

(publ. 528-530)

# **klimaat ventilatie verwarming**

**IN WONINGEN EN GEBOUWEN**

**IG-TIO**

**INSTITUUT VOOR MILIEUHYGIENE EN GEZONDHEIDSTECHNIEK AFDELING BINNENKLIMAAT**

---

---

Niets uit deze uitgave mag worden veeelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van het Instituut voor Milieuhygiene en Gezondheidstechniek TNO

## VOORWOORD

Het is ons een genoegen U hierbij het boekje van de vierde TVVL-TNO-lezingendag te kunnen aanbieden. Ditmaal, in 1974, werd de samenstelling van de dag verzorgd door twee TNO-instituten:

- Afdeling Warmte- en Koudetechniek van het Centraal Technisch Instituut TNO te Apeldoorn en
- Afdeling Binnenklimaat van het Instituut voor Milieuhygiene en Gezondheidstechniek TNO te Delft.

Evenals voor de eerste TVVL-TNO-dag komen de onderwerpen voor deze vierde dag voort uit de onderzoeksfeer. Uittreksels uit de voordrachten en de discussies zijn gepubliceerd in *Klimaatbeheersing* 4 (1975) nr. 2 p. 52/69.

Delft, november 1974

Ir. J. Claus  
Ir. E. van Gunst

## INHOUD

pag. 7

### DE WERKING VAN VERTICALE VENTILATIEKANALEN BIJ NATUURLIJKE VENTILATIE IN DE HOOGBOUW EN IN DE MIDDELHOOGBOUW

*Ing. H. Ph. L. den Ouden en ing. W. F. de Gids*

Afdeling BINNENKLIMAAT van het Instituut voor Milieuhygiene en Gezondheidstechniek TNO te Delft.

Beschreven wordt een desbetreffend onderzoek in een gebouw met vier en een gebouw met tien woonlagen. Terugslog en andere bezwaren komen in de hoogbouw in veel sterkere mate voor dan in de middelhoogbouw. De resultaten van het onderzoek zijn mede verwerkt in de ontwerp-norm NEN 1087 betreffende ventilatie van woningen (IG-TNO Publikatiernr. 528).

TNO 8578

pag. 25

### DRIE ONDERZOEKEN NAAR DE WERKING VAN KANALEN VOOR NATUURLIJKE VENTILATIE, WAARBIJ NAGEGAAN IS DE INVLOED VAN DE PLAATS EN DE HOOGTE VAN DE UITMONDING, VAN DE BEBOUWING IN DE OMGEVING EN VAN DE VORM VAN DE UITMONDING

*Ing. W. F. de Gids en ing. H. Ph. L. den Ouden*

Afdeling BINNENKLIMAAT van het Instituut voor Milieuhygiene en Gezondheidstechniek TNO te Delft.

In de windtunnel is bepaald hoe hoog de uitmondingen bovendaks moeten liggen om nog van afvoer verzekerd te zijn. Daarbij zijn ook situaties onderzocht waarbij hoogbouw in de naaste omgeving aanwezig is. Tenslotte is de eventuele bruikbaarheid van kappen bij vele aanstroomrichtingen onderzocht. (IG-TNO Publikatiernr. 529).

TNO 8579

pag. 43

### DE VERGELIJKING VAN DE VAN DAG TOT DAG BEREKENDE WARMTEBEHOEFTE VAN EEN BEPAALEN WONING MET HET VAN DAG TOT DAG GEMETEN WARMTEVERBRUIK

*R. S. Soeleman*

Afdeling BINNENKLIMAAT van het Instituut voor Milieuhygiene en Gezondheidstechniek TNO te Delft.

De warmtebehoefte is van dag tot dag berekend, gegrond op alle beschikbare meteorologische en bouwkundige gegevens, waaronder directe en diffuse straling, dakoverstekken e.d.; alleen de windinvloed is in de berekening buiten beschouwing gelaten. De verschillen tussen berekende en gemeten warmtebehoefte tonen in belangrijke mate hetzelfde verloop als de windsnelheid. Nader onderzoek is nodig. (IG-TNO Publikatiernr. 530)

TNO 8580

HET BRANDSTOFVERBRUIK EN HET GEDRAG VAN  
VERWARMINGSINSTALLATIES IN WONINGEN EN  
ANDERE GEBOUWEN

pag. 53

*Ing. W. Adam*

Afdeling WARMTE- EN KOUDETECHNIEK van het Cen-  
traal Technisch Instituut TNO te Apeldoorn.

TNO 8581

Van een aantal gelijksoortige gebouwen werd de warmte-  
behoefte op drie wijzen geschat of bepaald:

- a. Op grond van gegevens van het gebouw uit een enquête.
  - b. Op grond van ter plaatse opgenomen gebouw- en  
installatiegegevens.
  - c. Uit verbruikscijfers welke ter beschikking werden gesteld.
- Vaak waren er grote verschillen tussen a of b en c. In een  
aantal gevallen werd de oorzaak van de verschillen nage-  
gaan. Mogelijkheden worden aangegeven tot het bereiken  
van besparingen op het verbruik.

TOESTELGEDRAG EN GEBRUIKSRENDEMENT

pag. 67

*Ing. D. J. van der Heeden*

Afdeling WARMTE- EN KOUDETECHNIEK van het Cen-  
traal Technisch Instituut TNO te Apeldoorn.

TNO 8582

Het gebruiksrendement van een toestel is lager dan het  
vollastrendement als gevolg van stilstandsverliezen. Analyse  
van de stilstandsverliezen van gasboilers en CV-ketels voor  
woningverwarming leert dat de grootte van deze stilstands-  
verliezen lager is dan vroeger veelal werd aangenomen.  
Het gebruiksrendement van bestaande CV-ketels ligt slechts  
3 à 5% lager dan het vollastrendement.

Mogelijkheden worden genoemd om het gebruiksrende-  
ment voor nieuw te ontwerpen toestellen belangrijk te  
verhogen.

ONTWIKKELINGSTENDENZEN IN  
VERWARMINGSSYSTEMEN

pag. 81

*Ir. J. Claus*

Afdeling WARMTE- EN KOUDETECHNIEK van het Cen-  
traal Technisch Instituut TNO te Apeldoorn.

TNO 8583

Op basis van de gedachte, dat de ontwikkeling van ver-  
warmingssystemen in de komende jaren zal worden bepaald  
door brandstof- en warmte-economie, wordt nader inge-  
gaan op ontwikkelingstendenzen, die hiervan het gevolg  
zullen zijn en op punten die een nader onderzoekbe hoeven.  
Speciale aandacht wordt besteed aan invloedsfactoren,  
zoals het verminderen van het warmteverbruik en het ver-  
beteren van de efficiency in de warmteproductie en -af-  
gifte. Ook alternatieve energiebronnen komen ter sprake.

WERKING VAN VERTICALE VENTILATIEKANALEN  
BIJ NATUURLIJKE VENTILATIE IN HOOGBOUW EN  
MIDDELHOOGBOUW

*Ing. H. Ph. L. den Ouden en Ing. W. F. de Gids*

## 1. INLEIDING

De luchtverversing in woningen vindt tot op heden als regel plaats uitsluitend onder invloed van natuurlijke krachten. Deze krachten zijn de drukverschillen onder invloed van de wind over gevels en kanalen en de thermische trek onder invloed van temperatuurverschillen tussen 'binnen' en 'buiten'.

De hierdoor veroorzaakte ventilatie wordt aangeduid als natuurlijke ventilatie.

De onvermijdelijke variatie in grootte en richting van de drijvende krachten vindt zijn weerslag in de ventilatie.

Tot een bepaalde mate is de veroorzaakte onregelmatigheid in de luchttransporten te accepteren. Aanvaardbaar moet worden geacht dat alleen betrekkelijk uitzonderlijke meteorologische omstandigheden het binnenklimaat in zekere mate verstoren.

In de praktijk blijken echter soms ook bij minder exceptionele weersomstandigheden gerechtvaardigde klachten te bestaan over de werking van verticale ventilatiekanalen, zoals deze zijn voorgeschreven voor een aantal ruimten, t.w. keuken, toilet en badruimte.

Het zal duidelijk zijn dat daarbij ook verschillen zullen kunnen optreden in de werking van gecombineerde kanalen in de hoogbouw en de middelhoogbouw, ten gevolge van het verschil in lengte van de kanalen en van de gebouwhoogte. Tot de hoogbouw worden in deze voordracht woongebouwen gerekend waarin de vloer van de hoogste woonlaag op meer dan 13 m boven peil is gelegen.

## 2. DOEL

Het doel van het onderzoek was de werking van gecombineerde kanalen in de hoogbouw en de middelhoogbouw te vergelijken, en een indruk te krijgen tot welke bouwhoogte de werking van gecombineerde natuurlijke ventilatiekanalen voldoende geacht kan worden.

### 3. PRINCIPE VAN NATUURLIJKE VENTILATIEKANALEN

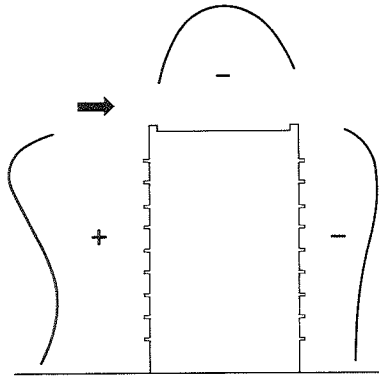


Fig. 1  
De drukverdeling om een vrijstaand gebouw ten gevolge van de wind

De gewenste afvoerrichting wordt bereikt, als de druk aan de onderzijde van het kanaal hoger is dan die bij de uitmonding.

Wij beschouwen eerst de situatie aan de instroomzijde en vervolgens die aan de uitstroomzijde.

Bij aanwezigheid van wind zal de druk aan de instroomzijde in de woning ergens liggen tussen de overdruk die op de naar de wind gekeerde gevel(s), de loefzijde, ontstaat en de onderdruk die zich aan de andere, de lijzijde, gelegen gevel(s) instelt.

Zien wij af van de invloed van gebouwen in de naaste omgeving, dan is de uitwendige relatieve drukverdeling ongeveer als in figuur 1 is aangegeven, ongeacht de hoogte van het gebouw.

Wel is bij hogere gebouwen het absolute drukniveau hoger dan bij gebouwen van geringere hoogte.

Dit is het gevolg van de toename van de windsnelheid met de hoogte en de grotere afstand tussen hoge gebouwen onderling.

Het drukniveau in de woning wordt bepaald door de verhouding van de openingen in de gevels. Zijn de ramen gesloten dan zal, daar de ondichtheden zoals raamkieren in de betrokken gevels globaal van gelijke orde van grootte zijn, het drukniveau zich instellen op een waarde ongeveer gelijk aan het gemiddelde van de drukken aan loef- en lijzijde (figuur 2a).

Is echter in de gevel aan de loefzijde een raam geopend, dan wordt de druk in de woning hoger en omgekeerd zal de druk bij het openen van een raam aan de lijzijde lager worden (figuur 2b).

Dit betekent verhoging respectievelijk verlaging van het transport door de ventilatiekanalen, waarop vooral bij geopende ramen overigens ook de lekken of openingen in de binnenwanden (stand van de binnendeuren) invloed hebben.

Daar de temperatuur binnen vrijwel altijd hoger is dan buiten wordt het drukverschil ten gevolge van de wind nog verhoogd met de thermische trek die door dit temperatuurverschil wordt veroorzaakt.

Wat de uitmonding betreft heeft men bij de hoge en middel-hoge woongebouwen vrijwel uitsluitend te maken met platte daken. De bestaande voorschriften over de plaats van de uitmonding in de Modelbouwverordening beantwoorden in dat geval redelijk aan hun doel. In de hierna volgende publicatie zal blijken dat dit voor steilere dakhellingen, zoals dikwijls in eengezinswoningen toegepast, anders ligt.

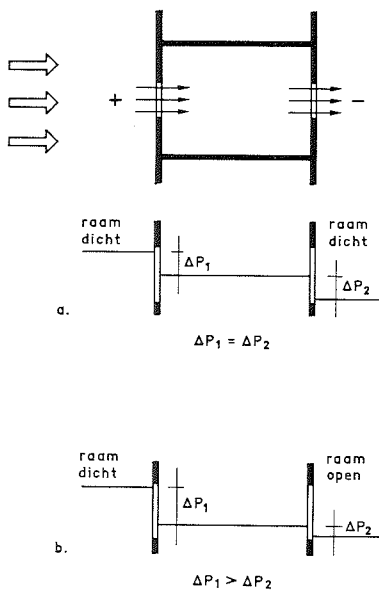


Fig. 2  
Het drukniveau in een gebouw is afhankelijk van de verhouding van de openingen in de gevels

Is door één of andere oorzaak, zoals een ongunstige plaats van uitmonding of een relatief laag drukniveau in de woning, het resulterende drukverschil over het kanaal van richting veranderd, dan vindt terugslag plaats met als gevolg klachten over verspreiding van geuren in de woning. Er zijn indicaties dat dit verschijnsel zich vaker voordoet dan vele bewoners zich bewust zijn.

#### 4. WERKING VAN GECOMBINEERDE KANALEN

De werking van een gecombineerd kanaal is in hoofdzaak dezelfde als bij een afzonderlijk kanaal.

Het gecombineerde ventilatiekanaal is opgebouwd uit een doorlopend hoofdkanaal, waarop per aangesloten ruimte een nevenkanaal uitmondt; alleen de hoogste verdieping heeft buitendaks een afzonderlijke uitmonding. Zie figuur 7b. Bij een gecombineerd kanaal is via het kanalenstelsel dus ook een onderlinge verbinding tussen de erop aangesloten woningen aanwezig. Door ongunstige combinaties van raamstanden is hierdoor transport van woning naar woning mogelijk.

Gevoelsmatig zijn de bezwaren van de bewoners tegen de gevolgen hiervan veel groter dan het geval is bij de terugslag van een enkelvoudig ventilatiekanaal.

#### 5. AANLEIDING TOT HET ONDERZOEK

Uit vroeger oriënterend onderzoek was al een en ander bekend over de werking van dergelijke gecombineerde kanalen in de praktijk.

Zo was uit een langdurig onderzoek van het ventilatiepatroon op de hoogste verdieping van een woongebouw met vier woonlagen gevonden dat over langere tijd beschouwd een redelijke werking van de ventilatiekanalen kon worden geconstateerd.

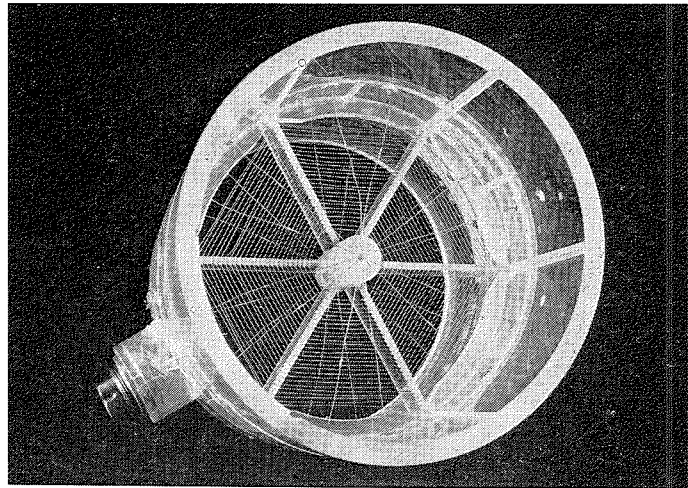
Echter betrof dit in feite geen gecombineerd kanaal, omdat het de hoogste verdieping was met een afzonderlijke afvoer naar buiten.

In een nog niet bewoond gebouw met 12 woonlagen, waarbij op één hoofdkanaal 12 keukens waren aangesloten, bleek de afvoer via dit kanaal bij een windsnelheid van ca. 7 m/s beslist onvoldoende.

Hoewel in dit laatste onderzoek het optreden van terugslag herhaaldelijk kon worden geconstateerd bestond nog onvoldoende informatie tot welke bouwhoogte over langere tijd nog een redelijke werking was te verwachten. Om over grootte en richting van het transport meer informatie te kunnen krijgen was het nodig eerst daartoe geschikte meetapparatuur te ontwikkelen.



Fig. 3  
De bij de metingen toegepaste  
volumestroommeter



## 6. MEETAPPARATUUR

Het doel van de meetapparatuur was uitsluitend het luchttransport door de nevenkanalen van een gecombineerd kanalsysteem, alsmede de richting van dit transport te meten. De Afdeling Binnenklimaat heeft hiertoe een speciale meet- en registratie-apparatuur ontwikkeld (figuur 3).

De stromende lucht neemt daarbij warmte op uit een elektrisch verwarmd spiraalvormig netwerk met minimale luchtweerstand. Bij een constant toegevoerd vermogen van ca. 5 W is de grootte van het verschil in temperatuur tussen de lucht voor en achter dit netwerk een maat voor de grootte van de snelheid, terwijl de richting van het verschil een maat voor de stromingsrichting vormt. Bij 80 m<sup>3</sup>/h (2 m/s) bedraagt de temperatuurverhoging van de afgevoerde lucht ongeveer 0,2° C en bij 8 m<sup>3</sup>/h (0,2 m/s) ca. 2° C.

Hier tegenover staat dat, hoe gering ook, de weerstand van het kanaal iets is toegenomen.

De vereiste meetnauwkeurigheid tussen 0 en 100m<sup>3</sup>/h bracht met zich mee dat waarden hoger dan 100 m<sup>3</sup>/h minder nauwkeurig konden worden gemeten. Omdat een indruk over de werking over langere termijn moest worden verkregen werd besloten van elk meetpunt om de twee uur gedurende één minuut het transport te bepalen, en wel als gemiddelde van drie waarnemingen om de 20 seconden. De aflezingen werden direct in m<sup>3</sup>/h op een printer afgedrukt. Zie figuur 4. Daar de apparatuur ontworpen werd voor 12 meetpunten betekende dit een registratie gedurende 12×1 minuten gedurende 2 uur of precies 10% van de tijd. Om te trachten een verband te vinden tussen een

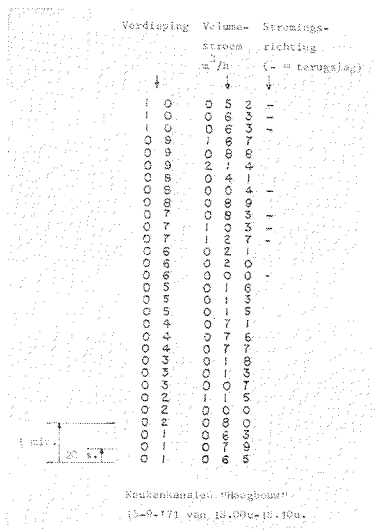


Fig. 4  
Printstrook waarop is aangegeven de  
meetplaats (verdieping), de volume-  
stroomsterkte en de stromingsrichting

DATUM	TRANSPORT in m <sup>3</sup> /h										Meteorologische gegevens			Ø Dm	
	door keukenkanaal										Wind-richting	Wind-snelheid	Temp.		
15-9-77	Verd. i. l. (m <sup>3</sup> )	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	W. m/s	M/S	°C	
8 uur	77	182	38	72	15	26	-45	7	10	112	080	3.0	14.3		
10	68	53	64	68	114	1	121	71	-130	-70	090	5.0			
12	28	12	-5	33	4	-4	-99	18	209	-74	070	4.0	16.4		
14	48	100	14	52	10	-8	-98	21	92	251	080	3.5	15.1		
16	53	77	8	41	13	26	56	5	31	42	060	4.0			
18	69	65	13	75	15	14	-104	42	156	-59	050	4.0	11.6		
Gem. overdag	57	82	22	57	29	9	-28	27	60	34	072	3.9	14.4		
20	71	47	32	62	14	28	41	6	57	159	090	2.5	7.9		
22	87	-139	42	73	16	38	76	5	34	164	040	1.5			
24	78	179	52	-43	18	36	52	9	17	81	Var.	0.5	6.0		
2	26	-102	35	87	19	62	35	13	10	158	070	1.0	4.5		
4	90	-111	30	101	21	57	21	11	11	52	040	0.5			
6	93	253	31	-10	20	63	21	9	8	55	080	0.5	4.0		
Nacht gem.	74	22	37	45	18	47	41	9	23	112	045	1.1	5.6		
24 urs gem.	66	52	29	51	23	28	6	18	41	73	058	1.5	10.0		

Fig. 5  
 Waarnemingsstaat, betrekking hebbend op een periode van 24 uur, waarop tevens enige meteorologische gegevens zijn vermeld

berekend drukverschil en het luchttransport werd bovendien op één dag een continue meting verricht. Dit betekende in dit geval dat op elke meetplaats om de 12 minuten het transport gedurende 1 minuut uit 3 waarnemingen werd bepaald.

De op de printstrook afgelezen drie waarnemingen per minuut werden op waarnemingsstaten gemiddeld. Hierop werden tevens de windsnelheid en de windrichting vermeld zoals deze door het KNMI voor het station Rotterdam werden gegeven. De gegevens over de buitentemperatuur betreffen het station Poortugaal. Figuur 5 toont een dergelijke waarnemingsstaat.

## 7. BEOORDELING EN TOETSING MEETWAARDEN

Bij de bestudering van de resultaten is van de volgende uitgangspunten uitgegaan:

- De grootte van het luchttransport is getoetst aan de in de genoemde ontwerpnorm NEN 1087 vastgelegde normwaarden:

keukens            75 m<sup>3</sup>/h  
 badruimten      50 m<sup>3</sup>/h  
 toilet             25 m<sup>3</sup>/h.

De metingen in de hoogbouwflat betreffen uitsluitend de ventilatiekanalen van de keukens. In de middelhoogbouw zijn de luchttransporten in de ventilatiekanalen van keukens, badruimten en toiletten gemeten van 4 boven elkaar gelegen woningen.

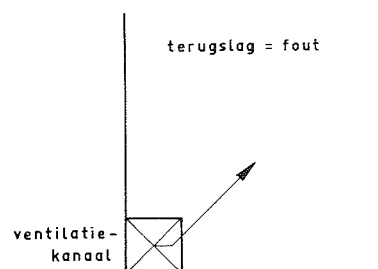
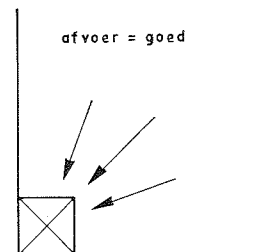


Fig. 6  
 Ventilatiekanalen dienen om lucht af te voeren. Transport in omgekeerde richting dient als een gebrek te worden beschouwd ('terugslag')

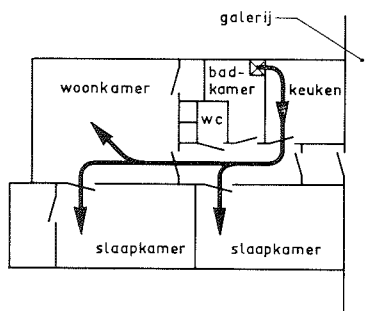


Fig. 7a  
Terugslag veroorzaakt geurverspreiding binnen een woning

- De kanalen zijn aangebracht met de bedoeling lucht uit de woning naar buiten af te voeren. Het omgekeerde, nl. terugstroming van lucht (terugslag) moet als belangrijkste gebrek ten aanzien van de ventilatie worden gezien (figuur 6).

Terugslag in gecombineerde kanalen voor natuurlijke ventilatie betekent kans op verspreiding van keukengeuren binnen één woning, en onder omstandigheden ook kans op verspreiding van keukengeuren van woning naar woning (zie figuur 7a en 7b). Beide zijn ongewenst.

## 8. KORTE BESCHRIJVING MEETOBJECTEN

Van deze objecten zijn de volgende gegevens van belang.

### Hoogbouw

De metingen in de hoogbouw zijn verricht aan de flat 'Meyenhage', Almstein, Rotterdam (figuur 8).

Aantal woonlagen	10 op onderbouw + dakopbouw
Bouwjaar	1961
Oriëntatie	Galerij en keuken aan de oostzijde
Omgevende bebouwing	laagbouw aan de oostzijde, middelhoogbouw aan de west- en zuidzijde (3 en 4 hoog), aan de noordzijde open

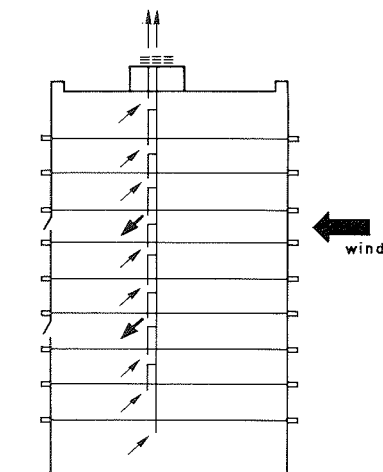


Fig 7b  
Bij gecombineerde ventilatiekanalen bestaat bij terugslag kans op transporten van woning tot woning

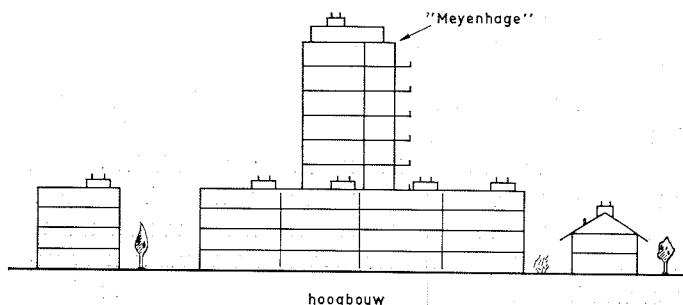
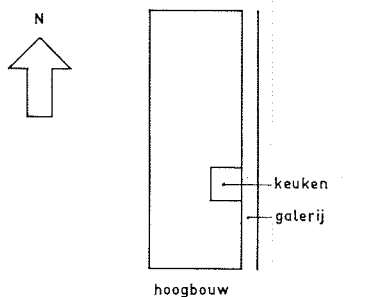


Fig. 8a  
Het hoogbouwproject en de omgeving daarvan

Inhoud keuken	17 m <sup>3</sup> (2,68 × 2,42 × 2,65 m)
Verwarming	Blok-CV
Ventilatiekanalen	één hoofdkanaal met 10 nevenkanalen (figuur 9)
Beweegbare ramen	één draairaam + één klapraampje

Meetperiode van 1971-09-07 tot 1971-11-05.

Door allerlei omstandigheden waren de resultaten van een aantal dagen niet bruikbaar, bv. als gevolg van storingen in de apparatuur, terwijl een grotere onderbreking van de metingen het gevolg was van wachten op gunstiger meetomstandigheden, t.w. hogere windsnelheden. In totaal werden de meetresultaten van ca. 25 dagen verwerkt, omvattende 600 uren. Het aantal verwerkte waarnemingen bedraagt daardoor ongeveer 9000.

Daar steeds het gemiddelde van 3 waarnemingen per minuut werd verwerkt zijn ca. 3000 gemiddelde waarnemingen verwerkt, die gedurende een zuivere meettijd van ca. 50 uur werden verzameld.

#### Middelhoogbouw

De middelhoogbouw betrof een portiekflat gelegen aan de Havikhorst te Rotterdam (figuur 10).

