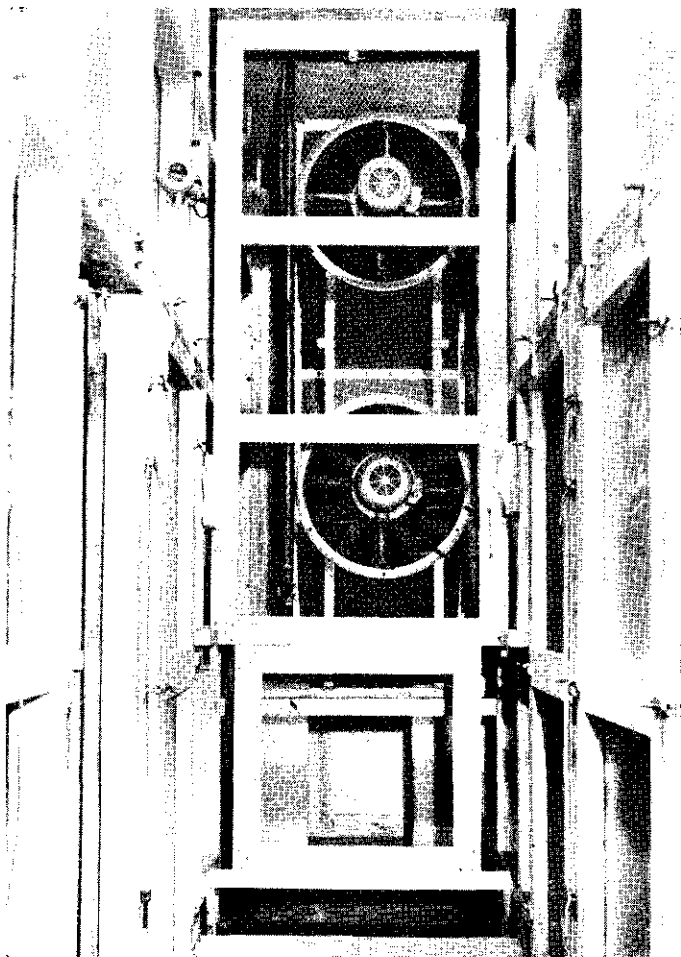


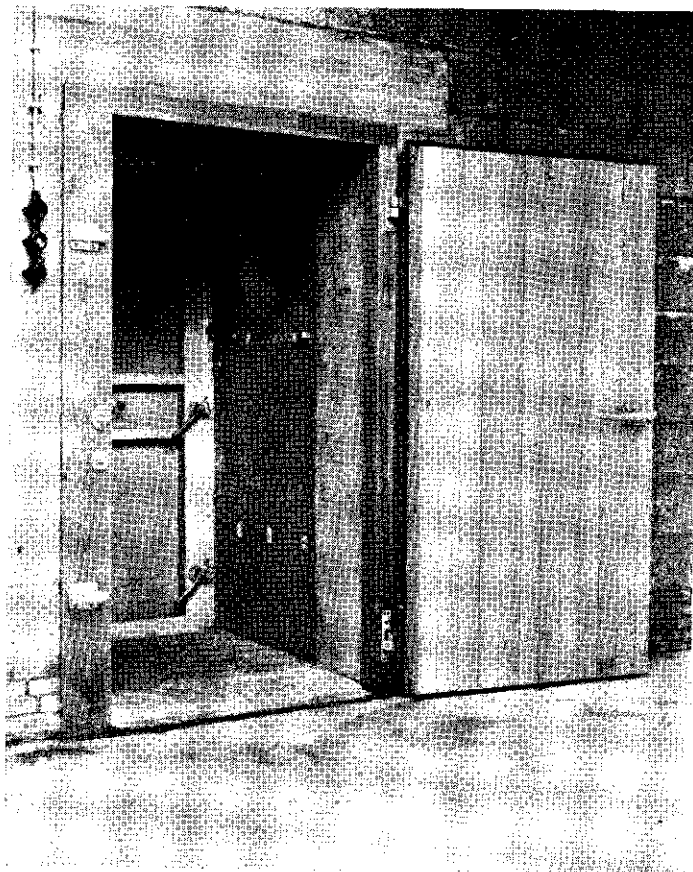
foto 5. — De opstelling van de luchtkoeler van een extern gekoelde gascel aan het einde van de verbinding tussen de metalen containers, zoals in figuur 16 schematisch is getekend. Aan de voorkant bevinden zich zowel rechts als links de toegangen tot de verschillende containers.

dat het water naar beneden viel. Bovendien werden door koudestraling de produkten in de bovenste kisten beneden het dauwpunt afgekoeld. Schade aan de produkten was hiervan veelal het gevolg. Niet alleen de bovenste kisten hadden te lijden van koudestraling. Ook de stapels langs de wanden kregen een lagere temperatuur dan het dauwpunt van de omringende lucht. Een ander gevolg van deze condensatie was, dat vele kisten na de bewaarperiode volkomen doorweekt en vaak dik beschimmeld naar buiten kwamen. De levensduur van deze kisten was niet groot. Vele pogingen om condensatie te verhinderen zijn in de loop der jaren met meer of minder succes angewend.

Mogelijkheden ter voorkoming van condensatie

In het begin werden de bovenste kisten afgedekt met een plastic of een watervast papier. Het water bleef op de afdekking liggen, waardoor de kisten in de

foto 6. — In het geval van één extern gekoelde container vraagt een luchtkoeler met verticale luchtdoorstroming de minste ruimte. Hier is deze luchtkoeler direct naast de koeldeur gemonteerd en toegankelijk via het luikje onder de ventilator. De koeldeur is voorzien van een handige werpsluiting.



ruimte minder vochtig werden. Later werd overgegaan tot het gebruik van speciale losse deksels op de bovenste laag kisten. Deze werkwijze heeft gunstige resultaten gegeven.

Het is echter beter de oorzaak van de condensatie weg te nemen. De condensatie aan het plafond wordt voorkomen door de warmtestroom gelijk nul te maken of van buiten naar binnen te laten verlopen. Voor nieuwbouw-gevallen kunnen we hiervoor verwijzen naar de constructies in de vorige paragraaf. In bestaande gascellen staan ons nog diverse middelen ter beschikking.

Ook het gebruik van een ventilator in de mantelruimte kan in sommige gevallen de vorming van condens tegen het plafond voorkomen. De ventilator moet de lucht in de koker van beneden naar boven laten stromen.

Een ander middel bestaat in het behandelen van het plafond met een waterafstotende verf. Deze verfstoffen zijn nogal duur. Zit men net op een grenswaarde, dan wil verven van het plafond met aluminium bevattende materialen soms helpen. Het aanbrengen van een isolatie tegen het plafond kan een bevredigende oplossing geven. Daar de gasdichte bekleding bijna geen waterdamp doorlaat

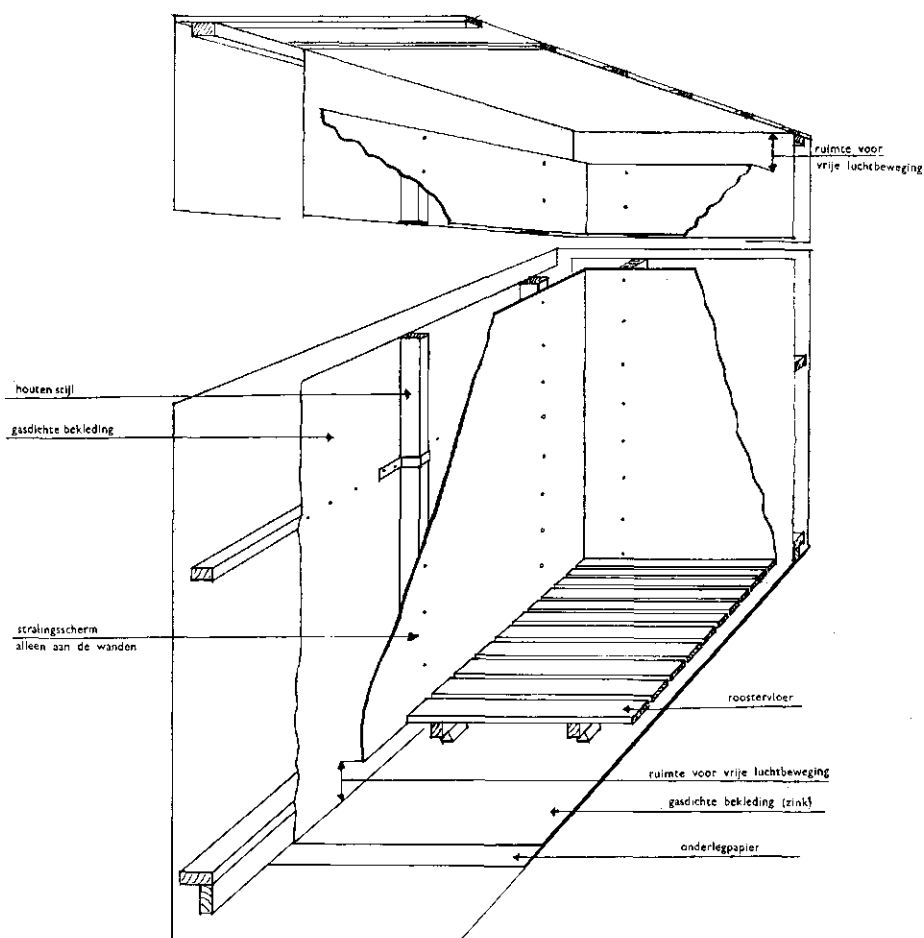


fig. 18. — Constructie van de mantel van een uitwendig gekoelde gascel voorzien van een stralingsscherm.

zouden we de isolatie buiten de mantel moeten aanbrengen. In bestaande cellen is dit niet mogelijk en moet de isolatie aan de binnenzijde worden bevestigd. We gebruiken dan een isolatiemateriaal, dat geen vocht kan opnemen. Het meest hiervoor in aanmerking komende materiaal is Isoflex. Het kan met een water-vaste kleefstof tegen het plafond worden gelijmd. Ter ondersteuning zou men onder de isolatie nylondraden kunnen spannen.

Een methode, waarbij we condensatie niet alleen aan het plafond maar tevens ook aan de wanden voorkomen, bespreken we in de volgende paragraaf. Hierbij wordt de warmtestroom op alle plaatsen van de mantel is gelijk nul gemaakt. Dit is te bereiken door een extra koelaggregaat binnen de mantel op te stellen. Bij deze methode wordt gebruik gemaakt zowel van externe als van interne

koeling. Zij is echter nogal kostbaar maar heeft het voordeel, dat meer produkten per tijdseenheid kunnen worden ingebracht.

Een goedkope constructie, welke een bevredigende oplossing biedt voor de wanden is een stralingsscherm. Hierbij treedt in de ruimte nog wel condensatie op, echter alleen op de plaatsen waar wij er geen hinder van ondervinden. Op een afstand van tenminste 10 cm van de zinken wanden wordt een tweede wand aangebracht van watervast hardboard. De buitenzijde van het board is van tevoren bekleed met aluminium folie. De koude, die van de zinken wanden afstraalt, wordt nu door het aluminium voor een groot deel gereflecteerd. De tweede wand krijgt nu aan de binnenzijde een temperatuur boven het dauwpunt van de omringende vochtige lucht. De kisten kunnen direct tegen deze boardwanden worden gestapeld; ruimteverlies wordt door het gebruik van een stralingsscherm niet geleden.

Wordt het stralingsscherm op de juiste manier geconstrueerd, dan wordt de afkoeling aan de wanden effectiever. Dit komt de natuurlijke luchtcirculatie in de ruimte ten goede, waardoor de temperatuurverschillen tussen boven en onder kleiner zullen zijn. Een goede constructie van de dubbele mantel zien we in figuur 18. De eerste mantel moet altijd de gasdichte bekleding vormen.

De tweede mantel moet constructief de stevigste zijn. De boardplaten worden hier gedragen door verticaal geplaatste houten regels. In het geval dat de buitenmantel uit zink bestaat kunnen we deze regels met zinken beugels tegen de wanden bevestigen. Daarna monteren we de met aluminium folie beklede boardplaten tegen de regels. In andere gevallen is het mogelijk om de bestaande regels strak tussen het plafond en de vloer te spieën. Bevestigingen door de gasdichte bekleding moeten worden vermeden. De tweede mantel loopt door tot op de roostervloer en blijft van boven tenminste 10 cm van het plafond verwijderd. De roostervloer wordt tussen de tweede mantel zodanig passend gemaakt, dat ze nog gemakkelijk kan worden opgenomen.

4.3. GASCELLEN MET INTERNE EN EXTERNE KOELING

In de inleiding van hoofdstuk 4 hebben we gezien, dat beide methoden van koelen — intern en extern — gecombineerd kunnen worden. De nadelen, die aan beide systemen afzonderlijk kleven, worden hierdoor grotendeels opgeheven. De constructie van de mantel en de koeling ervan zijn gelijk aan hetgeen in de vorige paragrafen beschreven is. Voor de bouw van koelertoren en roostervloer kan verwezen worden naar paragraaf 4.1.2. De luchtcirculatie in de toren is van boven naar beneden. Wanneer de lucht in omgekeerde richting circuleert is er grote kans op condensatie aan het plafond.

Gaat men nu uit van een reeds bestaande extern gekoelde gascel dan plaatst men een geheel op zichzelf staand koelmachine-aggregaat voor de interne koeling. De capaciteit hiervan wordt afgestemd op de door de produkten geproduceerde warmte. Dit komt erop neer dat ongeveer 1/5 deel van de totale koelmachine-capaciteit binnen de mantel wordt geplaatst. Daar gecombineerde koeling toegepast wordt om de warmtestroom door de mantel tot



foto 7. — Interieur van een extern gekoelde gascel met op de achtergrond een niet gekoelde scheidingwand tussen twee containers.

nul terug te brengen, ontstaat aan beide zijden van de mantel een gelijke temperatuur. Het is dan ook mogelijk om bij nieuwbouw de koelelementen binnen en buiten de mantel op één compressor te laten werken. Beide koelelementen zijn dan namelijk aan dezelfde omstandigheden blootgesteld.

Een moeilijkheid bij de gecombineerde koeling ligt in de automatische regeling van de koelmachine. Met de ons ter beschikking staande regelapparatuur is het bijna onmogelijk twee apparaten op dezelfde temperatuur af te stellen. Zou men in staat zijn een constructie te vinden waarbij men niet meer zo angstvallig de temperatuur aan beide zijden van de mantel aan elkaar gelijk behoeft te houden, dan kunnen voor de regeling van de koelinstallatie gewone luchtthermostaten van het gebruikelijke type worden gemonteerd. Zo'n constructie is een mantel met een grotere warmteweerstand. Het zink voor de wanden en het plafond wordt vervangen door bijv. een 10 mm dikke vlasvezelplaat. Hierop brengt men een gasdichte bekleding aan, die overigens niet van zink behoeft te zijn. Wanneer één compressor voor beide koelsystemen

is geïnstalleerd, moet de grootte van het koelement binnen de mantel op de capaciteit van de compressor worden afgestemd. Hierdoor is het mogelijk om de veldwarmte van de produkten binnen de mantel af te voeren. Het koel-element buiten de mantel kan veel kleiner worden gekozen en mag zelfs met een lage oppervlakte temperatuur werken. Het dient alleen om de warmtestroom in de mantel te nivelleren. In het andere geval, dat de warmteweerstand van de mantel klein is, is een goede regeling als volgt te verkrijgen. De koelmachine voor de binnen de mantel gelegen ruimte regelen we met een gewone ruimtethermostaat; de andere koelmachine regelen we dan met een differentiaal thermostaat, die werkt op het temperatuurverschil tussen de lucht binnen en buiten de mantel.

5. Gebouw

Aan de gebouwen, waarin gascellen worden gemaakt, stellen we geen bijzondere eisen. De bespreking over de gebouwen zelf beperkt zich tot enkele constructiedetails en de behandeling van de indeling. In een volgend hoofdstuk zullen we dan spreken over de inrichting van gebouwen, die reeds als opslagruimte in gebruik zijn.

5.1. CONSTRUCTIES

De vloeren worden al naar de omstandigheden vrijdragend of anderszins geconstrueerd. De bovenkant moet vlak onder de rij worden afgewerkt en kan dan geïsoleerd worden. Hiervoor gebruiken we bijna uitsluitend geïmpregneerde geëxpandeerde kurkplaten met een dikte van 6 cm en een volumegewicht van 150 kg/m^3 . Daarna wordt de isolatie voorzien van een afwerklaag van beton (fig. 19). Ter voorkoming van doordringen van cementwater in de isolatie bij de bouw beschermen we de kurk met een laagje papier. Het papier mag gedurende enkele uren geen water doorlaten; doch aan de andere kant mogen de eigenschappen van de beschermende laag weer niet zodanig zijn, dat er geen waterdamp doorheen kan komen. In de betonnen afwerklaag legt men

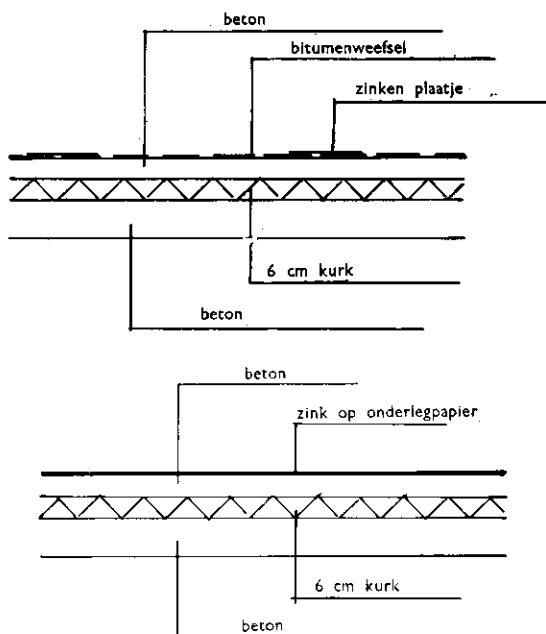


fig. 19. — Enkele constructiemogelijkheden voor geïsoleerde vloeren.

een bewapening om krimpscheuren te voorkomen. Dit krimpnet bestaat uit rond ijzer 6 mm dik. De staven ijzer worden in twee loodrecht op elkaar staande richtingen gelegd, zodat de gevormde mazen een wijdte van 25 cm hebben.

Aan de muren stelt men alleen de eis, dat zij goed vlak moeten worden gemaakt. Enkele veel gebruikte muurconstructies zijn in figuur 20 aangegeven.

Voor het plafond is vooral de volgende constructie aan te bevelen. Tegen de houten balklaag worden 5 mm dikke asbestboard platen bevestigd. Daarna wordt de ruimte tussen de balken tot aan de bovenkant van de balken opgevuld met kurkmeel (fig. 21). Het hout van de balklaag mag dus niet geheel door de kurkmeel worden afgesloten. Omdat we voor het drooghouden van de dak- en plafondconstructie de ruimte boven het plafond flink met buitenlucht moeten ventileren, zal te fijne kurkmeel worden weggeblazen. Met een korrelgrootte van 5 mm ondervinden we deze moeilijkheden niet. Toch bevat kurkmeel nog zoveel fijnere deeltjes dat de aan de muren grenzende plafondplaten met bijzondere middelen moeten worden afgedicht. Ook de platen onderling moeten voldoende dicht worden aangebracht. Wanneer de plafondplaten voorzien worden van een gasdichte bekleding is in het afdichten reeds voorzien. Dit laatste geldt dus in het algemeen bij intern gekoelde gascellen.

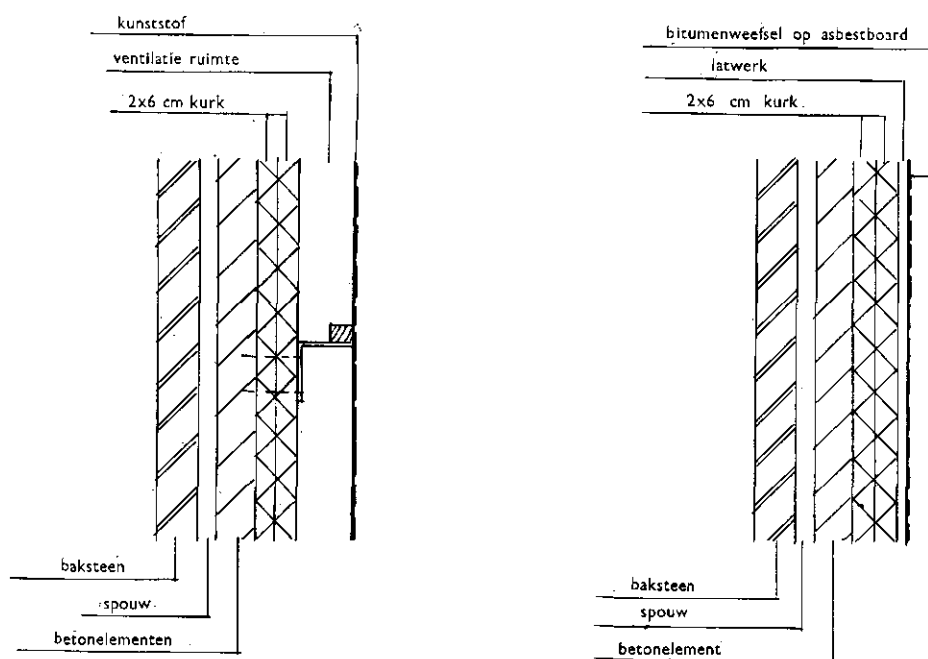


fig. 20. — Enkele constructiemogelijkheden voor geïsoleerde wanden.

