

Proefstation voor de Groenten- en Fruiteelt onder Glas te Naaldwijk
en Consulentenschap voor de Tuinbouw te Naaldwijk

MEET- EN STOOKTECHNIEK
VOOR DE GLASTUINBOUW

ing. J. Meijndert en J.B. Verveer

2e ongewijzigde druk

No.28

Informatiereeks

November 1974.

Prijs f 3,50

INHOUD

| | Pagina |
|--|--------|
| Ten geleide | 3 |
| Het koolzuurgasgehalte in de rookgassen | 4 |
| Volledige verbranding met extra lucht | 5 |
| Luchtvermaat geeft extra rendementsverlies | 6 |
| Bepalen van het rendement | 7 |
| Wat doen we met de meetgegevens | 7 |
| Invloed van het CO ₂ -gehalte | 9 |
| Ketelbelasting | 10 |
| Turbulente vlam | 10 |
| Convectie-overdracht in de vlampijpen | 11 |
| Elke ketelinstallatie periodiek meten ! | 11 |
| Meetapparaat | 12 |
| Gebruik van de meetapparatuur | 12 |
| Stooktechniek | 14 |
| Algemene begrippen | 14 |
| Temperatuurmeting | 14 |
| Warmte-eenheid | 16 |
| Volume, gewicht en soortelijk gewicht | 16 |
| Soortelijke warmte | 17 |
| Warmte-overdracht | 18 |
| Geleiding van warmte | 19 |
| Ketels | 20 |
| Materiaal | 20 |
| Controle | 20 |
| Keteltype | 20 |
| Warmte-overdracht in de ketels | 23 |

TEN GELEIDE

Met betrekking tot de fossiele brandstoffen waartoe kolen, olie en aardgas behoren, zijn we in een periode van schaarste terecht gekomen. Het is moeilijk te zeggen of deze schaarste van tijdelijke duur zal zijn of dat we permanent en wellicht in toenemende mate hiermee te maken zullen krijgen.

Daarnaast zijn de prijzen voor de brandstoffen waaruit we ten behoeve van de bedrijven energie moeten opwekken, bijzonder sterk gestegen. Een verdere stijging is ons in het vooruitzicht gesteld. Deze situatie noodzaakt ons tot een zuinig gebruik. Een zuinig gebruik dat vooral ook tot uiting zal moeten komen door een maximaal rendement van de installaties die we gebruiken.

Om tot een zuinig gebruik te komen is een behoorlijke kennis nodig van de functie van de installatie, de processen die zich in de ketel afspelen en de wijze waarop die te beïnvloeden zijn. Deze kennis verschafft ons de mogelijkheden na te gaan of bepaalde functies van de installatie wel verlopen zoals dit gewenst is, terwijl het ook de mogelijkheid geeft te corrigeren of hiertoe opdracht te geven. Deze uitgave is vooral bedoeld voor degenen die zich middels cursussen meer kennis over de meet- en stooktechniek eigen willen maken. Ongetwijfeld zullen ook velen, die niet in de gelegenheid zijn een dergelijke cursus te volgen, eveneens kunnen profiteren van hetgeen in deze uitgave is vermeld.

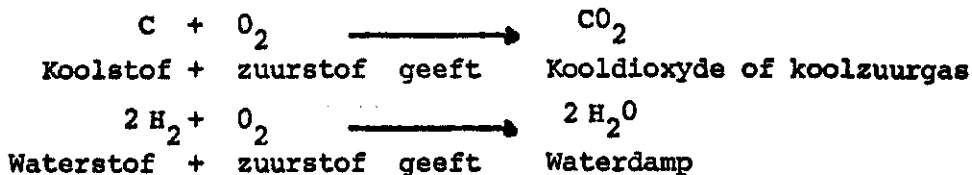
Voor op- en aanmerkingen, die nuttig kunnen zijn bij een volgende uitgave, zullen we u dankbaar zijn.

HET KOOLZUURGASGEHALTE IN DE ROOKGASSEN

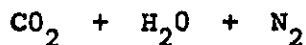
Aardgas is samengesteld uit een aantal koolwaterstofverbindingen. De belangrijkste verbinding is CH_4 (methaan).

Voor verbranding van aardgas is zuurstof nodig. Hiertoe brengen we lucht in de vuurhaard. Zuivere lucht bevat 21 volumeprocenten zuurstof = O_2 en 79% stikstof = N_2 . De stikstof neemt niet deel aan de verbranding en moet als ballast worden beschouwd.

Bij het mengen van aardgas en lucht bij voldoende hoge temperatuur, ontstaan de volgende verbrandingsreacties :



Als alle koolwaterstofverbindingen volledig verbranden met de juiste hoeveelheid zuurstof, dan zullen we als resultaat de volgende gassamenstelling vinden :



Dit noemen we de rookgassen.

De zuurstof is geheel verbruikt om nieuwe verbindingen tot stand te brengen, de stikstof is nog volledig aanwezig. Deze toestand noemen we de theoretische verbranding.

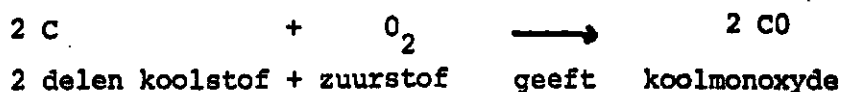
Het totale rookgasvolume noemen we 100%. Een gedeelte van deze rookgasen is CO_2 .

Bij de huidige samenstelling van het aardgas uit Slochteren zal bij theoretische verbranding het percentage CO_2 11,71 bedragen van het rookgasvolume.

Het is absoluut onmogelijk in onze ketels een theoretische verbranding tot stand te brengen. Omdat bij deze toestand voor alle koolstof en waterstof een precies afgemete hoeveelheid zuurstof aanwezig is, zou elk deeltje koolstof en waterstof in de ruime vuurhaard in zeer korte tijd een deeltje zuurstof moeten vinden.

Een zeer intensief wervelende en brede vlam zou dit bevorderen, maar een aantal brandbare delen zal echter niet snel genoeg een "zuurstof-partner" kunnen vinden, waardoor de onbenutte zuurstof naar de schoorsteen verdwijnt en een deel van de brandbare stoffen onvolledig verbrand de schoorsteen zal verlaten.

Gezien het feit dat de verbrandingsreactie van koolstof trager verloopt dan van waterstof zal in een dergelijk geval de volgende verbinding ontstaan :



Dit noemen we een onvolledige verbrandingsreactie.

Koolmonoxyde is een zeer giftig gas; schadelijk voor de mens. Bij deze reactie ontstaat ook nog een geringe hoeveelheid van een andere koolwaterstofverbinding, ethyleen = C_2H_4 . Ethyleen veroorzaakt schade aan gewassen, indien de rookgassen benut worden voor CO_2 -bemesting in het gewas.

Een onvolledige verbranding geeft echter ook extra warmteverliezen.

CO is namelijk een nog brandbaar gas en zal bij verdere verbranding nog warmte ontwikkelen. Gaat een hoeveelheid CO de schoorsteen uit dan betekent 1% CO in de rookgassen circa 5% extra verlies op het rendement.

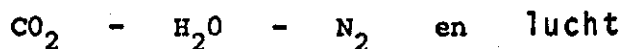
Eén kg koolstof ontwikkelt bij volledige verbranding : 8.100 Kcalorieën. Indien 1 kg koolstof met onvoldoende zuurstof zou verbranden tot CO, dan wordt slechts 2.400 Kcalorieën ontwikkeld. Dit is minder dan één derde (29,6%) van de warmte die bij volledige verbranding zou ontstaan.

Volledige verbranding met extra lucht

Om vorming van CO te voorkomen moeten we de koolstof- en waterstofdeeltjes méér kans geven hun zuurstofpartners snel te vinden. Naast intensieve menging van gas en lucht (branderconstructie) kunnen we méér lucht = méér zuurstof in de vuurhaard brengen. De extra lucht-hoeveelheid noemen we luchtvermaat. De benaming is duidelijk : de extra lucht is voor de verbindingen van koolstof en waterstof met lucht in feite niet nodig maar vergroot alleen de kans dat elk deeltje koolstof en waterstof snel een deeltje zuurstof vinden.

Na de verbrandingsreacties blijft deze extra luchtvermaat dan ook verder ongebruikt.

In de rookgassen vinden we nu :



De eerste twee (CO₂ en H₂O) zijn dus verbindingen die door volledige verbranding tot stand zijn gekomen; de stikstof (N₂) is overgebleven van de lucht waarvan de zuurstof is verbruikt en de aanwezige lucht is de extra lucht die alleen nodig was om de verbrandingskansen groter te maken.

Als we deze rookgassen weer op 100% stellen dan is een bepaald percentage dus lucht, en de grootte ervan, afhankelijk van de mate van de luchtvermaat. Het CO₂-percentage, wat bij theoretische verbranding 11,71% bedraagt, is nu lager. De hoeveelheid CO₂ is namelijk wel gelijk gebleven, maar omdat het rookgasvolume door de extra lucht is toegenomen, is deze hoeveelheid CO₂ een kleiner percentage van het gehele rookgasvolume.

Door meting kunnen we het percentage CO₂ in de rookgassen vaststellen. Naarmate de luchtvermaat groter is wordt het percentage CO₂ kleiner. Dit is te zien in de volgende tabel.

| Overmaat lucht in procenten | CO ₂ in procenten | Rookgasvolume in m ³ per m ³ aardgas bij : | | |
|-----------------------------|------------------------------|--|-------|-------|
| | | 200°C | 160°C | 120°C |
| 0 | 11,71 | 16,52 | 15,12 | 13,72 |
| 10 | 10,56 | 17,98 | 16,45 | 14,93 |
| 20 | 9,67 | 19,43 | 17,78 | 16,14 |
| 30 | 8,82 | 20,89 | 19,11 | 17,35 |
| 40 | 8,15 | 22,34 | 20,44 | 18,56 |
| 50 | 7,57 | 23,80 | 21,77 | 19,77 |
| 60 | 7,06 | 25,23 | 23,10 | 20,98 |
| 120 | 5,06 | 33,95 | 31,08 | 28,25 |

Met een goede kwaliteit brander moet een volledige verbranding, met 10% luchtvermaat, gemakkelijk haalbaar zijn. Het CO₂-gehalte is dan 10,56%. Dit geldt voor de situatie dat de brander met de zogenaamde

"grote vlam" in bedrijf is, dit wil zeggen met de maximale capaciteit. Bij een branderinstallatie met modulerende regeling moet ook in een groot gedeelte van de tussenstanden = met lagere capaciteiten, dit CO_2 -percentage behaald kunnen worden.