Aantal woonlagen 4 op onderbouw half onder het maaiveld

Bouwjaar 1953

Oriëntatie keukens aan de oostzijde

Omgevende bebouwing aan alle zijden omsloten door flats van ongeveer gelijke hoogte (3 en 4 woonlagen)

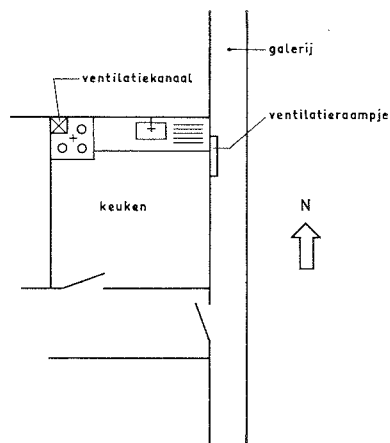


Fig. 9  
De plaats van het ventilatiekanaal in de keuken (hoogbouw)



Fig. 8b  
Het hoogbouwproject en de omgeving daarvan

Fig. 10a  
Het middelhoogbouwproject en de omgeving daarvan

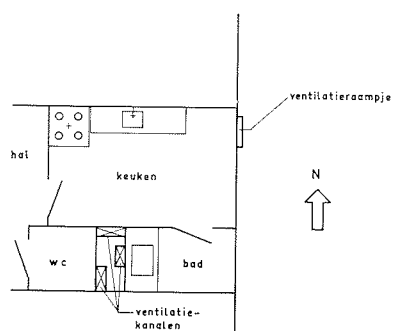
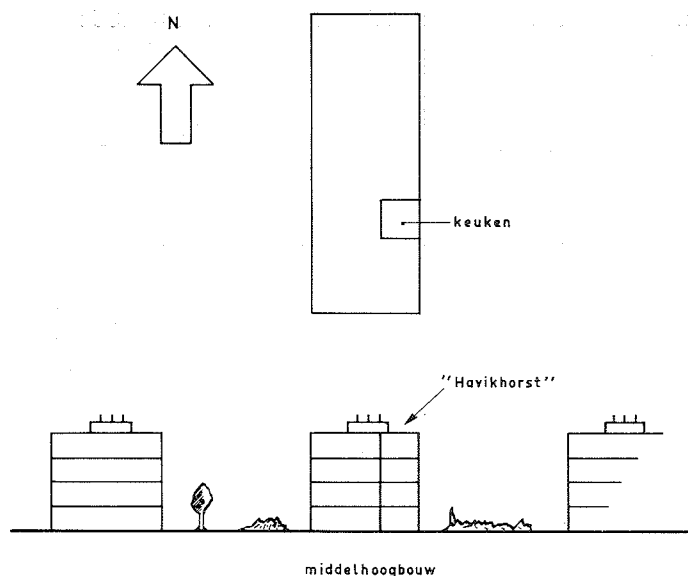


Fig. 11  
De plaats van de ventilatiekanalen in het middelhoogbouwproject

Inhoud keuken	ca. 14 m <sup>3</sup> (1,50 × 3,40 × 2,65 m)
Inhoud badruimte	ca. 5 m <sup>3</sup> (0,85 × 2,28 × 2,65 m)
Inhoud toilet	ca. 2,5 m <sup>3</sup> (0,85 × 1,10 × 2,65 m)
Verwarming	moederhaard CV (uitgezonderd verdieping 4)
Ventilatiekanalen	keukens, badruimten en toiletten: voor ieder één hoofdkanaal met drie nevenkanalen (figuur 11). Het nevenkanaal van de vierde verdieping mondt uit direct naast het hoofdkanaal onder een gemeenschappelijke kap bovendaks
Beweegbare ramen	Keuken: één draairaam + één klampaampje Badruimte: één klampaampje (kon niet open, geblokkeerd door bewoners)

Meetperiode van 1972-04-13 tot 1972-05-05.

Verwerkt werden de metingen die op 7 dagen werden verkregen. In totaal betrof dit ca. 7000 waarnemingen met een zuivere meettijd van ca. 39 uur. Bovendien werd gedurende 1 dag continu gemeten. De resultaten hiervan zijn mede gebruikt om een eventuele relatie vast te stellen tussen een te berekenen drukverschil en het luchttransport: zie Appendix, pagina 22.

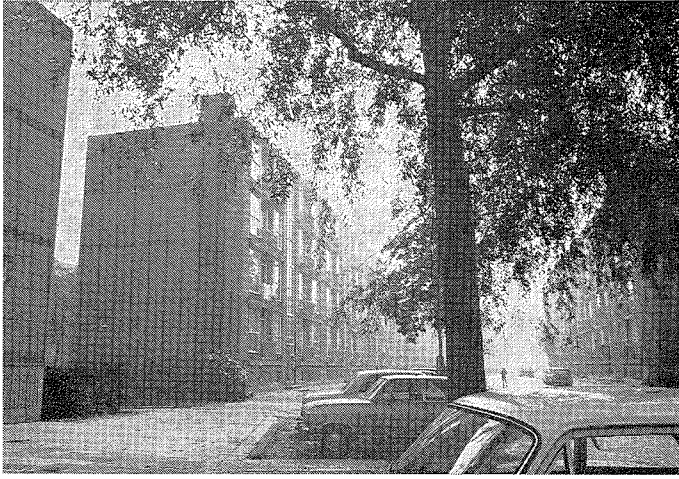


Fig. 10b  
Het middelhoogbouwproject en de omgeving daarvan

## 9. RESULTATEN

### 9.1 Hoogbouw

De gemiddeld door de nevenkanalen afgevoerde hoeveelheid lucht varieerde voor de 10 keukens van 14 tot 60 m<sup>3</sup>/h, met een totaal gemiddelde van 33 m<sup>3</sup>/h. Figuur 12. De spreiding van de waarnemingen was zeer groot. Waarden van 100 m<sup>3</sup>/h werden in beide stromingsrichtingen (afvoer en terugslag) regelmatig overschreden.

De thermische trek is één van de drijvende krachten bij natuurlijke ventilatie. Naarmate het kanaal langer is neemt deze trek toe. Ook de wrijvingsverliezen nemen echter toe. Een verband tussen verdieping en luchttransport is uit de waarnemingen niet af te leiden. In elk nevenkanaal kwam terugstroming voor, dikwijls meer dan 100 m<sup>3</sup>/h. Gemiddeld stroomde gedurende 7% van de totale meettijd in de hoogbouw lucht naar binnen met een gemiddelde hoeveelheid van 56 m<sup>3</sup>/h. Dit betekent dat gemiddeld ca. 12 uur per week terugstroming optrad, met een variatie voor de verschillende verdiepingen van 4 tot 20 uur per week (figuur 13). Toetsing aan de nominaal in de norm genoemde ventilatiehoeveelheid van 75 m<sup>3</sup>/h voor keukens levert het volgende op.

Circa 90% van de waarnemingen lag beneden de voor keukens gewenste 75 m<sup>3</sup>/h. Accepteert men een spreiding van + en - 25% om de gewenste waarde, dus voor keukens van 57 tot 93 m<sup>3</sup>/h, dan blijkt slechts 10% van de waarnemingen in die band te liggen. Dit betekent dat per etmaal ongeveer 2 1/2 uur aan de gestelde eisen werd voldaan.

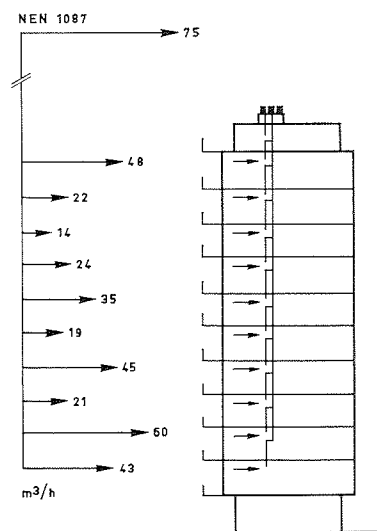
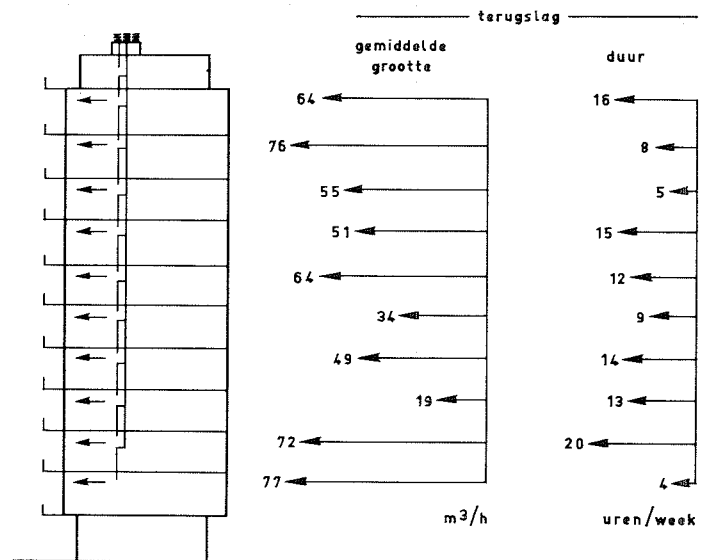


Fig. 12  
De gemiddelde volumestroomsterkten bij afvoer in de keukens van de hoogbouw

Fig. 13  
De gemiddelde volumestroomsterkten bij terugslag in de keukens van de hoogbouw, en de gemiddelde duur daarvan



Pogingen om een verband te vinden tussen een uit de windsnelheid, windrichting en temperatuurverschil af te leiden drukverschil en de luchttransporten hadden geen enkel positief resultaat.

Eén der pogingen hiertoe is weergegeven in de figuren 14a en 14b.

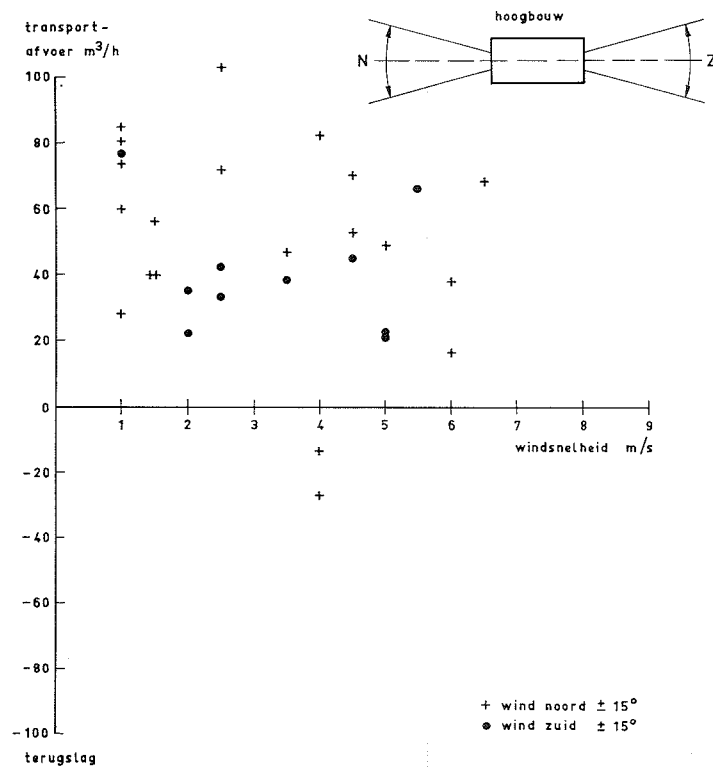


Fig. 14a  
Het transport in het keukenkanaal op de 4e verdieping van de hoogbouw als functie van de windsnelheid voor ongeveer langs de gevel gerichte wind

De gedachtengang hierbij was dat ten aanzien van de windrichting onderscheid gemaakt kan worden tussen richtingen langs of vrijwel langs de gevel en richtingen loodrecht daarop.

In het eerste geval zou men theoretisch kunnen verwachten, dat daar de drukken op de beide langsgevels dan gelijk of nagenoeg gelijk zijn, een eventueel verband tussen transport en windsnelheid meer uitgesproken zal zijn dan bij windrichtingen die meer een botsing van de wind op één der langsgevels betekenen.

In dat laatste geval zou er weer een duidelijker verschil verwacht mogen worden tussen wind op de keukengevel en wind op de daar tegenover liggende gevel.

Geen dezer veronderstellingen blijkt te worden bevestigd in de beide figuren 14a en 14b, waarvan de eerste de waarnemingen betreft met windrichting langs de gevel  $\pm 15^\circ$  en

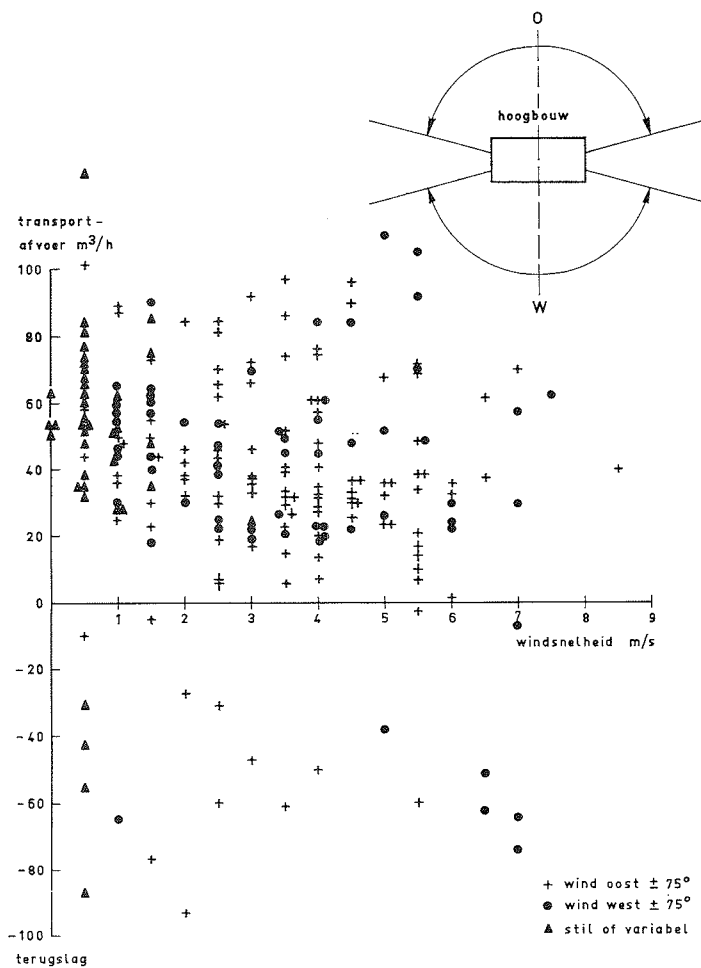


Fig. 14b  
Het transport in het keukenkanaal op de 4e verdieping van de hoogbouw als functie van de windsnelheid voor de overige windrichtingen



figuur 14b de overige windrichtingen. De figuren hebben alleen betrekking op het transport door het nevenkanaal van de keuken op de 4e verdieping.

Geconcludeerd moet daarom worden dat de verschillende ventilatiegewoonten van de bewoners bepalend moeten worden geacht: met name het openen of sluiten van een raam of deur op een bepaalde verdieping zal het luchttransport door het ventilatiekanaal van een andere verdieping kunnen doen afnemen of zelfs van richting doen omkeren.

## 9.2 Middelhoogbouw

In de middelhoogbouw zijn metingen verricht aan 4 boven elkaar gelegen woningen, die voor de keukens, badruimten en toiletten zijn voorzien van 3 gecombineerde ventilatiekanalen.

### Kanalen in de keukens

De over vier verdiepingen gemiddeld per keuken afgezogen luchthoeveelheid variëerde van 16 tot 47  $\text{m}^3/\text{h}$ , met een gemiddelde van 37  $\text{m}^3/\text{h}$ . Terugslag kwam slechts 0,25% van de gemeten tijd voor overeenkomend met nog geen half uur per week, terwijl maximaal 30  $\text{m}^3/\text{h}$  terugstroomde. Ruim 92% van de waarnemingen liggen onder de nominale 75  $\text{m}^3/\text{h}$ . In een band van 75  $\text{m}^3/\text{h} \pm 25\%$  (van 57 tot 93  $\text{m}^3/\text{h}$ ) liggen 20% van de waarnemingen (figuur 15).

### Kanalen in de badruimten

De gemiddeld per verdieping door het ventilatiekanaal uit een badruimte afgevoerde hoeveelheid lucht variëerde van 22 tot 30  $\text{m}^3/\text{h}$ , met een gemiddelde van 26  $\text{m}^3/\text{h}$ . Terugstroming trad ongeveer 0,6% van de tijd op of ca. 1 uur per week met een maximaal luchttransport van 30  $\text{m}^3/\text{h}$ . Ongeveer 94% van de waarnemingen ligt beneden de nominaal vereiste 50  $\text{m}^3/\text{h}$ . In een band van 50  $\text{m}^3/\text{h} \pm 25\%$  (van 37 tot 63  $\text{m}^3/\text{h}$ ) liggen 15% van de waarnemingen (figuur 16).

### Kanalen in de toiletten

De gemiddeld per verdieping door de toilet-ventilatiekanalen afgevoerde hoeveelheid lucht variëerde van 21 tot 38  $\text{m}^3/\text{h}$  met een gemiddelde van 27  $\text{m}^3/\text{h}$ . Terugslag kwam ca. 0,4% van de meettijd voor of ca. 3 kwartier per week met een maximaal luchttransport van 30  $\text{m}^3/\text{h}$ . Ongeveer 50% van de waarnemingen ligt beneden de nominale 25  $\text{m}^3/\text{h}$ . Tussen 19 en 31  $\text{m}^3/\text{h}$  (25  $\text{m}^3/\text{h} \pm 25\%$ ) liggen 40% van de waarnemingen. Uit deze cijfers is af te leiden, dat op de toiletten klachten over tocht kunnen worden verwacht omdat bij 11% van de waarnemingen het luchttransport groter is dan 50  $\text{m}^3/\text{h}$ , het dubbele van de nominale eis. Neemt men aan dat ongeveer 2/3 van de lucht langs de drempel stroomt, en de kierbreedte daar

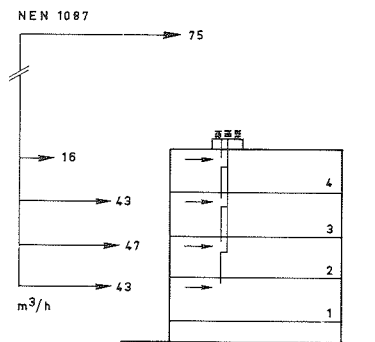


Fig. 15  
De gemiddelde volumestroomsterkten bij afvoer in de keukens van de middelhoogbouw

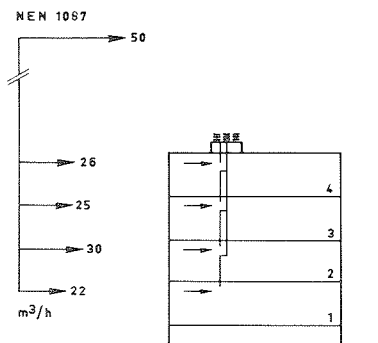


Fig. 16  
De gemiddelde volumestroomsterkten bij afvoer in de badruimten van de middelhoogbouw

10 mm bedraagt, dan is de gemiddelde snelheid in deze kier bij 50 m<sup>3</sup>/h luchtverplaatsing ca. 1,25 m/s. Een verband tussen luchttransport en verdieping kon ook in de middelhoogbouw niet worden aangetoond (figuur 17). Wel kon hier uit een serie continue metingen een relatie worden gevonden tussen het uit de meteorologische omstandigheden berekende drukverschil en het luchttransport. Zie aanvullende beschouwing in de Appendix op pagina 22.

## 10. ALGEMENE BESCHOUWING MEETRESULTATEN

### 10.1 Keuken

Deze ligt vrijwel altijd aan de gevel waarin dan volgens de Modelbouwverordening te openen ramen aanwezig moeten zijn. Het luchttransport door natuurlijke ventilatiekanalen van keukens is daardoor sterk afhankelijk van de oriëntatie en de windrichting. Met name de verschillen in de stand van de ramen van op één gecombineerd kanaal aangesloten keukens zullen aansprakelijk zijn voor de verschillen in luchttransporten van de nevenkanalen. Bij een geopend raam in één keuken is verder de variatie in het luchttransport bij variatie van windsnelheid en -richting veel sterker dan bij gesloten ramen.

Omdat voor een keuken in de ontwerpnorm een grotere ventilatiehoeveelheid is gesteld dan voor badruimte en toilet zou het ventilatiekanaal van de keuken bij natuurlijke ventilatie eigenlijk een grotere doorsnede moeten hebben, hetgeen niet in de Modelbouwverordening tot uitdrukking komt. Hierbij is afgezien van andere factoren, bv. dat bij toilet en badruimte een gesloten deur aanwezig is en deze ruimten in moderne woningen meestal geen beweegbaar raam bezitten.

### 10.2 Badruimte en toilet

De badruimte en het toilet van een woning kunnen aan de gevel liggen of inpandig zijn. De inpandige ligging is uit ventilatie-oogpunt vanwege de mindere afhankelijkheid van oriëntatie en windrichting te verkiezen. Indien de badruimte en/of het toilet aan de gevel ligt en van een ventilatieraampje is voorzien, betekent dit bij geopend raampje en wind op de gevel verspreiding van lucht uit deze ruimten naar de andere ruimten van de woning. Dit is ongewenst. Ook ten aanzien van het optreden van tocht is een ventilatieraampje in de badruimte of het toilet minder doelmatig.

De ventilatiekanalen van de keuken, de badruimte en het toilet hebben in het algemeen gelijke afmetingen. De luchttoevoer naar de badruimte en het toilet moet veelal één weerstand meer passeren dan die naar de keuken, nl. die van de deur van de badruimte of het toilet zelf (figuur 18).

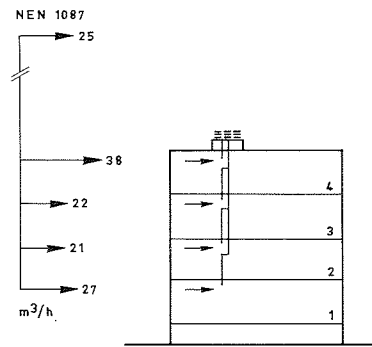


Fig. 17

De gemiddelde volumestroomsterkten bij afvoer in de toiletten van de middelhoogbouw

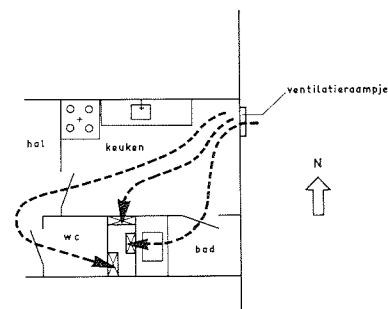


Fig. 18

De deuren van badruimte en toilet betekenen een extra weerstand voor de lucht afgevoerd via de daar aanwezige ventilatiekanalen

Hierdoor zal een iets groter luchttransport via het keuken-ventilatiekanaal te verwachten zijn. Inderdaad blijkt uit de metingen dat de afgevoerde luchthoeveelheid ca. 10 m<sup>3</sup>/h hoger is. Een globale berekening komt tot een ongeveer even groot verschil.

### 10.3 *Snelheid in de ventilatiekanalen*

In de conceptnorm is voor de dimensionering van natuurlijke ventilatiekanalen er van uitgegaan dat voor de gemiddelde snelheid een waarde van 1 m/s als een maximum moet worden beschouwd.

Uit de gemeten transporten lieten zich de volgende snelheden berekenen:

Nevenkanalen van de keuken

In de hoogbouw werd gemiddeld per verdieping van 0,16 tot 0,70 m/s gevonden, met een totaal gemiddelde van 0,38 m/s.

In de middelhoogbouw werd gemiddeld per verdieping van 0,18 tot 0,55 m/s gevonden, met een totaal gemiddelde van 0,43 m/s.

### Hoofdkanalen

Zoals uit de inleiding blijkt zijn in het hoofdkanaal geen metingen verricht. Wordt het totale luchttransport afgeleid uit de gemiddelde waarden per verdieping, dan kunnen daaruit de volgende snelheden worden berekend.

In de hoogbouw, met één hoofdkanaal, bedroeg de totale gemiddelde snelheid 2,30 m/s. In de laagbouw, met drie hoofdkanalen, exclusief de hoogste verdieping, bedroeg de totale gemiddelde snelheid in het keukenkanaal 0,92 m/s, in het badruimte kanaal 0,53 m/s en in het toilet kanaal 0,49 m/s.

### 10.4 *Verband tussen drukverschil en luchttransport in de middelhoogbouw*

Zie voor het verband tussen het uit de klimatologische gegevens af te leiden drukverschil en het luchttransport in de middelhoogbouw de Appendix op pagina 22.

## 11. VERGELIJKING HOOGBOUW/MIDDELHOOGBOUW

Alleen de resultaten van de keukens kunnen worden vergeleken.

In de hoogbouw komt terugslag vrij regelmatig voor en met grote hoeveelheden.

In de laagbouw is de terugslag praktisch verwaarloosbaar. Het aantal waarnemingen dat binnen een band van 75 m<sup>3</sup>/h  $\pm$  25% ligt is in de middelhoogbouw 2  $\times$  zo groot als in de hoogbouw.

De afgevoerde luchthoeveelheden in de middelhoogbouw kon men in verband brengen met de klimatologische omstandigheden.

Bij de hoogbouw was dit niet mogelijk.

## 12. CONCLUSIES

- Gecombineerde ventilatiekanalen voldoen in de hoogbouw in nog mindere mate dan in de middelhoogbouw.
  - In de middelhoogbouw treedt terugstroming nauwelijks op, in tegenstelling tot in de hoogbouw.
  - De grootte van het luchttransport voldoet voor keukens in de hoogbouw in onvoldoende mate aan de eisen in de ontwerpnorm NEN 1087.
  - Ook in de middelhoogbouw worden de in genoemde norm voor keukens geëiste transporten nog niet bereikt.
  - De eisen in genoemde norm aan de ventilatie voor badruimten worden in de middelhoogbouw maar ten dele bereikt.
  - Toiletten in de middelhoogbouw voldoen beter wat de afvoer van lucht betreft aan de eisen in NEN 1087. Soms is de afvoer echter te groot en bestaat kans op klachten over tocht.
- Samenvattend kan worden gesteld
- Gecombineerde kanalen voor natuurlijke ventilatie voldoen in de middelhoogbouw maar matig, in de hoogbouw onvoldoende.

## 13. DANKWOORD

Dank moet worden gebracht voor de verleende medewerking bij het onderzoek aan

- de Stichting Tuinstad Zuidwijk te Rotterdam voor de toestemming tot het verrichten van metingen en het publiceren van de resultaten voor beide objecten,
- de Stichting Bouwresearch die, gezien het belang van de metingen, het onderzoek financieel mogelijk maakte, mede met het oog op het tot stand brengen van een norm voor de ventilatie van woningen,
- de bewoners, voor hun onmisbare toestemming en behulpzaamheid.

## 14. LITERATUUR

- [1] Vereniging van Nederlandse Gemeenten. Model Bouwverordening + Toelichting. 's-Gravenhage, V.N.G. 1965 (incl. 9 suppl. t/m febr. 1974), 320 pp. + 255 pp. (losbladig).
- [2] Nederlands Normalisatie Instituut. NEN 1068. Natuurkundige grondslagen voor bouwvoorschriften. Deel 1: Thermische

- eigenschappen van woningen. Rijswijk, N.N.I., 1964, 51 pp.
- [3] Nederlands Normalisatie Instituut. Ontwerp NEN 1087. Ventilatie van woongebouwen. Rijswijk, N.N.I., aug. 1974.
- [4] Nederlands Normalisatie Instituut. Ontwerp NPR 1088. Ventilatie van woongebouwen; toelichting op NEN 1087. Rijswijk, N.N.I., aug. 1974.
- [5] Sexton, D.E. A flowmeter for fieldtests of ventilation systems. Heat. Vent. Engr. J. Air Condit. 38 (1964), Nr. 448 (nov.) pp. 245-247.
- [6] Jardinier, M. Comment assurer la ventilation des immeubles collectifs d'habitation par des gaines verticales à tirage naturel. Cah. du Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, dec. 1963, livraison 65, Cahier 542, pp. 1-52.
- [7] Fischer, D. E. und K. H. Pissoke. Raumklimatische und luft-hygienische Untersuchungen in Küchen und Bädern des 5 geschossigen M/E Wohnungbaues P2/12. Stadt- und Gebäudetechnik 20 (1966), 6 (jun.).
- [8] Brandes, D. Zur Problematik der Auslegung und Berechnung von Lüftungssystemen im Wohnungsbau. Luft- und Kältetechnik 69 (1963), Nr. 1 (febr.), 28-32.
- [9] Roedler, F. und G. Schlüter. Untersuchungen an einer Sammel-schachtlüftung ohne Motorkraft in einem Hochhaus. Gesundheits-Ingenieur, 89 (1968), Nr. 1 (jan.), 5-9.
- [10] Ventilation of internal bathrooms and WC's in dwellings. Building Research Establishment Digest 170. H.M.S.O., Oct. 1974.