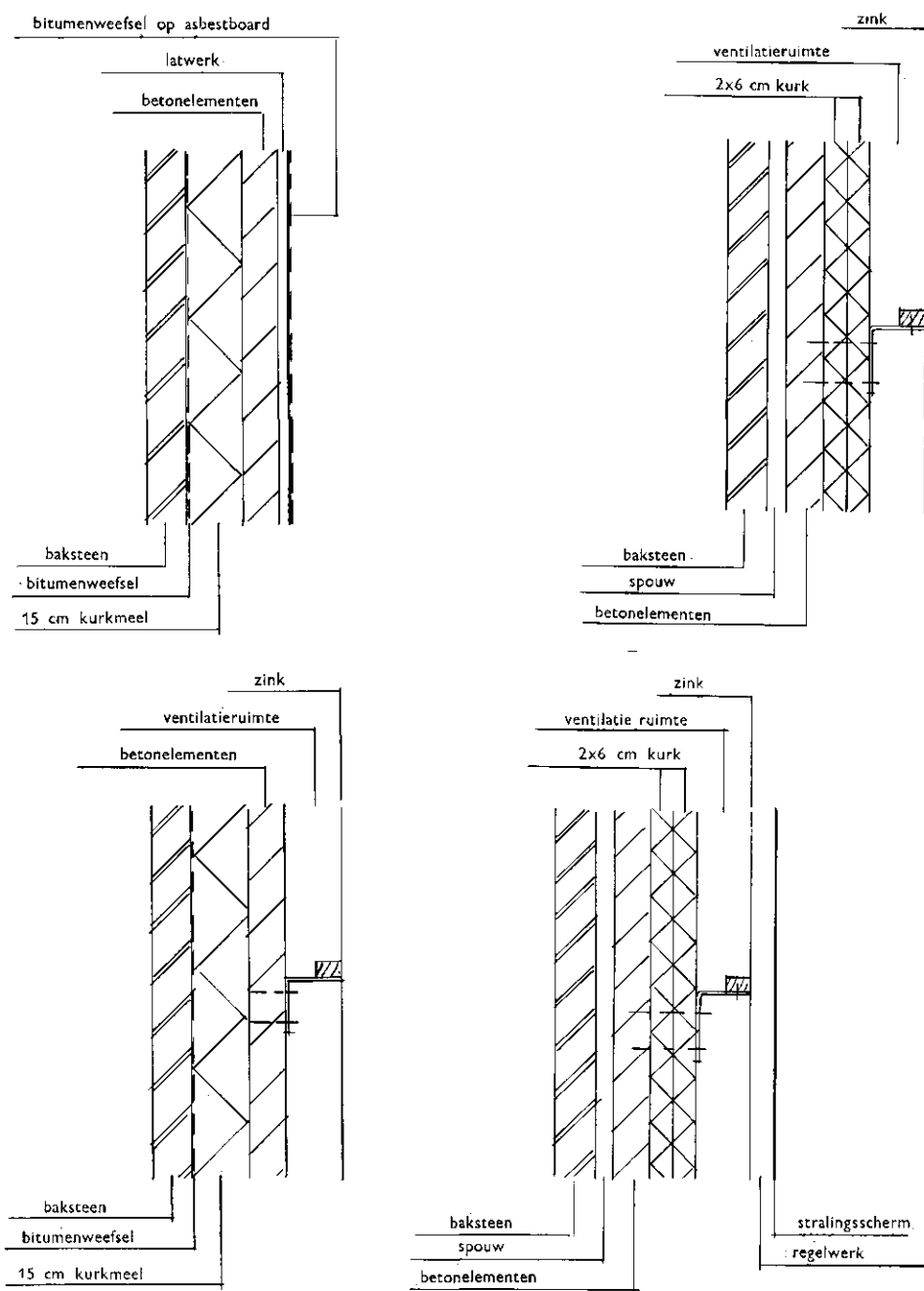


fig. 20 (vervolg)

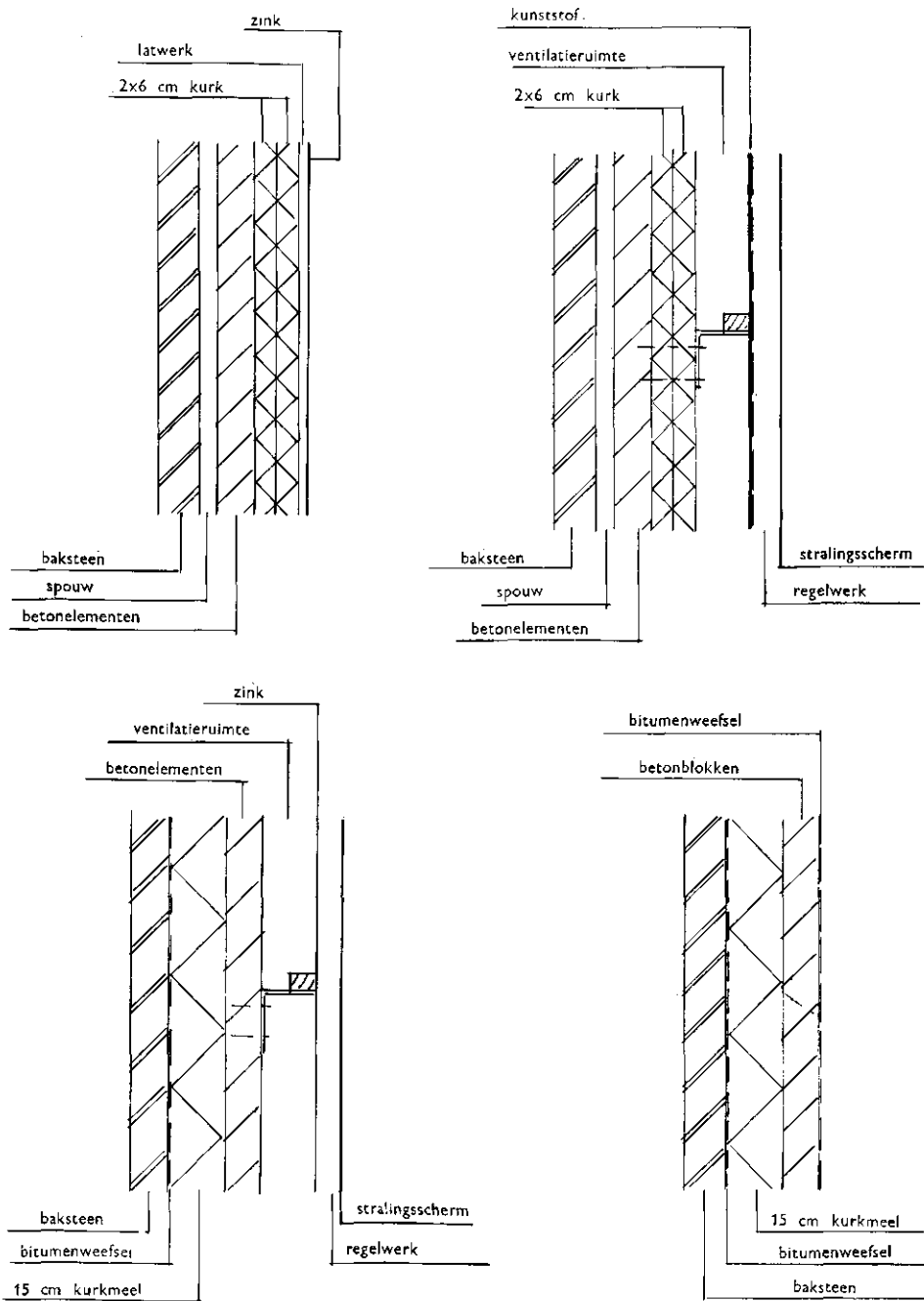


fig. 20 (vervolg)

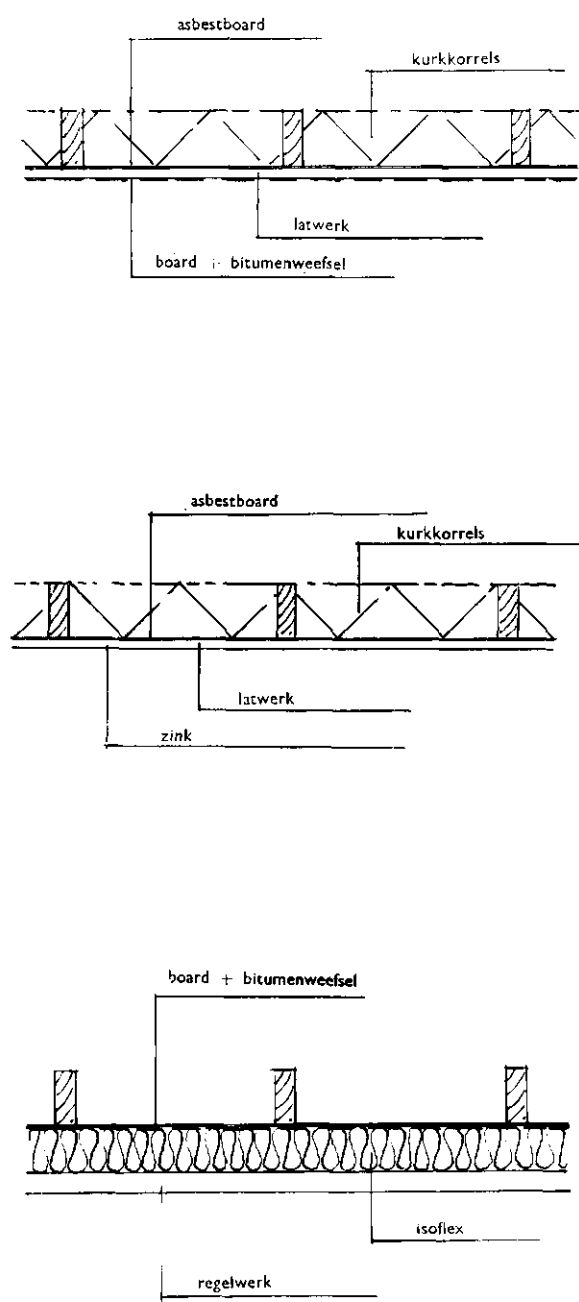


fig. 21. — Enkele constructiemogelijkheden voor geïsoleerde plafonds.

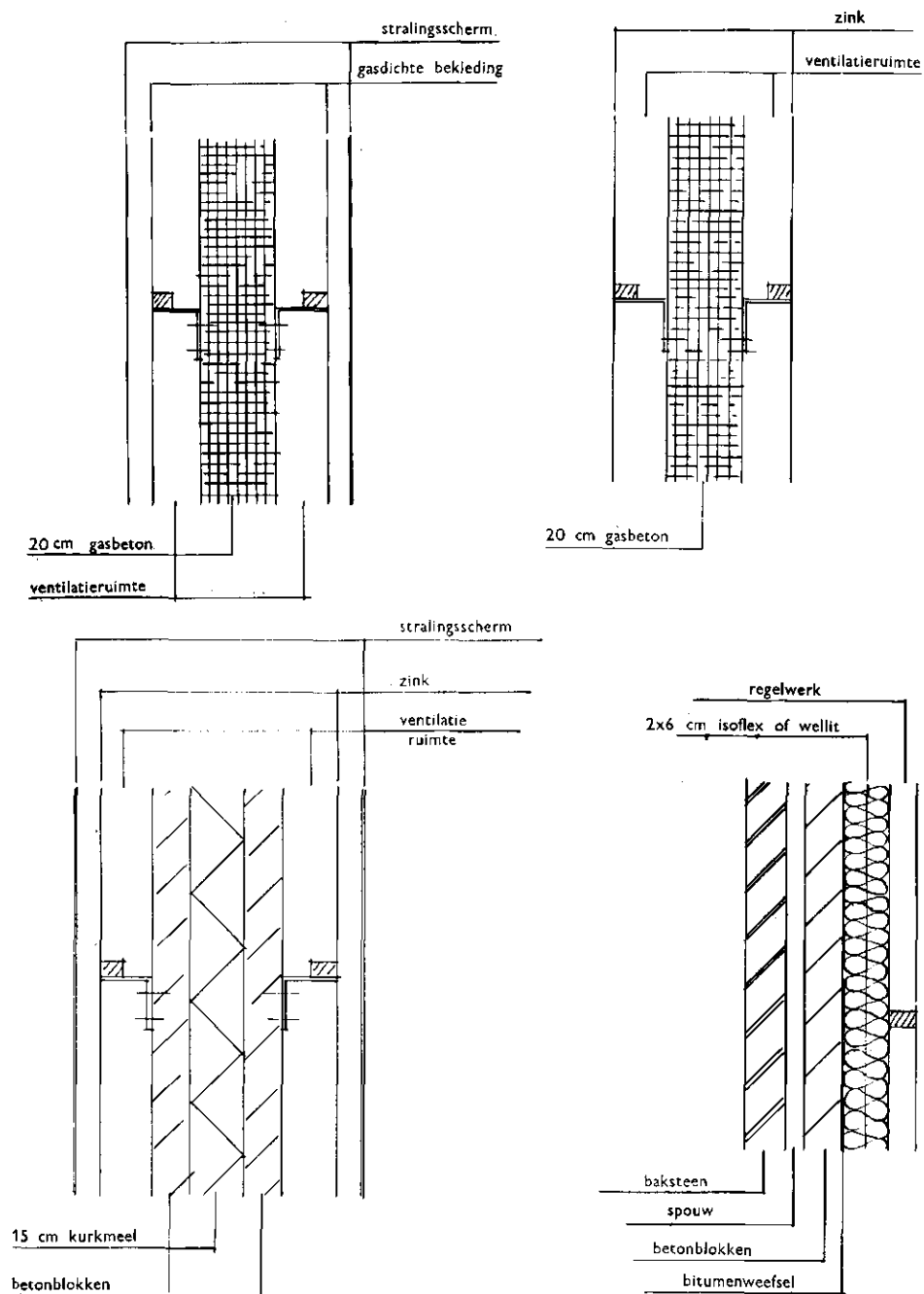


fig. 22. — Enkele constructiemogelijkheden voor scheidingswanden.

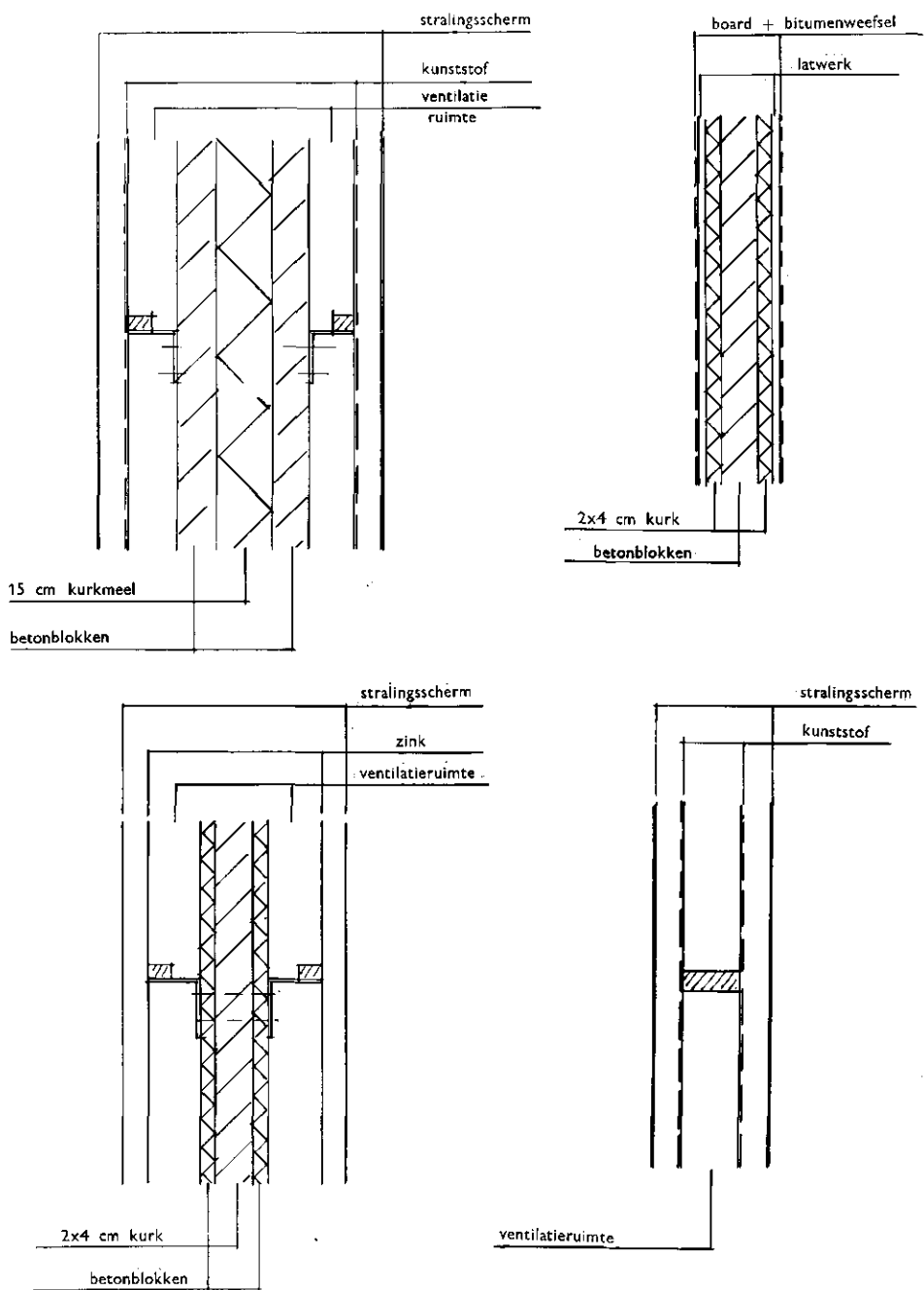


fig. 22 (vervolg)

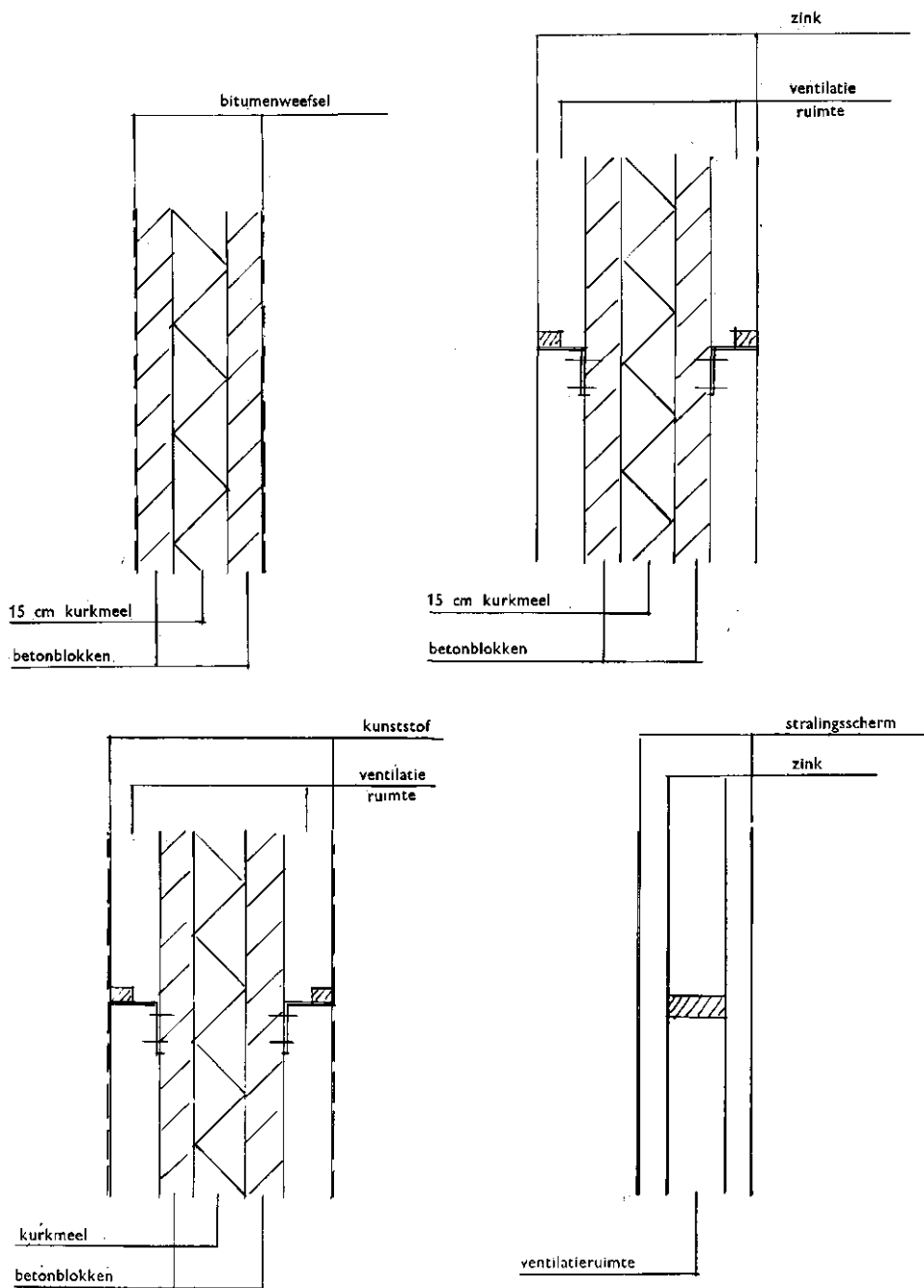


fig. 22 (vervolg)

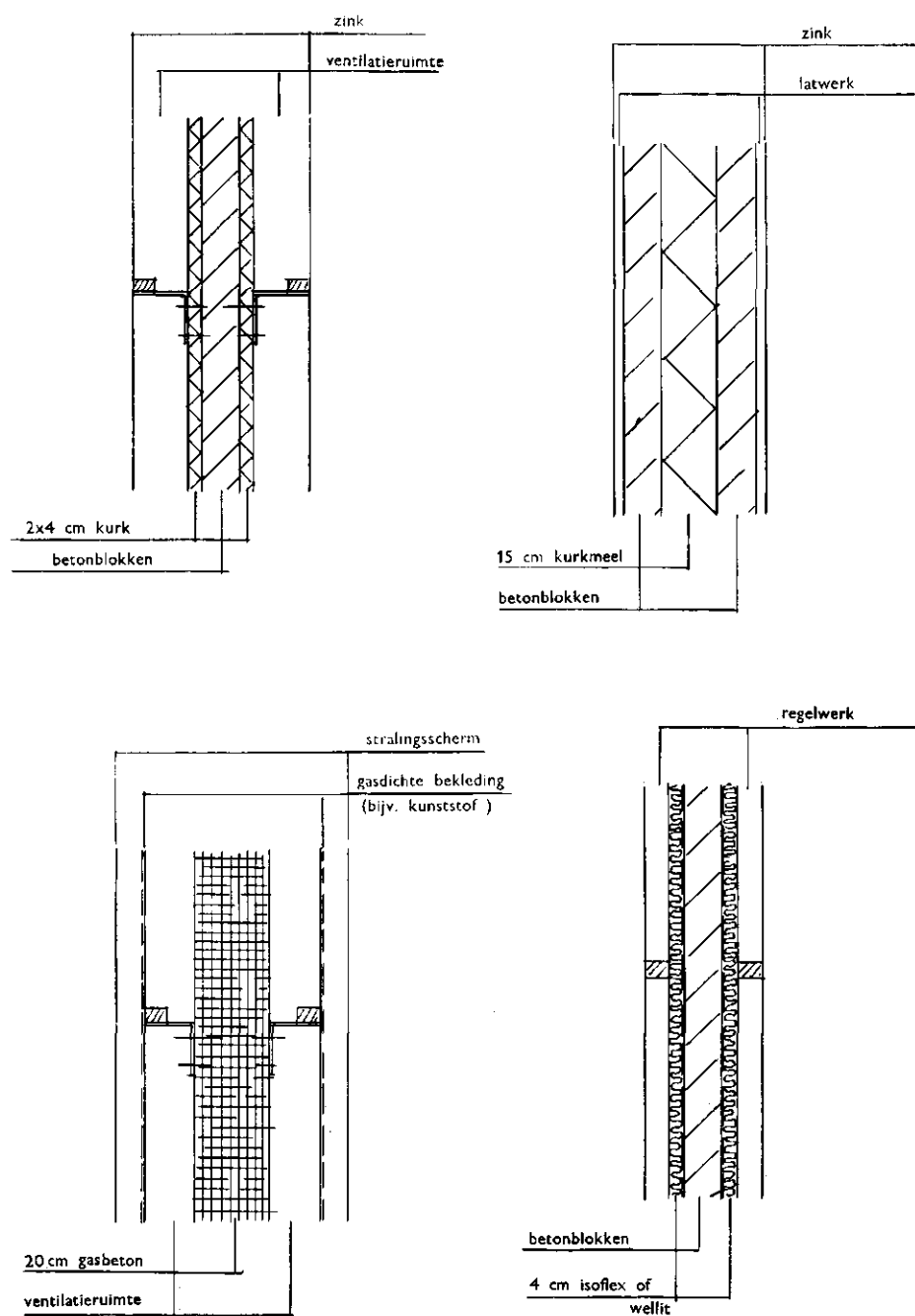


fig. 22 (vervolg)

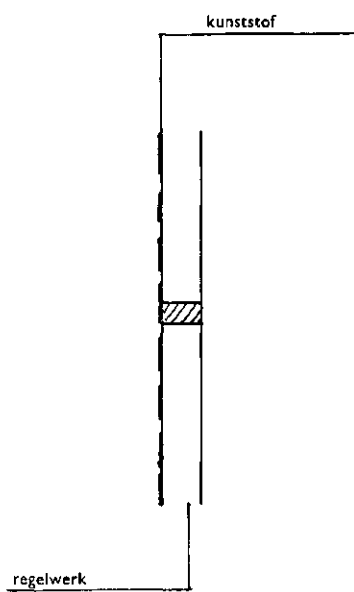
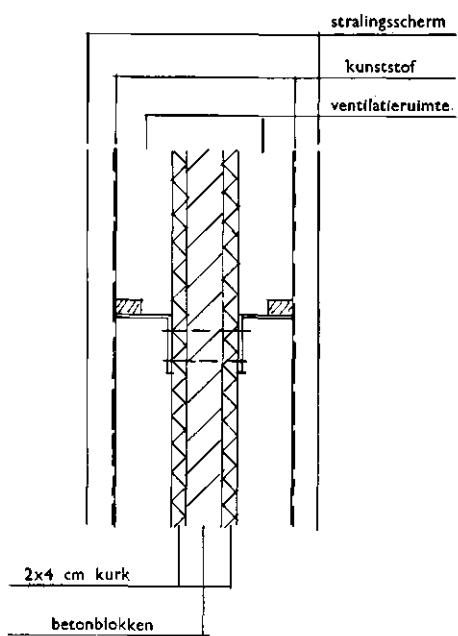
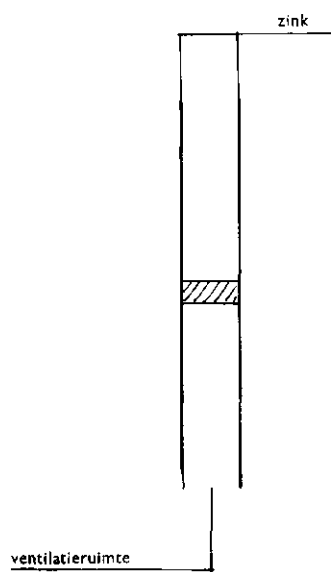
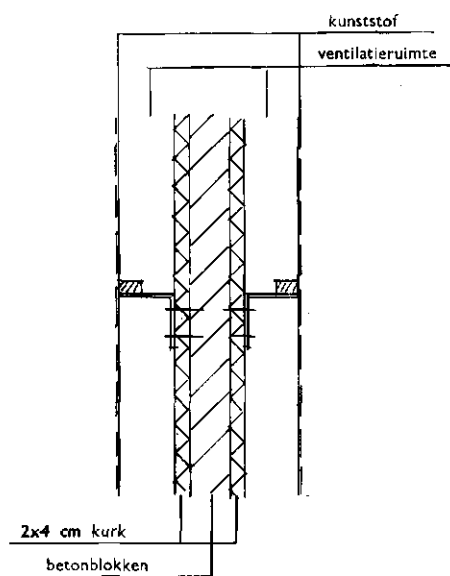


fig. 22 (vervolg)