Eerst in de kleinste standen zal met een grotere luchtvermaat worden gestookt. De vlamvorm wordt bij kleine capaciteiten eveneens kleiner en zal de gehele vuurhaardomtrek niet meer bestrijken. Hierdoor is het gevaar van onverbrand = CO in de rookgassen groter. Een wat grotere toevoer van extra lucht is dan noodzakelijk. Met een goede branderconstructie moet echter in de capaciteiten : 30% van de maximale capaciteit en lager, nog wel een CO_2 -gehalte van 8,5% behaald kunnen worden. De luchtvermaat is dan circa 35%.

Luchtvermaat geeft extra rendementsverlies

We zullen moeten trachten met een zo gering mogelijke luchtvermaat een volledige verbranding te verkrijgen. De rookgassen verlaten de ketel met een bepaalde hoeveelheid warmte, afhankelijk van de rookgastemperatuur en het rookgasvolume.

Het rookgasvolume is groter naarmate de luchtvermaat groter is (zie tabel op blz. 5). De, voor de verbranding, toegevoerde lucht, heeft een temperatuur die ongeveer gelijk is aan de ketelhuistemperatuur. Afhankelijk van de weersomstandigheden zal dit tussen 5°C en 30°C variëren. De rookgassen verlaten de ketel met een temperatuur van circa 200°C . Alle lucht die we als overmaat in de vuurhaard hebben gebracht wordt niet gebruikt, maar wel in temperatuur verhoogd. In de vuurhaard zelfs tot 1.300° à 1.400°C . Bij doorstroming in de ketel daalt deze hoge temperatuur gelukkig weer als gevolg van de warmte-afgifte, maar aan het einde van de ketel is de temperatuur toch veel hoger dan de temperatuur waarmee de lucht in de vuurhaard is gebracht. Deze opgenomen warmte, die niet meer wordt afgestaan, gaat dus verloren.

De conclusie moet zijn, dat hoe groter de luchtvermaat, des te groter het warmteverlies. Het verlies aan warmte, veroorzaakt door het verlaten van de rookgassen met een bepaalde temperatuur uit de ketel, noemen we het schoorsteenverlies of in de stooktechniek : het verlies aan voelbare warmte.

Uit het voorgaande is gebleken dat dit verlies afhankelijk is van het volume van deze rookgassen en van de temperatuur van de rookgassen bij het verlaten van de ketel; echter ook van de temperatuur waarmee de lucht in de vuurhaard wordt geblazen. Hoe hoger deze luchttemperatuur, des te minder warmte deze lucht in de vuurhaard behoeft op te nemen. Een hogere luchttemperatuur is dus een voordeel bij het bepalen van het rendement.

BEPALEN VAN HET RENDEMENT

Om vast te stellen hoe groot de warmteverliezen bij een stookinstallatie zijn, wordt van verschillende meetmethoden gebruik gemaakt. In de industrie, vooral bij Electriche Centrales, wordt dikwijls enerzijds de toegevoerde warmte (in de vorm van de brandstofhoeveelheid) gemeten en anderzijds de nuttig verkregen warmte in de vorm van een hoeveelheid stoom of electriciteit. Daarbij kunnen nog allerlei tussenfazen worden gemeten. Bij een dergelijke installatie is het dan mogelijk het totaalrendement van het bedrijf vast te stellen, en tevens de werking van de onderdelen zoals ketelrendement, turbinerendement, rendement van voorwarmers, luchtverhitters, verdamper en alle andere voorkomende onderdelen van de installatie. Dit meten noemen we de direkte methode. Dus :

$$\text{toegevoerde energie} - \text{nuttig verkregen energie} = \text{verliezen aan energie.}$$

In de tuinbouw en de kleine industrieën zou een dergelijke meting niet onmogelijk zijn. De kosten van meetapparatuur en van technisch geschoolde mensen maken deze methode voor kleinere installaties echter te kostbaar.

Om de verliezen bij verbranding in onze ketels vast te stellen kunnen we met minder meetgegevens toe en deze meetgegevens kunnen we op eenvoudige wijze verkrijgen.

Wat moeten we weten :

1. Temperatuur van de toegevoerde verbrandingslucht.
2. Temperatuur van de rookgassen bij het verlaten van de ketel.
3. Het CO₂-gehalte in de rookgassen.

De eerste twee kunnen we met thermometers vaststellen. Het CO₂-gehalte is meetbaar door zowel een eenvoudig handbediend apparaat als met een elektronisch apparaat, waarvan de gemeten waarden dan ook nog geregistreerd kunnen worden. Deze laatste meetapparatuur zal voor individueel gebruik; meestal te kostbaar zijn. De aanschaf van het eenvoudig handbediende apparaat is zeker mogelijk. De kosten kunnen — inclusief een rookgasthermometer — lager zijn dan f 200,—

Bij het meten spreekt men vaak van de rookgastemperatuur achter de ketel. Daarmee wordt bedoeld, de rookgastemperatuur bij het verlaten van de ketel. Dit noemt men ook wel afgastemperatuur.

Wat doen we met de meetgegevens ?

Aan de hand van de verkregen meetgegevens zouden gasberekeningen en warmteverliesberekeningen gemaakt kunnen worden. Dit vraagt studie en deskundigheid. Eenvoudiger is de cijfers in een formule onder te brengen en met een eenvoudige rekensom de verliezen te bepalen.

In het verleden is hiervoor de benaderingsformule van Siegert ontstaan. Dit is de formule waarmee men bij benadering het schoorsteenverlies in procenten kan bepalen.

$$K \times \frac{T - t}{CO_2} = \text{verlies in procenten.}$$

We zullen de symbolen uiteenzetten en dan wordt het invullen van de verkregen meetcijfers zeer eenvoudig.

K = een waardefactor (wordt dus niet gemeten) /
 Deze factor is afhankelijk van de verkregen meetcijfers. Naarmate CO₂-gehalte en rookgastemperatuur hoger zijn, wordt ook de K-factor hoger.

De waarden voor de installaties in de tuinbouw liggen tussen 0,42 en 0,5.

Op bijgaande tabel is de waarde voor elke situatie af te lezen, bijvoorbeeld :

CO₂-gehalte is 10,4% en de rookgastemperatuur is 200°C.
 We lezen dan een K-waarde af van 0,48.

T = de gemeten rookgastemperatuur achter de ketel.

t = de temperatuur van de verbrandingslucht, gemeten bij de zuigzijde van de ventilator.

CO₂ = is gemeten gehalte in de rookgassen achter de ketel.

Vullen we nu de cijfers in uit het voorbeeld, dan krijgen we :

$$K \times \frac{T - t}{CO_2} = \% \text{ verlies}$$

$$K = 0,48 \quad T = 200^\circ\text{C} \quad t = 20^\circ\text{C} \quad CO_2 = 10,4\%$$

De uitkomst wordt dan :

$$0,48 \times \frac{200 - 20}{10,4} = 8,3\% \text{ verlies}$$

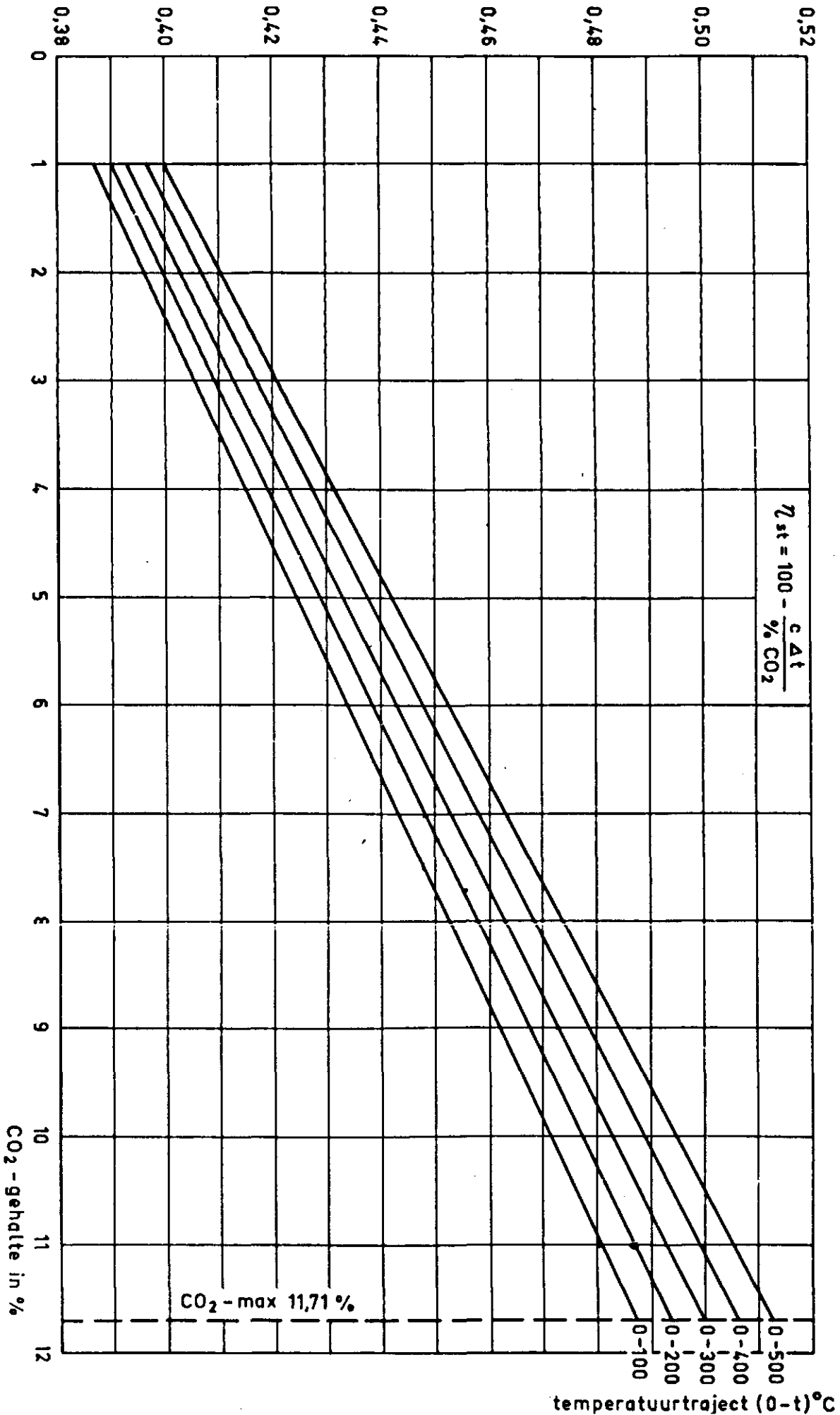
Dit verlies ontstaat dus doordat de rookgassen bij het verlaten van de ketel een hoeveelheid warmte bevatten en deze meenemen naar buiten.