## Appendix

### 15. BEREKENING THEORETISCH DRUKVERSCHIL OVER EEN VENTILATIEKANAAL

Bij de berekening uit de klimatologische gegevens is uitgegaan van de volgende vergelijking:  
totale drukverschil = thermische trek + drukverschil door de wind

$$\Delta p_{\text{tot}} = \Delta p_{\text{th}} + \Delta p_{\text{wind}}$$

- Het drukverschil veroorzaakt door een verschil in temperatuur tussen binnen en buiten kan men als volgt berekenen:

$$\Delta p_{\text{th}} = l \cdot \Delta \rho \cdot g$$

waarin:

$\Delta p$  = drukverschil in Pa (= N/m<sup>2</sup>)

$l$  = gemiddelde lengte van de kanalen in m

$\Delta \rho$  = verschil in soortelijke massa van de lucht in kg/m<sup>3</sup>

$g$  = versnelling van de zwaartekracht in m/s<sup>2</sup>

Als nu  $l$  = ong. 5 m en  $\Delta \rho / \Delta T = 0,005 \text{ kg/m}^3\text{K}$

dan is  $\Delta p_{\text{th}} = 0,25 \Delta T$  in Pa

Het verschil in temperatuur is gevonden door de temperatuur binnen, die op 20°C is aangenomen, te verminderen met de buitentemperatuur volgens het KNMI station Poortugaal.

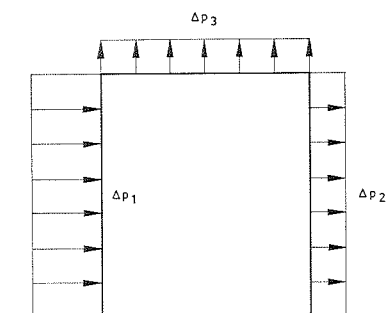


Fig. 19  
Geschematiseerde drukverdeling om een gebouw ten gevolge van de wind

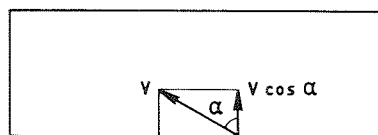


Fig. 20  
In de berekening is alleen gerekend met de op de gevel gerichte component van de windsnelheid

- Het drukverschil veroorzaakt door de wind is als volgt berekend:

In het algemeen geldt:

$$\Delta p = 1/2 \rho v^2$$

waarin:

$\rho$  = soortelijke massa  $\text{kg/m}^3$

$v$  = lichtsnelheid  $\text{m/s}$

$\Delta p$  = drukverschil in  $\text{Pa}$  ( $= \text{N/m}^2$ )

De drukopbouw rond een vrijstaand gebouw is schematisch als volgt (fig. 19)

$$\Delta p = 1/2 \rho v^2 \cdot k$$

Voor  $\Delta p_1$  is  $k$  op 1 gesteld

voor  $\Delta p_2$  en  $\Delta p_3$  op  $-0,5$ ,

terwijl steeds de snelheidscomponent loodrecht op de gevel in aanmerking is genomen (fig. 20)

$$\Delta p_{\text{wind}} = 1/2 \rho (v \cos \alpha)^2 k$$

- Het totale drukverschil is dus:

$$\Delta p_{\text{tot}} = 0,25 \Delta T + 1/2 \rho (v \cos \alpha)^2 k$$

De windrichting- en -snelheidsgegevens zijn afkomstig van het KNMI station Rotterdam.

Het totale drukverschil is voor 24 opeenvolgende uren berekend en in de onderste grafiek van figuur 21 uitgezet. De bovenste geeft het gemeten luchttransport.

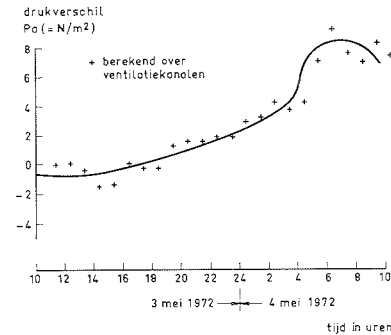
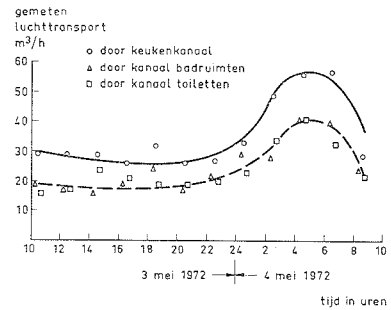


Fig. 21  
Het gemeten transport door de ventilatiekanalen en een berekend drukverschil daarover blijken een ongeveer overeenkomstig verloop te hebben

DRIE ONDERZOEKEN NAAR DE WERKING VAN  
KANALEN VOOR NATUURLIJKE VENTILATIE,  
WAARBIJ NAGEGAAN IS DE INVLOED VAN  
PLAATS EN HOOGTE VAN DE UITMONDING, VAN  
DE BEBOUWING IN DE OMGEVING EN VAN DE  
VORM VAN DE UITMONDING

Ing. W. F. de Gids en Ing. H. Ph. L. den Ouden

1. INLEIDING

In woningen is verversing van lucht uit het oogpunt van gezondheid en behaaglijkheid noodzakelijk.

Ook het afvoeren van verbrandingsgassen van bijv. centrale verwarmingsketel, geiser en gasgestookte kooktoestellen is om dezelfde reden nodig. De luchtverversing komt bij woningen zonder mechanische ventilatie tot stand doordat onder invloed van natuurlijke krachten lucht via openingen (bijv. ramen of raamkieren) in de gevel(s) toetreedt.

De afvoer vindt plaats:

- óf gedeeltelijk via de gevel en gedeeltelijk door kanalen (figuur 1a)
- óf geheel door de kanalen (figuur 1b)

Van ventilatiekanalen en van rookgasafvoerkanaal, die in woningen zijn aangebracht, wordt verwacht dat deze lucht resp. rookgas vanuit de woning naar buiten afvoeren.

Het omgekeerde, namelijk terugstroming door deze kanalen van buiten naar binnen de woning, moet als een belangrijk gebrek en in het geval van rookgassen zelfs als een gevaar worden beschouwd.

Terugstroming in ventilatiekanalen betekent:

- verspreiding van geuren uit bijv. keuken en toilet binnen een woning (figuur 2),  
bij meergezinshuizen met gecombineerde ventilatiekanalen bovendien:
- verspreiding van geuren van woning naar woning (figuur 3).  
Bij ééngesinshuizen betekent het bovendien:
- kans op tochtverschijnselen, doordat koude buitenlucht vrijwel onverwarmd en geconcentreerd op één plaats binnenstroomt, bijv. in het toilet, de badkamer of de douche. Deze zeer veel voorkomende verschijnselen zijn ongewenst. Bij een goed uitgevoerde mechanische afvoer, waar een ventilator de drijvende kracht vormt, zal terugstroming vrijwel uitgesloten zijn.

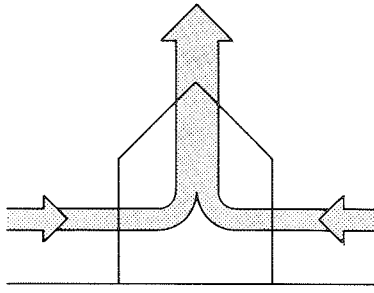
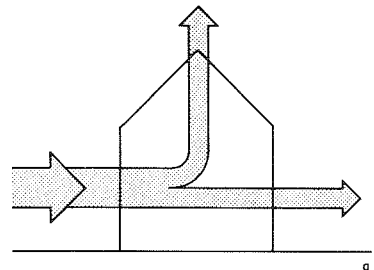


Fig. 1a/b  
Toe- en afvoer van ventilatielucht

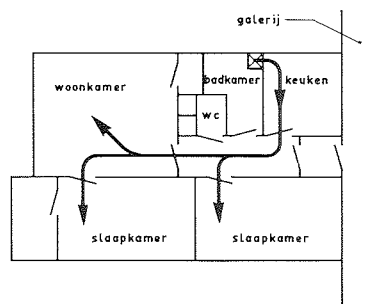


Fig. 2  
Terugslag binnen de woning vanuit het ventilatiekanaal in de keuken naar o.a. de woonkamer

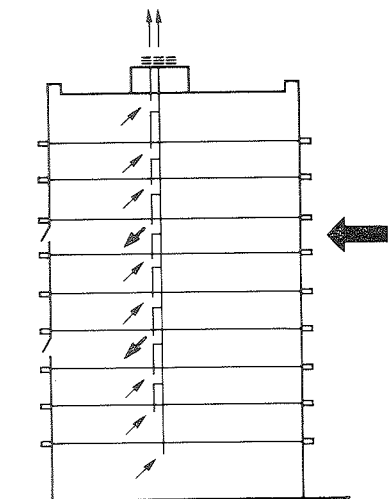


Fig. 3  
Terugslag naar andere woningen

## 2. WERKING VAN AFVOERKANALEN

Bij natuurlijke ventilatie zijn de drukverschillen, veroorzaakt door de wind en het verschil in temperatuur tussen binnen en buiten, een vereiste om het transport door kanalen naar buiten in stand te houden.

Dit geldt eveneens voor rookgasafvoerkanalen.

Hoewel het temperatuurverschil tussen binnen en buiten meestal positief bijdraagt tot de ventilatie, is in de zomer bij ventilatiekanalen soms het omgekeerde het geval.

In de winter zal er immers binnenshuis een hogere temperatuur heersen dan buiten. De warmere en daardoor lichtere binnenlucht zal dan via de kanalen naar boven trachten te ontwijken. Bij toenemend temperatuurverschil zal de ventilatie toenemen. Tot een bepaalde waarde neemt ook de ventilatie toe bij toenemende lengte van het kanaal.

In de zomer kan het echter binnenshuis een enkele keer kouder zijn dan buiten; koude zwaardere lucht zal dan laag in de woning (bijv. op de begane grond) van binnen naar buiten willen stromen, de warmere buitenlucht zal dan hoog in het huis (bijv. via de kanalen) naar binnen stromen.

Bij de kanalen van met gas gestookte installaties is van een veel groter temperatuurverschil sprake. Het door dit temperatuurverschil veroorzaakte drukverschil is echter evenredig met de lengte van het afvoerkanaal.

Deze lengte is bij op zolder geplaatste CV-ketels niet veel meer dan ca. 2 m. Het drukverschil is dan ondanks het grotere temperatuurverschil toch betrekkelijk klein.

Neemt men aan dat de thermische trek in staat moet zijn bij windstil weer de wrijvingsweerstand in het kanaal te overwinnen, dan zal bij het optreden van wind de daardoor veroorzaakte druk aan de uitstroomopening van het kanaal lager moeten zijn dan die aan de instroomopening om terugstroming te voorkomen.

De laagst mogelijke druk aan de instroomopening ontstaat als het kanaal begint in een aan de lijzijde gelegen ruimte, bijv. de keuken, waar een raam is geopend, terwijl aan de andere gevel geen ramen geopend zijn (figuur 4). In de praktijk is dit een veel voorkomende situatie: ramen op de windzijde worden meestal langer dicht gehouden. Omdat stroming altijd plaats vindt van plaatsen met een hogere druk naar plaatsen met een lagere druk moet voor een goede werking de druk  $p_u$  bij de uitmondning van het kanaal lager zijn dan de druk  $p_i$  aan de instroomopening.

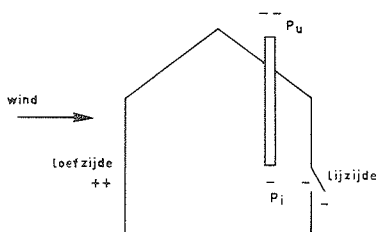


Fig. 4  
Kritische situatie voor de werking van afvoerkanalen

## 3. OPZET VAN HET ONDERZOEK

Kennis van de drukverdeling om woongebouwen blijkt noodzakelijk om de gewenste plaats en hoogte van kanaal-uitmondningen bovendaks te kunnen aangeven.



De bestaande voorschriften betreffende de uitmondingen blijken dikwijls te kort te schieten.

Zowel nationaal als internationaal is er omtrent drukken op bepaalde afstand boven gebouwen ter plaatse van de uitmondingen vrijwel niets bekend.

Uit de literatuur zijn wel veel resultaten van metingen bekend betreffende de drukken op de gevel en in het dakvlak van een gebouw. Deze studies waren meestal gericht op het verkrijgen van gegevens die voor de berekening op mechanische sterkte van een gebouw nodig zijn.

Om in deze leemten te voorzien is de drukverdeling om woongebouwen één der onderwerpen van studie geweest. Het onderzoek is opgezet in drie delen:

- Onderzoek naar de drukverdeling om woningen die geplaatst zijn in een omgeving zonder bebouwing echter met enige beplanting bijv. heggen e.d.
  - Onderzoek naar de invloed van de omgevende bebouwing op de drukopbouw om een woongebouw.
  - Onderzoek naar de invloed van een schoorsteen- of ventilatiekap op de druk bij de uitmonding van kanalen.
- Deze drie deelonderzoeken zullen in het volgende hoofdstuk in afzonderlijke paragrafen worden behandeld.

#### 4. ONDERZOEK EN RESULTATEN

##### 4.1 *Invloed van plaats en hoogte van de uitmonding bovendaks*

###### 4.1.1 Meetopstelling

Dit onderzoek is uitgevoerd door meting van de drukverdeling om woningen, geplaatst in een omgeving met slechts lichte bebouwing. In de windtunnel van het Instituut voor Milieuhygiëne en Gezondheidstechniek TNO werd een houten model van een woningblok van vier eengezinshuizen onderzocht; de modelschaal bedroeg 1:40. In de windtunnel werd ook voor de genoemde omgeving de situatie nagebootst.

Het houten model van het woningblok had de volgende afmetingen:

lengte model 630 mm (in werkelijkheid 25,2 m)

hoogte model 135 mm (in werkelijkheid 5,4 m)

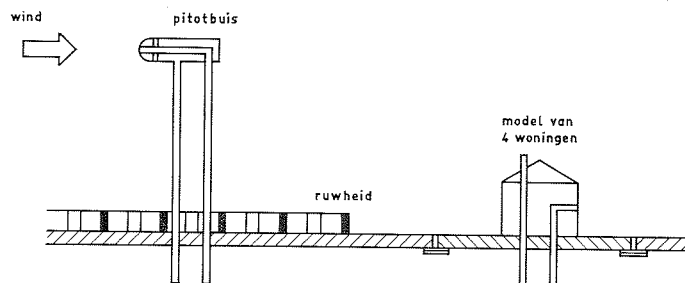
breedte model 185 mm (in werkelijkheid 7,4 m).

Op dit model werden symmetrische daken aangebracht met hellingen van respectievelijk:

0° - 13° - 20° - 22°30' - 25° - 30° - 45°.

Voor het verkrijgen van inzicht in de druk op de bovendakse uitmondingen van ventilatiekanalen gaat het niet om de statische druk in de stroming in de naaste omgeving van de uitmonding, maar om de druk die in de uitmonding ont-

Fig. 5  
 Schema van de meetopstelling in de  
 windtunnel



staat, die *mede* bepaald wordt door de aanstroomrichting van de lucht. Bij deze metingen is de afvoer van het ventilatiekanaal nul gehouden.

Boven het dakvlak van het model kon tot een hoogte overeenkomende met 8 m de druk op de uitmondning worden gemeten. De drukken op de gevel werden eveneens gemeten (zie figuur 5).

Bij het onderzoek werd de snelheid in de windtunnel op een constante waarde van 8 m/s gehouden. Dit geeft een snelheidsdruk van:

$$\frac{1}{2}\rho v^2 = \frac{1,25}{2} \cdot 8^2 = 40 \text{ Pa}$$

(1 Pa = 1 N/m<sup>2</sup> = ca. 0,1 mmWK)

De snelheid van 8 m/s is niet in overeenstemming met de modelregel volgens Reynolds. Om dezelfde stromingsverdeling te verkrijgen zou het getal van Reynolds in model en werkelijkheid gelijk gehouden moeten worden.

$$Re = \frac{v \cdot D}{\nu}$$

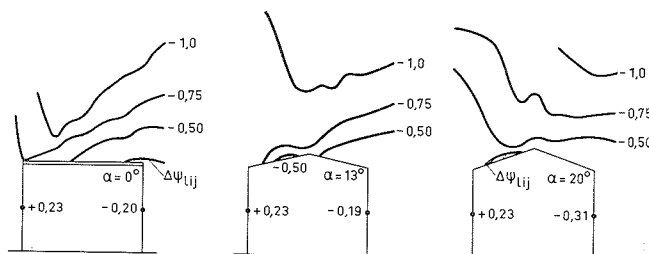
waarin  $v$  = de snelheid (m/s)

$D$  = een karakteristieke lengte-afmeting (m)

$\nu$  = de kinematische viscositeit (m<sup>2</sup>/s)

Dit is in het model niet te verwezenlijken omdat daarbij zeer hoge snelheden nodig zouden zijn.

Fig. 7  
 Drukverdeling om woningblokken  
 met dakhellingen van 0°, 13°, 20°,  
 22°30', 25°, 30°



In werkelijkheid is bij een gebouwhoogte van 5,4 m en een windsnelheid van 8 m/s:

$$Re_w = \frac{8 \cdot 5,4}{15 \cdot 10^{-6}} = 2,9 \cdot 10^6 = 2900 \cdot 10^3$$

terwijl in de windtunnel bij 8 m/s, en een modelhoogte van 135 mm,

$$Re_M = \frac{8 \cdot 135 \cdot 10^{-3}}{15 \cdot 10^{-6}} = 72 \cdot 10^3$$

Dit verschil is echter bij scherpkantige modellen toelaatbaar.

#### 4.1.2. Resultaten

De resultaten zijn weergegeven in de figuren 6 en 7.

De druk in de monding – die, zoals eerder opgemerkt, niet gelijk is aan de statische druk in de stroming – is gemeten als overdruk  $P$  ten opzichte van de statische druk in de ongestoorde stroming.

Deze overdruk is daarna dimensieloos gemaakt overeenkomstig de betrekking:

$$\text{relatieve overdruk } \Delta\psi = \frac{P}{\frac{1}{2}\rho (v_{\text{wind}})^2}$$

Punten met gelijke relatieve mondingsdrukken zijn verbonden door krommen; de betreffende  $\Delta\psi$ -waarden zijn aangegeven. De kromme die dezelfde  $\Delta\psi$ -waarde heeft als de gemeten relatieve onderdruk aan de lijzijde is aangeduid met ' $\Delta\psi_{\text{lij}}$ '.

Het gebied boven het dakvlak waarin een hogere druk heerst dan aan de lijzijde van de woning is gearceerd.

Indien men een raam opent aan de lijzijde van de woning dan zal in een kanaal dat in het gearceerde gebied uitmondt een hogere druk optreden dan aan de lijzijde van de woning. In een kanaal dat in het gearceerde gebied uitmondt kan dus terugstroming optreden, als tenminste geen thermische trek aanwezig is.

De resultaten geven aanleiding tot de volgende belangrijkste conclusies ten aanzien van de eisen waaraan de

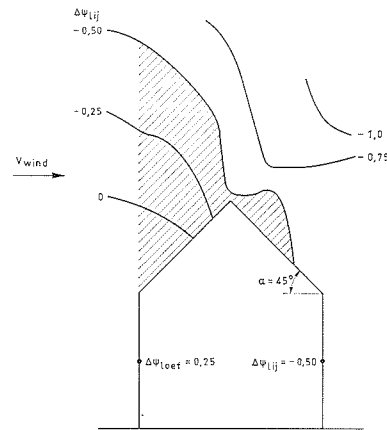
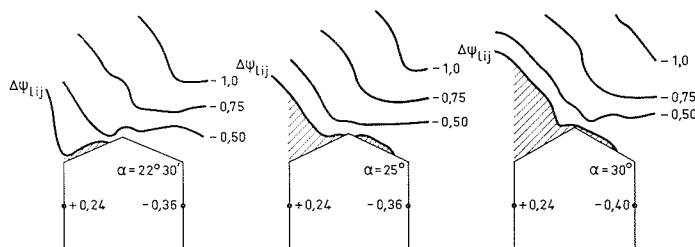


Fig. 6  
Drukverdeling om woningblok met een dakhelling van 45°



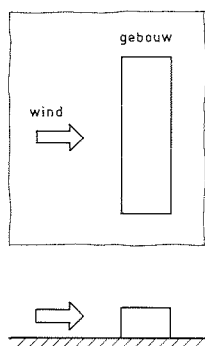


Fig. 8  
De in hoofdzaak gemeten situatie met de wind loodrecht op de gevel

- plaats van de uitmonding ter wille van een goede afvoerverwerking moet voldoen:
- Bij een dakhelling kleiner dan  $22^{\circ}30'$  is een hoogte van het kanaal bovendaks van 0,5 m voldoende, ongeacht de plaats in het dakvlak.
  - Bij een dakhelling van meer dan  $22^{\circ}30'$  moet de afstand van de uitmonding tot de nok worden beperkt, als men de hoogte van het kanaal boven het dakvlak tot 0,5 m wil beperken. De toelaatbare afstand tot de nok wordt kleiner naarmate de dakhelling toeneemt.
- Bij een willekeurige plaats in het dakvlak zal de hoogte moeten toenemen en wel des te meer naarmate de afstand tot de nok en/of de dakhelling toeneemt.
- Bij uitmonding in het hoogste punt van het dakvlak (de nok) is een hoogte van het kanaal van 0,5 m altijd voldoende.

De invloed van de windrichting is voor een aantal gevallen onderzocht. Dit om vast te stellen wat voor de werking van kanalen de ongunstigste drukverdeling om de woningen was.

Het meest kritisch met het oog op terugslag bleek in het algemeen de situatie waarbij de wind het blok loodrecht trof (zie figuur 8). Alleen bij een dakhelling van  $45^{\circ}$  bleek dit niet geheel het geval. Het verschil met het loodrechte aanblazen is echter zo gering, dat, gelet op het gedrag van de natuurlijke wind, waarbij deze voortdurend van snelheid en richting verandert, dit een te verwaarlozen invloed heeft op de uiteindelijke aan de hoogte van het kanaal te stellen eis.

Opmerking: Plaatsingen van de uitmondingen zeer dicht in de buurt van kopgevels van gebouwen zijn niet onderzocht.

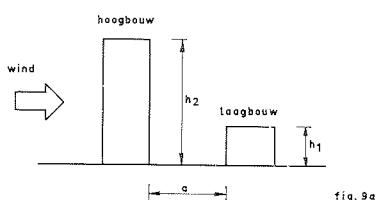


fig. 9a

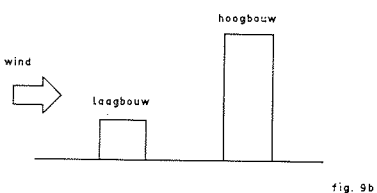


fig. 9b

Fig. 9  
De plaats van de hoogbouw t.o.v. de laagbouw

#### 4.2. Invloed van omgevende hogere bebouwing op de drukopbouw om een woongebouw

Algemeen bekend is dat hoge gebouwen de drukverdeling om lagere gebouwen in hun omgeving dikwijls zodanig beïnvloeden dat de afvoer via kanalen er slechter door wordt.

Hoe groot die invloed is, werd onderzocht in verband met de eisen die men aan de plaats en de hoogte van uitmondingen bovendaks moet stellen.

In de windtunnel van het IG-TNO is hiertoe een onderzoek verricht waarbij de afstand van de hogere bebouwing tot het woningblok werd gevarieerd. Deze hogere bebouwing lag bij de ene serie metingen vóór het te meten woningblok, bij een tweede serie metingen achter het te meten woningblok (zie figuur 9a en 9b).

Gekozen zijn 16 afstandsverhoudingen, variërend van  $(a/h_2) = \text{ca. } 3$  tot  $\text{ca. } 0,35$ , waarbij ook de hoogteverhouding verschillende waarden kreeg, en wel:  $(h_2/h_1) = 2, 4, 6, 8$ .

Op de laagbouw werden daken aangebracht met hellingen van 0°, 30° en 45°.

In elf gevallen is ook de aanstroomrichting van de wind over 45° gevarieerd.

Als referentiebasis werden eerst metingen zonder hoogbouw verricht, waarbij overigens de te verwachten ruwheid van de omgeving reeds was aangebracht. Dat wil zeggen: het woningblok bevond zich in een omgeving die te vergelijken is met het centrum van een grote stad.

Vergelijking van de uitkomsten met die van het onderzoek zonder bebouwing toonden aan dat de verhouding van de druk aan de zijzijde ten opzichte van de druk boven het dak iets gunstiger werd in het geval van bebouwing, hetgeen voor de waarde van de uitkomsten van dit onderzoek van groot belang is.

Uiteraard kon van het vrijwel onbeperkte aantal mogelijkheden slechts een beperkt aantal combinaties van parameters worden onderzocht.

De verrichte metingen geven aanleiding tot de volgende voorlopige conclusies:

- Indien de wind eerst de laagbouw treft en dan de hoogbouw is de situatie wat betreft de drukverdeling om de laagbouw hetzelfde of zelfs gunstiger dan bij laagbouw in een omgeving zonder bebouwing met enige bebouwing (bijv. heggen).
  - Voor eventueel te stellen zwaardere eisen die men aan uitmondningen bovendaks in de nabijheid van hogere bebouwing zou moeten stellen blijken van de onderzochte situaties slechts die van belang waarbij de hoogbouw zich vóór de laagbouw bevindt.
  - In dat geval ontstaat achter het gebouw een neergaande wervel (zie figuur 10).
  - Het gebied achter het gebouw is wat betreft het gedrag van de wervel in 3 zones te onderscheiden:
    1. de zone waar de wervel weliswaar daalt maar doorstroomt
    2. de zone waar de dalende wervel het dakvlak treft
    3. de zone waar de wervel terugstroomt.
  - De plaats van deze zones is afhankelijk van de verhoudingen ( $h_2/h_1$ ) en ( $a/h_2$ ).
- Hierin is:
- $h_1$  hoogte van de laagbouw
  - $h_2$  hoogte van de hoogbouw
  - $a$  afstand van de hoogbouw tot de laagbouw (zie fig. 9).

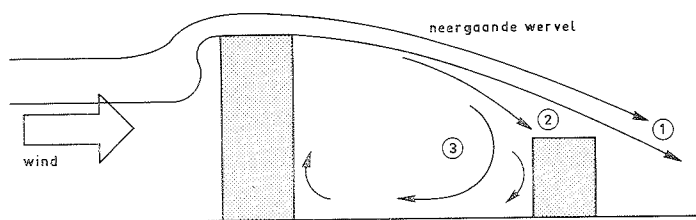
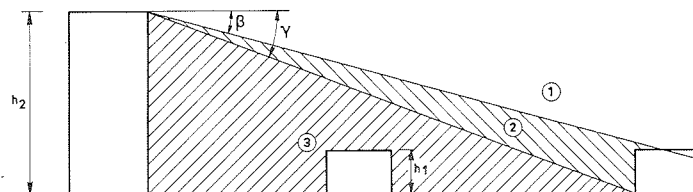


Fig. 10  
De wervelgebieden achter de hoogbouw

Fig. 11  
Uitmondingsgebieden achter de  
hoogbouw (geschematiseerd)



Bij dakhellingen van  $30^\circ$  of meer bleek de tweede zone niet aantoonbaar. De plaats van de verschillende gebieden is geschematiseerd aangegeven in figuur 11. Hierin is de afstand van gebouwen tot elkaar bepaald door de (belemmerings)hoeken  $\beta$  en  $\gamma$ .

In figuur 11 is  $\gamma = 35^\circ$ , terwijl  $\beta$  afhankelijk is van de verhouding van de hoogten der beschouwde gebouwen  $h_2/h_1$  (zie tabel 1).

Tabel 1

$h_2/h_1$	2	4	6	8	10	12
$\beta$	$10^\circ$	$15^\circ$	$20^\circ$	$25^\circ$	$30^\circ$	$30^\circ$

Bij woongebouwen met dakhellingen van  $30^\circ$  en groter geldt alleen de hoek  $\beta = \gamma$  zodat gebied 2 afwezig is.

#### 4.3. Invloed van een schoorsteen- of ventilatiekap op de druk in de uitmonding van de kanalen

Bij een slechte afvoer door kanalen verwacht men in het algemeen veel van het aanbrengen van een kap. In vroeger jaren werden door verschillende onderzoekers vele kappen onderzocht (zie ook de literatuurlijst). Inmiddels zijn vele nieuwe kappen op de markt gekomen.

Onderzocht is in welke gevallen een kap ten opzichte van een open pijp verbetering geeft zowel wat stabiliteit als drukniveau betreft. Hiertoe zijn 13 kappen op ware grootte in de windtunnel van IG-TNO onderzocht bij de volgende omstandigheden:

3 windsnelheden (0, 4 en 8 m/s)

4 snelheden in het afvoerkanaal (0, 1, 2 en 3 m/s)

13 standen ten opzichte van de wind, van loodrechte valwind tot loodrechte stijgwind met sprongen van  $15^\circ$  (zie figuur 12).