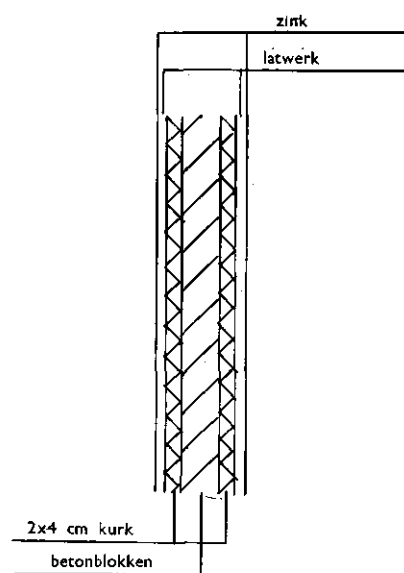
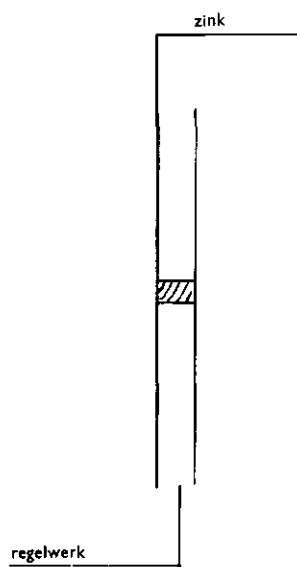
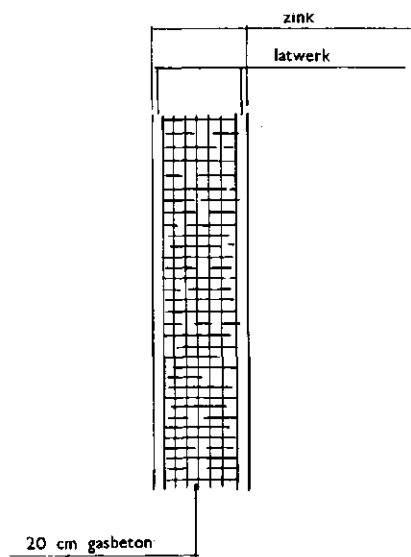
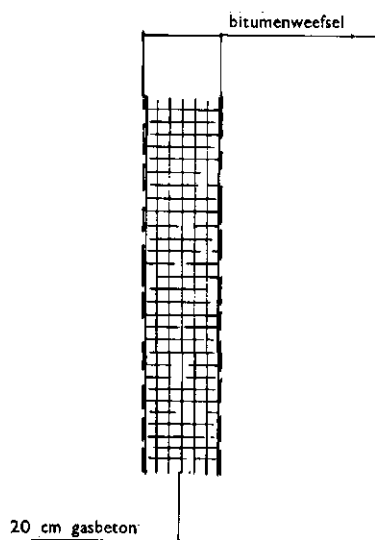


fig. 22 (vervolg)

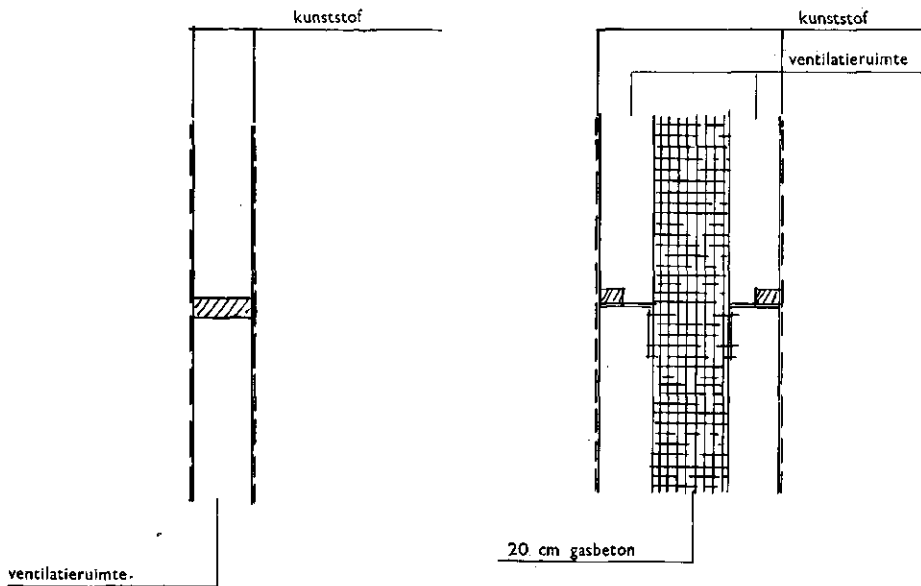
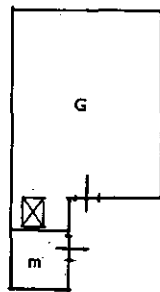


fig. 22 (vervolg)

5.2. INDELING

Aan de indeling van het gebouw worden bijzondere eisen gesteld. Deze eisen zijn vaak tegenstrijdig. Het gebouw moet efficiënt worden benut en toch moeten alle cellen gemakkelijk toegankelijk zijn. Wordt slechts één gascel ingericht dan is alles nog eenvoudig. Men heeft hiervoor een gebouwtje nodig, waarin een gascel gemaakt kan worden. Verder moet ergens plaats zijn voor een koelmachine. De eenvoudigste oplossing zien we in figuur 23, waarbij de koelmachine in een aparte kleine uitbouw is ondergebracht. Bij het toepassen van externe koeling kan in deze uitbouw ook het koelement worden opgenomen. In plaats van een uitbouw is een verlenging van het gebouw over de volle breedte van de cel mogelijk. De ruimte voor de cel kan nu worden



De betekenis van de ingeschreven letters in deze en in de volgende figuren is:

- g* = gascel
- s* = sorteer- of werkruimte
- k* = koelcel
- m* = machinekamer

fig. 23. — Indeling van een gebouwtje met een gascel.

benut voor het onderbrengen van de koelmachine, eventueel het koelelement en voor werkruimte. In figuur 24 zien we een mogelijkheid voor het inrichten van twee gascellen zonder sorteerruimte en in de figuren 25 en 26 met een sorteerruimte. Het laatste voorbeeld kan nog aangevuld worden met meer koelcellen (fig. 27). De opslagruimten liggen hierbij alle aan dezelfde kant van de werkruimte. Dit is natuurlijk geen noodzaak. De werkruimte kan ook tussen de opslagruimten worden geprojecteerd (fig. 28). Deze oplossing is gezien de vormgeving zeer geschikt om later het gebouw uit te breiden. Zij is echter vaak wel duurder.

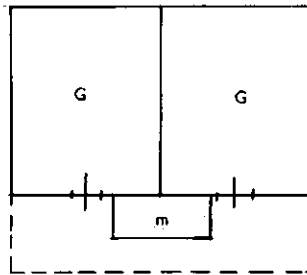


fig. 24. — Indeling van een gebouw met twee gascellen.

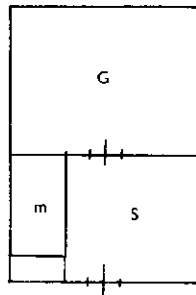


fig. 25. — Indeling van een gebouw met een gascel en een werkruimte.

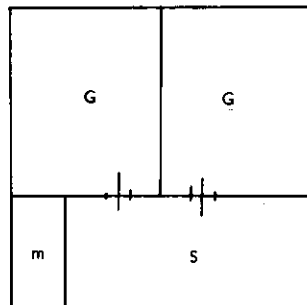


fig. 26. — Indeling van een gebouw met twee gascellen en een werkruimte.

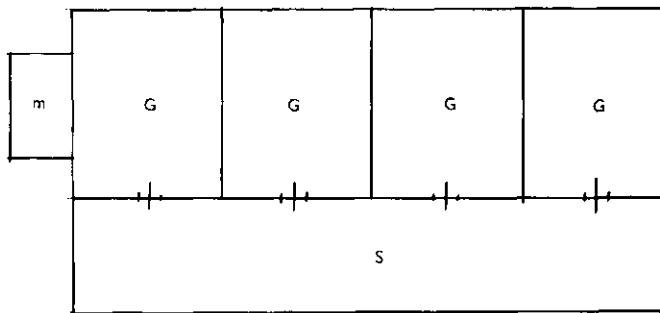


fig. 27. — Indeling van een gebouw met vier gascellen naast elkaar en een werkruimte over de hele breedte van het gebouw.

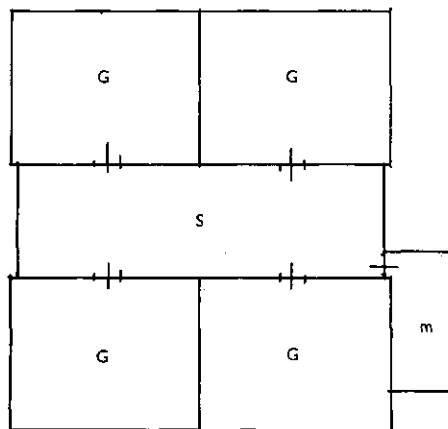


fig. 28. — Indeling van een gebouw met vier gascellen, waarbij twee cellen aan elke zijde van een werkruimte zijn gelegen.

Tot nu toe werd gesproken over gascellen, die elk afzonderlijk in een apart geïsoleerde ruimte zijn ingericht. Dit wil niet zeggen, dat een andere oplossing minder goed is. Indien de temperaturen van de produkten, welke moeten worden opgeslagen, niet te zeer onafhankelijk van elkaar geregeld behoeven te worden, hetgeen tot nog toe bij appels niet noodzakelijk is gebleken, kunnen in één geïsoleerde ruimte meer gascellen worden ingericht. Bij de extern gekoelde gascellen kan men langs deze weg een belangrijke vereenvoudiging in de constructie aanbrengen. Men behoeft in dit geval slechts één koelmachine te installeren; de te isoleren oppervlakken zijn naar verhouding van de inhoud kleiner; de ruimte wordt beter benut. Wil men de ene ruimte voor appels en een andere voor peren benutten, dan volgt hieruit de noodzaak tot het onafhankelijk van elkander kunnen regelen van de temperatuur. Hoewel hiervoor oplossingen zijn te vinden is het voorlopig aan te bevelen van afzonderlijk geïsoleerde cellen uit te gaan.

In de plaats van een toegang, welke direct in de buitenlucht uitmondt, kan men deze ook in een werkruimte of een verbindingsgang laten uitkomen. Een veel gevolgde indeling is de gascellen via gewone koelcellen of bewaarplaatsen toegankelijk te maken. De koelcel kan dan voor de gascellen als buffer gebruikt worden. Dit is niet alleen bij het ruimen van de gascellen bijzonder gemakkelijk, maar geeft ons bij het binnenbrengen ook de mogelijkheid om de produkten voorgekoeld in de gasdichte ruimten te plaatsen. In de figuren 29—37 zien we enkele voorbeelden van bovengenoemde indelingen van extern gekoelde gascellen. Deze indelingen komen slechts voor in koelhuizen met een betrekkelijk grote bergingscapaciteit, zoals b.v. bij de veilingen. Vanzelfsprekend zijn deze indelingen ook bruikbaar voor intern gekoelde gascellen (fig. 38).

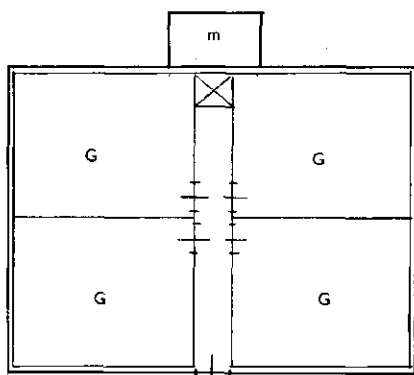


fig. 29. — Indeling van een koelcel, waarin vier gasdichte containers zijn gemaakt. Alleen geschikt voor 't Hollandse systeem.

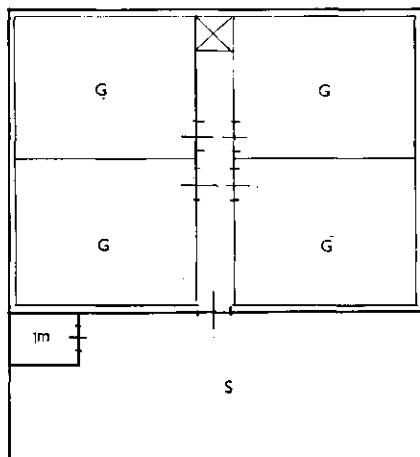


fig. 30. — Dezelfde indeling als in figuur 29, doch nu met een werkruimte.

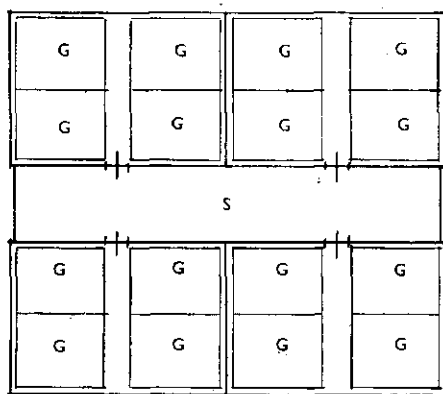


fig. 31. — Indeling van een gebouw met vier koelcellen, die twee aan twee om een werkruimte zijn gegroepeerd. In deze koelcellen kunnen gelijk als in figuur 29 gasdichte containers worden gemaakt.

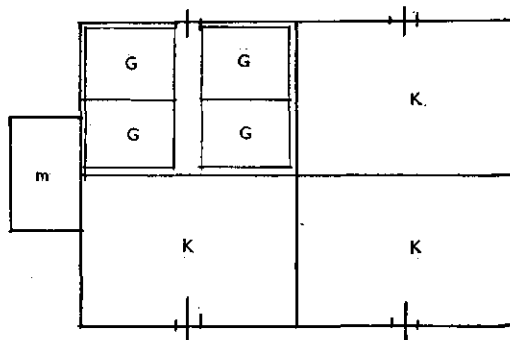


fig. 32. — Indeling van een gebouw met vier koelcellen, waarvan de toegangsdeuren in de buitenmuren zijn aangebracht.

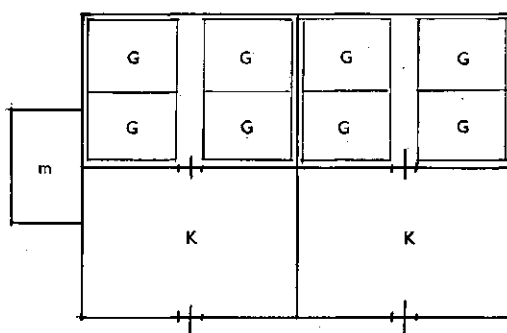


fig. 33. — Dezelfde indeling als in figuur 32, doch nu zijn er slechts twee deuren in één buitenmuur. De achterste twee cellen zijn ingericht als gascel en toegankelijk alleen via de voorste koelcellen. In de koelcellen kunnen nu de produkten voor de gascellen worden voorgekoeld.

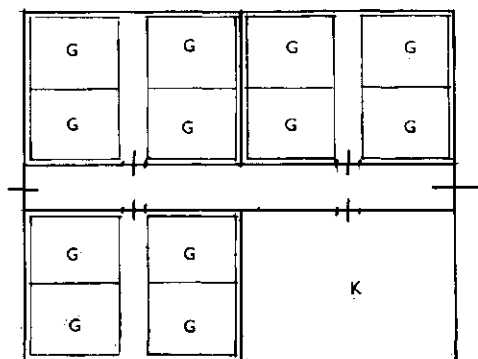


fig. 34. — Dezelfde indeling als in figuur 31, doch nu zijn de cellen aan weerszijden van een smalle verbindingsgang gelegen.

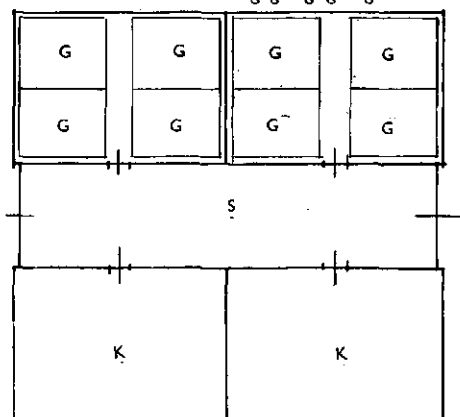


fig. 35. — Dezelfde indeling als in figuur 31, doch nu zijn aan de éne zijde van de werkruimte alleen gewone koelcellen ingericht.

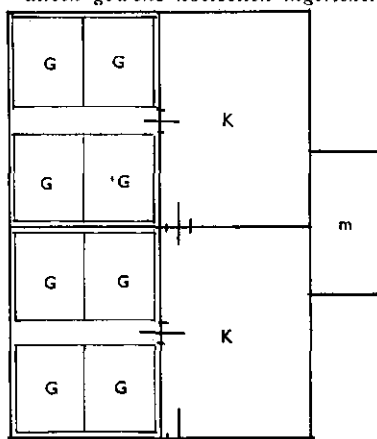


fig. 36. — Indeling van een gebouw met vier koelcellen, waarvan er twee zijn ingericht als gascellen. Alle cellen zijn nu via slechts één toegangsdeur in de buitenmuur te bereiken.

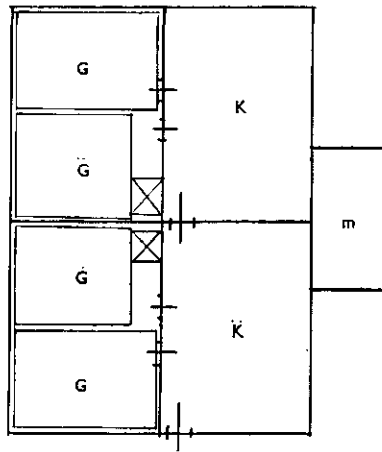


fig. 37. — Dezelfde indeling als in figuur 36. De koelers van de gascellen hebben nu een andere plaats gekregen, hetgeen een betere ruimtebenutting geeft.

De scheidingswanden kunnen worden opgebouwd van isolerende steen. Deze muren worden daarna aan beide zijden van een gasdichte bekleding voorzien. Het is echter ook mogelijk, de scheidingswanden van zink te maken. Zijn in dit geval de temperaturen niet gelijk dan beïnvloeden de ruimten elkaar weer.

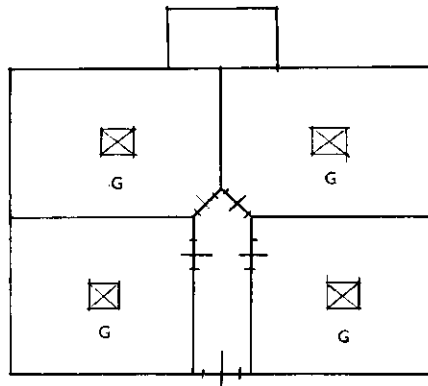


fig. 38. — Indeling van een gebouw met vier intern gekoelde gascellen. In principe kan deze indeling ook in vele van de vorige figuren worden gebruikt.

6. Verandering van bestaande opslagruimten

Omdat de behoefte aan gascellen nog toeneemt, komt het dikwijls voor, dat een bestaande koelcel of bewaarplaats moet worden ingericht als gascel. Ook landbouwschuren worden soms gebruikt. Elke soort vraagt om speciale voorzieningen, waarom we in de volgende paragrafen de veranderingen van landbouwschuren, van luchtgekoelde bewaarplaatsen en van koelcellen apart zullen bespreken.



foto 8. — Een als koelhuis ingerichte landbouwschuur. Alle koelcellen, waarin gasbewaring kan worden toegepast, bevinden zich in het midden van de schuur. Het lage gedeelte van de schuur wordt hier gebruikt als sorteer ruimte.

6.1. LANDBOUWSCHUREN

Hier liggen twee problemen, die nauw de isolatietechniek raken. In de eerste plaats zijn vele landbouwschuren aan de buitenzijde van houten wanden voorzien. In de meeste gevallen zijn de opgaande zijgevels zeer laag. Om de gascellen voldoende hoogte te geven wordt daarom alleen de ruimte tussen de kapstijlen benut als opslagruimte. Het is gevaarlijk om de houten wanden aan de binnenzijde te bekleden met een waterdampdicht materiaal. Door de ruimte in het midden te gebruiken leveren houten zijwanden geen moeilijkheden op. Dit kan wel het geval zijn met een houten eindgevel. Wordt deze een onderdeel

van de gascel dan zal de houten wand tot een hoogte van de in te richten ruimte moeten worden vervangen door een stenen wand. Het aangrenzende vloeroppervlak van de schuur kan worden gebruikt als werkruimte en voor de opstelling van de koelmachines.

De ruimte in de nok van een landbouwschuur is zo omvangrijk, dat zij vraagt om geschikt gemaakt te worden voor opslag van nog andere produkten. De zolder van de gascellen moet dan worden voorzien van een dichte vloer, die voldoende draagvermogen bezit. Hier ontmoet men nu het tweede probleem. Als gevolg van deze vloer is de zo noodzakelijke ventilatie van de plafond-isolatie onmogelijk. De isolatie zal door condensatie van waterdamp nat worden. Eventueel hout van de plafondconstructie wordt na verloop van een aantal jaren aangetast en bezwijkt op de duur. Men is daarom verplicht een betere, doch duurdere, plafondconstructie te kiezen door gebruik te maken van kurkplaten. De balklaag blijft nu buiten de isolatie en over de balklaag kan dan zonder bezwaar een houten vloer worden aangebracht. Om verstikking van het hout te voorkomen, moet de luchtruimte tussen de balklaag goed met lucht worden geventileerd. Wil men een plafond geïsoleerd met kurkmeel toch van een vloer voorzien, dan moet boven de isolatie een luchtruimte van tenminste 40 cm hoogte tussen isolatie en nieuwe vloer worden gemaakt. Deze luchtruimte moet weer flink met lucht geventileerd worden.

Teneinde de vloer in de nieuw in te richten ruimte op ongeveer gelijk niveau te krijgen als in de overige aangrenzende ruimten, gebruiken we een eventueel bestaande vloer niet, maar wordt een geheel nieuwe vloerconstructie gemaakt.

De kap van een landbouwschuur wordt dikwijls door houten kolommen gedragen. Deze kolommen mogen niet in de constructie van de gascel worden opgenomen. Zou men ze isoleren en gasdicht bekleden dan verstikt het hout en na verloop van tijd kan de kolom volkomen vermolmd zijn. Indien deze kolommen of andere houten delen een wezenlijk deel der constructie vormen, moeten we ze, indien niet anders mogelijk, vervangen door stenen of stalen constructies. Het hout mag ook niet in de muren worden ingemetseld. Bij voorkeur plaatsen we de muren zo, dat de houten kolommen juist er voor uitsteken.