Stellen we de stralingsverliezen van een normaal geïsoleerde ketel op 1,5% en is de verbranding volledig, dus CO-vrij, dan zijn de totaalverliezen :

| | |
|--------------------|---------------|
| schoorsteenverlies | : 8,3% |
| verlies straling | : <u>1,5%</u> |
| totaal verlies | : 9,8% |

Het rendement is dan 100% - 9,8% = 90,2%.

Sievertcoëfficiënt c



CO₂ - max 11,71 %

temperatuurtraject (0-t)°C

Schoorsteenverlies bij gegeven T - t en % CO₂

| T - t | Percentage CO ₂ | | | | | | | | | |
|-------|----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 11% | 10,5% | 10% | 9% | 8% | 7,5% | 7% | 6,5% | 6% | 5,5% |
| 100 | 4,36 | 4,53 | 4,71 | 5,12 | 5,65 | 5,97 | 6,33 | 6,75 | 7,23 | 7,82 |
| 110 | 4,87 | 5,05 | 5,26 | 5,72 | 6,30 | 6,63 | 7,06 | 7,50 | 8,05 | 8,66 |
| 120 | 5,31 | 5,51 | 5,74 | 6,24 | 6,87 | 7,23 | 7,70 | 8,18 | 8,78 | 9,45 |
| 130 | 5,76 | 5,97 | 6,21 | 6,76 | 7,44 | 7,83 | 8,34 | 8,86 | 9,51 | 10,24 |
| 140 | 6,20 | 6,43 | 6,69 | 7,28 | 8,02 | 8,44 | 8,98 | 9,54 | 10,24 | 11,02 |
| 150 | 6,64 | 6,89 | 7,17 | 7,80 | 8,59 | 9,04 | 9,62 | 10,22 | 10,98 | 11,81 |
| 160 | 7,08 | 7,34 | 7,65 | 8,32 | 9,16 | 9,64 | 10,26 | 10,90 | 11,71 | 12,60 |
| 170 | 7,53 | 7,80 | 8,13 | 8,84 | 9,73 | 10,25 | 10,90 | 11,59 | 12,44 | 13,38 |
| 180 | 7,96 | 8,26 | 8,60 | 9,36 | 10,31 | 10,85 | 11,55 | 12,27 | 13,17 | 14,17 |
| 190 | 8,41 | 8,72 | 9,08 | 9,88 | 10,88 | 11,45 | 12,19 | 12,95 | 13,90 | 14,96 |
| 200 | 8,85 | 9,18 | 9,56 | 10,40 | 11,45 | 12,05 | 12,83 | 13,63 | 14,63 | 15,75 |
| 210 | 9,41 | 9,76 | 10,14 | 11,03 | 12,13 | 12,82 | 13,56 | 14,47 | 15,47 | 16,72 |
| 220 | 9,86 | 10,22 | 10,63 | 11,56 | 12,71 | 13,43 | 14,21 | 15,16 | 16,21 | 17,52 |
| 230 | 10,31 | 10,69 | 11,11 | 12,09 | 13,28 | 14,05 | 14,85 | 15,85 | 16,94 | 18,32 |
| 240 | 10,76 | 11,15 | 11,59 | 12,61 | 13,86 | 14,66 | 15,50 | 16,54 | 17,68 | 19,11 |
| 250 | 11,20 | 11,62 | 12,08 | 13,14 | 14,44 | 15,27 | 16,14 | 17,23 | 18,42 | 19,91 |
| 260 | 11,65 | 12,08 | 12,56 | 13,66 | 15,02 | 15,88 | 16,79 | 17,92 | 19,15 | 20,71 |

Invloed van het CO₂-gehalte

In het voorgaande hebben we gesteld, dat 10,5% CO₂ in een aantal branderstanden goed is te noemen. We zullen nu nagaan welke invloed een lager CO₂-percentage heeft op het rendement.

Stellen we : CO₂-gehalte = 8% K wordt dan : 0,46
 T = 200°C 0,46 x $\frac{200 - 20}{8}$ = 10,4% verlies
 t = 20°C Rendement : 100 - (10,4 + 1,5) = 88,1%

Door de grotere luchtvoermaat en een lager CO₂-gehalte is er een groter verlies van 2,1% ten opzichte van ons vorige voorbeeld.

Ook in de kleinste capaciteitsstanden van de brander kan een goed of slecht CO₂-gehalte veel verschil in verlies betekenen. Van een goed CO₂-gehalte in de kleine vlam spreken we bij 8,5% CO₂. De rookgastemperatuur zal bij de kleine vlamstand veel lager zijn, door de veel lagere ketelbelasting. Bij een warmwaterketel zal deze temperatuur dan circa 110°C zijn.

Stellen we dus :

| | | |
|-----------------|---|-------|
| T | = | 110°C |
| t | = | 20°C |
| CO ₂ | = | 8,5% |
| K ² | = | 0,455 |

Het verlies wordt : $0,455 \times \frac{110 - 20}{8,5} = 4,8\%$

Bij slecht CO₂-gehalte :

| | | |
|-----------------|---|-------|
| T | = | 110°C |
| t | = | 20°C |
| CO ₂ | = | 5,5% |
| K ² | = | 0,43 |

Het verlies wordt : $0,43 \times \frac{110 - 20}{5,5} = 7,8\%$

Door de veel grotere luchtvermaat ontstaat dus een extra verlies van 3%. Ook in de kleine capaciteitsstanden is een goede afstelling van de gaslucht-verhouding een belangrijke zaak.

Invloed van de rookgastemperatuur (T)

In voorgaande berekeningen hebben we met variabele CO₂-gehalten gerekend. Het is duidelijk dat in de Siegert-formule de rookgas-temperatuur eveneens een belangrijke rol speelt. De grootte van deze temperatuurwaarden is afhankelijk van :

1. De ketelbelasting = Kcal/m².V.O. uur
2. Mate van turbulentie van de vlam in de vuurhaard
3. Warmte-overdracht door convectie (stroming) in de vlampijpen.

Ketelbelasting

Naarmate de ketel lager is belast, zullen de rookgastemperaturen achter de ketel ook lager zijn. Zie rookgastemperatuur 110°C bij kleine vlam. Een hoge ketelbelasting is dus een nadeel voor de gebruiker.

Turbulente vlam

Van veel groter belang dan de soms gepropageerde donkergele vlam, is de intensief wervelende vlam. Door het wervelen komt de vlam in innig contact met de vuurgangwand en ontstaat een uitstekende warmte-overdracht door convectie. De warmte-overdracht van een dergelijke vlam is beslist beter dan van een lange wapperende vlam, die slechts in geringe mate de vuurgangwand raakt.

CONVECTIE-OVERDRACHT IN DE VLAMPIJPEN

Deze vorm van warmte-overdracht verloopt vanzelfsprekend beter naarmate de pijpwallen vrij zijn van vervuiling (roet - zwavelzuurresten en dergelijke).

Een duidelijke verbetering is te verkrijgen door het inbrengen van retarders. Retarders zijn spiraalvormige stalen stripjes. Goede resultaten zijn verkregen met retarders waarvan de schoepafstand 8 cm is. Door de retarders moeten de rookgassen zeer dikwijls van richting veranderen. De af te leggen weg wordt langer en de snelheid moet bij een gelijk rookgasvolume dus hoger worden. Door de richtingveranderingen ontstaan intensieve botsingen van de gassen tegen de pijpwand. De warmte-overdracht wordt hierdoor aanzienlijk bevorderd. Daling van de rookgastemperatuur met 80°C , waarbij dezelfde brandercapaciteit gehandhaafd blijft, moet in een aantal ketels mogelijk zijn.

We zullen met gebruik van de Siegert-formule berekenen wat dit aan voordeel gaat opleveren :

| <u>Zonder Retarders</u> | <u>Met Retarders</u> |
|---|---|
| $\text{CO}_2 = 10,5\%$ | $\text{CO}_2 = 10,5\%$ |
| $T = 220^{\circ}\text{C}$ | $T = 140^{\circ}\text{C}$ |
| $t = 20^{\circ}\text{C}$ | $t = 20^{\circ}\text{C}$ |
| $K = 0,49$ | $K = 0,47$ |
| $0,49 \times \frac{220 - 20}{10,5} = 9,3\% \text{ verlies}$ | $0,47 \times \frac{140 - 20}{10,5} = 5,3\% \text{ verlies}$ |

Door het aanbrengen van de retarders ontstaat dus een kleiner verlies als gevolg van de betere warmte-afgifte. Deze 4% besparing is bij een ketelgrootte van 4.000.000 Kcal/h een gasbesparing van 24 m^3 per uur of bij gelijk gasverbruik een capaciteitsvergroting van de ketel met 170.000 Kcal/h. Het aanbrengen van retarders veroorzaakt een hogere rookgaszijdige ketelweerstand. Toepassing in de laag belaste ketels zal minder problemen geven dan in de hoog belaste ketels.