De meetresultaten zijn gegeven in de figuren 13, 14, 15 en 16. De in de figuren dun gestreept getrokken lijnen zijn de karakteristieken van de open pijp. Duidelijk blijken hier de verschillen in kappedrag. Terwijl bijv. de Giveg-kap bijna overal een stabielere en hogere trek oplevert t.o.v. de open pijp, geeft de Greskap reeds bij een gering transport

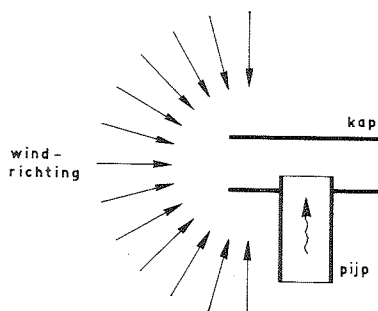


Fig. 12  
Gemeten windaanvalsrichtingen op  
de kap

een aanzienlijke verslechtering van de druk te zien. Ook de stabiliteit van de Givekap is beter dan die van de Greskap.

De kappen kunnen wat hun effect betreft worden onderscheiden in drie groepen:

- kappen die een verbetering van de druk en de stabiliteit geven ten opzichte van een open pijp. De op een onderzoek van het Gasinstituut (GIVEG) berustende kappen, die o.a. onder de merknamen 'Trega'- en 'Amgas'-kap in de handel zijn, behoren tot deze groep, evenals de 'gek'.
- kappen die bij windaanval slechter werken dan een open pijp.

De greskap (zgn. theepot) en de roterende kap behoren tot deze groep.

- kappen die in bepaalde omstandigheden een positieve invloed hebben en in andere gevallen een negatieve ten opzichte van de open pijp.

In het algemeen werken deze kappen gunstig bij valwinden, maar ongunstig bij stijgwinden.

Als algemene conclusie uit dit onderzoek geldt:

Bij val- respectievelijk stijgwinden zal de door het Gasinstituut (GIVEG) ontwikkelde kap het beste voldoen.

Fig. 13, 14, 15, 16

Karakteristieken van de onderzochte kappen

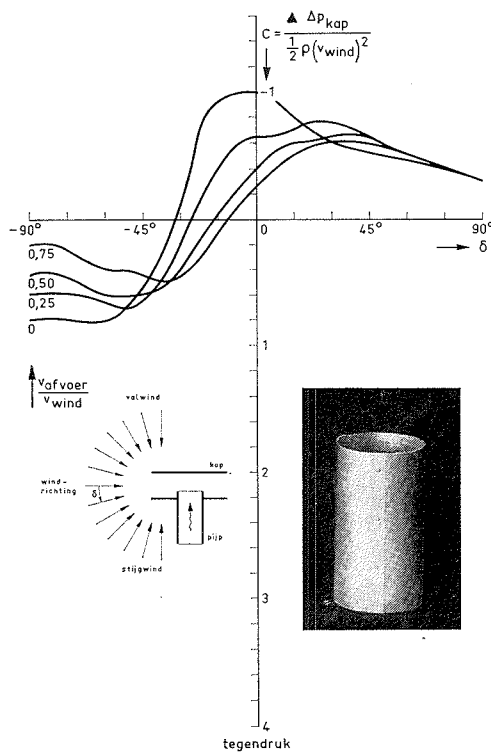
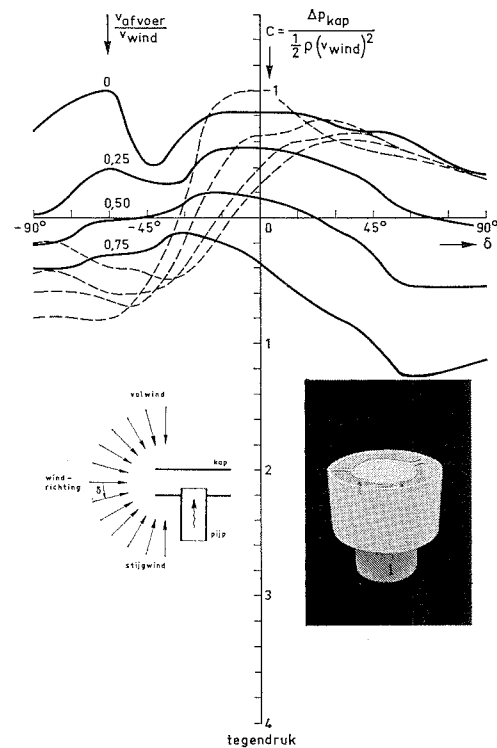


Fig. 13



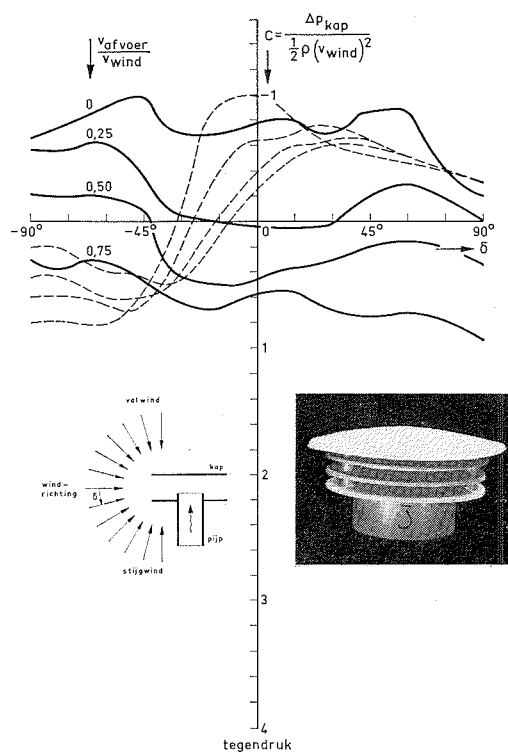
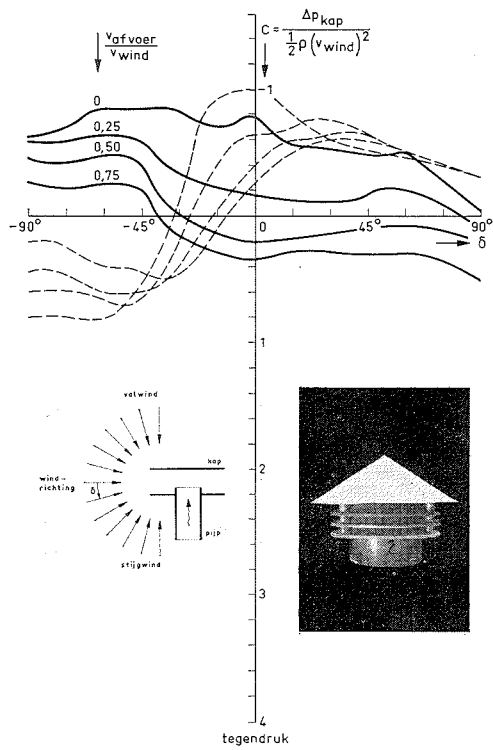
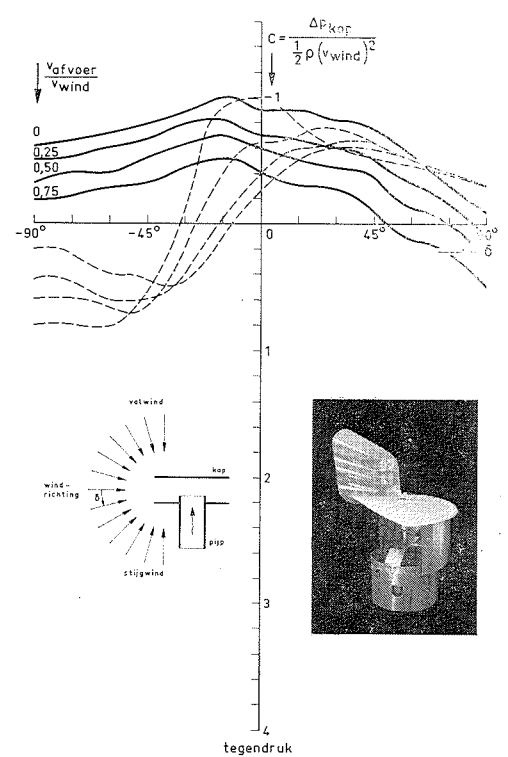
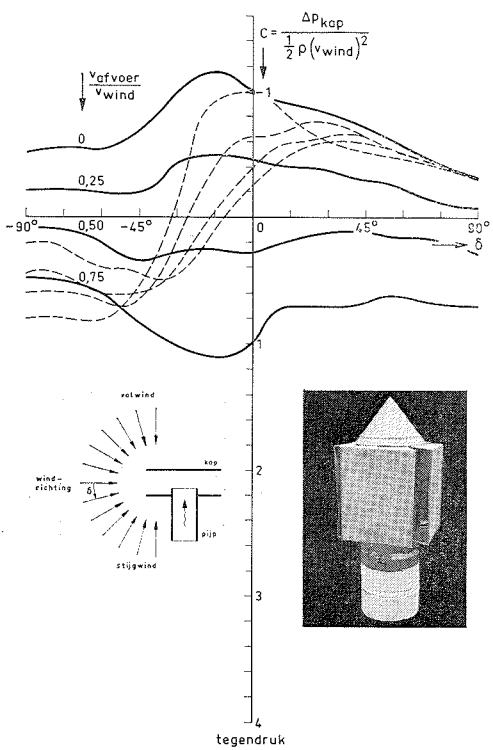


Fig. 14





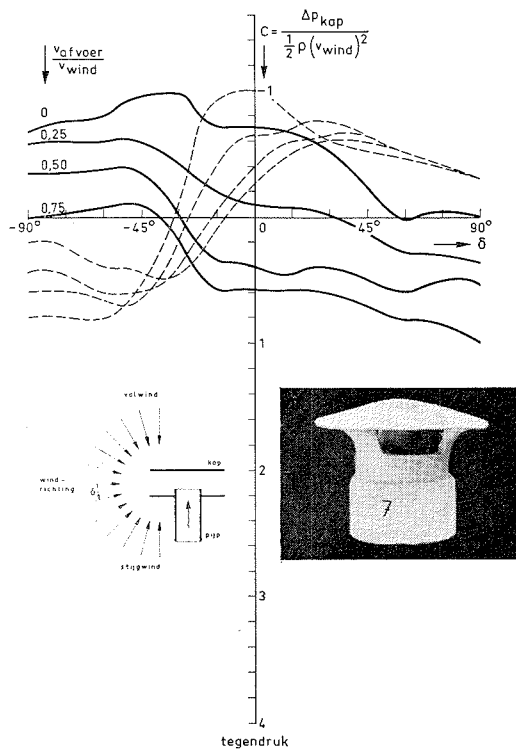
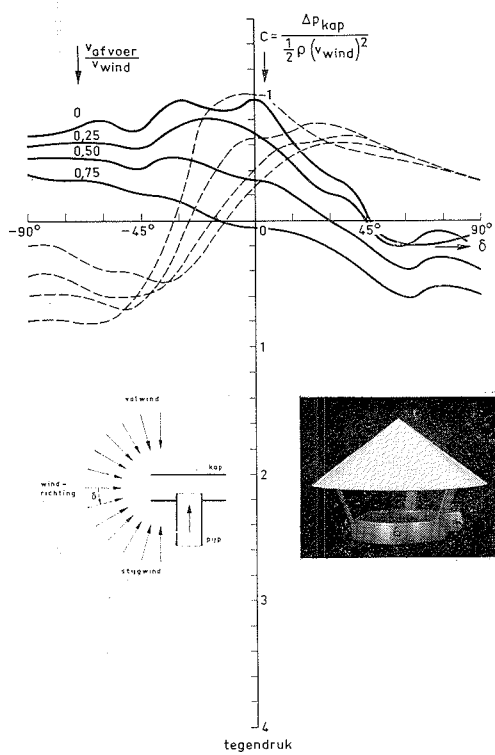
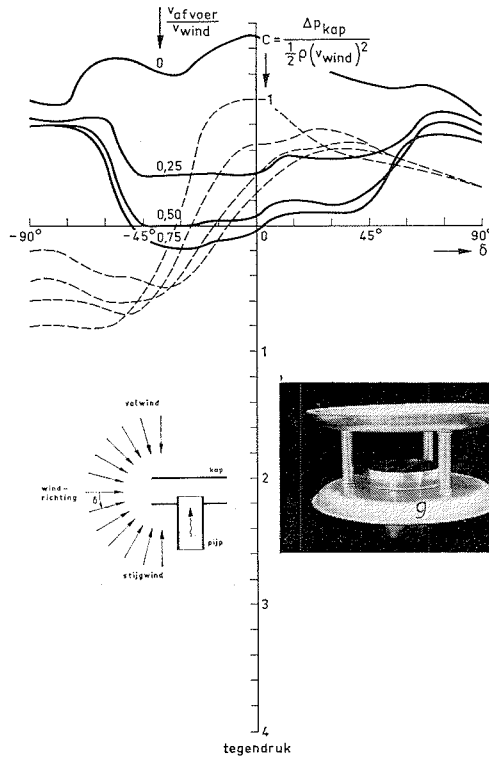
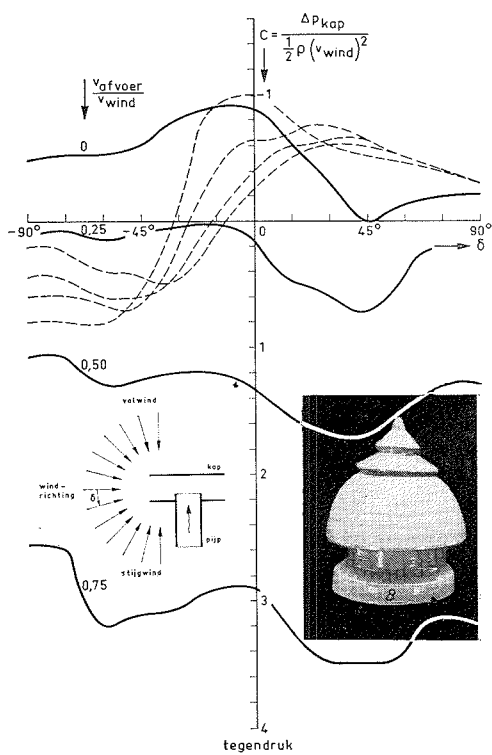


Fig. 15



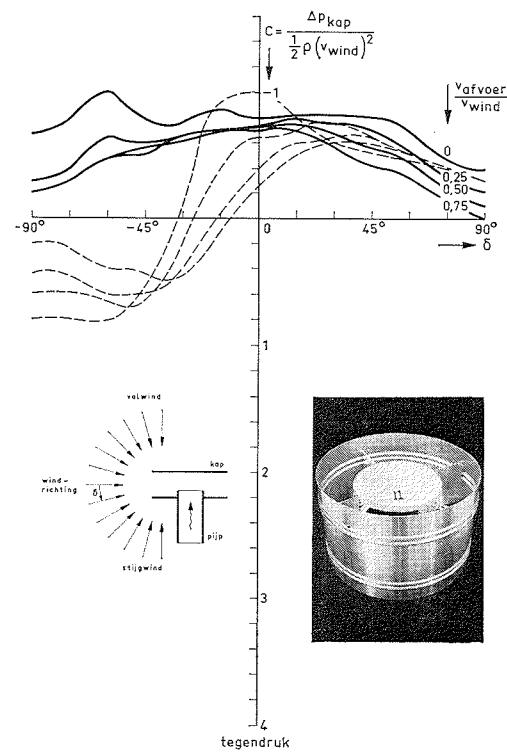
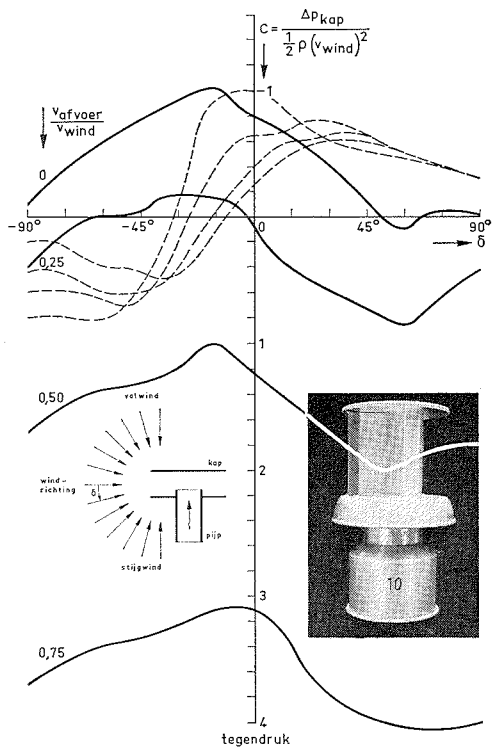
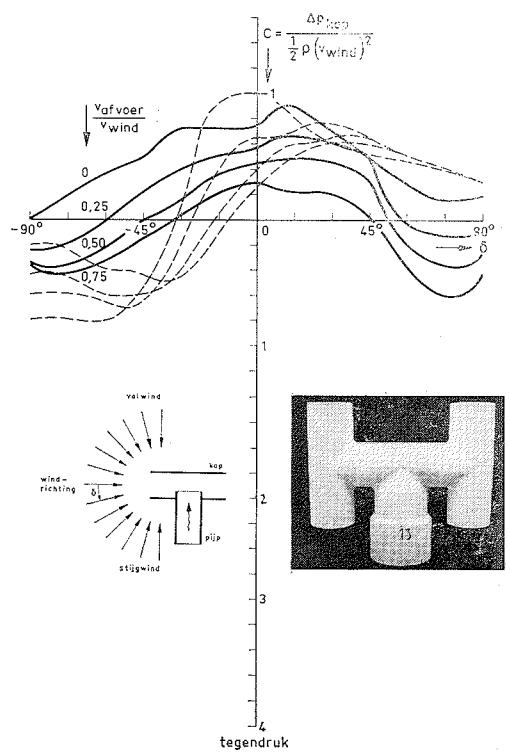
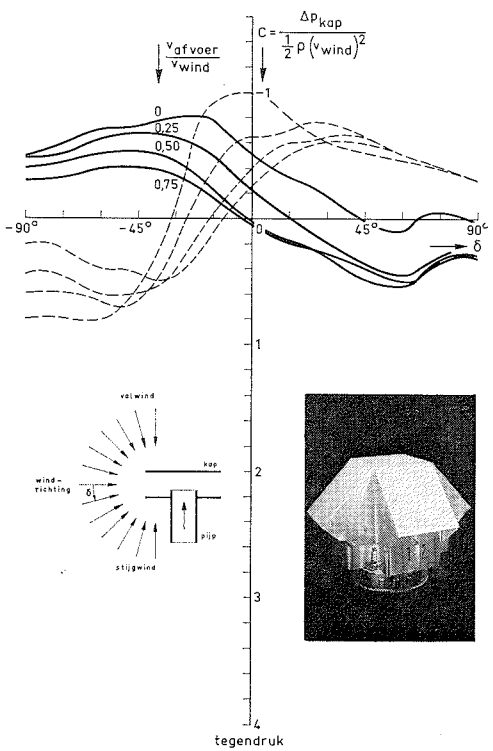


Fig. 16



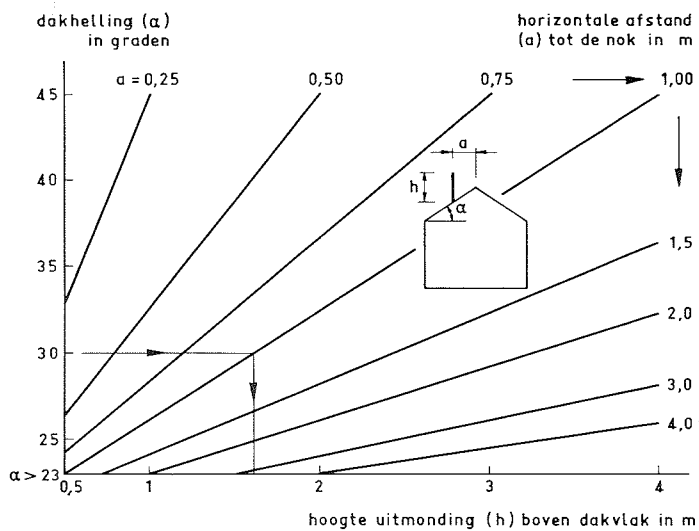


Fig. 17  
Grafiek ter bepaling van de vereiste minimum kanaalhoogte bovendaks volgens ontwerp-NPR 1088

Ook de zgn. 'gek' voldoet goed. De aanwezigheid van draaiende delen vormt een belangrijk bezwaar voor (de bedrijfszekerheid van) een goede werking op langere termijn.

## 5. TOEPASSING VAN DE RESULTATEN

De drie beschreven onderzoeken hebben geleid tot een paragraaf in ontwerp-NPR 1088, toelichting op de ontwerpnorm NEN 1087: 'Ventilatie van woongebouwen'. De kern van die paragraaf wordt gevormd door figuur 17. Hierin is:

- $h$  de hoogte boven het hoogste snijpunt van het kanaal met het dakvlak in m;
- $a$  de horizontale afstand van het hart van de uitmondung tot het hoogste punt van het dakvlak in m;
- $\alpha$  de helling van het dakvlak dat door het betrokken kanaal wordt doorsneden, in graden.

Bovendien geldt ten opzichte van de omgevende bebouwing de in paragraaf 4.2. genoemde figuur 11 met tabel 1; in zone 3 wordt steeds een Giveg kap geëist. De figuren 18 en 19 geven ter illustratie hoe met dit voorschrift de geëiste uitmondungshoogten gelegd zijn ten opzichte van de grillig verloopende meetresultaten.

## 6. SAMENVATTING

De drie onderzoeken hebben geleid tot beter gefundeerde eisen aan plaats en hoogte van uitmondungen bovendaks.

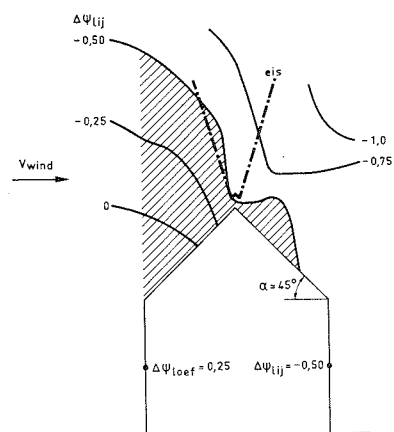
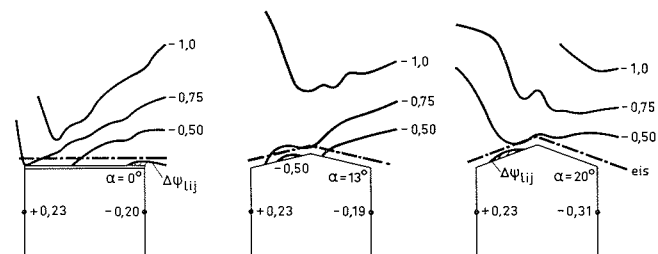


Fig. 18  
Vergelijking van de meetresultaten en de in ontwerp NPR 1088 gestelde eisen voor een dakhelling van 45°

Fig. 19  
Vergelijking van de meetresultaten  
en de in ontwerp-NPR 1088 gestelde  
eisen voor zes verschillende  
dakhellingen



Bovendien is veel nieuwe informatie verkregen over de drukverdeling om gebouwen en over de werking van schoorsteen- en ventilatiekappen.

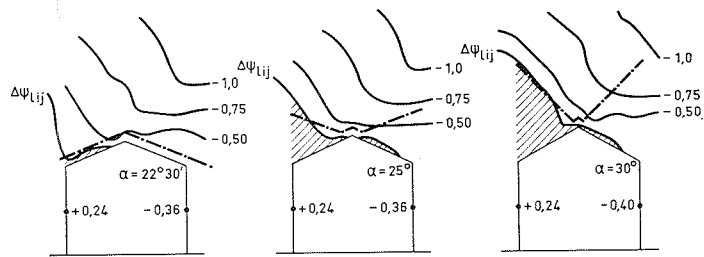
Verder onderzoek, met name betreffende de invloed van hoogbouw op de drukverdeling om laagbouw, alsmede kennis omtrent randeffecten is noodzakelijk om beter inzicht te krijgen ten aanzien van de te stellen eisen.

## 7. DANKWOORD

Dank moet worden gebracht aan de Stichting Bouwresearch die het onderzoek financieel mogelijk maakte, mede met het oog op het tot stand brengen van een norm voor de ventilatie van woningen.

## 8. LITERATUUR

- [1] Schoorsteenkappen. Mededeeling No. 9 der Gasstichting. Den Haag, febr. 1936.
- [2] Linden, A. J. ter. Schoorsteenkappen en Ventilatiekappen. Warmte-Techniek, 3 mrt. 1938, Nr. 3, blz. 21–26.
- [3] Lenz, H. e.a. Hausschornsteine; Heiztechnische Belastbarkeit, Zugstörungen durch Windeinfluss. Berichte aus der Bauforschung, Heft 20, Berlin 1961, 88 S.
- [4] Lusch, G. Windkräfte an Bauwerken. Berichte aus der Bauforschung, Heft 41, Berlin 1964, 94 S.
- [5] Lindeman, G. Wirkungsweise von Hausschornsteine; Auftrieb und Windwirkung. Baugewerbe 64 (1964), 18 (sept.)
- [6] Jensen, M. and N. Franck. Model-scale tests in turbulent wind; Part I, Phenomena dependent on the wind speed; Shelter at houses – Dispersal of smoke. Copenhagen 1963. 96 pp.  
Jensen, M. and N. Franck. Model-scale tests in turbulent wind; Part II, Phenomena dependent on velocity pressure; Wind loads on buildings. Copenhagen 1965. 169 pp.
- [7] Building Research Station. Proceedings of the Urban Planning Symposium, held in London on January 8th, 1965. Reprint of pp. 71–91, Air Flow Round Buildings, by A. F. E. Wise, et al.
- [8] Vent, Ventilation et Bâtiment. Cahiers du Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, dec. 1966, livraison 83, Cahier 720.
- [9] Palsma, A. en J. E. Buursink. Schoorsteenkappen. Gas, 89 (1969), Nr. 6 (jun.), blz. 229–251.



- [10] Bossers, P. A. Wind en hoge gebouwen; III Windinvloed om en in gebouwen. IG-TNO Publ. 334. Ingenieur, 82 (1970) Nr. 31 (31 jul.), B106–113.
- [11] Proceedings of the third international conference on wind effects on buildings and structures. Tokyo 1971.  
 Paper I.15. Influence of adjacent buildings to wind, by H. Ishizaki and I. W. Sung.  
 Paper II.3. A wind tunnel and full-scale study of turbulent wind pressures on a tall building, by N. M. Standen, et al.  
 Paper II.5. Influence of a neighbouring building on flat roof wind loading, by W. J. Kelnhofer.  
 Paper II.8. Comparison of pressure measurements made on a large isolated building in full and model scale, by W. H. Melbourne.
- [12] International Council for Building Research C.I.B.  
 Proceedings of Teaching the Teachers on building climatology. Volume of preprints 1. A-G. 307 pp. Stockholm, S.I.B., July 1972. Paper: Natural Air Flow Around Buildings, by B.H. Evans.
- [13] Ouden, H. Ph. L. den. De plaats van uitmondning van verticale kanalen bij eengezinshuizen. IG-TNO Publ. 430. Woningraad 32 (1972), Nr. 11, blz. 440–443.
- [14] Nederlands Normalisatie Instituut. Ontwerp NEN 1087. Ventilatie van woongebouwen. Rijswijk, aug. 1974.
- [15] Nederlands Normalisatie Instituut. Ontwerp NPR 1088. Ventilatie van woongebouwen; toelichting op ontwerp NEN 1087. Rijswijk, aug. 1974.
- [16] Nederlands Normalisatie Instituut. NEN 1078 Gasinstallatievoorschriften (Gavo 1963), Rijswijk, dec. 1963.

## Nabeschuiving

### 9. VERGELIJKING VAN DE IN DE ONTWERP-NPR 1088 EN NEN 1078 (GAVO) GESTELDE EISEN T.A.V. UITMONDINGEN BOVENDAKS

Vooraf dient opgemerkt te worden dat er voor de afvoer van lucht en voor de afvoer van verbrandingsgassen verschillende uitgangspunten zijn.