6.2. BEWAARPLAATSEN

Bij het inrichten van een met buitenlucht gekoelde bewaarplaats ontmoeten we ook enkele problemen. De belangrijkste liggen weer bij de isolatie. Bewaarplaatsen kunnen op verschillende manieren geïsoleerd zijn. In slechts enkele gevallen is de muurconstructie gelijk aan die voor een koelcel, met uitzondering van de isolatie, die half zo dik is. Om een goede isolatiewaarde te verkrijgen laat men nog een plaat kurk aanbrengen op de eventueel afgepleisterde isolatie, zodat de isolatiedikte 12 cm wordt. Vele bewaarplaatsen zijn vroeger gebouwd met een muurconstructie, die bestaat uit twee halfstenen muren met ertussen een niet geventileerde luchtsponw. Deze buitenmuur moet worden voorzien

van spouwroosters. Wanneer de volgende isolatiematerialen zijn toegepast: bouwplaten van geperst riet, van geperste vlasscheven, van houtspaanders, houtwol of kurkcementstenen, kan men de bestaande isolatie beter verwijderen en geheel nieuw isoleren zoals in hoofdstuk 3 is besproken. In de gevallen, waarin isolerende stenen zijn gebruikt en deze geen constructieve functie in het gebouw hebben, kan men ze om wille van ruimtewinst beter verwijderen en opnieuw isoleren. Zijn deze stenen echter wel opgenomen als constructie-onderdeel van het gebouw, dan rekent men ze geen isolerend vermogen toe. De muren worden dan geïsoleerd met materialen, die een isolatiewaarde gelijkwaardig met 12 cm kurkplaten hebben.

Het plafond is vaak op dezelfde wijze geïsoleerd als de wanden. Bij extern gekoelde gascellen zou men deze materialen kunnen laten zitten. Het vereiste isolerend vermogen van het plafond verkrijgt men nu door op de bouwplaten, ongeacht uit welke materialen ze bestaan, een vulisolatie te storten. Richt men de ruimte in voor interne koeling, dan is het verwijderen van de isolerende bouwplaten en het aanbrengen van een plafond volgens eerder beschreven constructies noodzakelijk.

Over het algemeen zijn de vloeren in bewaarplaatsen niet geïsoleerd. De ruimte onder de roostervloeren wordt tot de gewenste hoogte met zand opgevuld, waarna een geïsoleerde vloer wordt aangebracht zoals eerder werd beschreven. De houten roostervloeren kunnen we soms gebruiken, mits ze in overeenstemming worden gebracht met de hiervoor reeds eerder gestelde eisen. Zijn de vloeren reeds geïsoleerd met bijv. klinkerisoliet of assintels en afgewerkt met een betonnen deklaag dan is het, ten einde geen hoogte te verliezen en alle vloeren op hetzelfde niveau te houden, ook beter een nieuwe vloer te leggen en opnieuw te isoleren.

De openingen in de muren en het plafond voor de koeling met buitenlucht worden vanzelfsprekend van te voren dichtgemaakt. Indien de toegangsdeuren niet aan de eisen voldoen, moeten ze worden vervangen door goede koelhuisdeuren.

Vele onderdelen uit de bewaarplaatsen kunnen voor de gascellen niet worden gebruikt. Overcompleet zijn o.a. van de automatische besturing van de ventilatoren, de differentiaal thermostaat en het differentiaal relais. Voor een koelmachine moet de schakelkast worden uitgebreid; de zekeringgroepen zijn vaak weer te gebruiken. Ook de magneetschakelaars voor de ventilatoren zijn weer voor hetzelfde doel toe te passen. Wanneer één ventilator in de bewaarplaats is gemonteerd, dan kan men deze soms ook voor de mechanische koeling gebruiken. Verscheidene ventilatoren zijn vaak moeilijk op de in de handel verkrijgbare koelementen te monteren. Bij het toepassen van één der ventilatoren uit de bewaarplaats zou de luchtverplaatsing te klein worden. De vorstbeveiligingsthermostaat zou nog te gebruiken zijn, maar deze is niet uitgerust met een vergrendeling. Daarom is het beter deze als regelthermostaat op te nemen en een nieuwe waakthermostaat aan te schaffen.

6.3. GEWONE KOELCELLEN

De inrichting van gewone koelcellen zal hoofdzakelijk bepaald worden door het aanwezige luchtcirculatiesysteem. De bestaande systemen zijn te onderscheiden in horizontale en verticale luchtcirculatie. Bij de horizontale circulatie is het koelelement of in de koelcel zelf of in een koelergang boven de verbindingsgang tussen de koelcellen opgesteld.

In één der vorige paragrafen hebben we uiteengezet dat we in een intern gekoelde gascel bij voorkeur geen horizontale luchtcirculatie toepassen. Staat de koeler opgesteld buiten de eigenlijke koelcel, dan is het praktisch onmogelijk met behoud van het bestaande luchtcirculatiesysteem een intern gekoelde gascel in te richten. Daarom zullen we in deze omstandigheden vrijwel gedwongen zijn om externe koeling toe te passen. De koeler op de koelergang behoeven we dikwijls niet te verplaatsen. We moeten er alleen voor zorgen, dat de lucht om de mantel goed verdeeld wordt en de juiste snelheid heeft. Een voorbeeld van een goede oplossing zien we in figuur 39. Een koeler in de ruimte zal echter vaak verplaatst moeten worden. We monteren deze koeler bij voorkeur in de verbindingsgang tussen de gasdichte containers.

Een koeler voor verticale luchtcirculatie kan men zowel binnen als buiten de gasdichte bekleding opstellen. Het eerste geval komt alleen voor bij kleine koelcellen. Is de ruimte te groot om er één gascel van te maken dan is men gedwongen om externe koeling toe te passen. In de figuren 40 en 41 zijn twee

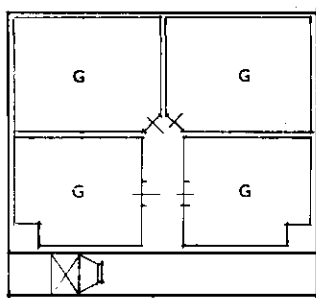


fig. 39. — Verandering van een gewone koelcel in een gascel. De koeler bevindt zich in een koelergang.

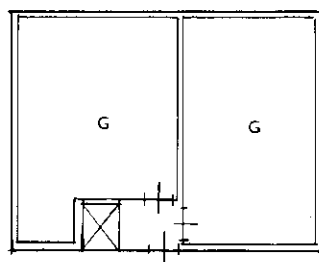


fig. 40. — Verandering van een gewone koelcel met verticale luchtcirculatie. De koeler is naast de toegangsdeur gemonteerd.

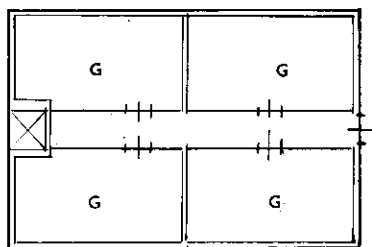


fig. 41. — Verandering van een gewone koelcel met verticale luchtcirculatie. De koeler is in het midden van de achterwand geplaatst.

oplossingen voor de inrichting ervan gegeven. In figuur 40 is de koeler naast de toegangsdeur opgesteld en in figuur 41 in het gangpad tegen de achterwand. De vloerkanalen worden dichtgemaakt. Ook het verbindingskanaal tussen beide vloerkanalen kan grotendeels vervallen. Alleen het gedeelte onder de koeler en vlak naast de koeler blijft onveranderd. De afdekking van het laatste moet worden verwijderd. De lucht, die nu door de koeler onder in het kanaal wordt geblazen, ontwijkt in twee verticale kokers naar boven. Deze kokers staan aan weerszijden van de koeler en geven verbinding met de luchtspouw rond de mantel. Staat de koeler naast de toegangsdeur dan wordt er slechts één verticale koker gemaakt.

De niet genoemde, doch nog aanwezige onderdelen van het bestaande luchtcirculatiesysteem zijn niet te gebruiken. De waterafvoeren van de gascellen kunnen we in de eventueel aanwezige oude vloerkanalen leggen. Voor de constructie van de gasdichte bekleding, de roostervloeren en de overige belangrijke onderdelen verwijzen we naar de desbetreffende paragrafen.

7. Accessoires

Wanneer we een gascel hebben gebouwd, dan moeten we nog speciale aandacht schenken aan enkele onderdelen. Zij zijn in het grote geheel zo onbeduidend, dat men er gemakkelijk over heenloopt. Toch bezitten ze een vitale functie, zodat men juist tijdens de inrichting van de gascellen hieraan extra zorgen moet besteden. De gasdichte afsluiting van de gascel is er één van. De ervaring heeft geleerd, dat de grootste kans van lekkage in de luiken is gelegen omdat de vervaardiging ervan gewoonlijk met weinig zorg plaats vindt. Voorts vragen de voorzieningen voor het meten en het regelen van de luchtsamenstelling in de opslagruimte en de verlichting in de gascellen enige aandacht.

7.1. GASDICHT E LUIKEN

De voor de toegankelijkheid van gasdichte opslagruimten noodzakelijke openingen worden met luiken afgedicht. Indien men de luiken met scharnieren zou afhangen, kan men moeilijkheden met het afdichten verwachten. Daarom past men losse luiken toe, die worden gemaakt van een houten raamwerk dat met zink wordt bekleed. Aan de omtrek maakt men een sponning, voor het inplakken van een gasdichte afsluiting, waarvoor rubber in aanmerking komt. (fig. 42). Het rubber moet stevig zijn en lange tijd zijn elasticiteit behouden. De

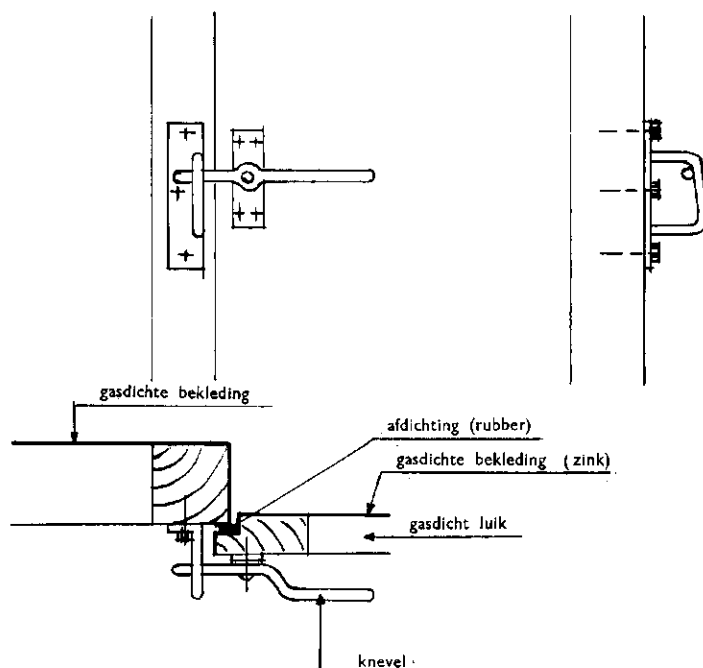


fig. 42. — Constructie van een met zink bekleed houten gasdicht luik. Het luik wordt met knevels aangedrukt.

buitenkant moet glad en luchtdicht zijn. De doorsnede van het rubber bedraagt 25×15 mm. Het wordt met een waterbestendige rubberlijm op de luiken bevestigd; bij voorkeur niet op de kozijnen. Een andere constructie van een gasdicht luik zien we in figuur 43. Het luik is hier gemaakt van een met metalen bewapening versterkte plaat van kunststof. Het rubber wordt hier aan de omtrek op de vlakke plaat gelijmd. Een sponning gebruiken we hier niet. De kunststof is doorzichtig, zodat men in eventuele monsterkisten achter het luik de produkten kan observeren. Men kan nu ook op eenvoudige wijze een thermometer in de ruimte aflezen.

Wanneer een gascel lek is, komt de grootste lek meestal voor bij de afdichting van de luiken. Daarom moet hieraan bijzondere aandacht worden geschonken. De houten ramen trekken gemakkelijk krom en moeten daarom zwaar worden gemaakt. Zelfs bij de zwaarste constructies is een goede afdichting niet gegarandeerd. De kunststoffen trekken veel minder. De luiken kunnen daardoor veel lichter worden vervaardigd, terwijl de afdichting altijd goed blijft. Dit is een groot voordeel ten opzichte van de vorige constructie.

De luiken worden door middel van knevels tegen de kozijnen gedrukt. Bij houten luiken gebruikt men twee knevels aan iedere lange zijde en een knevel aan iedere korte zijde. In totaal dus zes knevels. Knevelsluitingen hebben hun

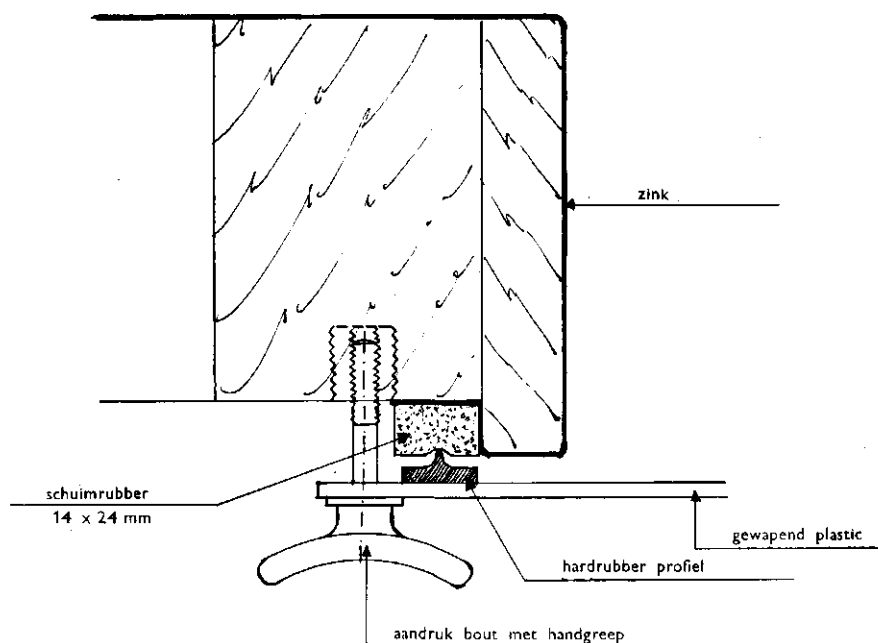
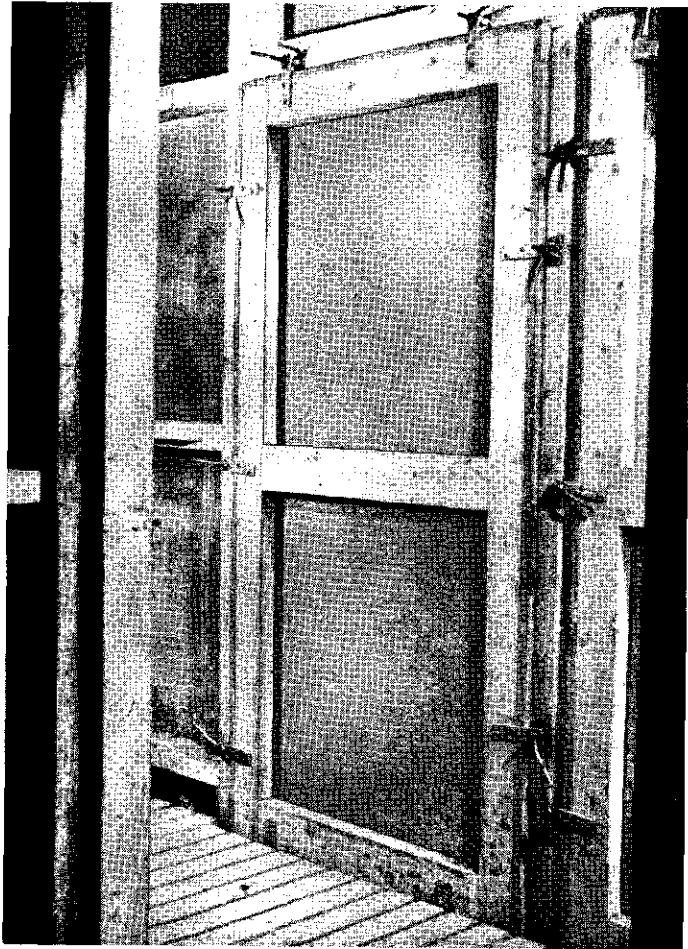


fig. 43. — Constructie van een gasdicht luik, gemaakt van een kunststof. Het luik wordt met bouten aangetrokken.

foto 9. — Gasdicht luik, waarbij zgn. lummeibouten worden gebruikt om een goede gasdichte afsluiting te verkrijgen.



bezwaren. In de eerste plaats is het bijzonder lastig de onderkant van het luik met een knevel aan te drukken. Verder moet het zwaarste deel van de sluiting op het luik zelf worden gemonteerd, waardoor het luik om zijn gewicht onhandelbaar wordt. Zou men knevelsluitingen kunnen vermijden dan zouden er enige lastige complicaties minder zijn. Een poging daartoe met zgn. eierkist-sluitingen en met lummeibouten bevredigde niet. De kunststoffenluiken kan men met eenvoudige bouten aandrukken.

7.2. GASMEETPLAATSEN EN REGELING LUCHTSAMENSTELLING

Gasmeetplaatsen

Voor het meten van de luchtsamenstelling legt men een dunne koperen of plastic buis aan met een diameter van 6 tot 10 mm. De lengte van de meetbuis

neemt men niet te lang, teneinde de inhoud ervan niet te groot te maken. Men moet dan lang pompen om de lucht uit de ruimte in het meettoestel te krijgen. De meetbuizen worden buiten de gasdichte bekleding afgesloten met een $\frac{1}{4}$ " gaskraantje. Over het algemeen behoeft de meetbuis in de gasdichte ruimte niet te worden doorgetrokken. Alleen in het geval, dat de meetbuis vlak bij een opening voor het regelen van de luchtsamenstelling uitmondt, moet ze verlengd worden tot in de ruimte. Bij de gasmeetplaatsen maakt men op ooghoogte een gelegenheid voor het plaatsen van gasmeettoestellen. Ook zorgt men hier voor een juiste verlichting.

Regeling luchtsamenstelling

In hoofdstuk 1 hebben we gezien, dat de bewaring van appels en peren in gekoelde opslagplaatsen kan worden verbeterd door de samenstelling van de bewaaratmosfeer te veranderen. Door verbruik van zuurstof en vorming van koolzuur is het produkt zelf in staat de zuurstofconcentratie te verlagen en het koolzuurgehalte te verhogen. Voor elk ontstane volumedeel koolzuur ver-

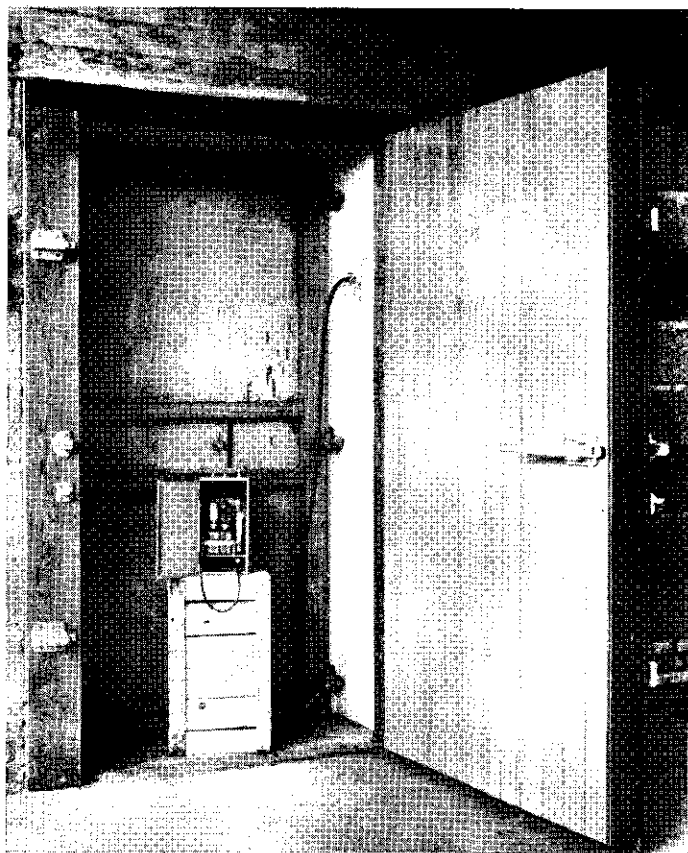
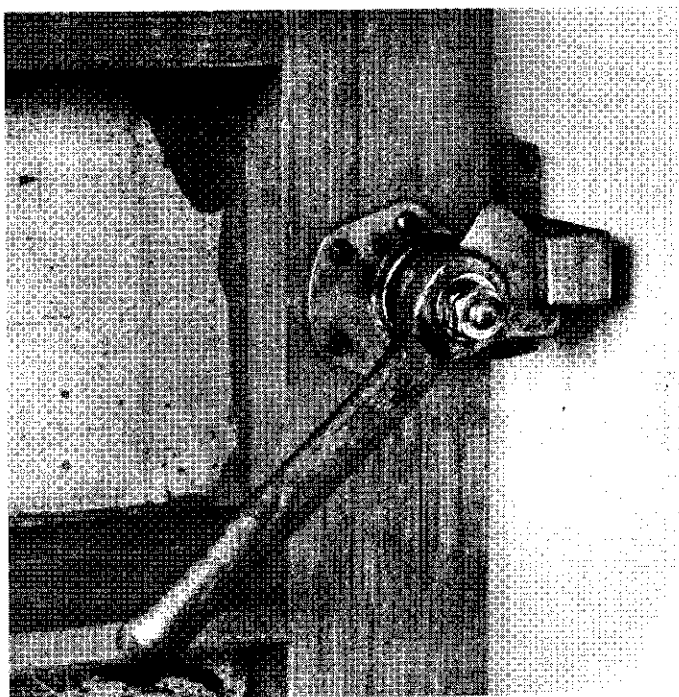
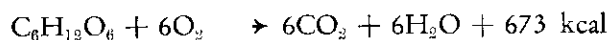


foto 10. — Toegang tot een intern gekoelde gascel. De koeldeur en het gasdichte luik worden met de kozijnen kant en klaar van de fabriek betrokken. De ruimte tussen de koeldeur en het luik wordt met verse lucht geventileerd om de koolzuurconcentratie in de gascel te kunnen regelen. Op de voorgrond bevindt zich een gasanalyse-toestel, waarmee de koolzuurconcentratie kan worden gemeten.

*foto 11. — Een knevelsluiting
gemonteerd op een gasdicht
luik.*



dwijnt een volumedeel zuurstof, één en ander volgens de ademhalingsvergelijking:



De som van de percentages koolzuur en zuurstof blijft dus ongewijzigd. Het is bekend dat sommige rassen door een te hoge koolzuurconcentratie kunnen worden beschadigd. Zou derhalve gevaar dreigen dat de koolzuurconcentratie te hoog wordt, dan moet door ventilatie met buitenlucht hierin worden voorzien. Omdat het stikstofpercentage in binnen- en buitenlucht bij het begin van de bewaring aan elkaar gelijk was en daarna geen verandering heeft ondergaan, is het duidelijk dat vervanging van de binnenatmosfeer door buitenlucht geen invloed heeft op het stikstofgehalte. Wat dus wel verandert bij een dergelijke uitwisseling is, dat zuurstof + koolzuur worden vervangen door zuurstof. Dit kan worden bereikt door gebruik te maken van een met een schuif af te sluiten opening.