In de zeer hoog belaste ketels, waar notabene doorgaans de hoogste rookgastemperaturen achter de ketel zullen worden gemeten, zal toepassing van retarders nauwelijks mogelijk zijn, tenzij met een lagere capaciteit, dus met een lagere belasting, genoeg genomen kan worden.

In een aantal gevallen moet misschien de ventilator worden vervangen door een ventilator met hogere druk en groter motorvermogen. Gezien de ruime besparing met retarders is deze mogelijkheid, ook economische gezien niet uitgesloten.

In de nabije toekomst hopen we middels een aantal metingen aan ketels meer inzicht en gegevens te verkrijgen over de toepassingsmogelijkheden van retarders.

Elke ketelinstallatie periodiek meten !

Gezien de stijging van energiekosten zou het bovenstaande een slogan moeten zijn die aanslaat. Met eenvoudige middelen kan de kweker zelf het ketelrendement onder controle houden. Bij afwijkende gegevens kan men zelf vaststellen welke extra verliezen dit veroorzaakt. Daarna moet men door een vakman (servicemonteur) de brander zondig laten bijstellen. Ook dit bijstellen kan zelf gecontroleerd worden. Dit moet kunnen leiden tot rendementsverbetering. Elk procent besparing krijgt méér betekenis naarmate de brandstofprijs hoger is.

MEETAPPARAAT

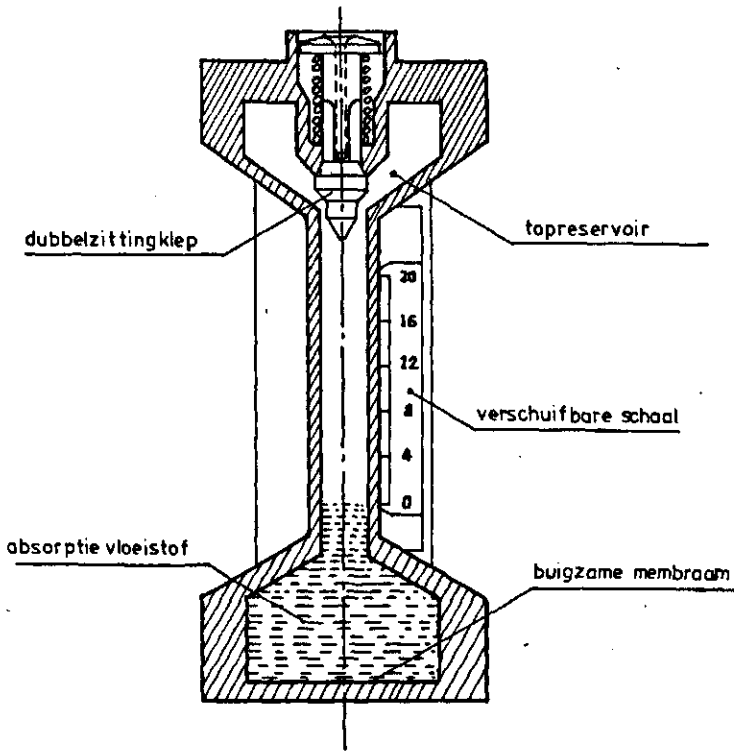
Een goede meting van de rookgassamenstelling is mogelijk met het zogenaamde Orsat-apparaat. De werking van dit toestel is gebaseerd op de welbekende Orsat-methode voor het bepalen van de samenstelling van gassen in volumeprocenten, waarbij gebruik gemaakt wordt van chemische absorptiemiddelen voor het binden van de gassen. Het essentiële van de constructie is, dat de absorptievloeistof tevens wordt gebruikt voor aanwijzing van het volumepercentage van het geabsorbeerde gas. Het huis is vervaardigd van een doorzichtig plastic. Het bestaat uit twee reservoirs, verbonden door een buis. De bodem van het onderste reservoir wordt afgesloten door een heel dunne en soepele rubber-membraan. Het top-reservoir is afgesloten door een plastic deksel, waarin de dubbelzittingklep aangebracht is. Een veer drukt de bovenzitting van deze klep stevig tegen de nauwkeurig afgewerkte zitting van het klephuis (zie de afbeelding), waardoor een lekdichte afsluiting wordt verkregen. Daardoor kan het toestel met absorptievloeistof in alle standen worden vervoerd, zonder lekkage van de vulling. Als de dubbelzittingklep geheel wordt neergedrukt, sluit de onderkant van de klep af op een rand van het huis en tegelijkertijd komt het topreservoir in verbinding met de buitenlucht. In de tussenstand van de klep is de gehele inwendige ruimte van het toestel in verbinding met de buitenlucht.

De absorptievloeistof vult het onderste reservoir en circa 6 mm van de verbindingbuis, als het toestel rechtop wordt gehouden. De schaal is langs de verbindingbuis verschuifbaar aangebracht, zodat het nulpunt van de schaal kan worden gelijkgesteld met de top van de vloeistofkolom in de verbindingbuis (zie afbeelding).

Gebruik van de meetapparatuur

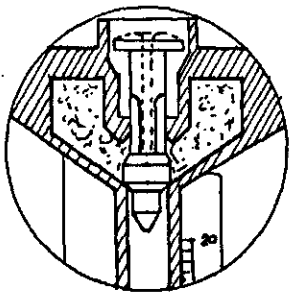
Voor het nemen van een rookgasmonster moet de aanzuigbuis in de te analyseren gasstroom worden gestoken. Dit is in het rookkanaal. Daarna moet het mondstuk aan het andere eind van de rubberslang worden neergedrukt op de dubbelzittingklep, waardoor het topreservoir geopend en de verbindingbuis gesloten wordt. Pers daarna door middel van de gummi handpomp 18 keer een monster gas in het toestel. Dit moet zo vaak gebeuren om er zeker van te zijn, dat de rubberslang, de gummi handpomp en het topreservoir geen gas meer bevatten van een vorige analyse. Bij de laatste slag wordt de dubbelzittingklep losgelaten, waardoor de klep het topreservoir afsluit en de verbindingbuis opent. Het in het topreservoir opgesloten gasmonster kan nu door de verbindingbuis in contact komen met de absorptievloeistof. Het toestel wordt dan omgekeerd, waardoor het gasmonster door de absorptievloeistof borrelt, waarbij het CO_2 of het O_2 geabsorbeerd wordt, afhankelijk van de absorptievloeistof die men gebruikt. Het toestel wordt weer rechtop gezet en in de verticale stand gehouden. De gasabsorptie veroorzaakt een onderdruk in het toestel, waardoor het rubbermembraan in het onderste reservoir naar boven doorbuigt. Daardoor zal de absorptievloeistof in de verbindingbuis opstijgen om het geabsorbeerde gas te vervangen.

Als de vloeistofkolom weer tot rust gekomen is, wijst de top van de vloeistof op de schaal het percentage aan van het gas in het onderzochte rookgasmonster.



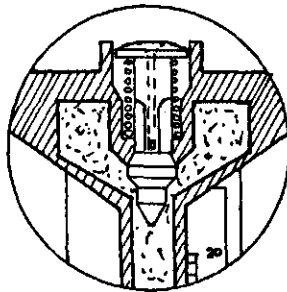
constructie
OPSAT-APPARAAT

Figuur 1.



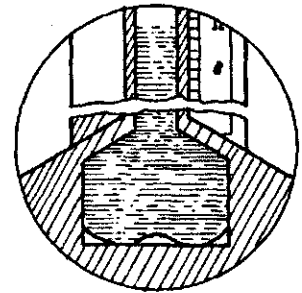
Figuur 2.

Dubbelzittingklep geheel neergedrukt. Het gasmonster stroomt in het topreservoir; de verbindingsbuis is afgesloten.



Figuur 3.

Dubbelzittingklep losgelaten en gesloten door veerdruk, verbindingsbuis is open; gasmonster kan door de absorptievloeistof stromen.



Figuur 4.

Absorptie van het gas door de vloeistof veroorzaakt onderdruk; daardoor buigt de rubbermembraan naar boven door, en de vloeistof stijgt in de verbindingsbuis.

STOOKTECHNIEK

De stooktechniek houdt zich bezig met de ontwikkeling van warmte uit brandstoffen en de directe afgifte van deze warmte aan het warmtetransportmiddel. Hoewel verliezen hierbij onvermijdelijk optreden, wordt er naar gestreefd om de opwekking van warmte zo voordelig mogelijk te doen geschieden, dit wil zeggen een zo groot mogelijke hoeveelheid warmte te ontwikkelen uit de brandstof en deze met de kleinst mogelijke verliezen over te brengen in de te verwarmen ruimten.

Willen we dit streven verwezenlijken, dan zal het nodig zijn, dat de installatie aan goede normen voldoet en dat de stockinstallatie wordt bediend en onderhouden zoals het behoort. In vele gevallen kan, door verbetering van verschillende factoren nog een besparing worden verkregen ten opzichte van de bestaande toestand.

Voor de tuinbouw is dit zeker belangrijk, omdat de brandstofkosten een belangrijk deel van de totale exploitatiekosten vergen.

Om een inzicht te verkrijgen van de juiste bediening van de installatie, kan enige theoretische kennis niet worden gemist.