Bij ventilatiekanalen gaat het uitsluitend om de afvoer van lucht naar buiten. Een lagere druk aan de uitstroomopening bovendaks dan aan de instroomopening binnen is reeds voldoende om aan het uitgangspunt te beantwoorden.

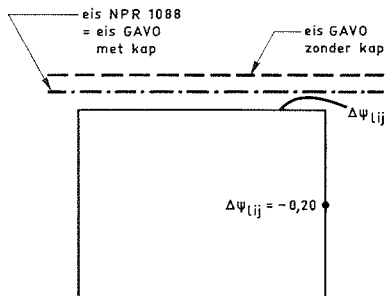


Fig. 20  
Vergelijking van de eisen volgens de GAVO en ontwerp-NPR 1088 voor een vrijstaande woning met een plat dak

Bij kanalen voor de afvoer van verbrandingsgassen dient men behalve met het aspect van afvoer ook nog met de hinder van de rookgassen voor de omgeving rekening te houden. Bovendien is hier van een groter temperatuurverschil sprake, waardoor een groter thermisch drukverschil ontstaat dat een gunstig effect heeft op de afvoer.

De eisen in de GAVO zijn in één figuur (afbeelding 1 in de GAVO-bijlage P) aangegeven.

In de ontwerp-NPR 1088 is de nadelige beïnvloeding, die de omgeving op de afvoer kan hebben, losgekoppeld van de eisen die men aan een vrijstaand huis kan stellen. Voor vergelijking van de eisen in de GAVO voor rookgasafvoer en in de ontwerp-NPR 1088 voor ventilatie-uitmondingen maken wij slechts een keuze uit de vele mogelijkheden. Vergeleken worden de eisen die men aan uitmondingen bovendaks kan stellen in geval van vrijstaande en niet-vrijstaande woningen met een dakhelling van 0° resp. 45°. In het geval van de niet-vrijstaande woningen is in de nabijheid een flatgebouw verondersteld dat ca. 6 maal zo hoog is als de woning.

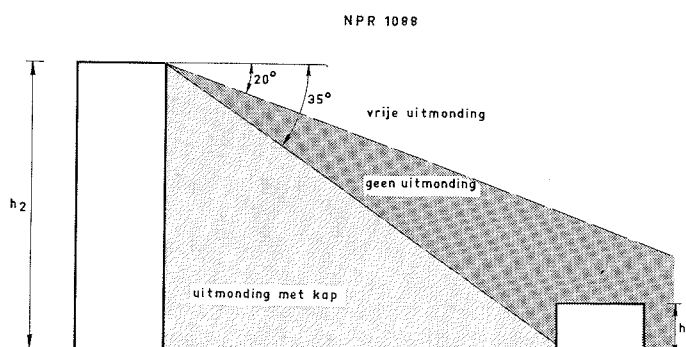
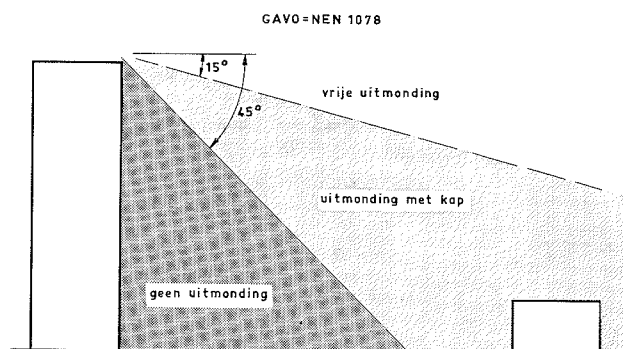


Fig. 22  
Vergelijking van de eisen volgens de GAVO en ontwerp-NPR 1088 voor woningen met een plat dak gelegen in de nabijheid van zesmaal hogere bebouwing

'Vrije uitmondung' betekent in ontwerp-NPR 1088 'Zonder kap'; uitmondungshoogte, met of zonder kap, te ontleen aan figuur 17 op pag. 37.

### Voorbeeld 1

Een vrijstaand huis met plat dak (dakhelling  $0^\circ$ ). De verschillende eisen zijn schematisch aangegeven in figuur 20. De GAVO eist een uitmondingshoogte van 1,0 m voor een uitmondung zonder kap en 0,5 m voor een uitmondung met kap. De ontwerp-NPR stelt dat 0,5 m voldoende is. Het verschil is dus 0,5 m bij uitmondung zonder kap.

### Voorbeeld 2

Een vrijstaand huis met een dakhelling van  $45^\circ$ . In figuur 21 zijn de diverse eisen aangegeven, waaruit blijkt dat in dit geval vlak bij de nok de verschillen afwezig of gering zijn, dat evenwel reeds op betrekkelijk geringe afstand van de nok de verschillen zeer groot zijn.

### Voorbeeld 3

Huizen met plat dak op verschillende afstanden achter een zes maal zo hoog gebouw.

Figuur 22 geeft de verschillende gebieden aan waarin volgens de GAVO, resp. ontwerp-NPR 1088, een gewone

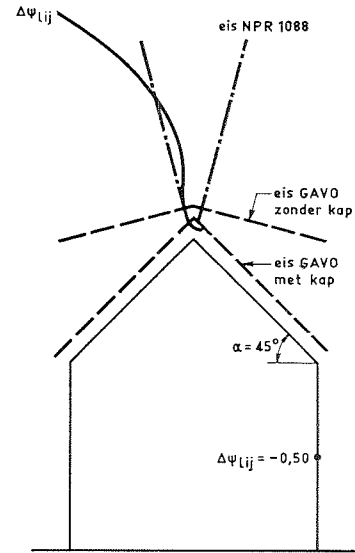


Fig. 21  
Vergelijking van de eisen volgens de GAVO en ontwerp-NPR 1088 voor een vrijstaande woning met een dakhelling van  $45^\circ$

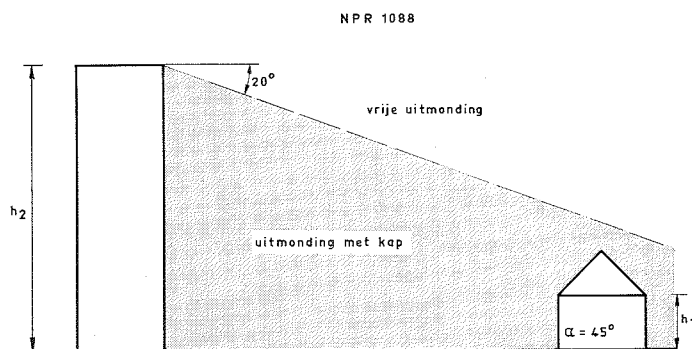
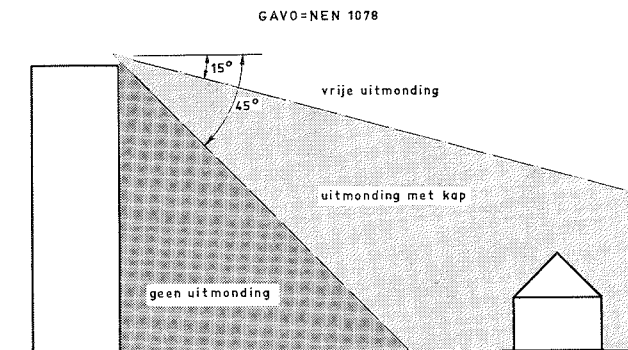


Fig. 23  
Vergelijking van de eisen volgens de GAVO en ontwerp-NPR 1088 voor woningen met een dakhelling van  $45^\circ$  gelegen in de nabijheid van zes maal hogere bebouwing

Zie noot bij fig. 22.

uitmonding, een uitmonding met kap of geen uitmonding mag worden toegepast.

In een deel van het gebied waarin de GAVO een uitmonding met kap toelaat, verbiedt de ontwerp-NPR 1088 de toepassing van een uitmonding van een kanaal voor natuurlijke ventilatie. Daar waar de GAVO geen uitmonding toelaat, laat ontwerp-NPR 1088 een uitmonding met kap toe. Hier zijn de voorschriften dus duidelijk verschillend.

#### Voorbeeld 4

Huizen met een dakhelling van 45° op verschillende afstanden achter een zesmaal zo hoog gebouw. In het gebied waar de GAVO geen uitmonding toelaat, kan volgens de ontwerp-NPR 1088 een uitmonding met kap worden toegelaten. De ontwerp-NPR 1088 kent in dit geval geen 'verboden' gebied. Zie figuur 23.

#### Conclusie

Uit deze voorbeelden blijkt dat verdere studie en aanpassing van de voorschriften gewenst moet worden geacht.



VERGELIJKING VAN DE VAN DAG TOT DAG  
BEREKENDE WARMTEBEHOEFTE VAN EEN  
WONING MET HET VAN DAG TOT DAG GEMETEN  
WARMTEVERBRUIK

*R. S. Soeleman*

1. INLEIDING

Het onderwerp dat nu zal worden aangesneden ligt in de sfeer van het toetsen van de bruikbaarheid van een bepaalde rekenwijze, om het energieverbruik voor de verwarming van een bepaalde bestaande woning – in dit geval een flatwoning – over langere perioden, eventueel van dag tot dag, te voorspellen. Het betreft hier in hoofdzaak de rekenwijze beschreven op de TVVL-TNO-dag gehouden in oktober 1973. In grote lijnen komt deze rekenwijze op het volgende neer.

Van de woning waar het om gaat wordt een analoog model samengesteld. Aan dit model worden karakteristieke functies bepaald, die vastleggen wat het gedrag is van de woning wanneer deze wordt onderworpen aan bepaalde invloeden van buiten. Deze karakteristieke functies bestaan uit reeksen van getallen.

Van de klimatologische omstandigheden uit de te beschouwen periode worden, met behulp van rekenmodellen, halfuurwaarden geproduceerd van de in de berekening in te zetten klimaatparameters.

In een digitaal computerprogramma wordt tenslotte op een zeer bepaalde wijze gemanipuleerd met het bestand getallen van de woning en van de klimaatvariabelen, om tenslotte het gewenste resultaat van de berekening te verkrijgen.

Om de bruikbaarheid van een dergelijke rekenwijze na te gaan is de berekende warmtebehoefte van de flatwoning vergeleken met de in werkelijkheid verzamelde cijfers van het warmteverbruik, gebaseerd op het gasverbruik voor de verwarming van deze woning.

Als bij het vergelijken van berekening en meting de voorspellende berekening voldoende betrouwbaar blijkt te zijn, is het mogelijk eveneens door berekening, vooraf te voorspellen wat de baten zullen zijn als gevolg van bouwkundige en andere maatregelen, die men overweegt om energie te besparen.

Gedurende het stookseizoen 1973–1974 zijn in een flat-

woning te Kijkduin door de bewoner met een nimmer aflatende nauwgezetheid dagelijks gasmeterstanden genoteerd. De thermostaat was voor de dagperiode op 21 °C ingesteld en voor de nachtperiode op 15 °C. Beide waarden waren ingesteld op de schaalverdeling van de thermostaat. Als een zeer nuttige indicatie van de weersomstandigheden van dag tot dag heeft de bewoner ook notities gemaakt ten aanzien van buiten- en binnentemperatuur, bezonning, bewolking en wind. Hierdoor is het mogelijk, om de klimaatgegevens die het KNMI ons heeft verstrekt, in ieder geval kwalitatief te verifiëren. Het KNMI heeft namelijk geen weerstation in Kijkduin. De gegevens die door het KNMI voor Kijkduin representatief werden geacht, zijn afkomstig van de stations Hoek van Holland, Scheveningen, Valkenburg, Katwijk en Naaldwijk.

De warmtebehoefte van de genoemde flatwoning is voor de 6-maandenperiode van november 1973 t/m april 1974 van dag tot dag berekend. Hierbij is uitgegaan van de bouwkundige gegevens van het flatgebouw, die vrij gedetailleerd beschikbaar waren, en de genoemde klimatologische gegevens. Het resultaat van de berekening en de cijfers van het gasverbruik die de bewoner heeft bijgehouden, zullen met elkaar worden vergeleken en nader worden geanalyseerd.

## 2. ONDERZOCHE FLATWONING

De flatwoning (figuur 1) bevindt zich in Kijkduin op enkele tientallen meters van het strand. Het is een zgn. hoekflat op de bovenste (de vierde) etage vlak onder het dak. Het vloeroppervlak bedraagt 100 m<sup>2</sup> en de luchtinhoud is 255 m<sup>3</sup>. De buitenwanden zijn resp. ZO, ZW en NW ge-

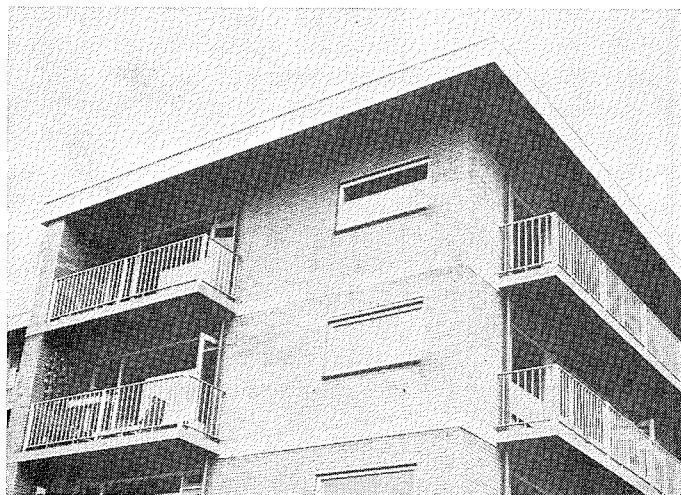


Fig. 1  
Aanzicht van de onderzochte woning

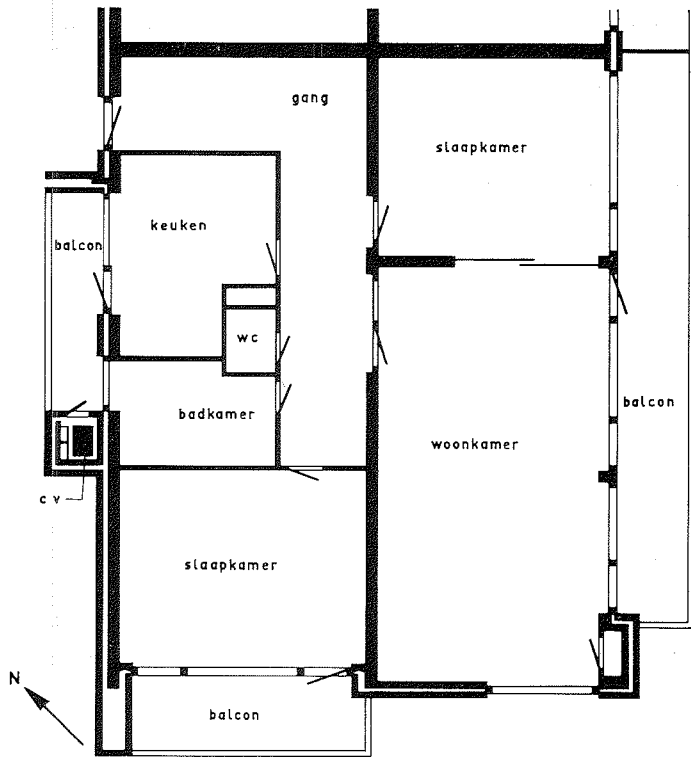


Fig. 2  
Plattegrondschem van de  
onderzochte woning

oriënterd, en praktisch alle vensters zijn van thermopane glas (dubbel glas) voorzien. Van de bouwkundige samenstelling van wanden, vloer en dak kan in zijn algemeenheid worden gezegd, dat deze een naar Nederlandse begrippen goede warmte-isolatie bieden.

Figuur 2 is de plattegrond die een indruk geeft van de verdeling in diverse ruimten. De berekening is gebaseerd op één en dezelfde temperatuur door het gehele huis. Dit leek verantwoord daar het ons in eerste instantie niet direct ging om de kleine details, zoals verschillen tussen de vertrekken, maar om het gedrag van de woning als geheel. De figuren zijn ontleend aan het boek Binnenklimaat en Energieverbruik, op grote schaal verspreid in januari 1974.

### 3. VERWERKTE KLIMATOLOGISCHE GEGEVENS

Van de KNMI-uurwaarden van luchttemperatuur, zonstraling op een horizontaal vlak, relatieve zonneshijnduur, bewolking en wind, hebben wij om verschillende redenen voor de simulatie van klimatologische omstandigheden vooreerst slechts de karakteristieke waarden van de fluctuaties van de klimaatvariabelen van dag tot dag ingevoerd in ons rekenmodel. De karakteristieke waarden zijn

voor het temperatuurverloop de minimum en maximum etmaaltemperatuur; voor de bezonning is dit de dagsomwaarde van de globale straling op een horizontaal vlak; voorts de zonschijnduur en de bewolking. Met deze waarden, die door de computer van dag tot dag werden ingelezen, werden de halfuurwaarden geproduceerd van temperatuur en bezonning. In dit klimaatprogramma is voorts bijzondere aandacht besteed aan de ontbinding van de globale straling in de componenten directe straling en diffuse straling, die afhankelijk worden gesteld van de combinatie relatieve zonschijnduur en bewolking. Ook is voorzien in de berekening van de schaduwinvloed op de directe straling op wanden en vensters, wat bij deze flatwoning o.a. wordt veroorzaakt door de uitstekende dakrand. Ook de reflectie straling van de grond en de omliggende bebouwing is verwerkt.

De ontbinding in de componenten directe en diffuse straling is zeer belangrijk bij de berekening van de bezonning op anders dan horizontaal georiënteerde oppervlakken.

De windgegevens zijn nog niet in het klimaatprogramma verwerkt. De reden hiervoor zult U nog vernemen, als het aspect wind wordt aangesneden.

#### 4. WARMTEBEHOEFTE EN WARMTEVERBRUIK

Zoals reeds vermeld werd is de warmtebehoefte van de flatwoning van halfuur tot halfuur door berekening bepaald, terwijl het gasverbruik dagelijks in de werkelijkheid is genoteerd.

De warmtebalans in een woning ziet er – afgezien van de getalwaarden – in beginsel uit als in figuur 3. De warmtebalans die in onze berekeningen is gebruikt, is een enigszins vereenvoudigde vorm hiervan, echter uitgebreid met de post geaccumuleerde warmte. De warmtebehoefte van de flatwoning is berekend met een warmtebalans, die luidt:

$$Q_{\text{verw}} = Q_{\text{transm}} + Q_{\text{accum}} + Q_{\text{vent}} - Q_{\text{wa.br.}}$$

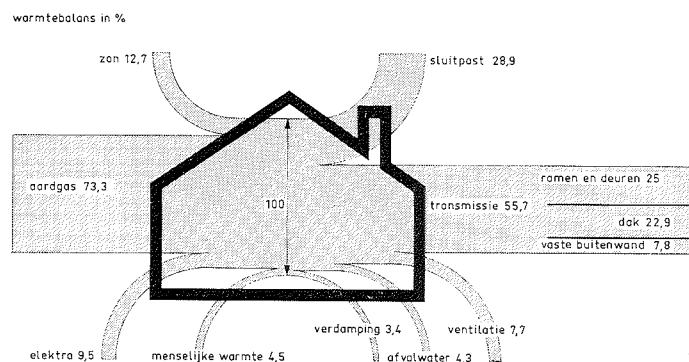


Fig. 3  
Warmtestroomverdeling van een woning met goede isolatie en beperkt ventilatievoud

Hierin is:

$Q_{\text{transm}}$  = de transmissie warmtestroom door buitenwanden, dak en vensters

$Q_{\text{accum}}$  = de accumulatiestroom van binnenwanden, vloer, meubilair, e.d.

$Q_{\text{vent}}$  = het warmtetransport door ventilatie

$Q_{\text{wa.br.}}$  = de warmtestroom van andere warmtebronnen dan de c.v. radiatoren. In deze post is de invloed van de directe en diffuse zonstraling opgenomen. Hiervan is de ingestraalde zonnewarmte op zonnige dagen het belangrijkste.

Elk van deze vier warmtestromen wordt van halfuur tot halfuur berekend, en over een etmaal gesommeerd. De som van deze vier warmtestromen per etmaal is dan de totale warmtebehoefte  $Q_{\text{verw}}$  per etmaal, nodig om de ingestelde thermostaattemperatuur te handhaven.

Door het fluctuerend gedrag van de klimatologische parameters is een rekenproces dat berust op een waardebeoordeling van halfuur tot halfuur onontbeerlijk. Om juiste conclusies te kunnen trekken uit het verschil in werkelijk gasverbruik van dag tot dag, en de berekende warmtebehoefte is enige toelichting op zijn plaats.

Om te beginnen mag niet alle warmte die potentieel in het verstookte gas aanwezig is worden beschouwd als nuttige warmte toegevoerd aan de woning. Er gaat niet alleen warmte verloren via de schoorsteen, maar ook warmte afgegeven door transmissie en straling via de ommanteling van de ketel.

Gezien de plaatsing van de ketel in een geventileerde balkonkast moeten de verliezen via de mantel vrijwel geheel als verlies worden beschouwd. Uit metingen aan de c.v.-ketel, uitgevoerd door de Afdeling Warmte- en Koude-techniek van het CTI-TNO, bleek het gebruiksrendement op 66% gesteld te kunnen worden. Aangezien er nog te weinig bekend is over het dynamisch (d.w.z. fluctuerend) gedrag van natuurlijke luchtinfiltratie in woningen onder invloed van fluctuerende winddrukken die om en over de woning worden opgebouwd, is in het klimaatprogramma de wind uit het klimaatbeeld gehouden en is het ventilatievoud constant op 1 gesteld.

Op het eerste gezicht wijken beide grafieken – de gemeten warmtebehoefte en de berekende warmtebehoefte – nogal van elkaar af (zie de curven boven in figuur 4). Een nadere analyse van de weersomstandigheden op de bewuste dagen maakt dit beeld echter heel wat aannemelijker.

Het verschil kan uiteraard niet worden toegeschreven aan verschillen in fluctuaties van de zoninstraling of de buiten-temperatuur, want deze zijn in de berekeningen verwerkt.

In figuur 4 zijn in de bovenste helft de berekende en de gemeten warmtebehoefte uitgezet.

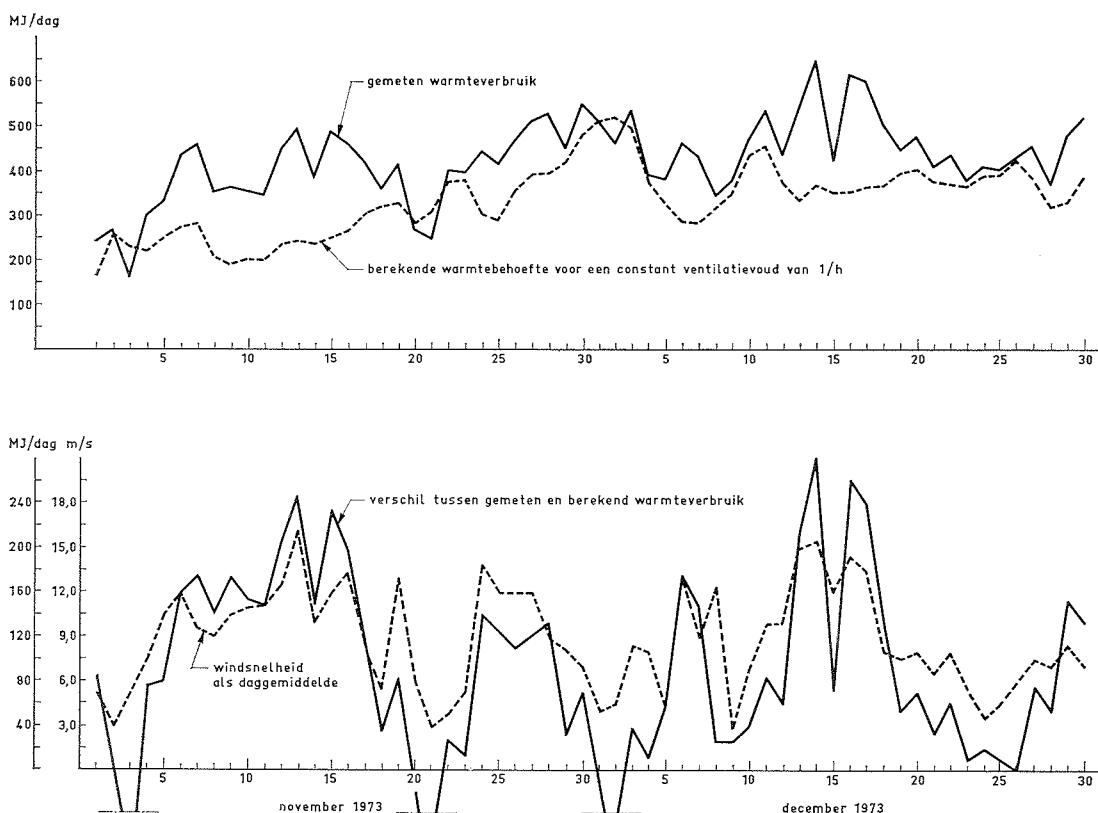


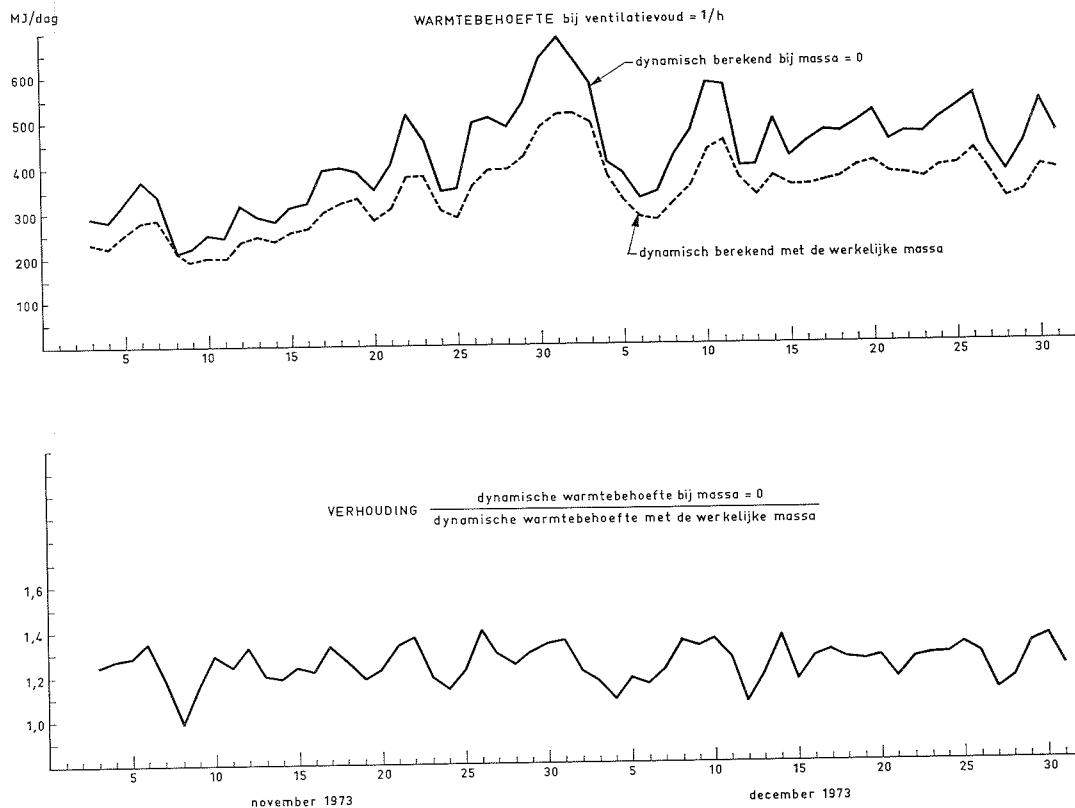
Fig. 4  
 Voor de onderzochte woning de gemeten en de berekende warmtebehoefte, het verschil dezer warmtebehoeften, en de windsnelheid in november en december 1973

In de onderste helft van figuur 4 is niet alleen het verschil tussen de genoemde warmteverbruiken uitgezet, maar ook de windsnelheid. Daaruit blijkt dat het verschil tussen berekend en gemeten warmteverbruik grotendeels dezelfde tendenzen vertoont als het verloop van de grootte van de windsnelheid.