Deze openingen zijn vaak in de luiken aangebracht. De grootte van de openingen is afhankelijk van de ruimteinhoud. Een eenvoudige vuistregel hiervoor is de volgende: het aantal kubieke meters inhoud geeft aan hoeveel kwadraat centimeters de opening moet zijn. Zo zal een gasdichte ruimte voor 40 ton appels een inhoud van 160 m³ hebben. De opening van de schuif moet dan tenminste 160 cm² bedragen. De intern gekoelde cellen moeten in verhouding

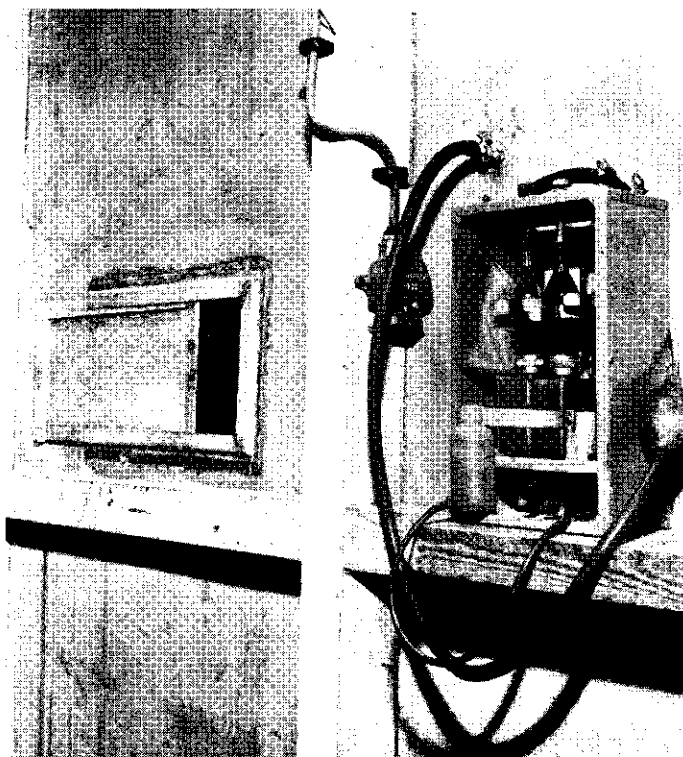


foto 12. — Een regelschuij in de gascichte bekleding van een extern gekoelde gascel. Op de voorgrond staat het toestel, waarmede het koolzuurgehalte wordt bepaald.

tot de extern gekoelde cellen eigenlijk een 3 maal zo grote opening bezitten (zie hoofdstuk 9). Omdat de bekleding van zulke cellen meer lekkage kan geven, kunnen we met dezelfde opening als bij de extern gekoelde cellen volstaan.

Bij de Engelse gascellen is het vaak moeilijk om het koolzuur achter de geïsoleerde toegangsdeur kwijt te raken. Het is noodzakelijk om de ruimte tussen het luik en deze deur goed te ventileren. Een middel hiertoe is via twee plastic buizen, één boven en één onder, deze ruimte met buiten te verbinden. Wanneer nu tussen binnen en buiten een temperatuurverschil aanwezig is, zal de ruimte op deze manier geventileerd worden. Aan deze voorwaarde wordt niet altijd voldaan. Daarom past men ook andere constructies toe. In het éne geval maakt men de opening in een aparte nis in een muur van de cel. In figuur 44 ziet men hiervan een voorbeeld. De hoogte van de nis is zodanig, dat een gasmeettoestel erin kan worden geplaatst. Op die plaats meten we dan tevens de luchtsamenstelling. In andere gevallen monteert men boven de ventilator van de luchtkoeler een buis, welke naar buiten wordt geleid. Met een kraan sluit men de toegang, al naar gelang het koolzuurpercentage in de ruimte, min of meer af. Deze buizen moeten een behoorlijk grote doorsnede hebben en mogen niet te lang worden gemaakt. Al deze regelmethoden hebben het bezwaar dat luchtdrukvariatiën buiten (barometrische wisselingen) de lucht-

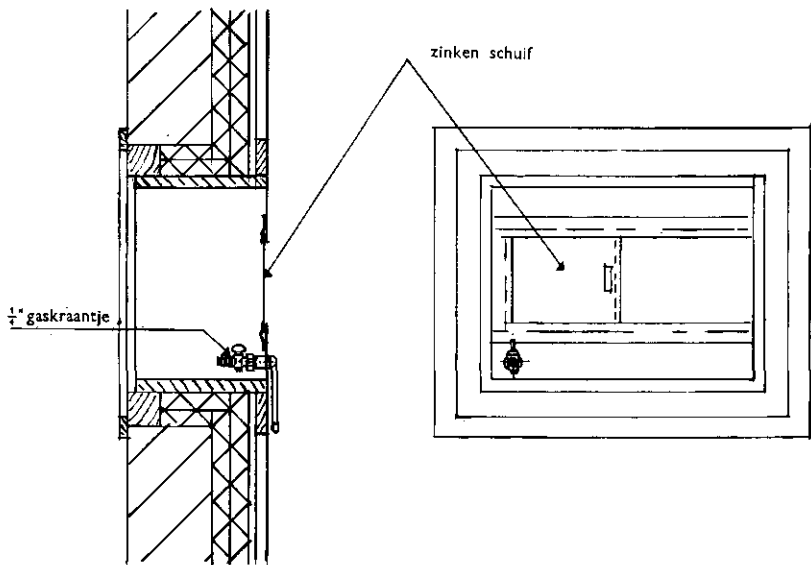


fig. 44. — Nis in de geïsoleerde wand van een gascel voor het meten en regelen van de lucht-samenstelling binnen.

samenstelling binnen beïnvloeden. Met de volgende methoden kan men zich hiervan onafhankelijk maken.

In de Verenigde Staten van Amerika worden zgn. ademhalingszakken toegepast. Deze zakken zijn van een flexibele stof vervaardigd. Wanneer de druk van de atmosfeer afneemt, zou bij een volledig starre gasdichte bekleding, de drukvereffening tussen binnen en buiten door uitwisseling van lucht gebeuren. Stijgt de druk buiten, dan vindt het omgekeerde plaats. De hoeveelheid lek-lucht wordt door deze drukvariëties groter, hetgeen een verstoring van de binnenatmosfeer tengevolge heeft. Indien men echter een gedeelte van de gasdichte bekleding vervangt door een flexibele, dan zal een drukverandering het volume van de ruimte veranderen. Er zal nu geen luchtuitwisseling met buiten optreden. De drukvereffeningszakken worden als een grote blaas boven in een verbindingsgang opgehangen. De opening van zo'n zak wordt op een sparing in de gasdichte bekleding aangesloten. In Nederland heeft men met deze methode nog geen ervaring.

Er is nog een ander systeem waarmee men de invloed van atmosferische drukverandering voor een belangrijk gedeelte kan opheffen. Hierbij brengt men de ruimte op een bepaalde overdruk. Dit is mogelijk met een kleine ventilator die buitenlucht aanzuigt en in de ruimte blaast. Door de luchtlekken klein te maken, zal er in de ruimte een bepaalde overdruk ontstaan. Is deze groot genoeg, dan zal het koolzuurpercentage in de ruimte door drukveranderingen buiten nauwelijks worden beïnvloed. De opbrengst van de ventilator wordt

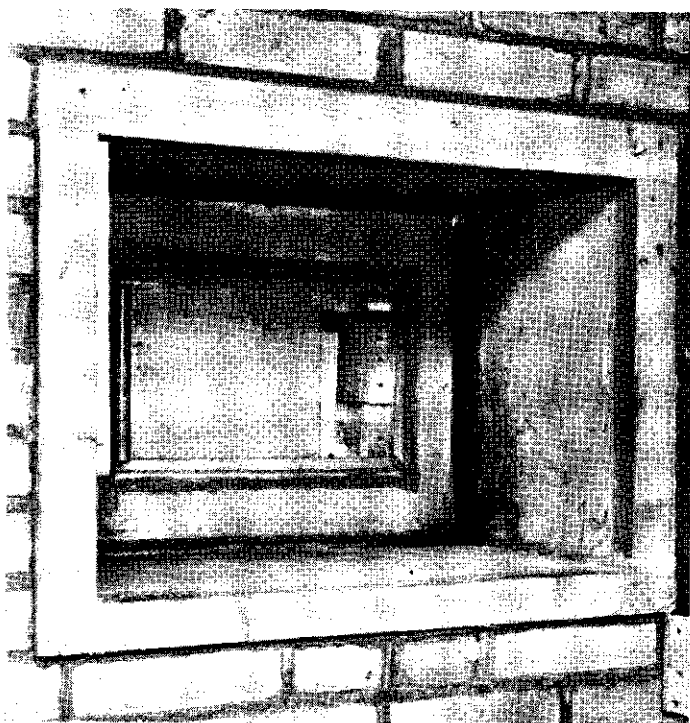


foto 13. — Een nis met regelschuif in de gasdichte bekleding van een intern gekoelde gascel. In deze nis bevindt zich ook een aansluiting voor het gasmeettoestel.

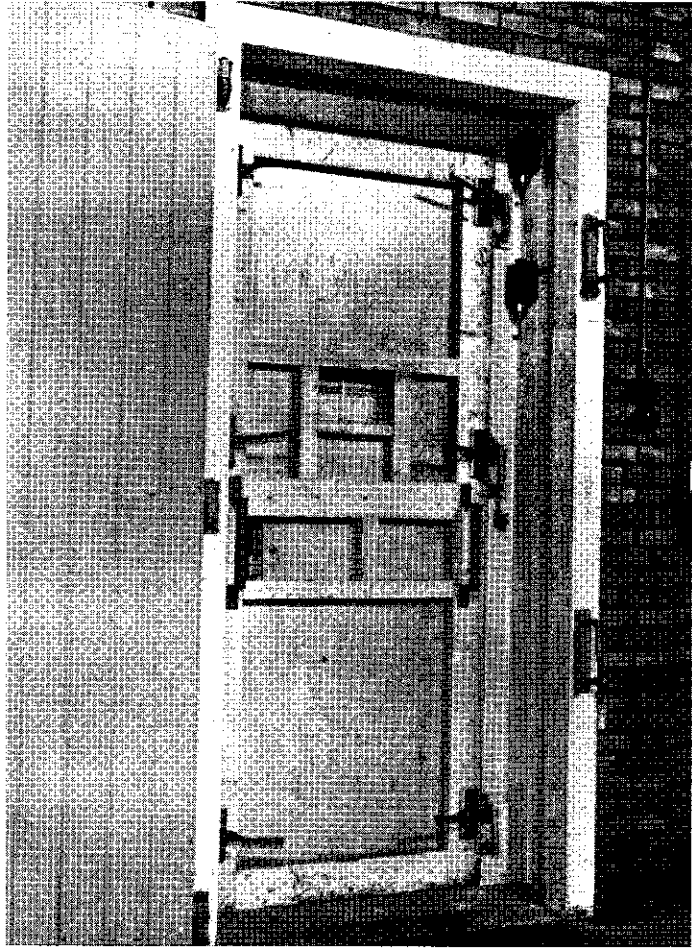
afhankelijk gesteld van de koolzuurproductie van het fruit en van het gewenste koolzuurpercentage in de gascel en is met behulp van de gegevens in hoofdstuk 2 te berekenen. De opbrengst van de ventilator stelt men in met een kraan, die in de zuigleiding is gemonteerd.

Nu is in hoofdstuk 1 reeds opgemerkt, dat er ook gevallen zijn waarbij de produkten vragen om een atmosfeer waarin zowel het koolzuur- als zuurstofpercentage laag is. Dit kan niet meer worden bereikt door eenvoudige uitwisseling van de binnenatmosfeer met buitenlucht. Hoe dit doel wél bereikt kan worden zal nader worden uiteengezet onder het hoofdstuk koolzuurwassers.

7.3. TEMPERATUURREGELING

Regeling van de temperatuur in de gascellen geschiedt door middel van thermostaten, die voorzien zijn van capillairen. Bij extern gekoelde gascellen worden deze regelapparaten gemonteerd in een eventueel aanwezige verbindingsgang, tussen de gasdichte containers. De voelers van deze thermostaten mogen niet in een luchtstroom worden aangebracht waarvan de luchtsnelheid groter is dan 0,5 m/sec. Is er geen gang geprojecteerd, dan zoekt men voor de thermostaat een plaatsje in de lufte van één of ander voorwerp, b.v. in de opening van de toegangsdeur. De breedte van de dagstukken aldaar is bij een

foto 14. — Bij een intern gekoelde gascel worden de thermostaten voor regeling van de koelmachines bij voorkeur in de ruimte tussen de koeldeur en het gasluik gemonteerd. In het gasluik is een venstertje gemaakt, waarachter een kwikthermometer wordt gehangen om de temperatuur in de cel te controleren.



buitendeur meer dan 25 cm. Ook is de ruimte, waaruit de ventilator van de luchtkoeler de lucht aanzuigt, geschikt voor opstelling.

Over de regeling van het systeem van gecombineerde koeling werd reeds in paragraaf 4.3. gesproken. De thermostaten in intern gekoelde gascellen monteren we bij voorkeur tussen de geïsoleerde deur en het gasdichte luik. De voeler wordt door de gasdichte bekleding geleid en bevestigd op halve hoogte op de wand. Het kan nu echter gebeuren, dat de thermostaat tengevolge van een lagere buitentemperatuur ontregeld wordt. Daarom maakt men om de thermostaat een kastje, dat aan de voorzijde afgesloten is met een schuifruitje. In het kastje laat men een lampje van bijv. 10 Watt branden. De warmteontwikkeling hiervan is meestal voldoende om de temperatuur van de thermostaat boven de temperatuur van de voeler te houden. Omdat het afstellen van de

thermostaat moeilijkheden kan opleveren, monteren we hem nooit binnen de gasdichte bekleding.

7.4. VERLICHTING

Het is gewenst om in de gascel zelf tenminste één lichtpunt aan te brengen. Dit lichtpunt kan het best boven de toegang worden gemonteerd. Men heeft dan geen last dat het door kisten wordt ingebouwd en men heeft ook bij gesloten gascellen een goede verlichting in de omgeving van de ingang. Is het luik doorzichtig, dan kunnen we de produkten in de controlekisten en een kwikthermometer in de ruimte gemakkelijk zien. Het aanbrengen en gebruik van elektrische apparaten in gascellen met een metalen bekleding kan gevaren opleveren. Indien er niet gezorgd is voor een goede aarding van de bekleding verdient het aanbeveling om een laagspanningsarmatuur te gebruiken.

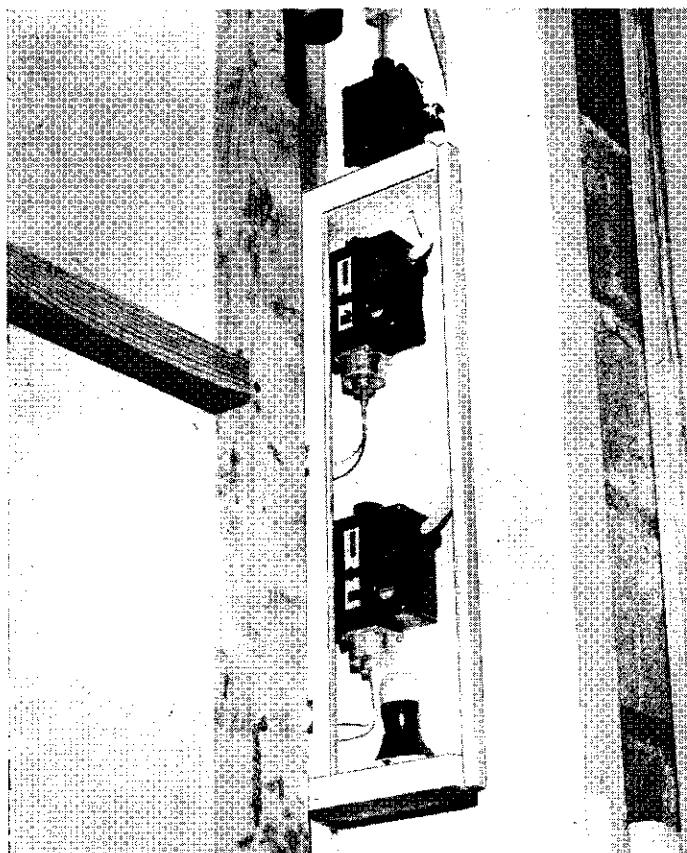


foto 15. — De gevoeligheid van de thermostaten kan nog worden verhoogd door de temperatuur van het huis van de thermostaat hoger te maken dan de voeler. Daartoe worden ze in een kastje gemonteerd, dat met behulp van een klein elektrisch lampje wordt verwarmd. Op deze manier zal de koelmachine ook bij zeer lage buitentemperaturen goed functioneren.

8. Koolzuurwassers

Bepaalde produkten geven een betere houdbaarheid te zien in een atmosfeer, waarvan zowel het koolzuur- als zuurstofpercentage laag is. Dit houdt in, dat het percentage stikstof in de atmosfeer zal moeten stijgen boven dat van de omgevingslucht. Men kan dit niet regelrecht bereiken, doch wel indirect. Daartoe wordt het teveel aan geproduceerd koolzuur vastgelegd. De onderdruk welke nu binnen de gasdichte cel zou kunnen ontstaan, wordt aangevuld door buitenlucht, waarmee men dus stikstof binnenhaalt, doch ook zuurstof. De zuurstof wordt door het fruit weer omgezet in koolzuur; dit wordt gebonden en zo kan het proces zich herhalen totdat men de gewenste zuurstof- en koolzuursamenstelling heeft bereikt.

Deze apparaten waarmee men de koolzuur uit de lucht kan verwijderen noemt men koolzuurwassers.

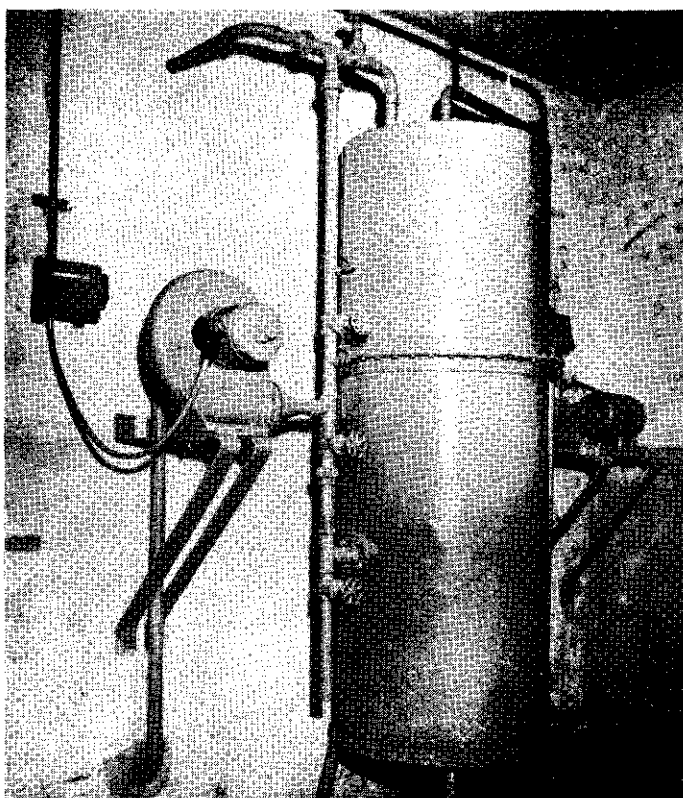


foto 16. — Apparatuur voor het verwijderen van koolzuur uit de lucht van de gascel om daarmede het zuurstofgehalte te kunnen verlagen. Aan de linkerkant is de luchtpomp en aan de rechterkant is de pomp voor het circuleren van de absorptievloeistof door de apparatuur gemonteerd.

Voor het verwijderen van ongewenste bestanddelen, in het bijzonder van CO₂ uit gassen zijn verschillende methoden bekend, die afhankelijk van de aard van het bedrijf en de gasreiniging worden toegepast. De in de industrie gebruikelijke methoden komen voor de verwijdering van koolzuur uit de bewaaratmosfeer niet in aanmerking. De eisen die men hiervoor kan stellen zijn namelijk:

1. de installatie moet goedkoop zijn en goedkoop werken;
2. zij mag slechts weinig plaatsruimte innemen;
3. het toestel en het toegepaste procédé mogen geen nadelige invloed uitoefenen op de kwaliteit van de opgeslagen produkten;
4. de constructie en de bediening moeten zo eenvoudig zijn, dat deze aan ongeschoold personeel kan worden toevertrouwd;
5. de afgewerkte stoffen mogen met het lozen geen moeilijkheden opleveren.

In de volgende paragrafen zullen de wasapparaten, de middelen voor het uitwassen van de koolzuur, de constructie en de werking van de toestellen behandeld worden.

8.1. ABSORPTIEMIDDELEN

De middelen voor het uitwassen van koolzuur uit gassen kan men onderverdelen in regenerereerbare en niet-regenerereerbare. Deze onderscheiding is van praktische aard, want met niet-regenererebaar wil men eigenlijk alleen zeggen dat de koolzuur zonder dragelijke kosten niet uit het absorptiemiddel is te verwijderen.

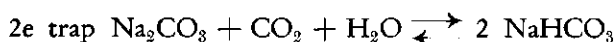
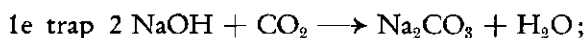
8.1.1. Niet-regenerereerbare absorptiemiddelen

Vaak wordt gebruik gemaakt van loog. De laatste tijd wordt ook aandacht geschonken aan gebluste kalk.

Ondanks de gevaren verbonden aan het werken met loog en de moeilijkheden bij het lozen van de afgewerkte vloeistof heeft dit absorptiemiddel veel toepassing gevonden.

De reactie tussen loog en koolzuur verloopt in twee trappen.

De reactievergelijkingen van deze trappen zijn:



In beide reacties samen wordt ongeveer 0,5 kg CO₂ per kg loog gebonden. De eerste reactie verloopt echter veel sneller dan de tweede. Het gevolg hiervan is dat de absorptiesnelheid in de tweede periode te klein kan worden om het

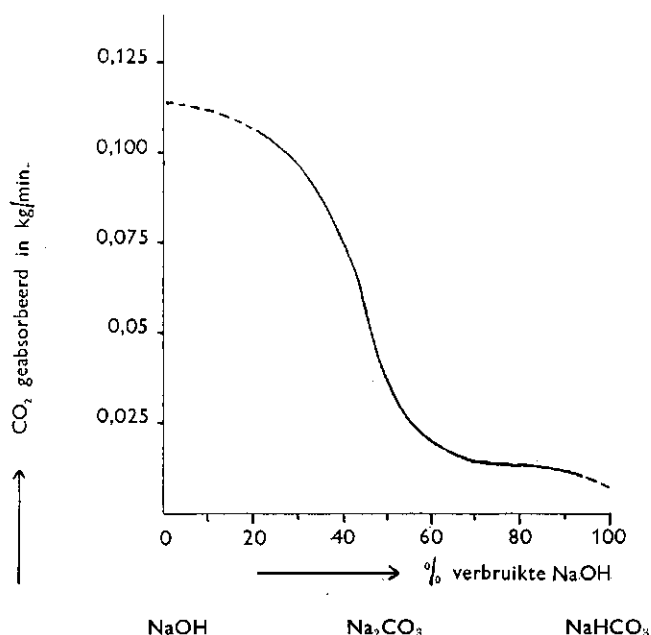


fig. 45. — Absorptiesnelheid voor CO₂ in NaOH (type wasser uit fig. 52).

door de produkten afgegeven koolzuur uit te wassen. Ondanks het wassen van de lucht zal het CO₂-gehalte in de opslagruimte toenemen. Kaliloog en natronloog reageren gelijk. De oplosbaarheid van KOH is groter; doch het is veel duurder. Uit figuur 45 kunnen we aflezen wanneer de loog moet worden verversd. Het niet volledig uitgewerkte absorptiemiddel moeten we lozen. Wel kunnen we met behulp van chemicaliën het restgehalte aan NaOH bufferen.

Meestal zal dit op praktische bezwaren stuiten en in elk geval is men gedwongen ergens de afgewerkte oplossing kwijt te raken. In verband met het vergiftigen van grond- en oppervlaktewater levert dit min of meer grote problemen. (De aanleg van putringen op voldoende diepte kan hier een oplossing brengen.)

Het gebruik van kalkmelk (Ca (OH)₂ in water opgelost) stuit in de praktijk op enkele bezwaren. De oplosbaarheid van deze stof is in verhouding tot andere absorptiemiddelen klein. Daar de hoeveelheid koolzuur, die gebonden kan worden, afhankelijk is van de hoeveelheid absorptiemiddel, moet een installatie voor een dergelijke hoeveelheid te absorberen koolzuur in kalkmelk veel groter zijn dan voor loog. Bovendien is het reactieprodukt van kalkmelk, CaCO₃, heel slecht oplosbaar in water. Indien de concentratie ervan te hoog oploopt slibt het toestel dicht. Uitgezonderd enkele experimentele apparaten, waarin de nadelen van het dichtslibben door een geschikte constructie waren ondervangen, zijn deze koolzuurwassers niet toegepast.