Algemene begrippen

Temperatuurmeting

Ons gevoel maakt ons duidelijk dat er verschil bestaat tussen warm en koud. We kunnen constateren dat van twee ruimten de éne warmer aanvoelt dan de andere. We zeggen dan dat de temperaturen verschillen. Ons gevoel is echter geen goede maatstaf voor de temperatuurmeting. Wij zullen alle temperaturen als koud ervaren die lager zijn dan onze lichaamstemperatuur, en alle temperaturen die hoger zijn, als warm. Als we bedenken dat dit gevoel nog beïnvloed kan worden door luchtbeweging, dan moeten we vaststellen dat voor een nauwkeurige meting andere middelen nodig zijn. Daarom heeft men een andere maatstaf genomen en deze gebaseerd op de uitzetting van stoffen als deze warmer worden.

Naarmate de temperatuur stijgt zal een stof warmer worden en meer uitzetten en omgekeerd weer krimpen bij daling van de temperatuur. In de thermometer, het instrument waarmee we in het dagelijks leven de temperatuur meten, wordt gebruik gemaakt van de uitzetting van vloeistoffen zoals bijvoorbeeld kwik, alcohol enz.

Een thermometer bestaat uit een glazen reservoirtje met een heel dun glazen buisje. Het reservoir is met vloeistof gevuld. Wordt de vloeistof warmer, dan zal deze uitzetten en in het glazen buisje opstijgen.

Door een schaalverdeling aan te brengen kan men de temperatuur aflezen. In de tuinbouw worden twee schaalverdelingen gebruikt, namelijk Celsius en Fahrenheit.

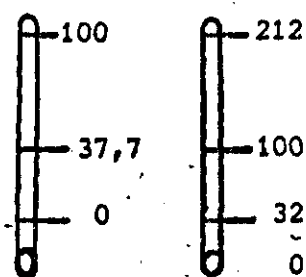
Om een verdeling te krijgen moet men de zgn. vaste punten op de thermometer aanbrengen. Dit zijn twee temperaturen die constant zijn en waarop de schaalverdeling in graden gebaseerd is. Celsius, een Zweedse geleerde, nam voor deze vaste punten de damp van kokend water en het smeltwater van ijs. Bij deze twee punten plaatste hij respectievelijk 100° (kookpunt) en 0° (vriespunt). De tussenliggende afstand verdeelde hij in 100 gelijke delen. Fahrenheit, een Duitse geleerde, heeft niet de genoemde punten genomen voor zijn verdeling, maar nam als laagste "vaste punt" het punt 0 , de temperatuur van een mengsel van sneeuw en zout, dat een

lagere temperatuur heeft dan het vriespunt van zuiver water. Als 2^e "vaste punt", het punt 100, nam hij zijn bloedtemperatuur. Tussen deze twee punten bracht hij eveneens een verdeling van 100 gelijke delen aan. Gaan we na wat de thermometer van Fahrenheit aanwijst bij het vriespunt van water, dan blijkt dit 32° te zijn. Bij het kookpunt van water komt dan 212° te staan. Tussen vries- en kookpunt bevinden zich dus bij Celsius 100 schaaldelen, bij Fahrenheit 180 schaaldelen.

We zien dus dat :

$$\begin{aligned} 100 \text{ schaaldelen Celsius} &= 180 \text{ schaaldelen Fahrenheit of} \\ 5 \text{ schaaldelen Celsius} &= 9 \text{ schaaldelen Fahrenheit} \end{aligned}$$

C(elsius) F(ahrenheit)



Fahrenheit geeft dus $\frac{9}{5}$ maal zoveel schaaldelen aan dan Celsius. Omdat echter Fahrenheit bij het smeltpunt van ijs het cijfer 32 verkreeg, moet bij het omrekenen van Celsius naar Fahrenheit na vermenigvuldigen met $\frac{9}{5}$ nog 32 bij de verkregen uitkomst worden opgeteld. Voor de omrekening van Fahrenheit naar Celsius moet eerst 32 worden afgetrokken en dan met $\frac{5}{9}$ vermenigvuldigd.

Voorbeeld :

$$\begin{aligned} 100^{\circ}\text{F} &= (100 - 32) \times \frac{5}{9} = 37,78^{\circ}\text{C} \\ 0^{\circ}\text{F} &= (0 - 32) \times \frac{5}{9} = -17,78^{\circ}\text{C} \\ 100^{\circ}\text{C} &= \frac{9}{5} \times 100 + 32 = 212^{\circ}\text{F} \\ 20^{\circ}\text{C} &= \frac{9}{5} \times 20 + 32 = 68^{\circ}\text{F} \end{aligned}$$

Als vulvloeistof hebben we o.a. kwik genoemd. Dit wordt het meest gebruikt wegens de volgende voordelen :

1. Het zet regelmatig uit en blijft niet aan de glaswand hangen
2. Het heeft een hoge meetgrens, want het kan gebruikt worden voor het temperatuurgebied van -40°C tot +350°C.

Aangezien kwik bij 350°C kookt, kan het maar tot deze temperatuur als vulvloeistof worden gebruikt. Om hogere temperaturen met een kwikthermometer te kunnen meten moet, voordat de thermometer dichtgesmolten wordt, stikstof onder druk boven het kwik worden gebracht. Het kookpunt van het kwik zal hierdoor hoger worden en aldus zal de gevulde kwikthermometer gebruikt kunnen worden tot 750°C.

Behalve kwik wordt gekleurde alcohol als vulvloeistof gebruikt. De grote reclamethermometers, gevuld met rode of blauwe vloeistof, zijn meestal alcoholthermometers.

Alcohol kookt bij 78°C, dus men kan met deze thermometers geen hoge temperatuur meten. De laagst meetbare temperatuur ligt bij -110°C. Vooral voor lage temperatuur is deze vloeistof beter geschikt dan kwik. Ook zijn er thermometers die berusten op de uitzetting van vaste stoffen. Hierbij worden twee verschillende soorten materiaal gebruikt en doordat de ene stof meer uitzet dan de andere bij dezelfde temperatuurstijging, kan men een beweging, door middel van het bimetaal, tot stand brengen.

Op dit principe berusten de moderne thermometers, die rond zijn uitgevoerd en een wijzeraflezing hebben.

In de stooktechniek wordt ook een thermo-element gebruikt als middel om hoge temperaturen te meten. Het meetelement bestaat uit de las van twee verschillende metalen, zoals bijv. koper en constantaan. Als de las

wordt verhit ontstaat een spanningsverschil. Met behulp van een micro-ampèremeter kan de spanning worden gemeten. De schaal wordt geijkt in $^{\circ}\text{C}$. Meting met nog diverse soorten temperatuurmeters zijn mogelijk, zoals de thermometer met Bourdonveer, waarbij een ronde veer gevuld met vloeistof verandering ondergaat bij uiteenzetting van de vloeistof en door de vormverandering een wijzer in beweging brengt.

Om een overzicht van de temperaturen te hebben over enige tijd maakt men gebruik van registrerende apparaten.

Moeten zeer hoge temperaturen worden gemeten (gloeiovens, vuurhaardtemperatuur, enz.) dan kan men gebruik maken van segerkegels. Dit zijn pyramide-vormige lichamen gemaakt van een mengsel van kwarts, kalk en gebrande klei. Bij een bepaalde temperatuur gaat zo'n kegel smelten en kan men dus zien, dat er een bepaalde temperatuur bereikt is. Door verschillende samenstellingen te maken, verkrijgt men verschillende smeltpunten. Het verschil in smeltpunt van twee opeenvolgende nummers bedraagt 15 à 20°C . Moderner is echter bij deze hoge temperatuur de meting met stralingspyrometers. In principe berust deze methode er op, dat men de hoeveelheid straling meet, die door een lichaam op hoge temperatuur wordt uitgezonden. De meters die volgens dit principe werken noemt men optische pyrometers.

Warmte-eenheid

Warmte is een vorm van energie. Warmte kan uit licht, electriciteit en mechanische arbeid ontstaan of er in worden omgezet. Om de hoeveelheid warmte te meten is een warmte-eenheid ingevoerd, die kilocalorie wordt genoemd, aangeduid door kcal.

1 kcal is de hoeveelheid warmte die nodig is om
1 kg water 1°C in temperatuur te doen stijgen.

Om 10 kg water van 20° op 60°C te brengen, is volgens bovenstaande nodig $10 \times 40 = 400$ kcal.

Het aantal kcal wordt gevonden door het aantal kg te verwarmen water te vermenigvuldigen met het temperatuurverschil vóór en ná de verwarming.

Volume, gewicht en soortelijk gewicht

Elk lichaam heeft een zeker volume en een bepaald gewicht. Twee lichamen die een even groot volume innemen, kunnen echter verschillende gewichten hebben. Een blokje ijzer van 5 cm^3 inhoud is veel zwaarder dan een stukje hout met een inhoud van 5 cm^3 . Men heeft daarom het begrip soortelijk gewicht ingevoerd.

Nu heeft men als eenheid van gewicht ingevoerd het kilogram (kg). Dit is het gewicht van 1 dm^3 water van 4°C . Het s.g. van water van 4°C is dus 1. In het algemeen geldt :

$$\begin{aligned} \text{Gewicht} &= \text{volume} \times \text{s.g.} \\ \text{Volume} &= \frac{\text{gewicht}}{\text{s.g.}} \text{ en s.g.} = \frac{\text{gewicht}}{\text{volume}} \end{aligned}$$

Gewicht uitgedrukt in grammen, kilogrammen of tonnen.

Volume uitgedrukt in cm^3 , dm^3 of m^3 .

Is de stof lichter dan water, dan is het s.g. kleiner dan 1.

Is de stof zwaarder dan water dan is het s.g. groter dan 1.