De conclusie is dus gerechtvaardigd, dat de wind zeker een belangrijke invloed heeft. Deze invloed zal o.a. kunnen worden toegeschreven aan een verhoogd ventilatievoud en een verhoogde transmissie. De warmtebehoefte zal dus slechts goed kunnen worden voorspeld, als de windinvloed in de berekeningen wordt betrokken. De luchtinfiltratie en het ventilatievoud zullen overigens uiteraard in belangrijke mate mede worden bepaald door de ventilatiegewoonten van de bewoners.

## 5. WARMTECAPACITEIT VAN DE WONING EN WARMTEBEHOEFTE

Het nemen of voorschrijven van bepaalde maatregelen, met het doel warmteverlies van woningen te beperken of natuurlijke energiebronnen (zonne-energie) zo effectief mogelijk



aan te wenden voor de woningverwarming, dient goed gefundeerd te zijn. Zo zal men door voorspellende berekeningen kwantitatief willen vaststellen, hoe groot de winst is, die bepaalde maatregelen zullen opleveren.

Men hoort veelvuldig dat voor het verbeteren van de warmte-isolatie het verhogen van de warmteweerstand van de buitenwanden van woningen belangrijk is; weinig is bekend in hoeverre ook de massa van de wanden bij de verwarming van de woning daarbij invloed van betekenis zou kunnen hebben.

Om een eerste inzicht in dit probleem te krijgen hebben wij het rekenmodel van de flatwoning dezelfde oorspronkelijke warmteweerstand van de omwandingsdelen laten behouden, echter geheel ontdaan van alle warmte-accumulerende eigenschappen, m.a.w. massa = 0 (hypothetisch geval). Deze 'massaloze' flatwoning is onderworpen aan hetzelfde fluctuerende temperatuur- en bezonningsverloop van dag tot dag. De resultaten van de berekening van de warmtebehoefte van deze 'massaloze' flat en van die met de werkelijke massa worden in figuur 5 met elkaar vergeleken. Hieruit blijkt dat er grote verschillen in warmtebehoefte zijn. Onder in de figuur is de verhouding uitgezet. Daaruit blijkt nog eens duidelijk de grote invloed van de aanwezigheid

Fig. 5

De berekende warmtebehoeften voor de onderzochte woning:

- bouwkundig gelijk aan de werkelijkheid
- als a. doch met verwaarlozing van de warmte-accumulatie van de wanden (massaloze woning)

van bouwstofmassa. De warmtebehoefte van de massaloze woning is ruim 20% groter dan de warmtebehoefte van de woning met massa.

**Toelichting:**

Het effect dat verantwoordelijk is voor de verkregen warmtebesparing in geval van een wand met massa, kan als volgt worden verduidelijkt. In een 'massaloze' wand, dat wil zeggen een wand vervaardigd van bouwstof waarvan het produkt van soortelijk gewicht (sg) en soortelijke warmte (sw) nul is, kan geen warmte worden geaccumuleerd. Dit betekent, dat onder invloed van fluctuerende klimatologische (thermische) omstandigheden aan de ene zijde van de wand en weinig fluctuerende thermische omstandigheden aan de andere zijde, er geen enkel moment kan bestaan dat de wand (althans de binnenste lagen!) een temperatuur bezit, die afwijkt van een recht temperatuurverloop tussen de beide wandoppervlakken op datzelfde moment.

Bij een normale wand daarentegen, d.w.z. een wand van bouwstof met een produkt van sg en sw dat niet gelijk is aan nul, wordt wel warmte geaccumuleerd. Hoe groter het genoemde produkt is, des te groter is het accumulatievermogen.

In de wand met massa zal een niet-recht verloop van de temperatuur kunnen optreden en kunnen er zelfs momenten zijn, waarbij de binnenste lagen van de wand een hogere temperatuur bezitten dan de hoogste van de beide wandoppervlakken. De aanwezigheid van de geaccumuleerde warmte in de wand vormt als het ware een buffer tussen de thermische fluctuaties aan beide zijden van de wand. Door deze warmtebufferwerking zullen niet alle thermische fluctuaties aan de buitenzijde resulteren in een verandering van de warmtebehoefte aan de binnenzijde van de woning. Kleine en vooral relatief snelle warmtefluctuaties aan de buitenzijde worden in eerste instantie vereffend met de afgifte van geaccumuleerde warmte uit de lagen die het dichtst bij het oppervlak aan de buitenzijde gelegen zijn. Voordat de reserves in de diepste lagen worden aangesproken, kan reeds een volgende warmtetoevoer aan de buitenzijde (bijv. zonopstraling) de verloren hoeveelheid van de meest naar buiten gelegen lagen weer aanvullen.

Op deze wijze zullen thermische fluctuaties die zich aan de buitenzijde van de woning manifesteren, meer en minder gesmoord (al naar gelang het accumulatievermogen van de bouwstof en de frequentie van de fluctuaties) tot de binnenzijde van de woning doordringen. Dit komt ook heel duidelijk tot uitdrukking in de fluctuerende verhouding, die onderaan figuur 5 is uitgezet.

Het wezenlijke effect van de energiebesparing wordt echter niet bepaald door het accumulatievermogen alleen, maar



door de combinatie warmteweerstand en accumulatievermogen. Een niet-homogeen samengestelde wand bestaande uit lagen van verschillende bouwstof met de juiste combinatie in fysische eigenschappen, is daar een praktisch voorbeeld van.

## 6. VOORTZETTING VAN HET ONDERZOEK

De computeruitdraai bevat veel meer informatie over de relaties tussen de klimatologie, de woning en de warmtebehoefte, dan in deze voordracht tot uitdrukking kan worden gebracht. Zo wordt in de uitdraai het aandeel van vele delen van de warmtebehoefte afzonderlijk afgedrukt. Er is dus in de figuren nog slechts een klein deel van de beschikbare informatie gebruikt. Dit is mede veroorzaakt door het feit dat de getallen van de computeruitdraai pas kort geleden in ons bezit zijn gekomen. Deze resultaten zullen aan een uitgebreidere analyse worden onderworpen.

## 7. CONCLUSIES

- De warmtebehoefte van een woning kan slechts betrouwbaar worden voorspeld, als deze wordt bepaald met een dynamisch rekenproces, waarin onder meer de invloed van de bouwstofmassa en van de wind zijn verwerkt.
- Bij natuurlijke ventilatie heeft de wisselende luchtinfiltratie als gevolg van wisselende windkracht een belangrijke invloed op zowel de grilligheid van het verloop als de grootte van de warmtebehoefte.
- Het is onjuist om de energiebesparingen, die zijn te verkrijgen met betere isolatie, te voorspellen op basis van stationaire beschouwingen welke de invloed van de massa buiten beschouwing laat.
- De aanwezigheid van massa in de omwandingsdelen van de onderzochte woning blijkt een niet geringe vermindering voor de warmtebehoefte te betekenen ten opzichte van het geval, dat de omwandingsdelen zouden zijn vervaardigd van bouwstoffen die wel dezelfde warmteweerstand bezitten, maar geen massa (bijv. schuim- en cellenstoffen).

## BRANDSTOFVERBRUIK EN GEDRAG VAN VERWARMINGSINSTALLATIES IN WONINGEN EN ANDERE GEBOUWEN

*Ing. W. Adam*

### 1. INLEIDING

In deze lezing wordt het brandstofverbruik van woningen en gebouwen behandeld aan de hand van een tweetal in opdracht uitgevoerde onderzoeken aan een aantal gebouwen met een onderling vergelijkbaar gebruikspatroon. In aansluiting daarop zullen enige praktijkervaringen worden meegegeven van gevallen, waarin een te hoog brandstofverbruik werd geconstateerd.

Het eerste te bespreken onderzoek is uitgevoerd om richtwaarden te vinden, waarmee op een eenvoudige wijze het jaarlijkse brandstofverbruik van dit soort gebouwen geschat zou kunnen worden zonder dat een volledige transmissieberekening wordt gemaakt. Dit hield in dat het brandstofverbruik aan gemakkelijk definieerbare factoren gerelateerd zou moeten worden.

Dit maakte het noodzakelijk om van een groot aantal gebouwen het brandstofverbruik te verzamelen alsmede een aantal gegevens waaraan de verbruiken zouden kunnen worden gerelateerd.

Uit praktische overwegingen werd besloten de gegevens via een enquête te verzamelen en statistisch te verwerken.

Bij het tweede onderzoek waren veel minder gebouwen betrokken. Het doel van dit onderzoek was een schatting te maken van het normale brandstofverbruik van ieder gebouw met behulp van een aangepaste transmissieberekening. Deze gebouwen werden bezocht om ter plaatse een aantal gegevens op te nemen. Naast de schatting van het brandstofgebruik werd ook getracht de invloed van een aantal factoren op het brandstofgebruik te bepalen.

### 2. VERGELIJKING VAN DE GEBOUWEN ONDERLING

#### 2.1 *Richtwaarden jaarlijks brandstofverbruik*

Aan de beheerders van de gebouwen zijn enquêteformulieren gezonden waarin informatie gevraagd werd betreffende

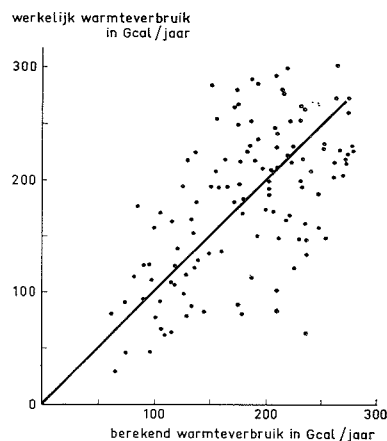


Fig. 1  
Het verband tussen het werkelijke en het berekende jaarlijks warmteverbruik

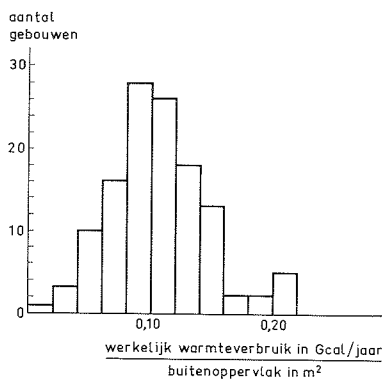


Fig. 2  
De frequentieverdeling van het jaarlijks warmteverbruik per eenheid van buitenoppervlak

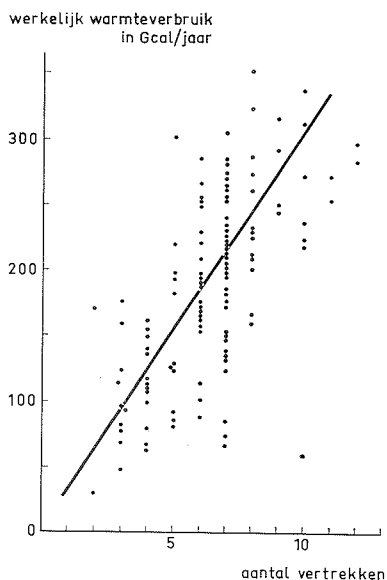


Fig. 3  
Het verband tussen het werkelijke jaarlijkse warmteverbruik en het aantal vertrekken

de de constructie, de inrichting en de materialen van het gebouw. Tevens werden gegevens gevraagd over de samenstelling en het gebruik van de verwarmingsinstallatie. Uit de enquêteformulieren is een monster getrokken van 250 stuks. De verkregen gegevens zijn vervolgens statistisch verwerkt, waarbij het warmteverbruik aan diverse factoren is gerelateerd.

### 2.1.1 Werkelijk en berekend jaarlijks warmteverbruik

Met de gegevens van de enquête is een zeer vereenvoudigde transmissieberekening gemaakt. Hierbij zijn, door het ontbreken van gedetailleerde gegevens betreffende de oriëntatie en ligging van de gebouwen, de ventilatieverliezen buiten beschouwing gelaten.

Bij de berekening van het warmteverbruik werd bij het bepalen van het aantal graaddagen rekening gehouden met de nachtverlaging waarbij een gemiddelde buitentemperatuur van 9,6°C overdag en 5,6°C 's nachts werd aangehouden.

In figuur 1 is het grafisch verband gegeven tussen het werkelijke jaarlijkse warmteverbruik en het berekende jaarlijkse warmteverbruik. De lijn geeft het gemiddelde weer. Uit deze grafiek, waarbij elk punt betrekking heeft op één bepaald gebouw, is te zien dat de waarden een grote spreiding ten opzichte van het gemiddelde vertonen. Een van de oorzaken van de grote spreiding is ongetwijfeld de onnauwkeurigheid van de berekende warmteverbruiken, veroorzaakt door de vereenvoudiging van de transmissieberekening.

Bovendien wordt het werkelijke warmteverbruik beïnvloed door een aantal factoren die niet in de berekening konden worden opgenomen. Deze factoren zijn onder andere: het gebruiksrendement van de ketels, de regeling van de installatie, de behandeling en het onderhoud van de installatie en de grootte van het geïnstalleerd vermogen.

Uitgaande van de enquête zal het brandstofverbruik over een stookseizoen, berekend met behulp van een vereenvoudigde transmissieberekening, in veel gevallen aanmerkelijk afwijken van het werkelijk brandstofverbruik en moet daarom als richtlijn met veel voorzichtigheid worden gehanteerd.

### 2.1.2 Werkelijk jaarlijks warmteverbruik en bouweigenschappen

In figuur 2 is het werkelijk brandstofverbruik als functie van het totale buitenoppervlak van het gebouw weergegeven. Onder het totale buitenoppervlak wordt het dakoppervlak, de buitenmuren inclusief ramen en deuren en de vloer van de begane grond gerekend. Gemiddeld wordt per m<sup>2</sup> 0,106 Gcal/jaar gevonden.

Omdat het gebruiksdoel van de gebouwen gelijk is en daardoor de afmetingen van de vertrekken waarschijnlijk vergelijkbaar zijn werd nagegaan of een richtwaarde kan worden gehanteerd voor het warmteverbruik per vertrek. In figuur 3 is het resultaat weergegeven. Het gemiddelde jaarlijkse warmteverbruik per vertrek is 30 Gcal/jaar.

Ook de relatie tussen het warmteverbruik en het bouwvolume zou een richtwaarde kunnen opleveren. Daarom is in figuur 4 in een histogram het verband weergegeven tussen het brandstofverbruik en het bouwvolume. Gemiddeld bedraagt het jaarlijkse warmteverbruik per m<sup>3</sup> 0,0658 Gcal/jaar

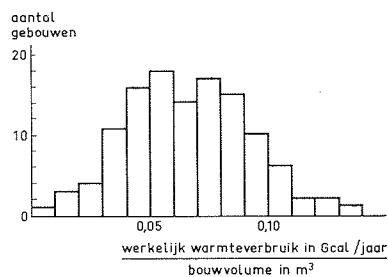


Fig. 4  
De frequentieverdeling van het werkelijke jaarlijkse warmteverbruik per eenheid van bouwvolume

### 2.1.3 Werkelijk jaarlijks warmteverbruik en opgegeven installatievermogen

De genoemde relatie is in de figuren 5 en 6 weergegeven. De gemiddelde waarde bedraagt 1,42 Gcal/jaar per Mcal/h geïnstalleerd vermogen. Het werkelijk jaarlijks warmteverbruik gedeeld door het geïnstalleerd vermogen geeft het aantal stookuren per stookseizoen wanneer verondersteld wordt dat de ketel uitsluitend op vollast in bedrijf is geweest.

In de uitgevoerde berekeningen werd de duur van het stookseizoen gesteld op 280 dagen per jaar of 6720 uur/jaar. Gemiddeld is de installatie  $\frac{1420 \times 100}{6720} = 21,2\%$  in

bedrijf geweest. Deze waarde geldt voor het seizoen waarop de gegevens betrekking hebben. Bij ketels met modulerende regeling of met een hoog-laagregeling is het werkelijk aantal bedrijfsuren hoger omdat gedurende een groot gedeelte van het seizoen de installatie op laagstand in bedrijf zal zijn.

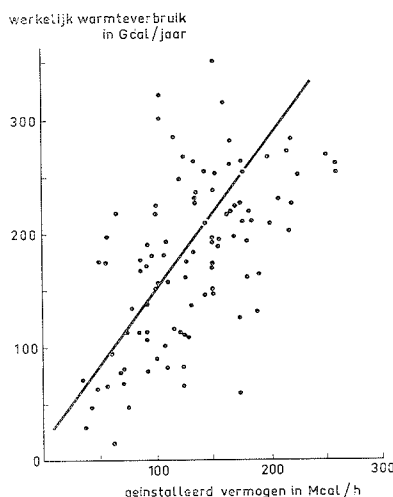


Fig. 5  
Het verband tussen het werkelijke jaarlijkse warmteverbruik en het geïnstalleerde vermogen

### 2.1.4 Samenvatting

In de relaties, vermeld onder 2.1.1 en 2.1.2 is een tamelijk grote spreiding te verwachten door de reeds genoemde onnauwkeurigheden en doordat sommige gekozen parameters slechts in beperkte mate bepalend zijn voor de warmteverliezen van een gebouw.

Dat echter het werkelijk brandstofverbruik ten opzichte van het installatievermogen een grote spreiding vertoont doet vermoeden dat in vele gevallen het jaarlijkse brandstofverbruik niet alleen wordt bepaald door de warmteverliezen waarop een transmissieberekening en vervolgens de keuze van het installatievermogen zijn gebaseerd, maar dat ook andere factoren van invloed zijn op het brandstofgebruik. Als mogelijke oorzaken voor de grote spreiding kunnen genoemd worden:

- Het gebruikspatroon van het gebouw. Hoewel van de bij het onderzoek betrokken gebouwen de gebruikspatronen vergelijkbaar zijn kan het afzonderlijke brandstofverbruik afwijken van het gemiddelde door verschillen in ventilatie.

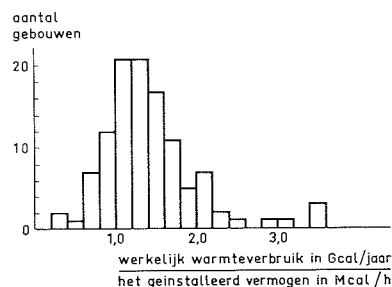


Fig. 6  
De frequentieverdeling van het werkelijke jaarlijkse warmteverbruik per eenheid van geïnstalleerd vermogen

- De wijze waarop de installatie geregeld wordt.
- De keuze van het geïnstalleerd vermogen. Naarmate het geïnstalleerd vermogen groter wordt ten opzichte van de werkelijke warmtebehoefte daalt het gebruiksrendement.
- De toestand waarin de installatie verkeert en de invloed daarvan op het rendement. In de praktijk is gebleken dat in een aantal gevallen reeds belangrijke brandstofbesparingen mogelijk zouden zijn door meer aandacht te besteden aan het onderhoud van de installatie.

## 2.2 *Onderzoek naar factoren die het brandstofverbruik beïnvloeden*

Het tweede onderzoek vond plaats aan 51 andere gebouwen, met ongeveer hetzelfde gebruikspatroon als de gebouwen van het eerste onderzoek. In tegenstelling tot de hiervoor besproken enquête werd bij dit onderzoek elk gebouw bezocht. Dit maakte het mogelijk alle gewenste gegevens ter plaatse op te nemen. Zodoende kon een nauwkeuriger benadering van de warmteverliezen van de gebouwen en het daaruit berekende jaarlijkse brandstofverbruik worden verkregen. Ook was het mogelijk om de gebruikstijden en de regeling van de installaties in de berekeningen te betrekken.

De berekening van het brandstofverbruik over een stookseizoen is uitgevoerd met behulp van het berekende warmteverlies  $Q_n$  van het gebouw en het aantal graaddagen van het stookseizoen. Het warmteverlies is berekend volgens de methode, aangegeven in DIN 4701-1959.

Voor de bepaling van het aantal graaddagen over het stookseizoen werd een gemiddelde etmaaltemperatuur van  $7,6^\circ\text{C}$  aangehouden. Omdat het om installaties en gebouwen ging waarbij vaak nachtverlaging en weekendverlaging werd toegepast werd de gemiddelde dagtemperatuur gesteld op  $9,6^\circ\text{C}$  over het tijdvak van 07.00 tot 19.00 uur en de gemiddelde nachttemperatuur op  $5,6^\circ\text{C}$  gedurende het resterende deel van het etmaal.

Bij de berekening werd er verder van uitgegaan dat het wekelijkse verwarmingsprogramma gedurende het stookseizoen onveranderd bleef.

Het aantal graaddagen in een seizoen dat bepalend is voor het brandstofverbruik is als volgt te berekenen:

$$\text{Aantal graaduren/week} = SU_d(t_{bd} - t_{ud}) + SU_n(t_{bn} - t_{un})$$

waarin

$SU_d$  = aantal stookuren per week op dagstand

$SU_n$  = aantal stookuren per week op nachtstand

$t_{bd}$  = basistemperatuur overdag

$t_{bn}$  = basistemperatuur 's nachts

$t_{ud}$  = gemiddelde buitentemperatuur overdag

$t_{un}$  = gemiddelde buitentemperatuur 's nachts

Het aantal graaddagen is dan

$$G_d = \frac{\text{aantal graaduren/week}}{24} \times \frac{\text{aantal stookdagen}}{7}$$

Het brandstofverbruik per jaar wordt vervolgens berekend met

$$B = 24 \cdot P \cdot G_d \cdot \frac{Q_h \cdot 100}{H \cdot \eta \cdot \Delta t_{\max}}$$

$B$  = het brandstofverbruik per seizoen

$P$  = toeslagfactor in verband met nachtverlaging

$G_d$  = aantal graaddagen in het stookseizoen

$Q_h$  = berekend warmteverlies van het gebouw

$H$  = calorische waarde van de brandstof

$\eta$  = het rendement van de installatie in %

$\Delta t_{\max}$  = het maximaal in rekening gebrachte verschil in binnen- en buitentemperatuur.

Het op deze wijze berekende jaarlijkse brandstofverbruik werd vergeleken met het werkelijk jaarlijkse brandstofverbruik. In figuur 7 is een histogram weergegeven waarin het werkelijk jaarlijks brandstofverbruik ten opzichte van het berekend jaarlijks brandstofverbruik is weergegeven. In deze figuur zijn ook de overeenkomstige gegevens opgenomen van het eerste onderzoek, dat uitsluitend gebaseerd was op een enquête.

Het histogram van het tweede onderzoek is gearceerd. De resultaten van het eerste onderzoek vertonen een aanzienlijk grotere spreiding dan de resultaten van het tweede onderzoek. Daaruit blijkt dat de berekening van het jaarlijks brandstofverbruik, zoals bij het tweede onderzoek uitgevoerd, de nauwkeurigheid ten goede komt. De gemiddelde waarde is lager dan bij het eerste onderzoek hetgeen voortvloeit uit het verschil in de berekeningsmethode van het brandstofverbruik.

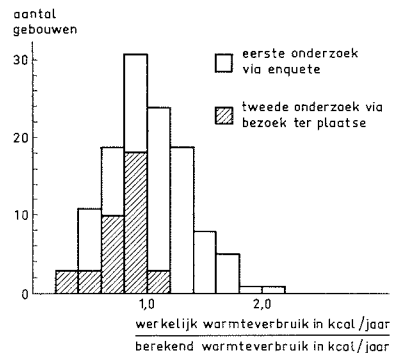


Fig. 7  
De frequentieverdeling van het werkelijke warmteverbruik per eenheid van het berekende jaarlijkse warmteverbruik

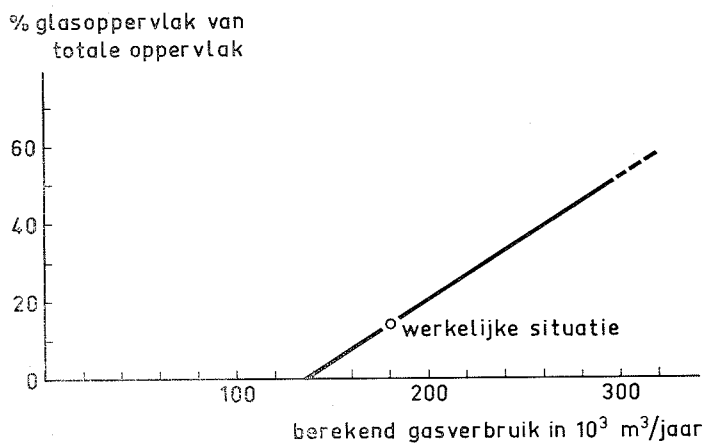
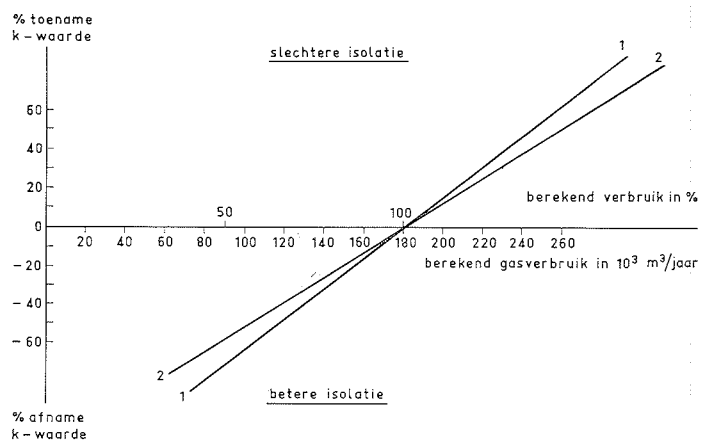


Fig. 8  
De invloed van het glasoppervlak op het brandstofverbruik betrekking hebbende op het als voorbeeld gebruikte gebouw

Fig. 9  
De invloed van het warmte-isolerend vermogen op het brandstofverbruik voor het als voorbeeld gebruikte gebouw

1. De  $k$ -waarde van het glas verandert niet
2. De  $k$ -waarde van het glas varieert procentueel evenveel als de  $k$ -waarden van de muren, daken en vloeren



Met hantering van de ontwikkelde berekeningsmethode werd van een der gebouwen de invloed van een aantal factoren op het berekende brandstofverbruik vastgesteld.

### 2.2.1 Warmte-isolerend vermogen

Wanneer het glasoppervlak verandert en men veronderstelt dat de  $k$ -waarde van glas constant blijft, dan neemt het transmissieverlies lineair toe of af met het glasoppervlak. Veronderstellen we dat het glasoppervlak gevarieerd wordt door het aantal ramen te variëren, dan nemen ook de spleetverliezen ongeveer lineair toe of af met het glasoppervlak. In figuur 8 is het berekende verbruik weergegeven als functie van het glasoppervlak. De met een cirkeltje gemerkte situatie is de werkelijke situatie bij het gebouw, dat voor deze berekening als voorbeeld werd gekozen.

Om een indruk te krijgen van de kwantitatieve invloed van de warmte-isolatie op het warmteverbruik zijn de twee volgende situaties gefingeerd:

- Er wordt een spouw dak- en vloerisolatie toegepast waarbij de  $k$ -waarde van glas gelijk blijft terwijl de andere  $k$ -waarden procentueel gevarieerd worden.
- Alle  $k$ -waarden variëren procentueel, dus ook die van glas, afgezien van de uitvoerbaarheid.

Voor deze situaties werden de brandstofverbruiken berekend. Het resultaat daarvan is weergegeven in figuur 9.

### 2.2.2 Aantal verwarmingsuren en de temperatuurregeling

In vele, vooral grote, verwarmingsinstallaties, is tegenwoordig een zogenaamde dag-nachtregeling aanwezig. Daarbij wordt de binnentemperatuur 's nachts lager ingesteld dan overdag. Aangezien in het algemeen de overtuiging bestaat dat daarmee een aanzienlijke brandstofbesparing wordt verkregen werd in het kader van het thans

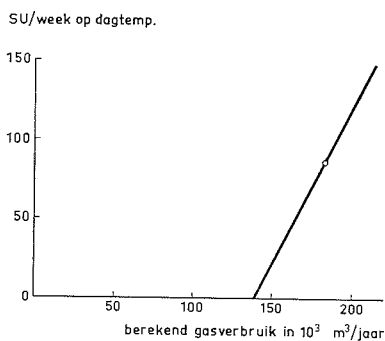


Fig. 10  
De invloed van het aantal stookuren ( $SU$ ) per week op dagtemperatuur, op het brandstofverbruik voor het als voorbeeld gebruikte gebouw

besproken onderzoek getracht de mogelijke besparing te schatten met behulp van de hiervoor besproken berekeningsmethode.

In figuur 10 is aangegeven in welke mate het brandstofverbruik kan variëren in afhankelijkheid van het aantal verwarmingsuren op de dagtemperatuur. Is dit aantal nihil geworden dan wordt het brandstofverbruik uitsluitend bepaald door een voortdurende verwarming op de nachttemperatuur.