In vaste vorm heeft $\text{Ca}(\text{OH})_2$ echter een behoorlijk absorptievermogen voor koolzuur. Het verharden van kalkcementmortel in de bouwsector geschiedt door het opnemen van koolzuur uit de atmosfeer. De CO_2 -concentratie in de atmosfeer is bijzonder laag, waardoor de reactie niet snel verloopt en in het opvoeren van de reactie-snelheid zijn we beperkt. Voor het binden van voldoende hoeveelheden koolzuur uit de lucht in een gascel past men daarom per volume-eenheid kalk grote oppervlakken toe, terwijl de verblijfsduur van de lucht in de nabijheid van de kalk zo lang mogelijk wordt gehouden. De kalk kan ongeacht de mate van uitwerking naar buiten worden gebracht, aangezien de CO_2 uit de buitenlucht tot verzadiging toe verder neutraliseerd. Daarna kan de kalk voor bemestingsdoeleinden worden gebruikt.

Kalk is in verschillende kwaliteiten in de handel; zeer goedkoop is schelpkalk. Deze stof is van organische oorsprong en niet vrij van bijmengsels, die door hun scherpe geur schadelijk kunnen zijn voor het fruit. De veel duurdere zuivere kalk heeft deze bezwaren niet.

8.1.2. Regenereerbare absorptiemiddelen

Hiertoe behoren de organische logen (ethanolaminen) en water. De organische logen zijn in verschillende landen in gebruik; het zo eenvoudige water daarentegen wordt nog slechts beproefd.

Op grote schaal is ons nog geen toepassing bekend. Beide middelen zullen we hierna bespreken.

Ethanolamine heeft een behoorlijke absorptiesnelheid voor koolzuur. Het regenereren kan zonder al te grote kosten plaatsvinden. Met een vulling kan men een lange tijd doen, want alleen het verlies door verdamping behoeft aangevuld te worden. De reactie verloopt weer in twee trappen, waarvan de eerste met grotere snelheid verloopt dan de tweede. Het gebruik van deze organische logen is in de chemische industrie al lang bekend. De prijs van de chemicaliën en van de apparatuur hebben een toepassing op kleinere schaal lang in de weg gestaan. In de laatste jaren is hierin een verandering te bespeuren. Zo worden in Engeland enkele koolzuurwassers met het zgn. tri-ethanolamine als absorptiemiddel commercieel gebruikt. Het regenereren geschiedt door het „ontgassen” bij hoge temperaturen.

De koolzuuropname is bij deze stoffen afhankelijk van het CO_2 -gehalte in de te wassen lucht. In figuur 46 zien we, dat voor mono- en di-ethanolamine deze afhankelijkheid gering is. Voor tri-ethanolamine is het absorptievermogen bij een lage koolzuurconcentratie zeer gering geworden. Verhogen we nu ook nog de temperatuur dan wordt koolzuur niet meer opgenomen, maar zal in het absorptiemiddel gebonden koolzuur eerder worden afgestaan. Hierop berust de eigenschap van het regenereren. Het verhogen van de temperatuur werkt sterker op het absorptievermogen dan de koolzuurconcentratie. Daarom past men voor het regenereren altijd verwarming toe. Na het regenereren moet

het absorptiemiddel weer teruggekoeld worden op de voor de absorptie zo gunstig mogelijke temperatuur. Voor deze temperatuur kiest men de opslagtemperatuur van het fruit.

Van de verschillende ethanolaminen heeft het mono het grootste opnamevermogen voor koolzuur. Het tri staat het koolzuur echter weer heel gemakkelijk af. Alle aminen worden door inwerking van zuurstof afgebroken. De verliezen door oxydatie zijn het grootst bij het tri-ethanolamine; het kleinst bij het mono-ethanolamine.

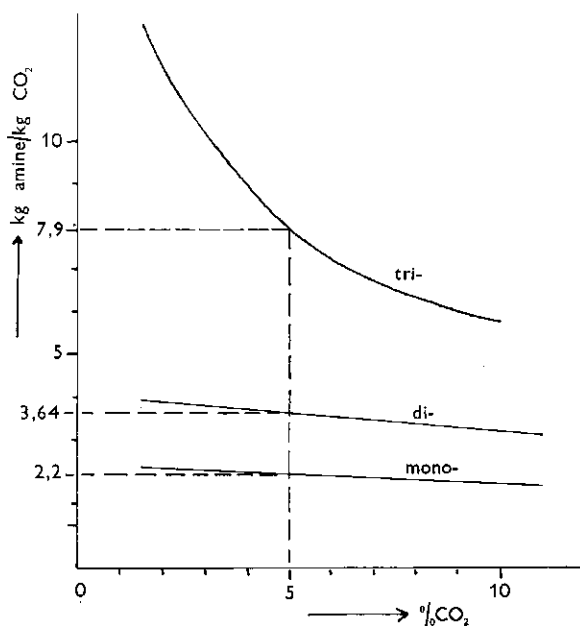


fig. 46. — Absorptievermogen voor ethanolaminen afhankelijk van het koolzuurpercentage ($t = 0^{\circ}\text{C}$, 2 N opl.).

Het is een reeds lang bekend feit, dat water koolzuur kan bevatten. De hoeveelheid koolzuur, die kan worden opgenomen is echter sterk afhankelijk van de koolzuurdruk en de temperatuur. Voor lage koolzuurconcentraties is de maximaal te absorberen hoeveelheid koolzuur zeer klein. Zij stijgt echter lineair met het koolzuurgehalte. In figuur 47 zien we deze lineariteit voor verschillende temperaturen aangegeven. De hoeveelheid koolzuur, die per tijdseenheid kan worden uitgewassen is afhankelijk van de hoeveelheid water, die met de koolzuurhoudende lucht in contact kan worden gebracht.

Het water kan door beluchting of door verhitting het koolzuur weer afstaan. Een nadeel van de beluchting is, dat het water daarbij ook zuurstof opneemt. Deze zuurstof komt in de bewaarruimte gedeeltelijk weer vrij. Een

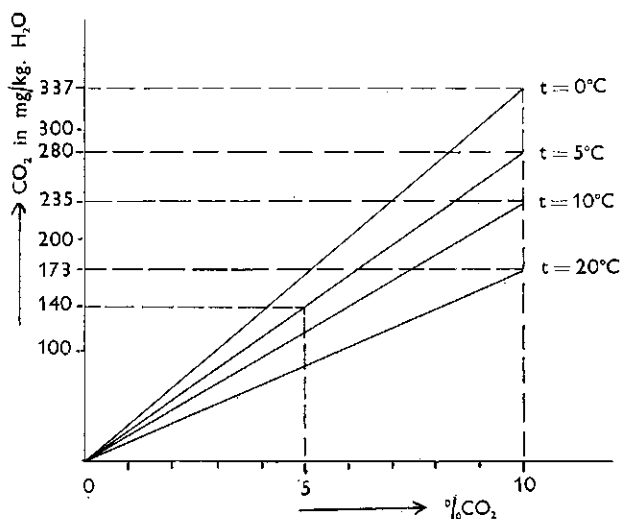


fig. 47. — Absorptiecoëfficiënt voor koolzuur in water afhankelijk van temperatuur en koolzuurpercentage.

en ander is uit figuur 48 af te lezen. Deze zuurstofaanvoer speelt vooral een rol in de beginperiode, wanneer het zuurstofgehalte nog moet dalen. De tijd voor het instellen van het gewenste lage zuurstofpercentage wordt daardoor langer. Aangezien deze langere insteltijd slechts enkele dagen bedraagt, zal de door het beluchte water aangevoerde zuurstof niet van doorslaggevende betekenis zijn.

Bij het regenereren door verhitting of wanneer steeds vers water wordt gebruikt zijn bovenstaande invloeden praktisch niet aanwezig. Wel moet in beide gevallen het water afkoelen tot de ruimtetemperatuur. Laat men het water niet recirculeren, maar gebruikt men vers water dan is een waterzuivering vooraf aan te bevelen. Het voorkomt dat de apparatuur door afzetting van ijzer of door algengroei dicht gaat zitten.

8.2. CONSTRUCTIE EN WERKING DER WASSERS

Het uitwassen van gasen door absorptie in een vloeibaar of in een vast middel is een oppervlaktereactie. Het is dus van belang om het uitwisselingsoppervlak zo groot mogelijk te maken. Hiervoor zijn verschillende soorten apparaten ontwikkeld. Zo kennen we een vulkolom, waarbij het reactie-oppervlak vergroot is door gebruik te maken van kleine vullichaampjes. Als vulling

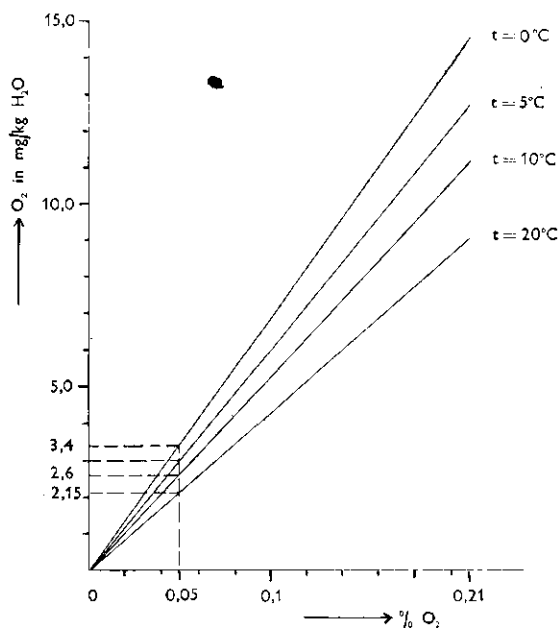


fig. 48. — Absorptiecoëfficiënt van water voor zuurstof afhankelijk van temperatuur en zuurstofpercentage.

dienen open cylinders, zadels, spiralen, kogels, enz. Het gas en de vloeistof worden nu in tegenstroom door de vulkolom gevoerd. Bij een andere methode wordt de vloeistof in een toren zeer fijn versproeid, waardoor een groot reactieoppervlak ontstaat. Tenslotte is hier een groot oppervlak te verkrijgen door een gas in vele kleine belletjes door een vloeistofkolom te leiden. Zo'n apparaat noemt men dan een bellenkolom.

Voor vaste absorptiemiddelen gebruikt men een vast bed van dunne lagen absorptiemiddel. Hierover laat men het gas stromen. Soms gebruikt men schrapers om het absorptiemiddel op het bed te keren. Ook kan het absorptiemiddel in fijn verdeelde toestand door de gasstroom in een apparaat zwevende worden gehouden. Het gehele oppervlak van een deeltje is dan in contact met het gas. Bij deze laatste methode spreekt men van een gefluïdiseerd bed.

De keuze van een wasser wordt bepaald door de eigenschappen van het te gebruiken absorptiemiddel. Bij de absorptie van koolzuur ligt de grootste weerstand aan de kant van het absorptiemiddel, meestal in het transport van vers absorptiemiddel naar de plaats van uitwisseling. Het is dan ook noodzakelijk de aanvoer van vers middel zoveel mogelijk te bevorderen. Deze maatregel sorteert echter weinig effect, indien de absorptie door de snelheid van een chemische reactie wordt bepaald.

8.2.1. Waters voor vloeibare absorptiemiddelen

Voor de zeer snel verlopende reactie tussen loog en koolzuur volgens de eerder genoemde 1e trap zijn alle in de inleiding tot deze paragraaf beschreven typen bruikbaar. De invloed van de gassnelheid is te verwaarlozen; ook die van de vloeistofcirculatie is klein. In figuur 49 is de absorptiesnelheid van een 0,25 normaal NaOH-oplossing tegen de tijd uitgezet. Bij een verzadiging van meer dan 50 % moeten we rekening houden met een lange bedrijfstijd en hoge energiekosten.

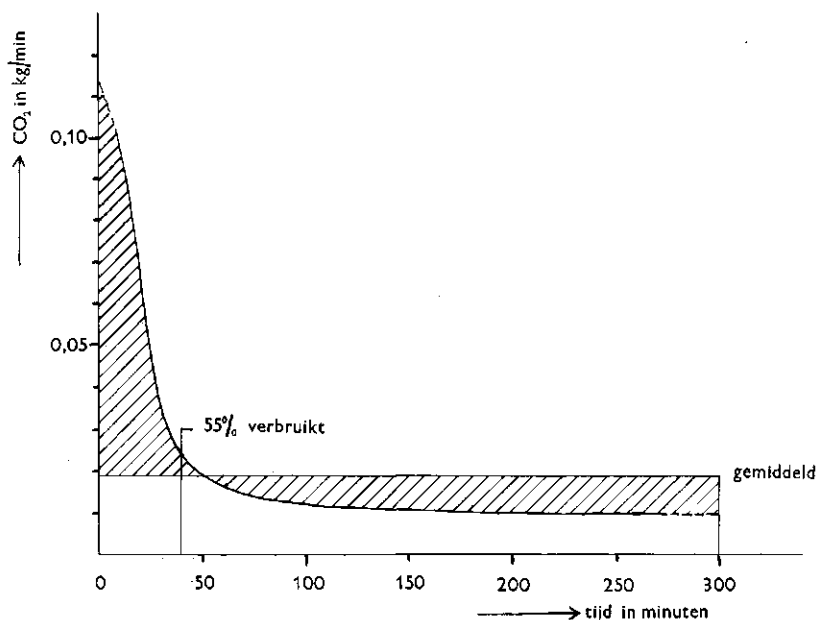


fig. 49. — Absorptiesnelheid van 0,25 N.NaOH-oplossing afhankelijk van de tijd.

Ook de constructie van de wasser moet dan aan de eisen, die de reactie volgens de 2e trap eraan gaat stellen, voldoen. De snelheid van de evenwichtsreactie volgens de 2e trap is sterk afhankelijk van de vloeistofreactie en van de CO₂-concentratie. Voor het behalen van zeer lage CO₂-percentages moeten we daarom altijd gebruik maken van de reactie volgens de 1e trap.

Wassen met loog

In figuur 50 zien we het schema van een in Nederland toegepaste wasser. Men maakt hier gebruik van een in de gascel aanwezige verticale ventilatiekoker. Boven in de koker is een ventilator gemonteerd. Onder deze ventilator versproeit men het absorptiemiddel boven een bed van Raschigringen, waarna het onder in de koker wordt opgevangen en afgevoerd naar een buiten de

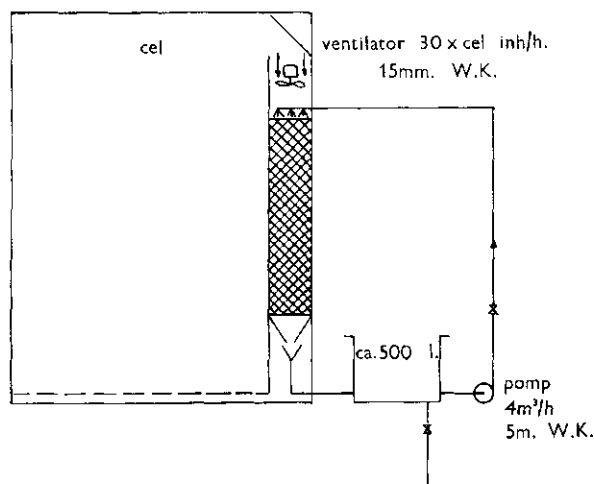


fig. 50. — Wasser in de gascel gemonteerd.

gascel gelegen reservoir. Vanuit dit reservoir wordt het dan weer opgepompt. In hetzelfde reservoir wordt de verse loogoplossing ook klaar gemaakt. De gas- en de vloeistofstroom hebben in de water een gelijke richting. Om een lage koolzuurconcentratie te bereiken moet men hier naar verhouding meer absorptiemiddel rondpompen dan bij tegenstroom het geval is. Men moet dus een grote vloeistofpomp installeren. Door het toepassen van een lage-druk-ventilator is de luchtcirculatie gering en deze wordt bij grotere vloeistofbelasting nog kleiner. Met dit type water, dat op gelijkstroom berust, kunnen we de koolzuurverzadiging van de loog niet veel verder benutten dan tot 50 %. De reactiewarmte komt hier volledig vrij in de gascel.

De volgende constructie, die we zullen bespreken, zien we in figuur 51. Deze wordt in enkele gevallen ook in ons land toegepast. De water wordt buiten de gascellen opgesteld. De opstellingsruimte behoeft zelfs niet gekoeld te zijn. De luchtwater kan op verschillende cellen worden aangesloten, maar kan niet gelijktijdig erop werken. Daarom moeten de verschillende luchtleidingen goed afsluitbaar zijn. De absorptie vindt plaats in tegenstroom in een laag vullichaam. Een tweede laag boven de sproeijs moet voor de afscheiding van meegesleepte loogdruppels zorgen. Is de gassnelheid in de leidingen groot, dan moeten we bijzondere aandacht aan de vloeistofafscheiding schenken. Het is reeds meer malen voorgekomen, dat loog tot in de gascel werd meegevoerd en daar de produkten sterk beschadigde; daarom houdt men de gassnelheid in de leidingen laag. De lucht wordt door een middendruk-ventilator uit de gascellen gezogen en via de water weer terug naar de cellen geperst. Een circulatiepomp zorgt voor het rondpompen van de loog. Ten opzichte van het vorige type is de bouwhoogte gering. Voor het rondpompen van de loog kan men hier met minder energiekosten uitkomen.

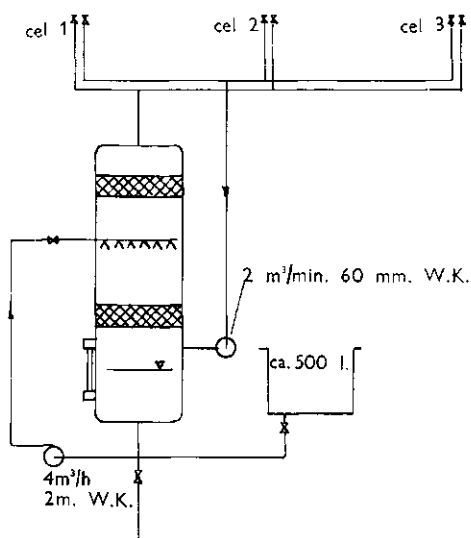


fig. 51. — Wasser buiten de gascel opgesteld. Wanneer de loog voor 50% met CO_2 is verzadigd, moet zij worden ververs.

De benutting van de loog zal door de geringe hoogte van de vulling slechts 50 % bedragen. Het koolzuur kan hier echter tot een concentratie van nagenoeg 0 % worden uitgewassen.

In een volgende paragraaf zullen we nog spreken over de kosten van een koolzuurwasser. Bij een water gevuld met loog zullen we zien, dat het hoofdaandeel van de kosten bestaat uit het verbruik van absorptiemiddel. Daarom zoekt men naar een type water, waarbij de verzadiging tot boven de 50 % kan worden opgevoerd. In figuur 52 is het schema van zo'n koolzuurwater getekend. Ten opzichte van de vorige systemen is het verbruik van absorptiemiddel tot bijna de helft teruggebracht. Het koolzuur kan nu echter niet meer tot een concentratie van 0 % worden uitgewassen. De vulling van dit apparaat is hoger met het gevolg, dat gas en absorptiemiddel in tegenstroom langer met elkaar in contact zijn. De loogconcentratie wordt enerzijds bepaald door de viscositeit van het wasmiddel en anderzijds door de grootte der apparaten. Bij lage concentraties moet men om gelijke hoeveelheden koolzuur te binden de apparatuur evenredig groter maken. Neemt de viscositeit toe dan wordt de absorptiesnelheid en de oplosbaarheid van de carbonaten kleiner. Ergens ligt een optimum verhouding. De beste resultaten bereikt men volgens figuur 53 met een oplossing van 8 kg NaOH/m^3 water (2 normaal oplossing). Gebruikt men een zwakkere oplossing dan moet men vaker verversen. Daar resten van een oude oplossing met verse loog reageren, moet men bij het verversen erop letten, dat het reservoir grondig wordt schoongemaakt. Het absorptievermogen zou anders aanzienlijk teruglopen. Het verversen van de

loog geschiedt meestal dagelijks; soms al naar de behoefte om de twee dagen. Zou men niet zo vaak verversen dan moet rekening worden gehouden met een sterk teruglopende absorptiesnelheid. De bedrijfsperiode van een loogwasser is doorgaans enkele uren per dag.

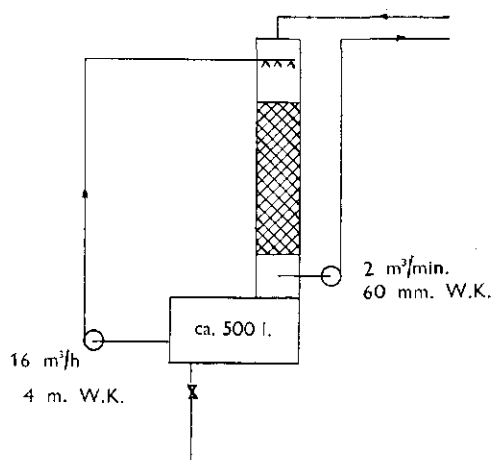


fig. 52. — Wasser buiten de gascel opgesteld. De loog kan hier boven de 50% met CO_2 worden verzadigd.

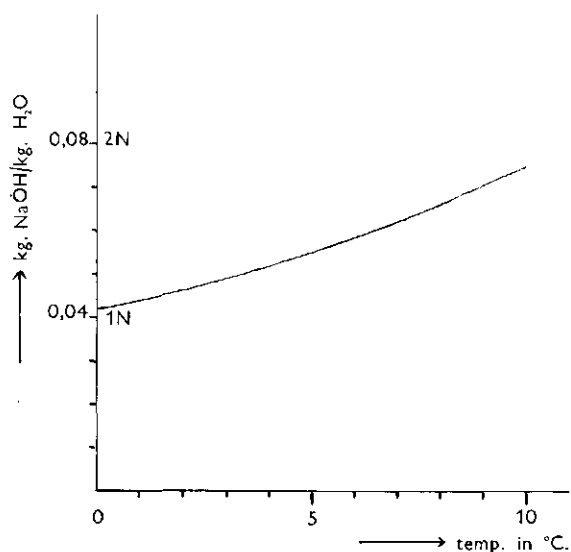


fig. 53. — Maximale NaOH concentratie in verband met het uitkristalliseren van NaOH afhankelijk van de temperatuur.

In figuur 54 zijn enkele van de meest karakteristieke gegevens voor het laatste type wasser gegeven. Men ziet hier duidelijk de invloed van de vloeistofstroom op de reactiesnelheid in de tweede fase. Is de snelheid hiervan groot, dan bestaat er tussen beide reacties nagenoeg geen discontinuïteit. Hoe kleiner de vloeistoftoevoer is, des te langer wordt de reactietijd. Het kan dan voorkomen, dat de absorptie van koolzuur het aanbod door de produkten niet

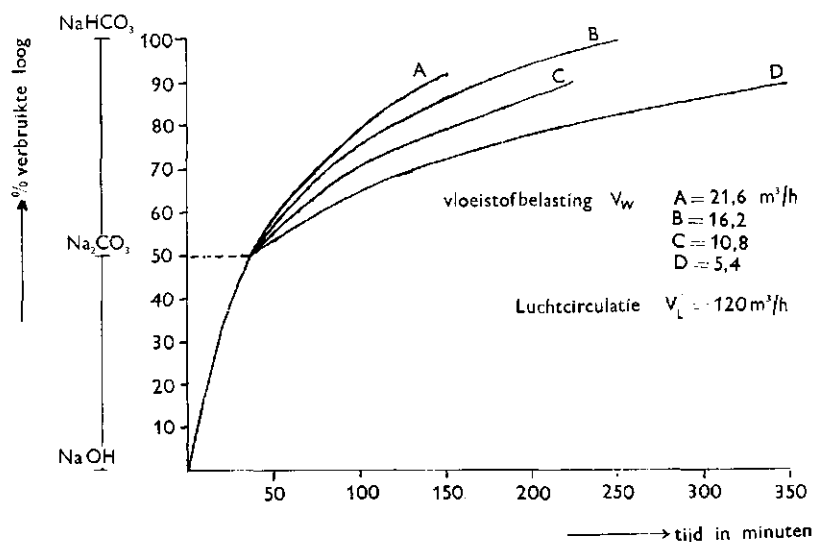


fig. 54. — Karakteristieke gegevens voor een wasser volgens figuur 52.

meer kan verwerken. Het koolzuurgehalte zal dan niettegenstaande het wastoestel in werking is de neiging vertonen te stijgen. Een en ander is in figuur 55 te zien.