De volgende tabel bevat de soortelijke gewichten van een aantal stoffen. De gegevens gelden alleen bij 0°C .

| | | | |
|--------------|-------|----------------|--------------|
| Alcohol | 0,79 | Kwik | 13,6 |
| Aluminium | 2,73 | Olie | 0,7 tot 0,99 |
| IJzer | 7,86 | Glaswol | 0,1 |
| Glas | 2,50 | Kurk | 0,24 |
| Asbestcement | 2,1 | Ketelsteen | 2,5 |
| Chroom | 7,1 | Zeewater | 1,03 |
| Brons | 8,8 | Glycerine | 1,26 |
| Zilver | 10,5 | Lijnolie | 0,93 |
| Goud | 19,3 | Terpentijnolie | 0,87 |
| Platina | 21,45 | IJs bij 0°C | 0,917 |
| Uranium | 18,7 | IJs bij -50°C | 0,908 |
| Lood | 11,34 | Eikenhout | 0,78 |
| Zink | 7,14 | Vurenhout | 0,58 |
| | | Grond | circa 1,25 |

Gewicht 1 dm³ platina = gewicht 214 dm³ glaswol
 1 kg platina = 0,047 dm³
 1 kg glaswol = 10 dm³

Gewicht van 1 m³ van gasen in kg :

| | | | |
|----------------------------|-------|------------------------------|--------|
| Lucht | 1,293 | Waterstof (H ₂) | 0,0899 |
| Zuurstof (O ₂) | 1,43 | Chloor | 3,22 |
| Stikstof (N ₂) | 1,25 | Helium | 0,1785 |
| Koolzuurgas | | Waterdamp (H ₂ O) | 0,80 |
| (CO ₂) | 1,98 | | |

Alles bij 0°C en 760 mm kwikdruk.

s.g. van water bij verschillende temperatuur

| | | | | | |
|-----|-----------|-----|-----------|-------|-----------|
| 0°C | = 0,99987 | 4°C | = 1,00000 | 20°C | = 0,99823 |
| 3°C | = 0,99999 | 5°C | = 0,99999 | 50°C | = 0,98810 |
| | | | | 100°C | = 0,95840 |

Soortelijke warmte

Bij het voorgaande is vastgesteld dat om 1 kg water 1° in temperatuur te doen stijgen 1 kcal nodig is. De vraag doet zich nu voor : wanneer men 1 kg van een andere stof 1°C wil verwarmen, is daarvoor dan ook 1 kcal nodig ?

We kunnen twee gelijke hoeveelheden water en olie gaan verwarmen met dezelfde begintemperatuur door middel van bijv. 2 gelijke gasvlammen. We zullen dan bemerken dat de olie sneller in temperatuur stijgt dan het water. Met andere woorden de olie heeft voor 1° stijging minder warmte nodig dan het water. De soortelijke warmte (s.w.) van olie is dus kleiner dan die van water..

Onder de soortelijke warmte van een stof verstaat men de hoeveelheid warmte die nodig is om 1 kg van die stof 1°C in temperatuur te doen stijgen.

Men moet er vooral op letten dat er in deze definitie sprake is van 1 kg van de stof en niet van 1 dm³.

De s.w. van water is blijkbaar 1, namelijk 1 kg water 1° stijgen, nodig 1 kcal.

In de volgende tabel staat de soortelijke warmte van een aantal stoffen en vloeistoffen vermeld.

| | | | |
|-----------|--------|-------------|-------|
| Water | 1,00 | Glas | 0,18 |
| Alcohol | 0,58 | Ketelsteen | 0,19 |
| Kwik | 0,0033 | Koper | 0,091 |
| Glycerine | 0,58 | Lood | 0,031 |
| Olie | 0,48 | Tin | 0,054 |
| Zink | 0,092 | IJs | 0,50 |
| Hout | 0,45 | Asbest | 0,18 |
| Lucht | 0,24 | IJzer | 0,111 |
| | | Grond circa | 0,5 |

Nodig voor 1°C verhogen : 1 kg water = 1 kcal
 1 kg ijzer = 0,12 kcal
 1 kg koper = 0,091 kcal

Voor 1 kg water en voor 11 kg koper is dezelfde warmte nodig voor dezelfde temperatuursverhoging.

Warmte-overdracht

Warmte-overdracht kan slechts plaatsvinden indien tussen twee plaatsen een temperatuurverschil aanwezig is. De warmte plant zich hierbij voort van een plaats met hogere temperatuur, naar een plaats met een lagere temperatuur. De overdracht gaat sneller naarmate het temperatuurverschil groter is.

De overdracht van warmte kan op drie manieren geschieden :

- Door geleiding
- Door convectie of stroming
- Door straling of radiatie.

a. Overdracht door geleiding. Overdracht treedt op als het ene einde van een koperen staaf boven een vlam wordt verwarmd, dan worden langzamerhand ook de andere delen van de staaf warmer.

In de stooktechniek heeft overdracht door geleiding plaats, als gloeiende brandstofwarmte afgeeft aan de tegen de brandstof aanliggende ketelwand. Ook de warmte-overdracht door de verwarmde keteldelen naar de waterzijde geschiedt door geleiding.

b. Warmte-overdracht door convectie of stroming. Convectie of stroming van warmte door een vloeistof of door de lucht is toe te schrijven aan het verminderen van het s.g. bij verwarmen. Verwarmd men een bak met water aan de onderkant, dan wordt het water plaatselijk warm. Dit water heeft een kleiner s.g. dan de rest en stijgt daardoor op.

In de stooktechniek wordt convectie-overdracht verkregen door de gassenstroom die met de keteldelen in aanraking komen en door de waterstroom, die aan de andere zijde van deze keteldelen de warmte weer opneemt.

Bij kasverwarming wordt deze warmte door de waterstroom afgegeven aan de verwarmingsbuizen en opgenomen door de omringende lucht.

Het kenmerkende van de warmte-overdracht door convectie is, dat de warmte-overdracht plaats heeft door bewegende deeltjes. De overdracht zal intensiever zijn naarmate de deeltjes heftiger in beweging zijn. Een voorbeeld is de grotere overdracht per zelfde oppervlak bij de moderne ketel, waar de gassen met hogere snelheid door de ketel worden gevoerd. Dit gaat met een overdrukventilator. De versnelde circulatie in de ketel van het water en in de verwarmingsbuizen met een pomp bevordert eveneens de overdracht door convectie.

c. Warmte-overdracht door straling. Een voorbeeld van warmte-overdracht door straling is de verwarming van het aardoppervlak door de zon. Tussen de aarde en de zon bevindt zich een ledige ruimte. De zonnewarmte kan dus niet door bepaalde deeltjes worden overgebracht. Ook een kachel straalt warmte uit. Opent men de deur van een stookruimte van een oven,

dan straalt de opening een geweldige warmte uit. Deze warmte bereikt ons niet door geleiding of convectie. De voortplanting vindt dus niet door de lucht of door een andere stof plaats. De intensiviteit van de warmtestraling is sterk afhankelijk van de temperatuur van het lichaam dat warmte uitstraalt. Bij verhoging van de temperatuur neemt de uitstraling zeer sterk toe. Zo is bij verwarming in kassen de overdracht door straling op grond en gewas aanzienlijk hoger bij een watertemperatuur van 90°C , dan bijvoorbeeld bij water van 45°C .

De sterkte van de warmtestraling is eveneens afhankelijk van de aard van het oppervlak dat uitstraalt. Een dof zwart oppervlak straalt meer uit dan een wit oppervlak. Ook in de vuurhaard kan de warmte-overdracht door straling worden bevorderd door de kleur van de vlam. Een hel witte vlam geeft minder overdracht door straling dan een donkerder rode vlam, hetgeen merkbaar wordt door een rookgastemperatuurverlaging bij dezelfde hoeveelheid brandstoftoevoer.

1. Geleiding van warmte vindt plaats door de stof zelf.
2. Convectie van warmte vindt plaats door middel van een tussenstof, bijv. wervelende rookgassen en luchtcirculatie.
3. Warmtestraling vindt plaats zonder tussenstof. De straling wordt omgezet in warmte als het een oppervlak treft.

Geleiding van warmte

Niet alle stoffen geleiden de warmte even gemakkelijk. Houdt men een speld aan een uiteinde met de hand vast, terwijl men het andere einde in een vlam houdt, dan is men snel genoodzaakt de speld los te laten, omdat het uiteinde wat men vasthoudt te heet wordt.

Een lucifer echter kan men blijven vasthouden, terwijl het andere uiteinde brandt. Hout geleidt de warmte dus slecht. Metalen geleiden de warmte goed. Er is echter in dit opzicht ook nog verschil tussen de metalen onderling. De warmte-geleiding is dus afhankelijk van het soort materiaal. Deze afhankelijkheid wordt uitgedrukt in de warmtegeleidingscoëfficiënt. De warmtegeleidingscoëfficiënt is het aantal kcal dat per 1°C temperatuurverschil, per 1 m^2 wandoppervlak, per meter wanddikte, per uur door de wand wordt geleid = kcal/h $^{\circ}\text{C}$.

Van een aantal materialen is het geleidingsvermogen als volgt :

| | | | |
|------------|-------|------------|-------------|
| Aluminium | 190 | Roet | 0,03 |
| IJzer | 50 | Ketelsteen | 2,00 |
| Zilver | 338 | Lood | 30 |
| Glas | 0,67 | Water | 0,5 |
| Asbest | 0,16 | Eternite | 1,6 |
| Lucht | 0,02 | Grond | 0,45 - 2,00 |
| Slakkenwol | 0,05 | IJs | 1,5 |
| Glaswol | 0,035 | Grond | ? |
| Hout | 0,18 | | |

Verhouding weerstand warmtegeleiding bij dezelfde dikte van de stof :

| | | | |
|------------|----|---------|-------|
| IJzer | 1 | Teer | 560 |
| Ketelsteen | 30 | Vliegas | 1.100 |
| | | Roet | 1.850 |

Uit deze weerstandstabel kunnen we opmaken dat teer, vliegas en roet een ernstige belemmering zijn, evenals in iets mindere mate ketelsteen bij de warmte-overdracht van rookgaszijde naar waterzijde in de ketel. Ook in de volgende vergelijking komt dit sterk tot uitdrukking.