In figuur 11 kan het te verwachten brandstofverbruik worden afgelezen bij verschillende dag- en nachttemperaturen. De verhouding tussen het aantal daguren en het aantal nachturen is daarbij constant gehouden. Ook is aangenomen dat de buitentemperatuur in de beschouwde perioden constant is. Het blijkt dat het brandstofverbruik vermindert met 21% door de nachttemperatuur te verlagen van 20°C tot 15°C.

### 2.2.3 Ketelrendement

In figuur 12 is het brandstofverbruik als functie van het ketelrendement uitgezet voor het beschouwde gebouw.

Het rendement van de installatie, gemeten over een bepaalde periode, wijkt af van de rendementen zoals die bij vollast gemeten worden. Enkele oorzaken hiervoor zijn:

- Het veelvuldig schakelen van de brandstoftoevoer waardoor bij elke keer dat de brandstoftoevoer uitgeschakeld wordt een gering ventilatieverlies plaatsvindt.
- Het verlies tijdens stilstand door warmte-afgifte van de ketel aan de omgeving.

Op andere oorzaken van lagere rendementen wordt bij de regeling van de installatie ingegaan.

### 2.2.4 Geïnstalleerd vermogen als functie van het berekende totale warmteverlies

Met de gehanteerde berekeningsmethode werd voor een aantal gebouwen berekend welk warmteverbruik te verwachten is bij de condities die ten grondslag liggen aan de normale transmissieberekening.

Deze warmteverbruiken zijn in de figuren 13a en 13b uitgezet tegen de overeenkomstige geïnstalleerde ketelvermogens. In figuur 13a zijn de schalen langs de assen beide lineair, in figuur 13b beide logaritmisch. In het dubbel-logaritmisch diagram komt een gelijke verticale afstand overal in het diagram overeen met eenzelfde procentueel verschil. De meest waarschijnlijke functie is aangegeven met een gestreepte lijn. Zou in alle gevallen het geïnstalleerd ketelvermogen juist overeenkomen met de als maximaal beschouwde warmtebehoefte, dan volgt daaruit een functie die is aangegeven met een getrokken lijn. Volgens deze beschouwing blijkt dat in vele gevallen een groter vermogen is geïnstalleerd dan nodig is.

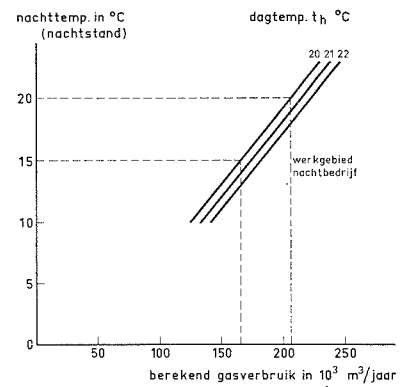


Fig. 11  
De invloed van het niveau van de nachttemperatuur op het brandstofverbruik voor het als voorbeeld gebruikte gebouw

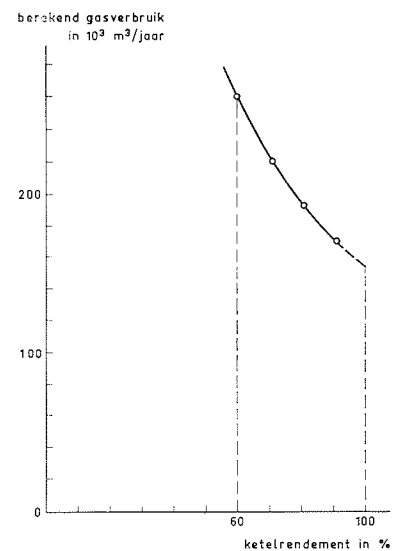


Fig. 12  
Het brandstofverbruik als functie van het ketelrendement voor het als voorbeeld gebruikte gebouw



### 2.2.5 Samenvatting

De verschillende resultaten zijn samengevat in figuur 14 waarmee het te verwachten jaarlijkse brandstofverbruik, voor een gemiddelde etmaaltemperatuur van  $7,6^{\circ}\text{C}$  bepaald kan worden, afhankelijk van het aantal stookuren, de ruimtetemperatuur overdag, de ruimtetemperatuur 's nachts, het temperatuurverschil en het rendement van de stookinstallatie. Tevens is het mogelijk om de invloed van de diverse factoren of een combinatie ervan op het brandstofverbruik vast te stellen.

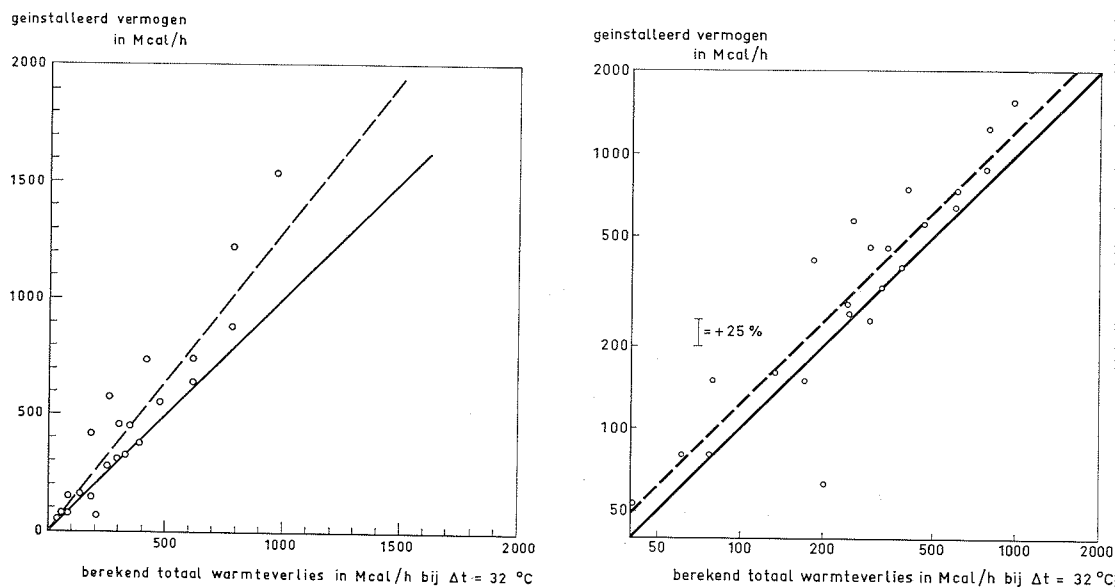
Voor het gebouw dat reeds eerder als voorbeeld diende zal nu aan de hand van de grafiek bepaald worden wat het jaarlijks brandstofverbruik zal zijn, wat de mogelijkheden zijn om brandstof te besparen en welke besparing daarmee bereikt wordt.

Uit het onderzoek ter plaatse bleek dat gedurende 91 uren per week de binnentemperatuur was ingesteld op  $20^{\circ}\text{C}$  ( $SU = 91$ ). In de resterende tijd werd de binnentemperatuur op  $18^{\circ}\text{C}$  gehouden.

Beschouwen we nu figuur 14 dan is op de positieve x-as op de onderste schaal het aantal stookuren op dagtemperatuur ( $SU$ ) aangegeven. Volgt men de lijn, getrokken vanuit  $SU = 91$  dan vindt men de daarbij behorende waarde  $W = 12,8$ .

Het brandstofverbruik per jaar is nu te berekenen door  $W$  te vermenigvuldigen met het berekend warmteverlies van het gebouw per graad Celcius temperatuurverschil ( $Qh/\Delta t$ ). Het berekende transmissieverlies is  $14,4 \times 10^3 \text{ kcal/h}^{\circ}\text{C}$ . Nu volgt het brandstofverbruik per jaar uit  $W \times Qh = 12,8 \times 14,4 \times 10^3 = 185.000 \text{ m}^3 \text{ aardgas per jaar}$ .

Fig. 13  
Het geïnstalleerd vermogen als functie van het berekende warmteverlies: links bij lineaire schaalverdeling, rechts bij logaritmische schaalverdeling



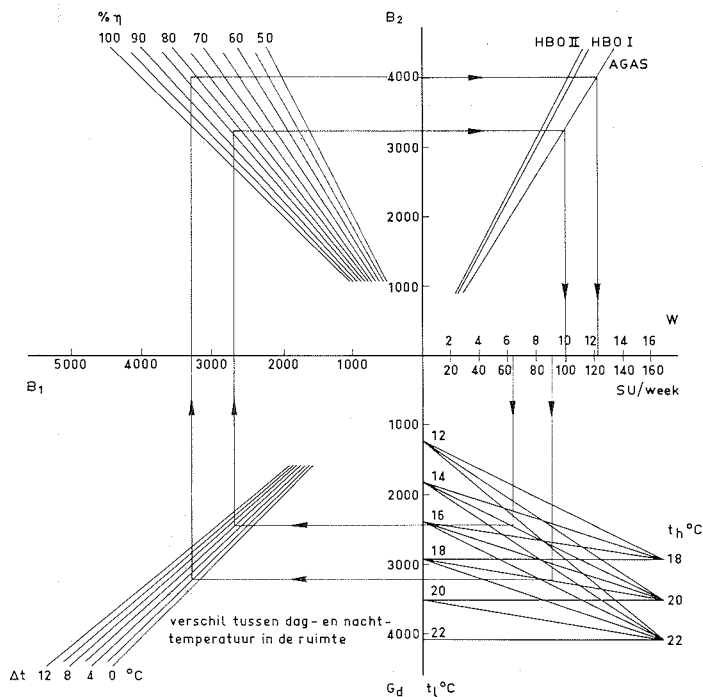


Fig. 14  
Samengestelde grafiek voor het bepalen van het te verwachten brandstofverbruik per jaar, afhankelijk van  $SU$ ,  $t_e$ ,  $t_k$ ,  $\Delta t(p)$  en  $n$ , geldend voor een gemiddelde etmaaltemperatuur van  $7,6^\circ\text{C}$

Het bleek uit nadere beschouwing van de gebruikstijden en de stooktijden in dit gebouw dat het aantal stookuren overdag teruggebracht zou kunnen worden van 91 naar 64 en de nachttemperatuur van  $18^\circ\text{C}$  naar  $14^\circ\text{C}$ .

Wanneer de grafiek nu met deze waarden geraadpleegd wordt blijkt dat de tussenwaarde  $W = 10,3$  is.

Het jaarlijks brandstofverbruik zou men dus kunnen verminderen tot  $W \times Qh = 10,3 \times 14,4 \times 10 \text{ m}^3 = 148.300 \text{ m}^3$  aardgas per jaar, hetgeen neerkomt op een besparing van 19,5%.

### 3. INVLOED VAN DE REGELING VAN DE INSTALLATIE OP HET BRANDSTOFVERBRUIK

Tijdens de energiekrisis zijn een aantal ideeën ontwikkeld op het gebied van bezuiniging van brandstof waarbij het isoleren van woningen en gebouwen een belangrijke plaats inneemt. Het is echter gebleken dat in veel gevallen reeds een aanzienlijke besparing kan worden verkregen door het gebouw en het gebruik dat er van gemaakt wordt eens nader te beschouwen. Ook een regelmatige controle van de stookinstallatie en daarbijbehorende regelingen kan preventief werken. In enkele gevallen zal men door een wijziging in een installatie grote besparingen kunnen bereiken.

Uit de resultaten van de controle van een groot aantal in-

installaties zijn een aantal voorbeelden aan te halen. Alvorens hiertoe over te gaan is het nuttig om een overzicht te geven van de in installaties meest toegepaste regelsystemen. Het accent ligt op installaties met warmwaterketels.

- Regeling van de brandstoftoevoer door middel van een ruimtethermostaat of een serieschakeling van een ruimtethermostaat en een instelbare ketelwaterthermostaat.
- Regeling van de aanvoerwatertemperatuur door een ruimtethermostaat.
- Regeling van de brandstoftoevoer door een combinatie van een buitethermostaat en een ketelwaterthermostaat.
- Een weersafhankelijke regeling waarbij de aanvoerwatertemperatuur afhankelijk van de buitenluchttemperatuur wordt ingesteld van een 3 of 4 weg mengsysteem.

### 3.1 *Plaatsing ruimtethermostaat*

De ruimtethermostaat in combinatie met een aan-uitregeling op de brandstoftoevoer wordt op grote schaal toegepast in woonhuizen, maar komt ook voor in utiliteitsgebouwen.

In woonhuizen wordt de ruimtethermostaat aangebracht in het hoofdwoonvertrek waarin de behoefte aan een prettig klimaat het grootst is. De juiste plaatsing van de thermostaat is belangrijk in verband met de reacties van de thermostaat op andere invloeden dan de temperatuur van de vertrekluft. Bevindt zich een ruimtethermostaat vlak naast een deur dan zal bij het openen van de deur de mogelijkheid bestaan dat uit de gang of hal koudere lucht langs de thermostaat strijkt waardoor de installatie in bedrijf komt. Een gewoonte om de deur van de woonkamer open te laten staan versterkt dit effect in hoge mate.

Bij utiliteitsgebouwen wordt dit eveneens aangetroffen. De mogelijkheden om de thermostaat op een verkeerde plaats aan te brengen zijn hier echter veel groter. In het afgelopen stookseizoen zijn installaties aangetroffen waarbij de thermostaat in de portiersloge gemonteerd was of in een andere ruimte waarin constant deuren geopend en gesloten worden. Deze plaatsing heeft tot gevolg dat het gehele gebouw op een te hoog niveau wordt verwarmd.

Een eveneens bij controles aangetroffen oorzaak van te hoge brandstofverbruiken is dat de radiatoren in de ruimte, waarin zich de thermostaat bevindt, afstaan zodat de thermostaat de vragende stand inneemt en de regeling door de ketelwaterthermostaat geschiedt. Is dit een maximaalthermostaat, dan wordt het gebouw op een veel te hoog niveau verwarmd. In dergelijke gevallen is een weersafhankelijke temperatuurregeling verantwoord.

### 3.2 *Weersafhankelijke regelingen*

In grotere gebouwen en gebouwencomplexen worden weersafhankelijke regelingen toegepast waarbij het water-

circuit vaak in groepen onderverdeeld is. Elke groep kan op de daarvoor geldende optimale stooklijn ingesteld worden. Ook bij deze systemen zijn door diverse oorzaken grotere hoeveelheden brandstof verbruikt dan strikt noodzakelijk zou zijn.

Een deel van de oorzaken is te wijten aan defecten in onderdelen van de installatie zoals mengkleppen, servomotoren en schakelklokken. De gebruikers kiezen dan vaak de gemakkelijkste weg door de regeling geheel of gedeeltelijk uit te schakelen en dan zodanig dat de warmtetoevoer naar het gebouw maximaal is.

Bij een aantal van de gecontroleerde installaties was de stooklijn te hoog afgesteld.

Ook door het buiten bedrijf stellen van delen van de installatie die langere tijd niet in gebruik zijn zou brandstof bespaard kunnen worden.

Enkele installaties werden aangetroffen waarvan de aanvoerwatertemperatuur van de groepen niet apart ingesteld kon worden. Hierdoor werd de installatie bedreven op de meest ongunstige situatie.

### 3.3 *Aanwezigheid en instelling schakelklok*

Gezien uit het oogpunt van zuinig stoken is een schakelklok waar dag-, nacht- en weekendbedrijf op ingesteld kan worden voordeliger dan wanneer dit met de hand geregeld moet worden.

Daarbij komt dat de tijdstippen van aanwarmen en van het ingaan van weekend- en nachtverlaging zodanig gekozen kunnen worden dat een optimaal gebruik van de installatie wordt gemaakt.

In een woning heeft het reeds zin om de plaatsing van een schakelklok te overwegen nu de brandstofprijzen in opgaande lijn zijn.

In een aantal gebouwen zijn echter situaties aangetroffen waar een schakelklok een noodzaak is. Het betreft hier vooral zakelijke gebouwen, fabrieken en scholen, waarbij de gebruikstijden vastliggen en waarin vooral 's avonds en in de weekenden brandstof bespaard kan worden door weekendverlaging toe te passen.

Veel gebouwen zijn reeds voorzien van een schakelklok. Ook hier kunnen zich in de praktijk situaties voordoen waarbij meer brandstof verbruikt wordt dan noodzakelijk is.

Enkele oorzaken voor te hoge verbruiken zijn:

- Er was een schakelklok gemonteerd waarop alleen nachtverlaging ingesteld kon worden, waardoor het gebouw zaterdag en zondag in de daguren op de hoge binnentemperatuur werd verwarmd.
- In een aantal gevallen werden defecte schakelklokken aangetroffen.
- De instelling van de klok blijkt nogal eens problemen op te leveren bij voorbeeld: de nachtverlaging is te hoog inge-

steld; de nachtverlaging gaat te laat in; de nachtverlaging is niet ingesteld zodat op dagbedrijf wordt geregeld; de klokken lopen voor of achter, soms een verschil van dagen waardoor in het weekend op het doordeweekse programma wordt gestookt.

Ook hieruit blijkt dat een regelmatige controle van de installatie kan bijdragen tot een zuiniger energieverbruik.

#### 3.4 *Ketelrendement*

Bij de gecontroleerde ketels is een van de meest voorkomende oorzaken in die gevallen waarbij een slecht rendement werd gemeten, een onjuist afgestelde brander of een vervuilde installatie, waardoor het rendement van de combinatie brander – ketel niet tot een optimale waarde komt.

Wanneer de installatie uit meer ketels bestaat worden in enkele gevallen bij een verminderde warmtevraag alle ketels op de laagstand geschakeld. Over het algemeen is het rendement op hoogstand hoger dan op laagstand en verdient het aanbeveling om bij voorbeeld één ketel op vollast in bedrijf te houden en de andere ketels uit te schakelen.

## 4. PRAKTISCHE VOORBEELDEN VAN TE HOGE JAARLIJKSE BRANDSTOFVERBRUIKEN

In een gebouwencomplex werd een verwarmingsinstallatie bestaande uit 3 ketels vervangen door een installatie bestaande uit 2 ketels waarbij het totaal vermogen van de nieuwe installatie 40% hoger werd dan het vermogen van de oude installatie.

Uit een overzicht van de jaarlijkse werkelijke brandstofverbruiken bleek, dat dit was toegenomen met 58%. Dit was de aanleiding voor een onderzoek naar de oorzaken van dit hogere verbruik. De geproduceerde warmte werd zowel voor het bereiden van maaltijden als voor de centrale verwarming gebruikt. Het aantal in het gebouw verblijvende personen had geen noemenswaardige wijziging ondergaan. Een onderzoek in de keuken leerde dat door modernisering een daling van het warmteverbruik te verwachten was. De toename van het brandstofverbruik was dus niet het gevolg van een grotere afname van warmte.

Bij een onderzoek in het ketelhuis werd vastgesteld:

- Met de oude installatie kon gedurende het grootste deel van het stookseizoen worden volstaan met één van de drie ketels.

Onder ongunstige omstandigheden daalde de stoomdruk tot een minimum. Het bijzetten van de tweede ketel vroeg meer tijd, dan de tijdsduur van de afnamepiek van stoom voor keukengebruik, zodat met ketel 1 werd volstaan.

Hieruit blijkt dat de oude installatie reeds aan de grote kant was. Doordat men slechts één ketel in bedrijf had werd met

een gunstig gebruiksrendement gewerkt daar de ketel met lange bedrijfstijden op vollast werkte.

Met de nieuwe installatie was één ketel geheel niet in bedrijf en de andere ketel kwam bij piekbelastingen zelden op de grote vlam.

De grotere verliezen worden in een dergelijk geval veroorzaakt doordat de verhouding van de bedrijfstijd tot de stilstandtijd kleiner wordt. De bedrijfstijden worden korter hetgeen een nadelige invloed heeft op het gebruiksrendement. Daarbij komt nog dat de verliezen, uitgedrukt in procenten vermenigvuldigd moeten worden met een hogere belasting, waardoor de werkelijke verliezen zeer nadelig beïnvloed worden. In het zomerseizoen wordt dit effect zeer versterkt daar de bedrijfstijden dan nog maar 20% van de cyclustijden bedragen. Hierbij gaat de ventilatie door de ketel een grote rol spelen vooral bij stoomketels waarbij de temperaturen van de ketel hoog blijven en de aangezogen lucht verwarmen.

Het aantal schakelingen wordt eveneens groter waardoor de ventilatieverliezen nog oplopen en tevens het materiaal van de ketel op temperatuur gebracht moet worden bij het opwarmen. Een ander verschil, dat eveneens een rol speelt, is dat de nieuwe ketel op laagstand brandt, waarbij het rendement enkele procenten lager ligt dan bij vollast.

In een ander geval bleek, dat na het plaatsen van twee gasketels met een totaal nominaal vermogen van 3.200 Mcal/h in plaats van de acht oliegestookte ketels met een totaal nominaal vermogen van 2.700 Mcal/h het brandstofverbruik te zijn toegenomen met 25%. Het watercircuit was ingedeeld in vijf groepen welke niet afzonderlijk geregeld konden worden. Tevens waren tegelijk met het vervangen van de ketels nieuwe terreinleidingen gelegd. Hier waren de volgende opmerkingen van kracht:

- De belasting van de installatie is beter te regelen met acht ketels dan met twee, waarbij één of meer ketels gedurende langere tijd op vollast kunnen blijven branden met een hoog gebruiksrendement.
- De terreinleidingen werden 's zomers op 70°C gehouden, hetgeen betekent dat daarvoor gedurende de zomer een ketel met een vermogen van 1.600 Mcal/h in bedrijf moest blijven waarbij de stilstandsverliezen een grote rol gaan spelen en het gebruiksrendement dus laag was.
- Het bleek dat soms het gehele gebouw op temperatuur werd gehouden omdat in één van de vertrekken werd vergaderd, daar de groepen niet afzonderlijk geregeld konden worden.

## 5. SLOTBESCHOUWING

De besproken onderzoeken hebben een aantal richtlijnen opgeleverd waarmee het mogelijk is om in de praktijk voorkomende situaties te beoordelen op het brandstofverbruik.

Uit alle verzamelde gegevens blijkt dat een regelmatige controle van de installaties gewenst is evenals een regelmatig onderhoud.

De controle dient niet tot de ketel beperkt te blijven.

De afstemming van de regeling op het praktisch gebruik dat van het gebouw gemaakt wordt is minstens even belangrijk.

De besparingen die hieruit kunnen voortvloeien zijn op zijn minst even belangrijk als de besparingen door middel van een betere isolatie van de gebouwen.

## TOESTELGEDRAG EN GEBRUIKSRENDEMENT

*Ing. D. J. van der Heeden*

### 1. INLEIDING

Eerst de energiecrisis en later de aangekondigde verhoging van de aardgasprijs hebben de belangstelling voor verlaging van het energieverbruik van woningen sterk doen toenemen. De aandacht is tot nu toe hierbij voornamelijk gevestigd op de verlaging van transmissie- en ventilatieverliezen van de woning en het is genoegzaam bekend dat op dit punt aanzienlijke besparingen mogelijk zijn. Op het andere in aanmerking komende gebied, namelijk het verminderen van de toestelverliezen, is tot nu toe betrekkelijk weinig gebeurd. Toch worden deze verliezen soms vrij hoog geschat, waardoor de indruk wordt gewekt dat op dit punt grote besparingen mogelijk zouden zijn. Concrete gegevens hierover zijn echter schaars.

Van de netto aan de gemiddelde woning toegevoerde energie in de vorm van gas, olie en elektriciteit is 78% bestemd voor verwarming en 10% voor warmwatervoorziening [1]. De aandacht moet dus primair gericht zijn op de hiervoor gebruikte toestellen; qua energieverbruik is de CV-ketel hiervan verreweg de belangrijkste. Om energiebesparing te verkrijgen moet van deze toestellen het zogenaamde 'gebruiksrendement' worden verhoogd. Om op dit punt iets te bereiken is inzicht nodig in de werkelijke grootte van het gebruiksrendement en in de verdeling en de oorzaak van de diverse optredende verliezen.

Door de Afdeling Warmte- en Koudetechniek van het Centraal Technisch Instituut TNO werd een onderzoekproject Verwarmingsapparatuur opgezet, om op bovengenoemde en andere punten concrete gegevens te verkrijgen. In het kader van dit onderzoek werden en worden metingen verricht aan CV-ketels voor woningverwarming, zowel in het laboratorium als in woningen. Ook een gasboiler is in het onderzoek betrokken. In een later stadium zullen metingen worden verricht aan grotere installaties voor verwarming van gebouwen, met diverse typen van regeling.

In dit artikel zal voornamelijk worden gesproken over CV-ketels voor woningverwarming en gasboilers; de ge-



gevens hiervoor zijn aan het genoemde onderzoek ontleend. Alvorens verder in te gaan op de mogelijkheden tot verhoging van het gebruiksrendement, zal het nuttig zijn een indicatie te geven van het financiële effect van maatregelen op dit gebied. Bij een jaarverbruik voor CV van 4.000 m<sup>3</sup> aardgas, betekent een verhoging van het gebruiksrendement van 65% naar 66%\* een besparing van 60 m<sup>3</sup>/j. Bij een te verwachten gasprijs van f 0,30/m<sup>3</sup> (gebaseerd op de huidige olieprijs) betekent dit dus f 18,—/j. Een verhoging met 10% van bijvoorbeeld 65 naar 75%, bespaart dan f 160,—/j. Stelt men hiertegenover wat bijvoorbeeld verlaging van de transmissieverliezen met 10% betekent, dan kan dit alleen maar benaderd worden via de warmtebalans van de woning [2,3]. Voor een gemiddelde woning, met in de warmtebalans een post transmissie van 55%, een post aardgas van 75% en een gebruiksrendement van de CV van 75%, wordt de besparing dan f 117,—/j. Het verbeteren van gebruiksrendementen, als dit mogelijk zou blijken, kan dus zeker de moeite waard zijn.

## 2. GEBRUIKSRENDEMENT

Het rendement ( $\eta$ ) van een toestel is de verhouding tussen de nuttig afgegeven en de bruto toegevoerde energie. De bepaling van dit laatste, via een gasmeter, zal geen aanleiding tot moeilijkheden geven. Over wat 'nuttig' is, kunnen echter de meningen verschillen. Bij een CV-ketel bijvoorbeeld kan men bepalen wat via het watercircuit aan de woning wordt afgegeven en verkrijgt daaruit het waterzijdig rendement ( $\eta_w$ ). Men kan ook het schoorsteenverlies bepalen en verkrijgt daaruit het schoorsteenzijdig rendement ( $\eta_s$ ), dat een stuk hoger ligt. De keuringseisen begrenzen dit schoorsteenverlies tussen 17 en 26% van de nominale belasting;  $\eta_s$  kan dus variëren tussen 74 en 83%, wat op zichzelf een vrij grote marge is.

Het rendement, zoals dit ook kan worden afgeleid uit het opschriftplaatje op een goedgekeurd gastoestel, wordt bepaald bij volle belasting en wordt hier vollastrendement ( $\eta_v$ ) genoemd. Over een langere periode, bijvoorbeeld een stookseizoen, bezien ligt het gemiddelde rendement, het zogenaamde 'gebruiksrendement' ( $\eta_g$ ), duidelijk lager. Uitzonderingen daargelaten wordt namelijk een toestel nooit continu bij volle belasting gebruikt. Bij discontinu gebruik (warmwater-toestellen) en bij aan-uit-regeling (gebruikelijk voor CV-ketels) treden ook gedurende de stilstandsperiodes verliezen op die door toevoer van energie moeten worden gecompenseerd, de zogenaamde 'stilstandsver-

\* Voor zover in dit artikel sprake is van rendementen en belastingen, zullen deze steeds betrokken zijn op de calorische bovenwaarde.

liezen'. (Het Duitse 'Betriebsbereitschaftsverluste' geeft de betekenis nog duidelijker weer). Daarom zal in de praktijk  $\eta_g$  altijd lager zijn dan  $\eta_v$ ; de grote vraag is echter: hoeveel lager?