Wassen met water

Het laatst behandelde type koolzuurwasser is ook te gebruiken met water als absorptiemiddel in plaats van loog. Er is dan echter geen voorraadtank nodig. Omdat de absorptiesnelheid evenals het absorptievermogen van water maar klein is, moet het apparaat langer in bedrijf zijn dan wanneer men een loogoplossing gebruikt. De benodigde hoeveelheid water kunnen we berekenen uit de volgende vergelijking:

$$W_{\min} = \frac{G_{\text{CO}_2}}{\lambda_{\text{CO}_2}}$$

Hierin is $W_{\min}$ de minimaal benodigde hoeveelheid water in kg per 24 uur, G de koolzuurproduktie in mg per 24 uur, λ de absorptiecoëfficiënt in mg $\text{CO}_2/\text{kg H}_2\text{O}$.

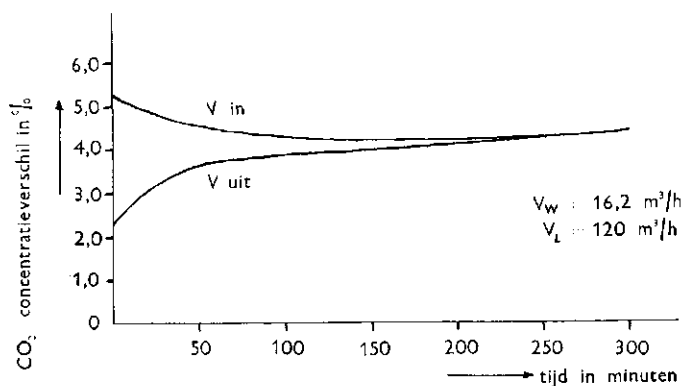


fig. 55. — Het koolzuurgehalte van de lucht, die de wasser volgens figuur 52 binnenkomt en weer verlaat.

De afhankelijkheid van de absorptiecoëfficiënt V_i van de temperatuur en van de partiële koolzuurdruk is in figuur 47 uitgezet. Het watergebruik in de praktijk zal ongeveer 10 tot 30 % groter zijn dan de volgens bovenstaande vergelijking berekende waarde. Het gebruikte water kan ook geregenereerd worden. Hiervoor is eenzelfde type apparaat als de wasser zelf geschikt. In tegenstroom met het met koolzuur verzadigde water wordt nu verse lucht geleid. Men kan het water ook door opwarmen regenereren. Een temperatuur van 60 à 70° C verlaagt de opgeloste hoeveelheid koolzuur tot ongeveer 15 % van de waarde bij 0° C. Het nadeel hiervan is, dat men het water daarna weer tot ongeveer de temperatuur van de opslagruimte moet terugkoelen.

In sommige gevallen werkt regenereren goedkoper (zie paragraaf 8.3). Toch kan het voorkomen, dat men om andere redenen regeneratie moet toepassen. Bij zeer slechte kwaliteit van het water (veel opgeloste gassen, hoog ijzergehalte) zou de apparatuur te snel vervuilen. Ook door algengroei kunnen vooral in de wassers, die zonder regeneratie werken, verstoppingen worden verwacht. Het water moet daarom van te voren worden gezuiverd. Een andere methode is het water niet te zuiveren, maar het een behandeling te geven waardoor de ermee in aanraking zijnde onderdelen worden voorzien van een beschermend laagje.

Wassen met ethanolamine

In het geval, dat men ethanolamine als absorptiemiddel gebruikt, past men een zgn. bellenkolom toe. De reactiesnelheid is zo groot, dat het niet nodig is om het toestel van een vloeistofcirculatie te voorzien. De door de vloeistof opstijgende bellen veroorzaken een snel uitwassen van het koolzuur. De gascirculatie moet nu door een hogedrukventilator of luchtcompressor worden onderhouden. De lucht moet namelijk door een 60 tot 75 cm hoge vloeistofkolom worden geperst. Bijzondere zorg besteedt men aan de afscheiding van meegesleept absorptiemiddel.

Ethanolaminen oxyderen snel bij contact met de lucht. Men vermijdt daarom een te lange aanraking met lucht. Regenereren van de aminen door beluchting is hierdoor uitgesloten. Daarom past men alleen regeneratie door verhitting toe, waarbij temperaturen liggende tussen 75 en 110° C worden gebruikt. Na dit proces koelt men het wasmiddel terug tot ongeveer de temperatuur van de opslagruimte. Het regenereren kan in dezelfde kolom plaatsvinden waarin het koolzuur uit de lucht wordt gewassen. Ten einde het installeren van grote vermogens voor het regenereren te vermijden kan men beter twee wassers gebruiken. In figuur 56 ziet men het schema voor zo'n opstelling. De twee kolommen worden beurtelings als waskolom en als regeneratiekolom gebruikt. In figuur 57 ziet men een andere methode geschetst. Naast de waskolom is een desorber geplaatst. Beide kolommen staan zodanig van onder en van boven met elkaar in verbinding, dat een vloeistofcirculatie in beide mogelijk is. In de desorber wordt de vloeistof verwarmd, waardoor de circulatie in stand wordt gehouden. Voordat de vloeistof uit de desorber terugvloeit naar de waskolom moet zij worden afgekoeld. Hiervoor kan men een eenvoudige warmtewisselaar gebruiken, die met water of met lucht wordt gekoeld. Verder verdient het aanbeveling de lucht, die uit de waskolom komt eveneens af te koelen.

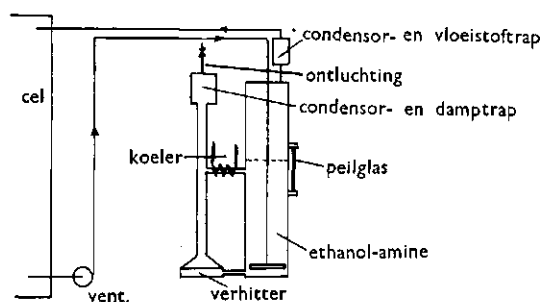


fig. 56. — Ethanolamine-wasser met twee kolommen.

De kolommen worden beurtelings gebruikt als wasser.

De absorptievloeistof in de niet in gebruik zijnde kolom wordt dan geregenereerd.

De vulling van absorptiemiddel moet voldoende zijn om de dagelijkse koolzuurproduktie van de opgeslagen produkten op te nemen. Hoewel een oplossing van 20 à 30 gewichtsprocenten een optimale absorptiesnelheid heeft, gebruikt men, met het oog op de grootte van het wasapparaat, liever een 60 %-ige. Zuivere ethanolaminen zijn in ons temperatuurgebied te visceus om bevredigend te kunnen werken.

8.2.2. Waters voor vaste absorptiemiddelen

Het koolzuur zal in vaste absorptiemiddelen zeer langzaam worden getransporteerd. Het gevolg hiervan is een betrekkelijke lage absorptiesnelheid. Men

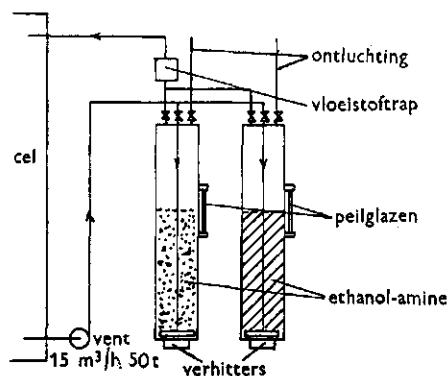


fig. 57. — Schema van een continu werkende ethanolamine-wasser.

kan dit nadeel van vaste wasmiddelen ondervangen door het contactoppervlak te vergroten. Niettemin moeten de contact-tijden toch nog zeer groot worden genomen. De luchtsnelheden in het wastoestel houdt men daarom zeer klein. De luchtweerstand in de apparatuur zijn diensgevolge minimaal.

De meest eenvoudige manier is die waarbij met behulp van kalkhydraat het door de produkten gevormde koolzuur wordt gebonden. Daartoe worden in de gascel enige met kalk gevulde kisten tussen de overige geplaatst. Daar de absorptiesnelheid zeer gering is heeft men zelfs de zakken, waarin de kalk wordt geleverd, niet te verwijderen. Het is echter nog niet zeker, dat er geen smaakbeïnvloeding van de appels door de kalk plaats heeft. De benodigde hoeveelheid kalkhydraat is ongeveer 65 kg per ton fruit en per zes maanden opslagduur. Indien men een standaard fruitkist zou kunnen vullen met 25 kg kalk dan zou een vijftiende deel van de nuttige opslagruimte in beslag worden genomen door absorptiemiddel. Deze methode is daarom duur. In figuur 58 is een beter principe getekend. Buiten de opslagruimte is een gasdichte container geplaatst. De kalk kan hierin op horizontale schappen worden gelegd. De grootte van de container is zodanig gekozen dat men de vulling vaker per seizoen moet verversen. Door middel van een ventilator wordt de lucht vanuit de gascel door de container geleid en weer teruggevoerd. Met een in de luchttoevoerleiding gemonteerde afsluiter kan men de luchtcirculatie regelen. Monteert men nog een afsluiter na de kast dan kan men deze voor het verwisselen van de vulling afsluiten van de gascel. Ook kan men met deze methode verontreiniging van de lucht door de kalk ondervangen. Daartoe monteert men na de kast een water- of koolfilter. Het gebruik van een gefluidiseerd bed in deze wasapparaten betekent voor onze doeleinden een te grote complicatie en zou dan ook te kostbaar worden. We zien er daarom van af om dit type hier te behandelen.

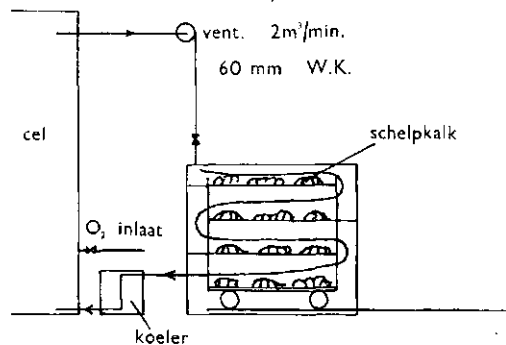


fig. 58. — Schema van een wasser geschikt voor vaste absorptiemiddelen.

8.2.3. Leidingwerk

In de vorige paragrafen hebben we gezien, dat een goede werking van een luchtwasser voor een belangrijk deel afhangt van de gas- en eventueel de vloeistofstroom. Het is daarom noodzakelijk aan het dimensioneren van het leidingwerk bijzondere aandacht te schenken. Het nuttig effect van vele apparaten voor het verplaatsen van gassen of vloeistoffen wordt kleiner naarmate de persdruk hoger wordt. Deze druk wordt door de weerstand van de leidingen en appendages geleverd. De weerstand loopt op met de tweede macht van de snelheid van het medium in de leiding. Dit betekent, dat in een leiding met een twee maal zo grote diameter, de snelheid vier maal en de weerstand zestien maal zo klein wordt. Voor de berekening van de weerstand kan men de volgende formule gebruiken:

$$\Delta p = W \times \frac{V^2}{2g} \times \frac{L}{D} \times \gamma$$

Hierin is Δp het drukverlies in de leiding in mm WK

W	een weerstandscoefficiënt
V	snelheid doorstromende stof in m/sec
g	versnelling van de zwaartekracht = 9,81 m/sec ²
L	lengte van de leiding in m
D	diameter van de leiding in m
γ	soortelijk gewicht doorstromende stof in kg/m ³

De weerstandscoefficiënt is afhankelijk van de leiding diameter. Voor lucht en vergelijkbare gassen kan men gebruik maken van de W-waarden uit tabel IV en voor water uit tabel V. Natron- en kalilogen kan men voor het hier beoogde doel vergelijken met water.

Tabel IV. Waarden van W voor lucht.

diameter leiding mm.	weerstand- coëfficiënt W
25	0,031
50	0,029
75	0,027
100	0,026

In de totale lengte L van de leiding zijn begrepen de bouwlengten der appendages en hulpstukken. Voor het in rekening brengen van de extra weerstand hiervan telt men de representatieve leidinglengte, die een even grote weerstand biedt als deze hulpstukken, op bij de werkelijke lengte der rechte leiding. De representatieve leidinglengte vinden we uit het verband $L = a \times D$. Enkele richtwaarden voor a zijn in tabel VI te vinden.

Tabel V. Waarden van W voor water.

diameter leiding mm	weerstand- coëfficiënt W
12,5	0,086
25	0,054
50	0,044
75	0,037

Tabel VI. Richtwaarden van de coëfficiënt a.

rechte afsluiter	190
haakse afsluiter	120
schuif afsluiter	10
T - stuk	40
haakse bocht	50
bocht $R = d$	20
bocht $R > d$	10

De gebruikelijke snelheid in de leidingen zijn afhankelijk van de omstandigheden voor:

lucht en andere gasen 10—20 m/sec;

water en andere vloeistoffen 0,5—2 m/sec.

De snelheid in een zuigleiding kiest men kleiner dan die in een persleiding. Daar de weerstand in de leiding omgekeerd evenredig is met de diameter, is het niet juist om voor alle leidingdiameters eenzelfde gemiddelde snelheid te nemen. Wil men een medium economisch in een leiding verplaatsen, dan moet men uitgaan van enigszins vergelijkbare drukverschillen. Zo kan men voor vloeistoffen de volgende vuistregel hanteren: de maximale snelheid in m/sec is 20 maal de leidingdiameter in meters; dus in een 2" leiding is de snelheid $20 \times 0,05 = 1$ m/sec.

Voor een goedwerkende koolzuurwasser neemt men de maximale luchtcirculatie per uur niet groter dan 1,5 à 3 maal de ruimteinhoud. Doordat afge-
werkte vloeistof met verse wordt vermengd, vermindert het absorptievermogen

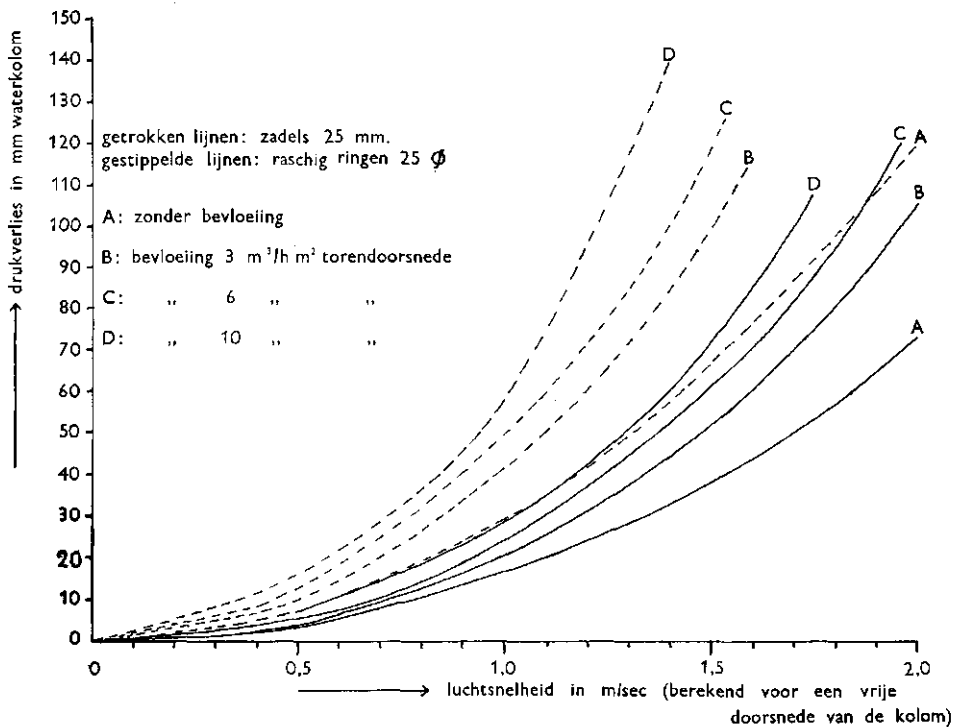


fig. 59. — Weerstand van 1 m hoge kolomvulling afhankelijk van vloeistofbelasting en luchtsnelheid. Afmeting vullichaam 25 mm.

van het toestel bij te grote luchtsnelheden. De grens van de luchtsnelheid in een wastoren stelt men tussen 0,15 en 0,30 m/sec. De weerstand van een vulkolom is afhankelijk van de luchtsnelheid en de vloeistofbelasting. In de figuren 59 en 60 lezen we deze af voor een vulhoogte van 1 m.

8.2.4. Materiaalkeuze

Zowel bij gebruik van loog als bij ethanolamine is het van groot belang, dat alle met het absorptiemiddel in aanraking komende onderdelen van het toestel vervaardigd worden van materialen die niet worden aangetast. Hiervoor komen in aanmerking staal en diverse kunststoffen zoals teflon. Het gebruik van non-ferro metalen in combinatie met staal leidt tot snelle galvanische corrosie. Op waterwassers monteert men meestal pompen met bronzen waaiers. Daarom mag men deze apparaten niet met loog laten werken. Wil men het koolzuur volledig uitwassen dan moet men overgaan tot loog als absorptiemiddel. Om hetzelfde apparaat zowel voor water als loog te kunnen gebruiken vermijden we bij deze waterwassers ook de non-ferro metalen.

8.3. KOSTEN VAN HET KOOLZUURWASSEN

De hier volgende berekeningen van de kosten voor het koolzuurwassen, afhankelijk van de wijze van wassen, moeten niet gezien worden als een weergave van feiten gebaseerd op nauwkeurige gegevens. Integendeel er dient op te worden gewezen, dat nauwkeurige exploitatiegegevens nog niet kunnen worden vastgesteld omdat de hiervoor noodzakelijke ervaringscijfers ontbreken. Getracht is daarom deels op basis van bekende gegevens, deels op basis van berekeningen en schattingen een kostenvergelijking op te stellen tussen de verschillende wasmethoden welke als richtlijn gebruikt kan worden om zich een idee te vormen van een en ander.

De kosten van het koolzuurwassen zullen voor een belangrijk deel maatgevend zijn voor de keuze van het type apparaat. Als uitgangspunt is gekozen een gascel met een bergingscapaciteit van 20.000 kg appels. Tevens zullen we overwegen of een apparaat met een grote capaciteit, geschikt om bijvoorbeeld 5 van zulke gascellen te behandelen voordeliger is. De wasser werkt dan niet gelijktijdig op alle vijf ruimten; maar elke cel wordt afzonderlijk op het toestel aangesloten. Het spreekt vanzelf dat de bediening in dit geval meer tijd vraagt. Indien de vereiste koolzuurconcentratie in de éne gascel is bereikt, moet de wasser op een andere worden overgezet. Verder is uitgegaan van een koolzuurproductie van 3 kg CO₂ per 24 uur en per 20 ton appels. De bedrijfstijd is gesteld op 180 dagen.

De typen apparaten, welke zullen worden behandeld, zijn in de eerste plaats enkele loogwassers. Hiervan nemen we een wasser, waarbij de verzadigingsgraad van het absorptiemiddel tot 90 % wordt opgevoerd. Daarnaast geven we ook voor een verzadigingsgraad van 50 % een berekening; zowel voor een kleine

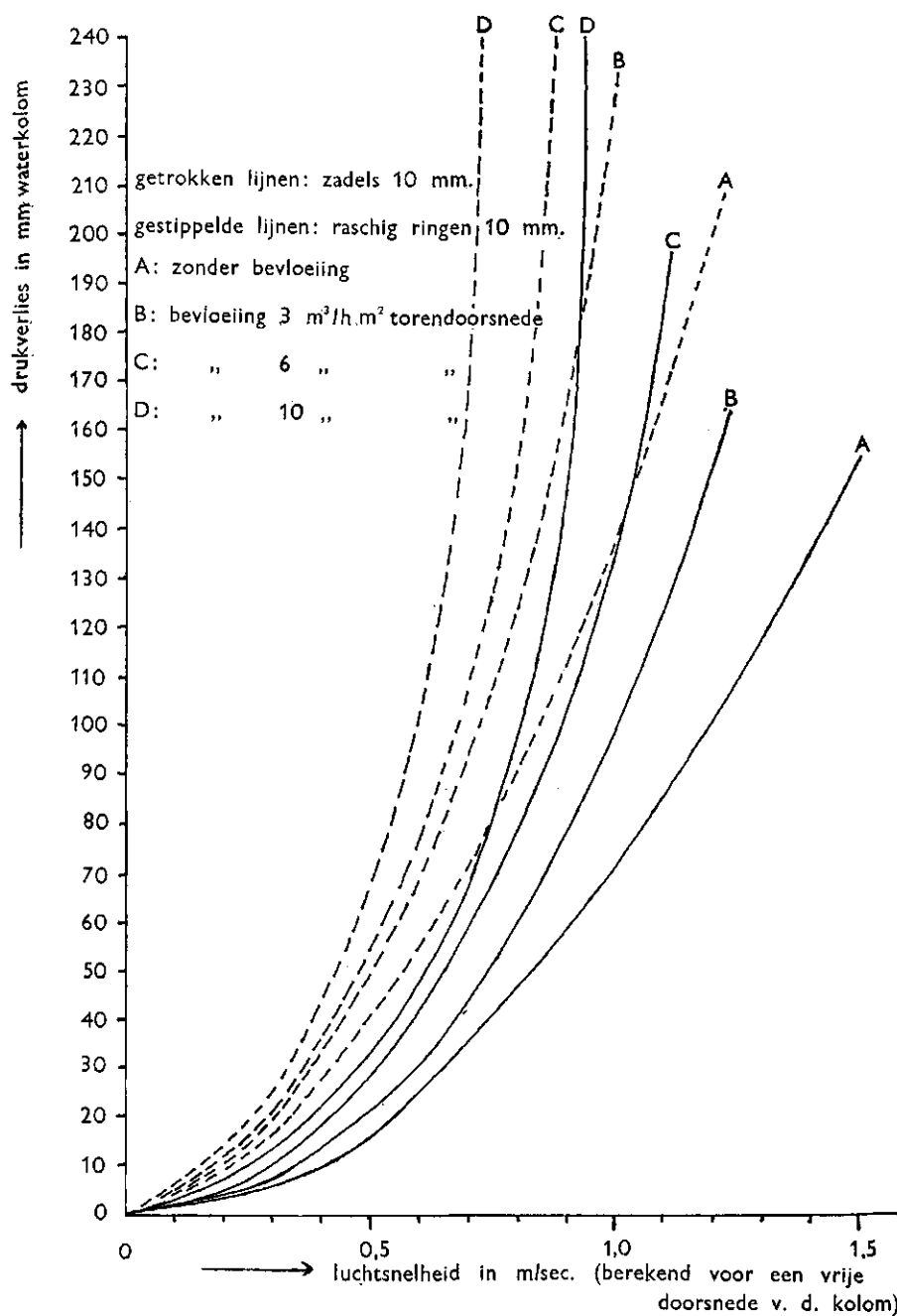


fig. 60. — Weerstand van 1 m hoge kolomvulling afhankelijk van vloeistofbelasting en luchtsnelheid. Afmeting vullichaam 10 mm.

als voor een grote capaciteit. Daar noch het type noch de grootte van een kalkwasser de kosten bepalen zijn de kosten slechts voor één geval nagegaan.

Van de regenereerbare absorptiemiddelen is bij het betrekkelijk goedkope water de invloed van het regenereren bezien. Natuurlijk is niet-regenereren van de veel duurdere ethanolaminen uitgesloten. Van beide typen absorptiemiddelen zullen we ook weer de invloed op de capaciteit van het apparaat bepalen.

De grootte van de investering en de bedrijfsgegevens voor de verschillende typen apparaten zien we in tabel VII.