1 mm dikte roet = 5 mm dikte asbest = 60 mm dikte ketelsteen = 1.800 mm ijzer = 12.000 mm koper, geven per m^2 oppervlak evenveel warmte door bij dezelfde temperatuurverschillen.

KETELS

Voor het gebruik van ketels zijn geen algemene richtlijnen aan te geven, omdat die afhankelijk zijn van het type ketel. Hieronder worden enige soorten ketels genoemd met hun omschrijvingen.

Warmwaterketel. De waterruimte staat in open verbinding met de lucht. Er kan een watertemperatuur worden onderhouden van maximaal 99°C , zonder dat stoom wordt gevormd.

Heetwaterketel. De waterruimte staat hier niet in open verbinding met de lucht. Indien in deze ketel een hogere druk wordt onderhouden dan 0,5 ato, moet hij voldoen aan de wisen, gesteld in de Stoomwet. Bij een lagere druk dan 0,5 ato behoren de eisen van het Stoombesluit in acht te worden genomen.

Lagedrukstoomketel. De absolute stoomdruk overschrijdt de atmosferische druk met ten hoogste 0,5 atm, dus de maximale druk is 1,5 ata, ofwel 0,5 ato.

Stoomketel. Hierin wordt een druk onderhouden die hoger is dan 0,5 ato, afhankelijk van de constructie, het materiaal en plaatdikten; één en ander staat weer onder controle van de Dienst voor het Stoomwezen.

Materiaal

Ten aanzien van materiaal en uitvoering voor ketels die een druk van 0,5 ato niet overschrijden, worden geen speciale eisen gesteld. De fabrikant bepaalt hier in feite zelf de kwaliteit en constructie. Hij moet zich wel houden aan de veiligheidsnormen, genoemd in het Stoombesluit; dit om te voorkomen dat er gevaarlijke produkten op de markt zouden verschijnen.

Controle

Ketels voor een hogere druk dan 0,5 ato mogen pas worden gefabriceerd, wanneer de constructie met berekeningen is voorgelegd aan de Dienst voor het Stoomwezen. Deze dienst zal de materialen keuren en waarmerken (deze waarmerken worden in het later te verstrekken stoomboek vermeld). Bovendien wordt tijdens de fabricage controle uitgeoefend op het bewerken en lassen van het materiaal en op het zogenaamde "afpersen" van de ketel. Dan wordt de ketel van een stempelplaat voorzien, waarop vermeld wordt de maximaal toegestane werkdruk, het ketelnummer en het jaar van fabricage. De plaat wordt na bevestiging door de ambtenaar van het Stoomwezen zodanig gemerkt dat verwijderen of vervangen, zonder dat dit bij controle kan worden vastgesteld, niet mogelijk is. De gegevens van de stempelplaat moeten overeenkomen met de gegevens in het Stoomboek. Na plaatsing van de ketel op het bedrijf wordt nogmaals controle uitgeoefend of de vereiste appendages zijn gemonteerd en of de installatie is uitgevoerd volgens de voor de Stoomwet geldende eisen. Deze keuring en controle worden, zolang de ketel boven een druk van 0,5 ato werkt, om de twee jaar herhaald.

Keteltype

De vorm van een ketel is afhankelijk van de wijze van doorvoer van de ver-

brandingsgassen, de capaciteit en de druk, de beschikbare ruimte en de brandstof die zal worden gebruikt. Tijdens de periode dat in de tuinbouw vaste brandstoffen werden gestookt, waren voor cokes overwegend gietijzeren ledenketels in bedrijf, met als typen de bovenafbrand- en onderafbrandketel.

Voor "nootjes" werden gietijzeren en plaatstalen ketels vervaardigd met speciale roosterconstructies en dikwijls nog met een afzuig- of onderwindventilator. Stukkolen, die aanvankelijk met de hand en later ook wel automatisch werden gestookt, trof men in de tuinbouw aan. Deze werden vaak verstoekt in ketels die in de industrie en aan boord van stoomschepen dienst hadden gedaan als stoomketels met een druk van 12 - 16 ato. Uit de industrie waren dit Cornwall-, Lancashire- en enkele andere typen ketels, terwijl van de Scheepvaart overwegend Schotse ketels werden betrokken. Alvorens bijzonderheden te vermelden van deze typen ketels volgen enige begrippen die men bij vrijwel elke ketel onderscheidt :

V.O. Het verwarmd oppervlak (V.O.) is het aan de gaszijde gemeten oppervlak van de keteldelen die enerzijds met hete gassen in aanraking komen en anderzijds door water bespoeld worden. Ook de term Verwarmend oppervlak is gangbaar; hieronder verstaat men het aan de waterzijde gemeten oppervlak van de keteldelen voorzover er aan de andere zijde hete gassen langs stromen. Zowel het verwarmd oppervlak als het verwarmend oppervlak wordt verkort als V.O. geschreven. De Stoomwet houdt rekening met beide aanduidingen. Omdat het verschil in grootte bij sommige ketels + 10% bedraagt, kan de verkorte aanduiding V.O. aanleiding geven tot misverstand.

Waterinhoud. De grootte van de waterinhoud is van belang bij sterk wisselende warmte- of stoomafname. Bij een plotselinge toeneming van het warmteverbruik; in de tuinbouw veroorzaakt door sterke daling van de buitentemperatuur, dient de waterinhoud van de ketel, met een temperatuur van + 90°C, als "voorraad" om in eerste instantie aan de grotere afname te kunnen voldoen. Hoe groter de reserve, des te beter de warmteregeling van de te verwarmen ruimten mogelijk is. Tevens zal deze grote waterhoeveelheid niet zo in temperatuur dalen door invloed van het koudere retourwater als dit met een kleine hoeveelheid water het geval is. Ook voor het ketelmateriaal zal een hoge watertemperatuur gewenst zijn (zie "Corrosie bij verbranding").

Stoomruimte. De stoomruimte die zich uiteraard boven de waterruimte bevindt bij gebruik van de ketel voor stoomproductie, moet zodanige afmetingen hebben, dat enige verandering van het waterpeil in de ketel zonder bezwaar kan worden toegelaten. Een te laag waterpeil geeft het gevaar van oververhitting van bepaalde keteldelen, een te hoog waterpeil kan tot gevolg hebben dat er water met de stoom wordt meegevoerd. De speling die dit waterpeil heeft, is dus afhankelijk van de afstand tussen bovenzijde ketel en laagst toegestane waterpeil (L.T.W.). Hoe groter deze afstand is, zoveel gunstiger zal de kwaliteit van de stoom zijn (droog).

Vuurhaardbelasting. Onder vuurhaardbelasting verstaat men de totaal in de vuurhaard toegevoerde energie, bestaande uit warmte-ontwikkeling van de brandstof en de warmte-inhoud van de in de vuurhaard toegevoerde verbrandingslucht, uitgedrukt in kilocalorieën per m³ vuurhaard-inhoud per uur, kcal/m³h. Afhankelijk van de vuurhaardconstructie kan een hogere of lagere vuurhaardbelasting worden toegelaten. De vuurhaardbelasting is eveneens afhankelijk van de soort brandstof en de wijze waarop deze wordt verstoekt.

Ketelbelasting. Onder ketelbelasting verstaat men de hoeveelheid warmte of kilogrammen stoom die een ketel per uur produceert. Men kan onderscheid maken tussen normale belasting en de maximale of piekbelasting. De normale belasting is die waarbij het rendement het hoogst is. Het verschil tussen beide belastingen zal bij de diverse ketels die in de tuinbouw worden gebruikt, van zeer uiteenlopende aard zijn. Bij zogenaamde moderne ketels is dit afhankelijk van de waarde die de fabrikant stelt als normale belasting. Deze is uit een oogpunt van prijs en concurrentie vrijwel of geheel gelijk aan de maximum belasting. Bij aankoop verdient het daarom aanbeveling naar de gegevens van de specifieke belasting te vragen, dat is warmteproductie in kcal, per m² V.O., per uur - kcal/m² h. Bij de in de tuinbouw aangekochte industrie- en scheepsketels wordt de prijs meestal per m² V.O. bepaald. Aan de hand hiervan kunnen de koper en zijn adviseur zelf bepalen in welke mate de ketelbelasting aangepast wordt aan de benodigde hoeveelheid warmte. Door de relatief lage belasting van deze ketels ten opzichte van de moderne ketels, is een overbelasting meestal beter haalbaar, mits schoorsteenafmetingen enz. voldoende zijn.

Ketelweerstand. Onder ketelweerstand-aan-de-waterzijde verstaat men in de centrale verwarming de weerstanden die de circulatiepomp van de verwarming ondervindt bij de waterverplaatsing door de ketel. Deze weerstand is bij alle vlampijpketels zo gering, dat deze vrijwel nooit ter sprake komt. Anders is het gesteld met de weerstand die de gassen ondervinden in hun weg van brander naar rookkanaal.

Deze weerstand-aan-rookgaszijde bepaalt de hoogte van de schoorsteen, indien met natuurlijke trek wordt gestookt en de druk van de ventilator, indien met afzuig- of overdruksysteem wordt gestookt.

In het eerste geval zal een maximum ketelweerstand van 7 mm/wk, waarbij dan nog de rookkanaal- en schoorsteenweerstand komen, een nog redelijke schoorsteenhoogte mogelijk maken. Bij hogere weerstanden zal gebruik gemaakt moeten worden van een ventilator. Het is een taak van de ketelconstructeur om aan de hand van ketelafmetingen en ketelbelasting (dus hoeveelheid rookgassen) de weerstand te bepalen. Dat deze weerstand aan de branderfabrikant bekend moet zijn is duidelijk, aangezien deze hieraan de ventilatiedruk en windkastconstructie en bemetseling moet aanpassen. Door de zeer uiteenlopende ketelafmetingen en belastingen van de diverse fabrikaten, lopen ook de weerstanden zeer uiteen, hetgeen ook tot uitdrukking komt in het vermogen van de elektromotor van de ventilator.