De investeringen van de beschouwde loogwassers zijn alle even groot. De capaciteit van deze apparaten kan door de grootte van de vloeistofbelasting variëren. Het is hier dus niet nodig de apparatuur groter te maken. Wel gebruikt men evenredig meer absorptiemiddel, hetgeen uit de bedrijfsgegevens blijkt. Daar men met ethanolamine als absorptiemiddel een bellenkolom toepast moet men om de capaciteit te verhogen meer wasmiddel gebruiken. Het apparaat zelf dient daarom vergroot te worden. Uit de bedrijfsgegevens blijkt dat het stroomverbruik vanwege het regenereren betrekkelijk hoog is. Evenals bij de loogwassers kan men de capaciteit van de wassers, die met water werken, vergroten door meer vloeistof te gebruiken. Alleen de zuivering van het water zal bij het installeren meer kosten met zich meebrengen. Voor het regenereren van water gebruikt men eenzelfde apparatuur als voor het wassen van het koolzuur. De kosten verdubbelen daardoor, doch die voor de zuivering van het water vallen weg. Uit de bedrijfsgegevens blijkt, dat men hier met de belangrijke post verbruik aan absorptiemiddel geheel geen rekening meer behoeft te houden.

Het resultaat van bovenstaande overwegingen en gegevens betreffende de investering en het gebruik van koolzuurwassers werd verwerkt in tabel VIII. Hierin zijn de gespecificeerde kosten van het wassen van koolzuur voor de verschillende typen en grootten van de apparaten gerangschikt. De basis van de berekeningen vormt de volgende opsomming van de diverse kostendragers:

1 werkuur kost	f 3,—
1 kWh	0,10
1 m ³ water	0,10
1 kg NaOH	0,44
1 kg kalk	0,09
1 kg mono-ethanolamine	14,85

Beziet men nu de gegevens uit tabel VIII, dan valt al direct op dat de verschillen tussen de besproken typen wassers bijzonder groot zijn. Daarbij valt te

TABEL VII. Investerings in guldens en bedrijfsgegevens voor verschillende typen koolzuurwassers

Investerings	loog			kalk	mono- ethanolamine		water	
	1 x 20 ton 90% verz.	1 x 20 ton 50% verz.	5 x 20 ton 50% verz.		1 x 20 ton	5 x 20 ton	1 x 20 ton	5 x 20 ton regenereren
reservoir en kolom vulling absorptiemiddel pomp (4,5 m ³ /h - 5 m WK) ventilator (2 m ³ /min - 90 mm WK) kast met inrichting (1 m ³) waterzuiveringsapparaat	2000,— — 400,— 200,— — —	2000,— — 400,— 200,— — —	2000,— — 400,— 200,— — —	— — — 200,— 800,— —	4000,— 100,— — 200,— — —	10000,— 500,— — 300,— — —	2000,— — 400,— 200,— — 1500,—	4000,— — 800,— 400,— — —
totaal ¹⁾	2600,—	2600,—	2600,—	1000,—	4300,—	10800,—	2900,—	5200,—
Bedrijfsgegevens per seizoen								
bediening	180 h	180 h	360 h	—	—	180 h	—	180 h
stroomverbruik pomp	1460 kWh	584 kWh	2920 kWh	—	—	—	385 kWh	3950 kWh
stroomverbruik ventilator	290 kWh	116 kWh	580 kWh	310 kWh	2770 kWh	13850 kWh	80 kWh	400 kWh
schoonmaken eind seizoen	10 h	10 h	10 h	5 h	5 h	5 h	5 h	10 h
verbruik absorptiemiddel	540 kg	1080 kg	5400 kg	910 kg	—	—	3855 m ³	—
verbruik water als oplosmiddel	54 m ³	54 m ³	270 m ³	—	—	—	19275 m ³	—

TABEL VIII. Kosten van het uitwassen van het door produkten ontwikkelde koolzuur in guldens voor verschillende typen koolzuurwassers

Exploitatiekosten	loog			kalk	mono- ethanolamine		water		
	1 x 20 ton 90% verz.	1 x 20 ton 50% verz.	5 x 20 ton 50% verz.	1 x 20 ton	1 x 20 ton	5 x 20 ton	1 x 20 ton	5 x 20 ton	5 x 20 ton regenereren
rente 5% van 60% van ¹⁾	78,—	78,—	78,—	30,—	129,—	324,—	87,—	123,—	156,—
afschrijving 10% van ¹⁾	260,—	260,—	260,—	100,—	430,—	1080,—	290,—	410,—	520,—
bediening	540,—	540,—	1080,—	—	—	540,—	—	540,—	540,—
reparatie	260,—	260,—	260,—	50,—	420,—	420,—	150,—	150,—	300,—
stroom	175,—	70,—	350,—	31,—	277,—	1385,—	46.50	200.50	435,—
schoonmaken	30,—	30,—	30,—	15,—	15,—	15,—	15,—	15,—	30,—
absorptiemiddelen	243,—	480,—	2400,—	82,—	—	—	385.50	1927.50	—
waterzuivering	—	—	—	—	—	—	130,—	650,—	—
totaal	1586,—	1718,—	4458,—	308,—	1271,—	3764,—	1104,—	4016,—	1981,—
per ton appelen	79,30	85,90	44,58	15,40	63,55	37,64	55,20	40,16	19,81

¹⁾ Zie tabel VII

bedenken, dat de kosten voor het opslaan van produkten in gewone koelcellen ongeveer f 70,— à f 80,— per ton bedragen. Sommige luchtwassers zouden dus een verdubbeling van de opslagkosten geven. Het heeft daarom zeker zijn nut om de hier gevonden kosten goed te overwegen. Het blijkt dan, dat vergroting van de capaciteit tot belangrijke kostenverlagingen voert. Alleen de kosten bij gebruik van kalkwassers worden niet door de grootte beïnvloed. Verder zien we een dure en een minder dure groep apparaten. Zowel de loog- als de ethanolaminewassers zijn ten opzichte van de kalk- en waterwassers tamelijk duur. In ons land worden bijna uitsluitend loogwassers van het type gebruikt dat met 50 % verzadigde loog werkt d.w.z. het type met de hoogste kosten. In aanmerking zou echter moeten komen de kalkwasser en de waterwasser met toepassing van regeneratie. De kalkwasser heeft overigens nog het voordeel, dat er heel weinig toezicht nodig is. Voor toepassing in de praktijk zullen echter eerst meer gegevens bekend moeten zijn over de invloed van dit absorptiemiddel op de smaak van de vruchten. Een mogelijke toepassing op uitgebreide schaal van beide typen wassers zou kunnen worden beperkt door de volgende punten:

- a) de toch nog betrekkelijk hoge kosten van het wassen van de lucht met betrekking tot de er tegenoverstaande voordelen;
- b) eventuele smaakafwijkingen aan het produkt door de verontreinigde kalk; zouden we gezuiverde kalk moeten gebruiken dan stijgen de kosten enorm;
- c) ook water kan smaakafwijkingen geven; de mogelijkheid van het mede uitwassen van aromastoffen is namelijk niet uitgesloten.

9. Beproeving van de lekdichtheid

De beproeving van de gasdichtheid in de praktijk bestaat alleen in het zoeken naar lekken in de bekleding. Hiervoor worden verschillende methoden gebruikt. In grove trekken zijn deze in twee groepen te onderscheiden. Bij de ene groep wordt naar de lekken elk afzonderlijk gezocht, terwijl bij de andere groep naar de totale lekkage wordt gekeken. Is in het laatste geval de lekkage te groot, dan moet men de lekken weer afzonderlijk gaan zoeken.

Een veel in ons land gebruikte methode is met een ventilator lucht uit de goed afgesloten gasdichte ruimte te zuigen. Door het ontstane drukverschil zal nu lucht door eventuele openingen naar binnen stromen. In de ruimte bevinden zich een of meer personen, die, nadat de ruimte op een onderdruk van b.v. 10 mm waterkolom is gebracht, de naden van de bekleding en overige zwakke plaatsen onderzoeken. Men mag geen grotere onderdrukken toepassen, daar anders de constructie van de ruimte kan worden beschadigd. Tijdens dit onderzoek controleert men op geregelde tijden of de onderdruk nog voldoende groot is. Daartoe is een met water gevuld U-vormig buisje van glas of doorzichtig plastic in de wand aangebracht. De gasdichte bekleding wordt nu met een brandende kaars afgezocht naar mogelijke lekken. Komt men met de kaars in de nabijheid van een opening, dan wordt door de binnenstromende lucht de vlam onrustig. Bij grote openingen zou de vlam vlak bij het lek zelfs uitwaaien. Bij zeer kleine openingen wordt de vlam alleen vervormd. Op deze manier kan men elk lek min of meer nauwkeurig lokaliseren.

Uit vrees voor beschadigingen, wanneer men de ruimte op onderdruk zet, past men ook wel overdruk toe. De lekken worden dan gevonden door te luisteren naar het fluiten van de lucht door de openingen. Voor deze beproeving heeft men grote overdrukken nodig. Het spreekt voor zich, dat deze manier van zoeken geen nauwkeurige lokalisatie van de lekken mogelijk maakt.

In beide voorgaande beproevingen worden de lekken elk afzonderlijk opgezocht. De volgende te bespreken beproevingen behoren tot de andere methode, waarbij de lekkage in zijn geheel wordt bepaald.

De ruimte wordt met lucht opgepompt, tot een overdruk van 25 mm WK. Heeft men de luchtpomp afgezet, dan zal de overdruk door luchtlekken weer dalen. De ruimte is voldoende luchtdicht, wanneer de drukafname minder dan 0,9 mm WK per minuut bedraagt. Binnen zeer korte tijd heeft men op deze wijze een indruk verkregen of de ruimte voor een bepaald doel bruikbaar is.

Een meer exacte methode is gebaseerd op het vinden van de in hoofdstuk 2 besproken lekfactor. Daartoe wordt binnen de gasdichte ruimte een bepaalde constante hoeveelheid lucht toegelaten. Al naar gelang de grootte der lekkage stelt zich in de ruimte een bepaalde overdruk in. Uit deze twee grootheden is

volgens de stromingsleer de grootte van de openingen te berekenen met de

formule $O = 0,06 \times \frac{V}{\sqrt{\pi_e}}$ Hierin is O de grootte van de lekken in cm^2 ;

V de toegevoerde hoeveelheid lucht in liters per minuut en π_e het ontstane drukverschil tussen binnen en buiten in mm WK. De hoeveelheid der toegevoerde lucht kan bijvoorbeeld met een eenvoudige droge gasmeter worden gemeten en wordt het eenvoudigst geregeld door de zuigopening van de gebruikte centrifugaal ventilator groter of kleiner te maken. Het meten van het drukverschil is met een U-buisje, voorzien van een schuin been, zeer eenvoudig te doen. Als meetinstrument uitgevoerd heet zo'n toestel een micromanometer. Heeft men nu de grootte der lekken bepaald, dan is met de formule

$a^1 = \frac{36 \times O \times \sqrt{\pi}}{I}$ de lekfactor te berekenen. Hierin is O de grootte der lekken

in cm^2 ; π het drukverschil, dat verantwoordelijk is voor de luchtuitwisseling in mm WK en I de ruimtinhoud in m^3 . Het drukverschil π is niet voor alle ruimten gelijk. In de meeste gevallen zullen met interne koeling de drukverschillen schijnbaar kleiner zijn dan met externe koeling. Een veilige weg is voor de Engelse gascellen met een $\sqrt{\pi} = 0,03$ en voor de Hollandse gascellen met een $\sqrt{\pi} = 0,09$ te rekenen. Met andere woorden de Hollandse gascellen mogen slechts $1/3$ van de lekken der Engelse gascellen hebben. Dit sluit heel goed aan bij de praktijk; de extern gekoelde ruimten worden nog steeds uitsluitend gemaakt met zinkplaten, die zeer goed luchtdicht aan elkaar zijn te solderen, terwijl we de moeilijker luchtdicht te maken bekleding van bitumen vaak bij het andere type tegenkomen.

Hebben we de lekfactor a gevonden dan kan men uit het in hoofdstuk 2 behandelde nomogram aflezen, welke mogelijkheden in betrokken ruimte liggen. Het in hetzelfde hoofdstuk aangehaalde voorbeeld van een goede gasdichte ruimte voor het bewaren van Golden Delicious had een lekfactor van 0,088. In het geval, dat de ruimte van 200 m^3 extern gekoeld wordt, mogen de

lekken gezamenlijk niet groter zijn dan $O = \frac{0,088 \times 200}{36 \times 0,09} = 5,4 \text{ cm}^2$.

10. Bouwkosten

Heeft men plannen om over te gaan tot de bouw van een koelruimte, dan zal men de vraag stellen: wat zijn de noodzakelijke investeringen hiervoor en wat zijn de verwachtingen ervan? In het bestek van dit boekje zullen we alleen enige aandacht schenken aan de eerste vraag.

De totale investering voor een gascel kunnen we verdelen in vier grote posten: het bedrag voor het gebouw, het bedrag voor de isolatie, het bedrag voor de koelinstallatie en het bedrag voor het inrichten van de gascel zelf. De totale investeringskosten van een koelhuis drukt men dikwijls uit in centen per kg bewaarruimte: het zgn. investeringsquotiënt. Verschillende factoren, zoals grondprijzen, vormgeving, indeling, constructie e.d., kunnen de investeringskosten van koelhuizen onderling sterk doen afwijken. Enkele van deze factoren zullen we nader toelichten.

Het overzicht in tabel IX van muur-, vloer- en plafondconstructies, waarbij binnen elk dezer constructies van redelijk vergelijkbare isolatiewaarden is uitgegaan, laat grote verschillen zien. Zonder aan een bepaalde constructie directe voorkeur te geven noemen we hier de in de praktijk voorkomende en mogelijke constructies, die alle in de voorgaande hoofdstukken zijn behandeld. (Zie figuren 19—22). De traditionele constructie van $2 \times$ halfsteens muren met luchtsponw en geïsoleerd met twee lagen van 6 cm dikke kurkplaten ligt in prijs ver boven de constructie, waarbij kurkmeel opgesloten tussen twee $\frac{1}{2}$ -steens muren de isolatie vormt. Het is verder ook belangrijk, dat de gasdichte bekleding aanmerkelijk in prijs kan variëren. Het zink, dat vanaf de inrichting van de eerste gascel in ons land nog gebruikt wordt, blijkt duidelijk duurder te zijn dan b.v. bitumenweefsel. Op de invloed van de prijzen van deze constructies op het investeringsquotiënt komen we hierna nog terug.

Om de invloed van de indeling op het investeringsquotiënt aan te tonen worden drie bouwplannen met elkaar vergeleken. Een gelijk vloeroppervlak en een nuttige hoogte van 5 m in de koelcellen is hierbij het uitgangspunt. Verder is aangenomen, dat er 6 cellen zijn en dat in geen der gevallen bijzondere voorzieningen voor de fundatie moeten worden getroffen. In plan I zijn de koelcellen aan weerszijden van een gang geprojecteerd. De bovenhelft van deze gang kan worden benut voor de opstelling van de luchtkoelers (alleen mogelijk bij gascellen, die extern worden gekoeld). Plan II is gelijk aan plan I; echter worden de luchtkoelers nu in de koelcellen opgesteld. De vrijkomende ruimte boven de gang kan worden gebruikt voor opslag van produkten. In deze cellen is alleen gewone bewaring mogelijk, terwijl in de andere cellen gasbewaring kan worden toegepast. Plan III komt overeen met plan II; de gang is echter weggelaten. Tabel X geeft een vergelijking van de investeringsquotiënten met de verschillende indelingen. In de eerste plaats is het van belang welke hoeveel-

Tabel IX. Prijzen per m² voor enige gebruikelijke muur-, plafond- en vloerconstructies in gascellen (prijzen 1961).

			gld/m ²
Buitenmuur van buiten naar binnen:			
1/2-steen-spouw-1/2 steen (blokken) - 2 x 6 cm kurk-board + bitumenweefsel	E + H *)		67,00
idem -zink	E + H		70,15
idem -zink-stralingsscherm	H		78,75
idem -kunststof	E + H		61,95
idem -kunststof-stralingsscherm	H		70,55
1/2 steen-bitumenweefsel-kurkmeel-1/2 steen-bitumenweefsel			E 43,05
idem -zink	E + H		57,95
idem -zink-stralingsscherm	H		66,55
idem -kunststof	E + H		49,75
idem -kunststof-stralingsscherm	H		58,35
1/2 steen-bitumenweefsel-Wellit	E		62,25
Tussenmuur geïsoleerd:			
4 cm kurk-1/2 steen (blokken)-4 cm kurk; aan beide zijden dezelfde	E + H		60,50
idem constructies als bij de buitenmuur	E + H		79,80
idem	H		97,00
idem	E + H		63,40
idem	H		80,60
20 cm gasbeton ; idem	E		44,50
idem	E + H		63,80
idem	H		81,00
idem	E + H		47,40
idem	H		74,60
11 cm betonblokken-kurkmeel-11 cm betonblokken; idem	E		49,10
idem	E + H		68,40
idem	H		85,60
idem	E + H		52,00
idem	H		79,20
Wellit-bitumenweefsel-1/2 steen (blokken)-bitumenweefsel-Wellit	E		62,00

Scheidingswand niet geïsoleerd:

zink	E + H	21,90
zink-spouw-zink	H	37,30
stralingsscherm-zink-spouw-zink-stralingsscherm	H	54,50
board-kunststof	E + H	13,70
kunststof-board-spouw-board-kunststof	H	20,90
stralingsscherm-kunststof-board-spouw-board-kunststof-stralingsscherm	H	38,10

Vloer van beneden naar boven:

asfalt-10 cm beton--6 cm kurk-6 cm beton-asfalt-zink-roostervloer	E + H	68,30
asfalt-10 cm beton--6 cm kurk-6 cm beton-bitumen-roostervloer	E + H	62,60

Plafond van boven naar beneden:

balklaag-kurkkorrel-board-spouw-zink	E + H	39,45
balklaag-board-spouw-board-kunststof	E + H	30,25
balklaag-board-bitumenweefsel-Wellit	E	49,25

*) De betekenis van deze letters is: E aanbevolen voor interne koeling

H aanbevolen voor externe koeling

heid produkt maximaal in elk der drie typen kan worden geborgen, uitgaande van standaardfruitkisten met 20 kg inhoud. Dit vinden we onder het hoofd maximale bergingscapaciteit in 1000 kg. Het is begrijpelijk dat plan III, zonder gang, zeer gunstig naar voren komt. In de tweede kolom lezen we dit nogmaals af, nu als nuttig gebruik van het gebouwde volume.

De verschillen in de investeringskosten voor de drie indelingen worden in de derde en vierde kolom voor elk der muurconstructies aangegeven. Zeer duidelijk ziet men nu de invloed van de indeling op de investeringskosten.. De indeling van plan I is meer dan 3 ct/kg duurder dan de indeling van plan III. De verschillen worden bij gebruik van goedkopere muurconstructies kleiner (zie kolom 4).

Tenslotte is uit kolom 5 nog de invloed van het toepassen van een goedkopere constructie af te lezen. Ten opzichte van de vroeger veel gebruikte constructies, waarbij de isolatie uit kurkplaten bestond, krijgt men met de goedkopere constructies in dit speciale voorbeeld verschillen van meer dan 4 ct/kg.

Tabel X. Bergingscapaciteit, bezettings- en investeringsquotiënten voor drie verschillend ingedeelde bouwplannen.

Plan	Maximale bergingscapaciteit	Bezettingsquotiënt	Hoger investeringsquotiënt t.o.v. plan III		Hogere investeringsquotiënt
			Muurconstructie met kurkplaten	Muurconstructie met kurkmeel	Vershil tussen beide muurconstructies
	1000 kg	kg/bruto m ²	ct/kg	ct/kg	ct/kg
I	634	181	3,65	2,90	4,90
II	651	186	2,15	1,75	4,55
III	711	203	—	—	4,15

Uit deze voorbeelden blijkt duidelijk dat het buitengewoon moeilijk is om het verband tussen grootte van het koelhuis en investeringskosten onafhankelijk van de indeling, de vormgeving en de constructie te geven. Toch willen we een voorbeeld noemen, waarmee we dan alleen een richtlijn voor de investeringen willen geven. Het investeringsquotiënt voor een koelhuis met gewone koelcellen en zonder nevenruimten zal bij een maximale bergingscapaciteit van 500 ton appels ongeveer 45 ct/kg bedragen. Is de bezettingscapaciteit kleiner, b.v. 100 ton appels, dan is het investeringsquotiënt ongeveer 50 ct/kg. Omgekeerd kan dit getal dalen tot 40 ct/kg en soms zelfs lager bij zeer grote bezettingscapaciteiten.

Daar de voorzieningen voor gascellen meestal alleen de wanden, de vloer en het plafond betreffen, zullen de meerkosten ervan tamelijk onafhankelijk zijn van de grootte en de vormgeving van het koelhuis. Bij voorkeur maakt men gascellen niet groter dan voor 50 à 60 ton appels. De indeling zal dus ook niet zo'n grote invloed uitoefenen op de investeringskosten. Vandaar, dat de meerkosten van een gascel ten opzichte van een gewone koelcel vrij nauwkeurig voor elk plan zijn te bepalen. Deze meerkosten bedragen 10 à 12 ct/kg.

Van de totale investeringskosten van een koelhuis ingericht voor gasbewaring zullen ongeveer 45 % ten laste van het gebouw, 15 % van de isolatie, 20% van de koel- en elektrische installatie en 20 % van de inrichting voor een gascel komen.

LITERATUUR.

Algemeen:

Enkele aanbevolen leerboeken, monografiën en speciale publikaties.

- Refrigeration Principles and Practice, E. Griffiths e.d., George Newnes Limited, London 1951.
Refrigerated Stores for Fruit, Bulletin no. 159, Ministry of Agriculture, Fishery and Food;
Department of Scientific and Industrial Research, London 1955.
Cold Stores for Fruit and Vegetables, G. Mann, Agriculture 66 (1959) 284—289.
Controlled Atmosphere Storage of Apples, A. M. Smock, Bulletin 759, New York State College
of Agriculture, Cornell University U.S.A. 1949.

Hoofdstuk 2:

- A Theoretical Relationship of the Variables Affecting the Operation of Controlled Atmosphere
Storage Rooms, I. J. Pflug and D. H. Dewey, Quarterly Bulletin
of the Michigan Agricultural Experiment Station, 39 no. 2 (1956),
353—359.

Wasserdampf- und gasdichte Isolierung von Kaltlagerräumen für Obst, T. van Hiele, e.d.,
Kältetechnik 7 (1955) 262—265.

Hoofdstuk 3:

- Handbuch der Kältetechnik, Herausgegeben von Prof. Dr. Ing. Dr. phil. nat. h.c. R. Plank,
Springer-Verlag Berlin, Göttingen, Heidelberg. Bd. I.
Kältetechnik, Prof. Dr. Ing. M. Bäckström, Verlag G. Braun, Karlsruhe 1953.
Messungen von Diffusionswiderstandsfaktoren, K. Seiffert, Kältetechnik 12 (1960) 187—190.

Hoofdstuk 8:

- Fundamentals of Carbon Dioxide Absorption as they apply to Controlled Atmosphere Storages,
I. J. Pflug, Pio Angelina and D. H. Dewey, Quarterly Bulletin of
the Michigan Agricultural Experiment Station, 10 no. 1 (1957)
131—138.
Removal of Carbon Dioxide from Controlled Atmosphere Storage with water, R. M. Smock,
L. Yatson, Proceedings of the American Society for Horticultural
Science, 75 (1960) 53—60.
The Use of Ethanolamine in Scrubbers for Fruit Stores, G. Mann, Modern Refrigeration 61
(1958) 990—994.

Hoofdstuk 10:

- Cost of Michigan Fruit Storage Buildings as Affected by Size and Type of Construction,
I. J. Pflug and M. W. Brandt, Quarterly Bulletin of the Michigan
Agricultural Experiment Station, 41 no. 4 (1959) 778—790.
Koelhuisbouw, hoe kunnen de kosten worden verlaagd? T. van Hiele, e.d. Mededelingen Direc-
teur van de Tuinbouw 19 (1956) 30—39, 76—92.

De foto's voor deze uitgave werden gemaakt door de afd. Voorlichting van het Ministerie van Landbouw en Visserij en de tekeningen en figuren door J. C. Tol, bouwkundige van het I.B.V.T. te Wageningen.

Het geheel of gedeeltelijk overnemen van de tekst of van de afbeeldingen is toegestaan, mits met duidelijke en volledige bronvermelding.