Een hoge ketelbelasting betekent dus tevens een hoger stroomverbruik.

Grondoppervlak. Het grondoppervlak dat een ketel inneemt is van belang voor de kosten van fundamente en afmetingen van het ketelhuis.

Rendement. Onder rendement of nuttig effect verstaat men de verhouding van warmte, die het water of de stoom opneemt, tot de warmte welke toegevoerd wordt in de brandstof. Dit rendement kan worden uitgedrukt in procenten van de verbrandingswarmte of in procenten van de stookwaarde van de brandstof.

Toegankelijkheid van de ketel. Voor een goede reiniging, inspectie en eventuele reparatie, is het gewenst dat een ketel zowel in de waterruimte als in de stookruimte (vuurgang en vlamkast) goed toegankelijk is, anders kan bijv. het vervangen van de vlampijpen een probleem worden.

Gasdichtheid. Vooral bij die ketels waarin gestookt wordt met overdruk in de vuurhaard, maar eveneens in de andere gevallen, dienen rookkasten aan voor- en achterzijde van de ketel, evenals de explosie- en schoon-

maakluiken, absoluut gasdicht af te sluiten. Bij overdruk komt bij lekage veel gas en roet in het ketelhuis, terwijl bij afzuig- of natuurlijke trek, koude lucht in de hete gassen wordt aangezogen, hetgeen een lager rendement tot gevolg heeft (lager CO_2), doordat deze lucht in de ketel warmte opneemt en zonder enige dienst te hebben gedaan, met deze warmte de schoorsteen verlaat.

Warmte-overdracht in ketels

In een ketel is de warmte-overdracht zeer ingewikkeld. De overdracht geschiedt door straling, convectie en geleiding.

Overdracht door straling vindt overwegend plaats in de vuurhaard en vlamkast van de ketel. De overgebrachte warmte door straling is recht evenredig met het verschil van de 4^e macht van de absolute temperaturen (absolute temperatuur = temperatuur in $^{\circ}\text{C} + 273$), van respectievelijk het uitstralende en het bestraalde lichaam. Verder is zij afhankelijk van de aard van het oppervlak.

Stralingsoverdracht :

$$Q_s = C \times F \times \left\{ \left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right\} \text{Kcal per uur}$$

waarin C = stralingsfactor, die bij ketels op 4 gesteld kan worden.

F = oppervlak in m^2

T_1 = absolute temperatuur van uitstralend lichaam

T_2 = absolute temperatuur van bestraald lichaam.

Deze factoren gelden voor vaste lichamen, bijv. : het vuur straalt warmte uit op de ketelwand. Behalve de stralende warmte van een kolenlaag is de straling van het koolzuurgas en de waterdamp in de gassen van belang. De warmte die door deze gassen uitgestraald wordt, hangt af van de druk van het stralende gas en de dikte van de gaslaag. Wat de invloed van het temperatuurverschil tussen gas en wand betreft gelden andere wetten dan bij straling tussen vaste lichamen. Uit het voorgaande blijkt, dat bij stralingsoverdracht de temperatuur van het uitstralende lichaam en van het gas zeer belangrijk zijn ; ook de aard van het bestraalde lichaam is hierbij van belang. Zo zal een gemetselde muur in de vuurhaard veel warmte die deze toegestraald krijgt, weer terugstralen, zodat een slechtere overdracht ontstaat, mede doordat deze muur een veel hogere temperatuur zal bezitten dan de ketelwanden. Deze wanden zullen, indien geen ketelsteen aanwezig is, een circa 10°C hogere temperatuur bezitten dan de temperatuur van het water waarmee zij in aanraking zijn.

Overdracht door convectie geschiedt overwegend in de kanalen tussen leden bij ledenketels en in de vlampijpen bij vuurgang-vlampijpketels. De hoeveelheid warmte door convectie overgebracht is evenredig met het verwarmde oppervlak in m^2 , met het temperatuurverschil tussen rookgassen en wand, respectievelijk tussen wand en water, en hangt af van de toestanden van rookgassen en water. Ook is de snelheid en werveling van de gasstroom van invloed op de overdracht. Zo neemt de overdracht in gladde buizen iets minder dan evenredig met de gassnelheid toe en heeft een sterke menging van de gassen (turbulente stroming) eveneens een verhoging van de overdracht ten gevolge. Het onderhouden van een goede circulatie in de waterruimte helpt mede de overdracht door convectie. Warmteoverdracht door geleiding. De warmte, die per uur van één zijde van de ketelwand naar de andere (koudere) zijde wordt doorgeleid, is evenredig met het oppervlak in m^2 , met het temperatuurverschil tussen de twee wandoppervlakken, met het geleidingsvermogen van het materiaal waaruit de wand bestaat en omgekeerd evenredig met de dikte van de wand in m. Ge-

zien de geringe geleidingsweerstand van ijzer heeft de dikte van de ketelplaat geringe invloed op deze overdracht. Een vervuilde ketelplaat, roet aan rookgaszijde en ketelsteen aan waterzijde zal echter de warmte veel slechter geleiden; immers de warmtegeleidingsweerstand verhouden zich ongeveer als :

| ijzer | ketelsteen | teer | roet |
|-------|------------|------|-------|
| 1 | 30 | 560 | 1.850 |

waarbij vooral roet een ernstige belemmering voor de warmte-overdracht vormt.

In de reeks BLOEMENINFORMATIE van het Proefstation voor de Bloemisterij te Aalsmeer, het Proefstation voor de Groenten- en Fruitteelt onder Glas te Naaldwijk en de Consulentschappen voor de Tuinbouw te Aalsmeer en Naaldwijk zijn beschikbaar :

| | | |
|--|---|------|
| 1. De teelt van snijgroen (Asparagus plumosa "Nanus"), C. Mol | f | 3,50 |
| 2. Teelt van Anthurium (andreaeanum), J.v.d. Steen, 2e druk | f | 3,50 |
| 3. Teelt van herfstchrysanthen | f | 3,50 |
| 4. Teelt van kasrozen, 2e druk verschijnt januari 1975 | f | 5,= |
| 6. Invloed van temperatuur en licht op groei, bloei en knol- vorming bij fresia | f | 7,50 |
| 5. Teelt van fresia, verschijnt januari 1975 | f | 5,= |

BESTELLINGEN door overschrijving van het te betalen bedrag met vermelding van het gewenste op girorekening 29.31.10 ten name van het Proefstation, Zuidweg 38 te Naaldwijk.

Gehele of gedeeltelijke overname van het in deze uitgave gepubliceerde
UITSLUITEND met toestemming van het Proefstation (afdeling Publiciteit).

In de INFORMATIEREELS van het Proefstation voor de Groenten- en Fruitteelt onder Glas en het Consultantschap voor de Tuinbouw te Naaldwijk zijn tot heden verschenen:

| | | |
|--|---|-------------|
| 1. Plantenfysiologie in de tuinbouw, ing. D. Klapwijk | | Uitverkocht |
| 2. De mogelijkheden van éénmalig oogsten van augurken, ir. A.A.M. Sweep en P.H.G. Boonen | f | 1,- |
| 3. Literatuuronderzoek over rand bij sla, Ma. H.H. v.d. Hoeven en ir. A.J. Vijverberg | | Uitverkocht |
| 4. Problemen bij de teelt van meloenen, ir. A.J. Vijverberg | | Uitverkocht |
| 5. Paprikateelt onder glas, 3e druk | f | 3,50 |
| 6. Het zoutgehalte van het oppervlaktewater in de Noordplaspolder, ing. C. Sonneveld en J. van Beusekom | f | 2,50 |
| 7. Samenvattingen van meet- en beoordelingsrapporten van gasgestookte ketelinstallaties, J. Meijndert | f | 2,50 |
| 8. Teelt van herfsttomaten, 2e druk | f | 3,50 |
| 9. Teelt van herfstchrysanten (zie "Bloemeninformatie") | | |
| 10. Teelt van herfstkomkommers, 2e druk | f | 3,50 |
| 11. Opkweek van tomaten, 2e druk | f | 3,50 |
| 12. De groenteteelt onder plastic op Sicilië | f | 3,50 |
| 13. De opneming door planten van fluor uit de grond | f | 3,50 |
| 14. Teelt van lichtverwarmde- en koude tomaten | f | 3,50 |
| 15. Bedrijfseconomische facetten van verlenging van de opkweekperiode en de teelt in plastic potten van stooktomaten | f | 3,50 |
| 16. Schaduwbeplating, ing. T. Dijkhuizen | f | 25,- |
| 17. Watervoorziening bij teelten onder glas, ing. J.J. v. Schie en R. de Graaf | | Uitverkocht |
| 18. Cultuurtechnische aspecten van de inrichting van glastuinbouwbedrijven | f | 5,- |
| 19. Druiventeelt, ing. P.A. Kruijk | f | 2,50 |
| 20. Lichtafhankelijke klimaatregeling voor kassen, ir. D. Bokhorst, A. van Drenth en G.P.A. van Holsteyn | | Uitverkocht |
| 21. Toediening van koolzuurgas aan komkommers, ing. J.A.M. van Uffelen | f | 3,50 |
| 22. Toepassing van herbiciden in de glastuinbouw, ing. W. den Boer | f | 3,50 |
| 23. Toepassing van aardgas voor verwarming en CO ₂ -toediening (2 ^e druk) | f | 3,50 |
| 24. Straling en Watergift | f | 3,50 |
| 25. Beter overweg met de klimaatregeling | f | 2,50 |
| 26. Minimale en optimale bedrijfsgrootte in de glastuinbouw, A.J. Schoppers | f | 2,50 |
| 27. Teelt van koolrabi onder glas, J.G.J. Janssen en J.J.G. Boots | f | 3,50 |
| 28. Meet- en stooktechniek voor de glastuinbouw, ing. J. Meijndert en J.B. Verveer, 2e druk | f | 3,50 |
| 29. Teelt van Aubergine, verschijnt ± januari 1975 | f | 4,- |