Ongetwijfeld is het mogelijk,  $\eta_g$  rechtstreeks te bepalen door gedurende een stookseizoen een toestel, voorzien van de noodzakelijke meetpunten, door te meten. Aan de nauwkeurigheid van de meting (vooral van de watertemperatuur) worden dan zeer hoge eisen gesteld. Door de van dag tot dag en van uur tot uur wisselende omstandigheden zal de uitwerking buitengewoon tijdrovend worden. Men krijgt dan na een jaar een  $\eta_g$  dat voor een bepaalde woning met een bepaalde ketel en voor een toevallig stookseizoen geldt. Om op korte termijn vergelijkingen tussen verschillende toestellen voor verschillende omstandigheden mogelijk te maken, is een meer rationele benadering van het probleem nodig. Een mogelijkheid daarvoor is het rechtstreeks bepalen van het stilstandsverlies, zoals voorgesteld door Dittrich [4], waaruit dan gebruiksrendementen berekend kunnen worden).

De meting volgens Dittrich, bruikbaar voor onder meer CV-ketels en gasboilers, komt er op neer dat bij een op een bepaalde waarde afgestelde watertemperatuur, het brandstofverbruik over een voldoende lange periode gemeten wordt, zonder dat nuttige warmte (in de vorm van water) wordt afgenomen. De toegevoerde energie dient dan alleen ter dekking van de stilstandsverliezen en kan worden uitgedrukt als percentage van de nominale belasting van het toestel. Het zou wenselijk zijn dat in de toekomst dit gegeven voor elk toestel bepaald wordt en op het opschriftplaatje vermeld.

Noemt men B de 'benuttingsgraad' van het toestel, gedefinieerd als het percentage van het stookseizoen dat het toestel in bedrijf is voor het afgeven van nuttige warmte, (B kan ook opgevat worden als de gemiddelde belasting in % van de volle belasting) en  $q$  het stilstandsverlies, gemeten volgens Dittrich, dan kan worden afgeleid [4]:

$$\eta_g = \frac{\eta_v}{1 + \left(\frac{100}{B} - 1\right) \frac{q}{100}} \quad \text{ofwel} \quad \eta_g = \psi \cdot \eta_v$$

$$\text{waarin } \psi = \frac{100B}{100B + (100 - B)q}$$

De wel gehoorde mening dat een laag vollastrendement onbelangrijk is, als het gebruiksrendement maar hoog ligt, gaat dan ook niet op:  $\eta_g$  is evenredig met  $\eta$ . De  $\psi$ -waarde voor enkele waarden van het stilstandsverlies, namelijk 2, 4, 6 en 8% van de vollast, is uitgezet in figuur 1 als functie van de benuttingsgraad B.

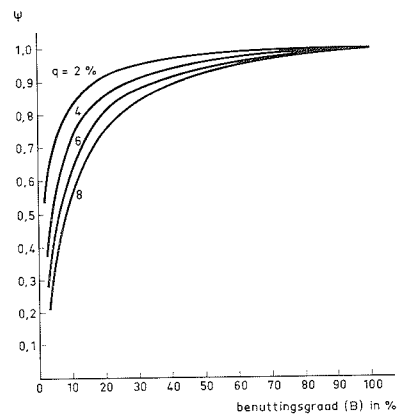


Fig. 1  
De  $\psi$  waarde (= gebruiksrendement/vollastrendement) volgens Dittrich

Voor een juist gekozen verwarmingstoestel zal in een gemiddeld stookseizoen  $B$  tussen 30 en 35% liggen. De  $\psi$ -waarde ligt dan nog niet bijzonder laag: voor  $B = 30\%$  tussen 0,95 en 0,84. Een ernstige daling van  $\psi$  en dus van  $\eta_g$  kan pas verwacht worden bij lage waarden van  $B$ , met andere woorden als het toestel te groot is. Bij hoge brandstofprijzen wordt overcapaciteit zo een kostbare zaak. Uit figuur 1 volgt dat bij bijvoorbeeld  $q = 4\%$  een 10% te hoge capaciteit  $\eta_g$  met circa 1,5% doet dalen, een 50% te hoge capaciteit echter al met circa 5,5%. Ook kan afgeleid worden dat, althans in het gebied  $B > 30\%$ , een hoog vollastrendement meestal belangrijker is dan een laag stilstandsverlies. Bij  $B = 30\%$  en  $q = 6\%$  (reeds zéér hoog!) zal een toestel met  $\eta_v = 83\%$  een gebruiksrendement  $\eta_g = 72,5\%$  geven, een toestel met  $\eta_v = 74\%$  en  $q = 2\%$ , geeft  $\eta_g = 70,5\%$ .

In dit verband kan nog opgemerkt worden dat het isoleren van bestaande woningen, zonder iets aan de bestaande verwarmingsinstallatie te doen, automatisch tot overcapaciteit, dus tot een lagere  $\eta_g$  leidt.

Zéér lage waarden van  $B$ , (van 2 tot 8%) worden gevonden bij gasboilers. Dit is onlosmakelijk verbonden aan het principe van het voorraadtoestel en de voornaamste oorzaak van het lage gebruiksrendement. Bij een gasboiler is het daarom van groot belang dat  $q$  laag ligt. Lage waarden komen verder voor bij de combinatietoestellen waarin de warmwatervoorziening met het CV-toestel is geïntegreerd en die daarom het gehele jaar in bedrijf moeten blijven.

### 3. ANALYSE VAN DE VERLIEZEN

Het zal de lezer niet ontgaan zijn, dat bij een meting van de stilstandsverliezen volgens Dittrich, alle afgevoerde warmte tijdens stilstand ook inderdaad als 'verlies' wordt gerekend. Een splitsing naar de aard van de verliezen is verder niet mogelijk. Een nadere analyse van wat er gebeurt, zowel tijdens vollast als stilstand, is dan ook wel gewenst.

In hoofdstuk 1 kwam reeds het verschil tussen schoorsteenzijdig en waterzijdig rendement ter sprake. Dit verschil wordt veroorzaakt doordat het toestel zelf aan de omgeving warmte afgeeft door convectie en uitstraling, hier de transmissieverliezen genoemd. Of dit werkelijk altijd een verlies is, hangt van de opstelling af. Bij opstelling buiten (bijvoorbeeld een balkonkast) is het een verlies, bij opstelling in de keuken meestal niet. In het laatste geval kan vaak van een radiator in de keuken worden afgezien. Zolderopstelling is een twijfelgeval; weliswaar komt de afgegeven warmte binnen in de woning vrij, maar het hangt van de omstandigheden af of de bewoner er werkelijk nut van heeft.

Afhankelijk van de opstelling is dus soms het schoorsteen-zijdig-, soms het waterzijdig rendement belangrijker. Voor een gasboiler is het altijd het waterzijdig rendement. Het zal duidelijk zijn dat bij de meting volgens Dittrich ook de transmissieverliezen tijdens stilstand in  $q$  zijn inbegrepen.

Bij vollast heeft men, behalve de transmissieverliezen via de mantel van de min of meer goed geïsoleerde watervoerende delen van de ketel, ook met verliezen vanuit verbrandingsgasvoerende delen te maken. Vooral de uitstraling van de vlam en de hete branders naar de omgeving (vloer) kan aanzienlijk zijn, en soms 2% van de belasting bedragen. Bij stilstand vallen deze laatste verliezen weg, de transmissie vanuit de watervoerende delen blijft bestaan, maar daarnaast krijgt men te maken met het zogenaamde ventilatieverlies. Door het temperatuurverschil met de omgeving blijft een luchtstroom door het toestel gehandhaafd, die opgewarmd de afvoer verlaat. Over de grootte van dit ventilatieverlies bestaan soms zeer overdreven voorstellingen. Ook de waakvlam zal tijdens stilstand meestal blijven branden. Het waakvlamverbruik mag men echter niet bij transmissie- en ventilatieverliezen optellen, maar is hierbij inbegrepen.

Voorlopig ervan uitgaand dat ook de transmissie via de mantel een verlies vormt, zal hier een poging gedaan worden het stilstandsverlies te maximaliseren, teneinde overdreven voorstellingen over de grootte uit de weg te ruimen. Het transmissieverlies wordt begrensd door de keuringseisen, die een maximum temperatuurverschil tussen watergekoelde wand en omgeving van 25°C toestaan bij een gemiddelde ketelwatertemperatuur van minstens 70°C.

In dat geval kan de som van convectie en straling op 260 W/m<sup>2</sup> berekend worden; voor de gemiddelde afmetingen van CV-ketels is dit circa 2,3% van de belasting.

Wat het ventilatieverlies betreft, in het meest extreme geval blijft de luchtstroom door de ketel, aanwezig tijdens vollast, bestaan en wordt de lucht tot watertemperatuur opgewarmd. Beide aannamen zijn uiteraard te hoog. Zelfs voor deze aannamen is het ventilatieverlies bij  $t_k = 70^\circ$  niet groter dan 2,7%. Zowel transmissie- als ventilatieverliezen dalen natuurlijk met de ketelwatertemperatuur.

In figuur 2 is dit gemaximaliseerd stilstandsverlies uitgezet; de ondergrens van 2% van de belasting wordt gevormd door het maximale waakvlamverbruik. Bij 80°C ketelwatertemperatuur is het gemaximaliseerd verlies dan 6,5%.

Eveneens in figuur 2 zijn de gemeten stilstandsverliezen van een viertal CV-ketels weergegeven, alsmede één meting aan een stoomketel van 116 kW bij 110°C. Uiteraard ligt voor al deze ketels  $q$  lager dan de berekende maximale waarde; onderling blijken er bovendien vrij forse verschillen te bestaan. Ketel B bijvoorbeeld, bestemd voor zolderopstelling, was zeer goed geïsoleerd, wat in de lage waarde voor  $q$  goed tot uitdrukking komt. Ketel A daarentegen was

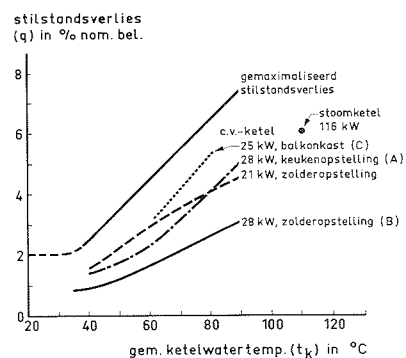
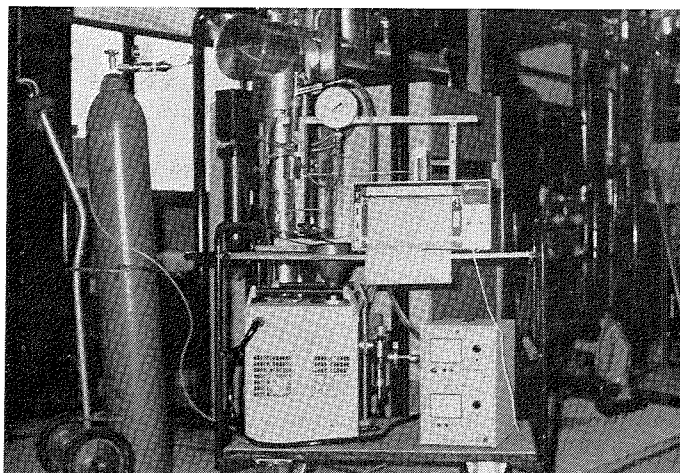


Fig. 2  
De maximale en de gemeten stilstandsverliezen

Fig. 3  
 Proefopstelling voor de bepaling  
 van de luchtstroom door de ketel  
 met behulp van helium als tracergas



slecht geïsoleerd, maar bestemd voor keukenopstelling. In feite zou voor dit toestel alleen het ventilatieverlies als stilstandsverlies gerekend moeten worden, waardoor de lijn voor  $q$  veel lager zou komen te liggen. Ook voor het gebruiksrendement zou men, afhankelijk van de opstelling, met een waterzijdig respectievelijk schoorsteenzijdig gebruiksrendement moeten rekenen. Voor dit laatste moet men dan het ventilatieverlies in afhankelijkheid van de temperatuur weten, maar dit is niet zo eenvoudig weer te geven als in figuur 2.

Metingen van de ventilatieverliezen zijn door ons uitgevoerd met helium als tracer. Een kleine stroom He, die de bestaande luchtstroom niet kan beïnvloeden, wordt gedoseerd in de verbrandingsruimte. In de afvoer wordt een gasmonster afgezogen en met een hiervoor ingericht toestel, gebaseerd op het principe van de massaspectrometer, wordt het He-gehalte bepaald, waaruit dan de doorstromende luchthoeveelheid valt te berekenen, zie figuur 3. Tevens wordt de temperatuur gemeten.

De gasboiler, die in verschillende opzichten valt te vergelijken met de CV-ketel (ook hier transmissie- en ventilatieverliezen), is als meetobject eenvoudiger, aangezien de watertemperatuur in dit toestel (met een zekere marge), constant gehouden wordt.

Het meten van  $q$  is dan ook zeer eenvoudig. Het verloop van het ventilatieverlies bij een dergelijk toestel wordt weergegeven in figuur 4, ook weer uitgedrukt als percentage van de nominale belasting. De temperatuur van de ventilatielucht is eveneens weergegeven, de watertemperatuur was circa 70°C.

Het beginpunt bij het doven van de brander is uiteraard het tot dat moment bestaande voelbare verlies in de verbrandingsgassen van 14,5%. Vanaf dit punt daalt het ventilatieverlies eerst snel, is na 5 minuten 4% en blijft na

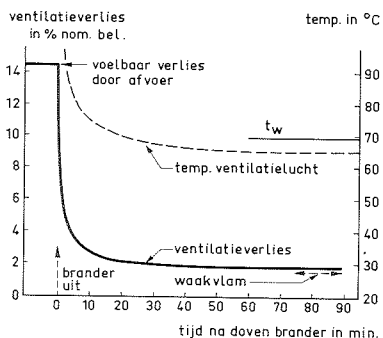


Fig. 4  
 Het verloop van het ventilatieverlies  
 en de ventilatieluchttemperatuur  
 voor een gasboiler van 11 kW,  
 waterinhoud 115 l, bij  $t_w = 70^\circ\text{C}$ ,  
 na het doven van de brander

50 minuten constant op 1,8%. Het hoge verlies in de eerste minuten wordt vooral veroorzaakt door constructiedelen (onder andere de brander) die tot ver boven de watertemperatuur verhit zijn en de daarin opgezamelde warmte aan de luchtstroom afgeven. De temperatuur van de ventilatielucht is pas na 20 minuten beneden de watertemperatuur en blijft na 50 minuten constant op 65°C.

Uit het ingetekende waakvlamverbruik van 1,5% ziet men, dat de waakvlam dan een groot deel van het ventilatieverlies dekt; de onttrekking van warmte aan de waterinhoud is slechts gering.

Daar bij een gasboiler de hoofdbrander betrekkelijk weinig in bedrijf komt, is het verhoogde ventilatieverlies direct na het doven van de brander van weinig invloed op het gemiddelde.

Hier is het dan ook goed mogelijk de ventilatieverliezen te bepalen in afhankelijkheid van de watertemperatuur. Het resultaat van een dergelijke meting is weergegeven in figuur 5, waarin tevens  $q$  en  $\eta_w$  zijn uitgezet. Evenals  $q$  is het ventilatieverlies vrijwel evenredig met de watertemperatuur. Het verschil tussen beide waarden is het transmissieverlies; boven 70°C zijn transmissie en ventilatie vrijwel gelijk. De ondergrens van  $q$  wordt weer gevormd door het waakvlamverbruik; men ziet tevens dat beneden 60° het ventilatieverlies kleiner is dan het waakvlamverbruik, zodat een deel van de geproduceerde warmte dan reeds de dekking van de transmissieverliezen ten goede komt.

Gecomplieerder wordt het verloop van het ventilatieverlies bij een huishoudelijke CV-ketel. Na het doven van de brander begint namelijk de ketelwatertemperatuur te dalen en vanzelfsprekend daalt daarmee eveneens het ventilatieverlies. Het verloop van dit proces, gemeten aan ketel A uit figuur 2, is weergegeven in figuur 6. Behalve het ventilatieverlies zijn ook de temperaturen van ventilatielucht en ketelwater uitgezet. De daling van het verlies na het doven van de brander is hier zeer snel. Binnen 2 minuten daalt het van 14,3% (voelbaar verlies) naar 4%. In de eerste 5 minuten gaat meer warmte verloren dan in de daarop volgende 15 minuten. Na circa 10 minuten is de invloed van de afkoelende constructiedelen verdwenen, de verdere daling wordt bepaald door de temperaturdaling van het ketelwater, die door de ventilatielucht nauw wordt gevolgd.

Men ziet dat bij lange stilstandsperioden het ventilatieverlies zeer laag wordt en tot onder 0,5% daalt. Veelal zal lang vóór die tijd de brander weer in bedrijf zijn gekomen en herhaalt het proces zich. Proeven bij lagere ketelwatertemperaturen gaven een vrijwel identiek beeld, de eerste 10 minuten is de daling dan nog iets steiler. Ook een proef met de – overigens geheel verschillende – ketel C uit figuur 2 gaf vrijwel hetzelfde beeld.

In de praktijk kunnen de aan- en uit-perioden van CV-ketels

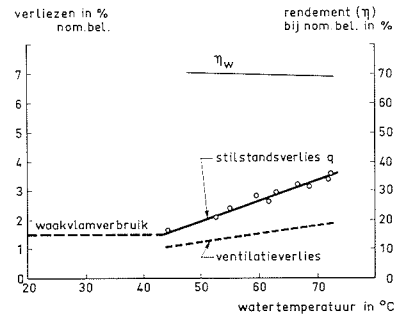


Fig. 5  
De verliezen en het rendement van een gasboiler van 11 kW met een waterinhoud van 115 l

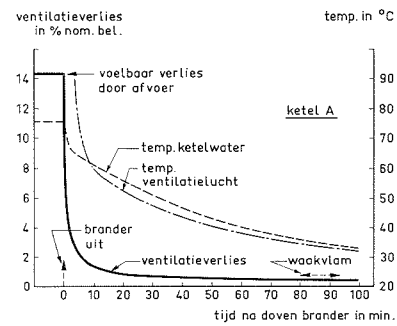


Fig. 6  
Het verloop van het ventilatieverlies en de ventilatieluchttemperatuur van een CV ketel van 28 kW na het doven van de brander

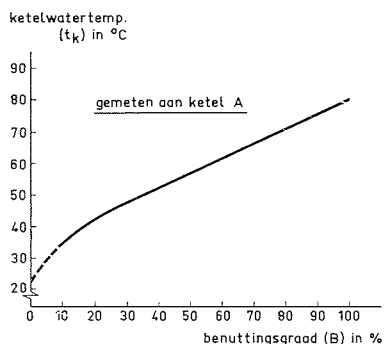


Fig. 7  
Het verband tussen de gemiddelde ketelwatertemperatuur en de benuttingsgraad

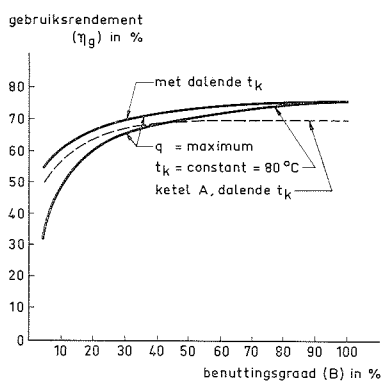


Fig. 8  
Het gebruiksrendement bij gelijk-blijvende resp. dalende ketelwater-temperatuur

soms van vrij korte duur zijn. Het is dan ook moeilijk een grafiek van het ventilatieverlies in afhankelijkheid van de watertemperatuur te geven, zoals dit bij de gasboiler gedaan is. Wel zij erop gewezen dat bij het meten van het stilstandsverlies over een langere periode, het hier geschetste verloop van het ventilatieverlies als gemiddelde is inbegrepen. Bij ketel A bijvoorbeeld ontstak de brander tijdens de stilstandsproef bij 80° elke 30 minuten, zodat steeds de steile curve van figuur 6 doorlopen wordt. Ondanks het hoge verlies gedurende de eerste minuten (de dan afgevoerde warmte wordt overigens niet aan het ketelwater onttrokken) blijkt uit figuur 6 dat het gemiddelde ventilatieverlies veel lager is dan vaak wordt gedacht. Vooral in voor- en naseizoen, met lange uit-perioden, zal het tot zeer lage waarden kunnen dalen. Men ziet tevens dat het ventilatieverlies tot onder het waakvlamverbruik daalt, een deel van de door de waakvlam geproduceerde warmte komt dan ook het water ten goede.

#### 4. INVLOEDEN OP HET GEBRUIKSRENDEMENT

Uit het voorgaande zal duidelijk zijn, dat de benadering van het gebruiksrendement, zoals weergegeven in figuur 1, nog wel enige aanvulling behoeft. Het stilstandsverlies  $q$  is geen vast gegeven, maar hoort bij een bepaalde watertemperatuur. Voor toestellen die op een bepaalde temperatuur ingesteld blijven (gasboilers, ketels met regeling van het watercircuit via bijmenging van retourwater) blijft figuur 1 bruikbaar. Bij de meeste CV-ketels voor woningverwarming daalt echter de gemiddelde watertemperatuur naarmate de uit-perioden langer duren en dus de benuttingsgraad daalt, ook al staat de ketelwaterthermostaat op een hoge waarde ingesteld. Bij lagere  $B$  zal dan ook  $q$  dalen.

Figuur 7 toont het verloop van de gemiddelde ketelwatertemperatuur met de benuttingsgraad, gemeten aan ketel A volgens schakelprogramma's, ontleend aan de praktijk. Van installatie tot installatie kan dit verloop anders liggen maar de afwijkingen zullen niet groot zijn. Door figuur 7 te combineren met figuur 2 ( $q$  in afhankelijkheid van de ketelwatertemperatuur) kan het werkelijke gebruiksrendement beter benaderd worden.

Figuur 8 geeft twee lijnen voor een hypothetische ketel, die zò slecht is dat  $q$  de gemaximaliseerde waarde, gegeven in figuur 2, heeft. De onderste lijn toont het verloop van  $\eta_g$  voor een constante waarde van  $t_k = 80^\circ\text{C}$ . Van 75%, (het vollastrendement bij  $B = 100\%$ ) daalt  $\eta_g$  tot 65% voor een benuttingsgraad van 30%. Houdt men echter rekening met de daling van  $t_k$  volgens figuur 7 dan daalt  $\eta_g$  slechts tot 69%. Eveneens in figuur 8 vindt men het verloop van  $\eta_g$  voor de werkelijk bestaande en uitgebreid doorgemeten ketel A, eveneens rekening houdend met de daling van  $t_k$ . Van 70%

bij  $B = 100$  daalt  $\eta_g$  tot 66,5% bij  $B = 30$ . Hierbij is  $q$  ontleend aan figuur 2; zou men er rekening mee houden dat de ketel bestemd is voor keukenopstelling en dus alleen het ventilatieverlies telt, dan moet  $q$  ongeveer gehalveerd worden en daalt  $\eta_g$  slechts tot 68%. Bij een normale benuttingsgraad is de daling die  $\eta_g$  vertoont ten opzichte van het vollastrendement maar zeer bescheiden. Dalingen met 15 à 25% die soms genoemd zijn moeten als fabels worden beschouwd, tenzij bedoeld wordt op toestellen die veel te groot zijn.

In een recent artikel [6] wordt voor een toestel (met  $\eta_v = 84\%$ !) voor  $B = 30\%$  zelfs een  $\eta_g$  van 33% genoemd. Uitgaande hiervan kan men op eenvoudige wijze berekenen, dat tijdens de stilstandsperioden de schoorsteentemperatuur  $> 1000^\circ\text{C}$  moet zijn geweest om het verlies van 67% te kunnen realiseren!

Nu is het niet uitgesloten dat men tot zulke lage rendementen komt, door verliezen buiten het toestel, aan het toestel toe te rekenen. Zo kan een sterk negatieve invloed op het rendement van de installatie als geheel verwacht worden van een slechte regeling, waardoor bijvoorbeeld de ingestelde temperatuur steeds het doel voorbijschiet. De invloed hiervan mag echter niet aan het toestel toegerekend worden, evenmin als verliezen die in de installatie ontstaan door bijvoorbeeld ongeïsoleerde leidingen in kruipkelders, etcetera. Uitgaande van de bestaande spreiding in  $\eta_v$  en  $q$  kunnen in de praktijk bij  $B = 30\%$  gebruiksrendementen tussen 65 en 76% worden verwacht.

Nog niet voldoende onderzocht is de invloed van het schakelgedrag op  $q$ . Een ketel die gemiddeld voor  $1/3$  belast is, kan bijvoorbeeld in de frequentie 10 minuten aan – 20 minuten uit, maar ook in de frequentie 2 minuten aan – 4 minuten uit werken, afhankelijk van het samenspel tussen toestelregeling en woning. Gezien het verloop van het ventilatieverlies (zie figuur 6) zou men van het aantal schakelingen per tijdseenheid toch wel enige invloed op  $q$  mogen verwachten. Hoe dit precies uitwerkt is moeilijk te zeggen, daar bij korte aan-perioden de constructie ook minder opgewarmd wordt. Een aantal metingen zijn reeds door ons verricht en hebben als voorlopig resultaat opgeleverd, dat verhoging van de aan – uit frequentie,  $\eta_g$  in lichte mate doet dalen. Een viermaal hogere frequentie (bij gelijkblijvende  $B$ ) gaf een daling met 1 à 2%. Ook een vroeger onderzoek [5], leidde tot de conclusie dat korte cycli  $\eta_g$  doen dalen.

Een factor die het vollastrendement, en dus ook het gebruiksrendement, nadelig beïnvloedt, is verhoogde trek door windinvloed. Figuur 9 toont de resultaten van een meting aan ketel A. Verhoging van de trek tot 12 mm doet  $\eta$  met circa 4% dalen. Dit is overigens sterk afhankelijk van de constructie van de trekonderbreker.

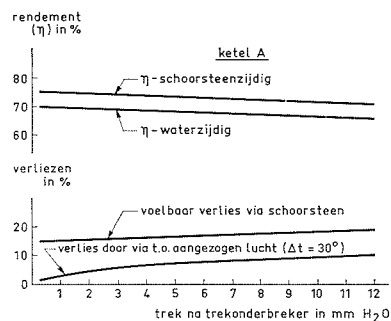


Fig. 9  
De invloed van de trek op het rendement en de verliezen



Van de gelegenheid is gebruik gemaakt tevens de hoeveelheid via de trekonderbreker aangezogen omgevingslucht te bepalen. Ook dit is een verlies; voor het extreme geval dat deze lucht ten opzichte van de buitentemperatuur 30°C is opgewarmd is dit verlies als percentage van de nominale belasting in figuur 9 uitgezet; bij 12 mm is het circa 10%. Het zou onjuist zijn, dit verlies aan het toestel toe te schrijven en zo  $\eta_g$  te verlagen; zeker bij opstelling in een aparte ruimte zal de afgezogen lucht voornamelijk verwarmd zijn via het transmissieverlies van de ketel, zodat men dan tot een dubbeltelling zou komen. Men kan het beter zien als ventilatieverlies van de woning.

De extreme waarde van 12 mm trek zal overigens zelden worden bereikt. Onder normale omstandigheden kan de invloed van de trek op  $\eta_g$  op 1 à 2% geschat worden, gemiddeld over het stookseizoen.

## 5. MEETERVARINGEN EN RESULTATEN

Een aantal resultaten van het door ons opgezette onderzoek naar het gebruiksrendement, kwam in de voorgaande hoofdstukken reeds ter sprake. Hier ter plaatse zullen nog enkele verdere ervaringen en resultaten worden medege-deeld.

Gezien de benodigde tijdsduur, de grote hoeveelheid werk verbonden aan de uitwerking en de vereiste nauwkeurigheid die buiten het laboratorium moeilijk te bereiken is, is afgezien van het rechtstreeks meten in woningen van  $\eta_g$  over het stookseizoen. In plaats daarvan zijn in woningen proeven over kortere perioden genomen. Uitgebreide metingen vonden plaats in het laboratorium, de radiatoren in het circuit werden hierbij gesimuleerd door een aangeblazen koeler, de ingestelde schakelprogramma's en temperaturen waren ontleend aan praktijkmetingen in woningen.

Voor het bepalen van het waterzijdig rendement bij lage benuttingsgraad, worden extreem hoge eisen gesteld aan de temperatuurmeting van het water. Over grote delen van de cycli zijn de temperatuurverschillen tussen in- en uitgaand water zeer gering, een kleine meetfout heeft dan grote on-nauwkeurigheid tot gevolg. Dit is de reden dat het bepalen van de invloed van de schakelfrequentie op  $\eta_g$  nog niet is afgerond.

De meting van het stilstandsverlies  $q$  volgens Dittrich leidt soms tot verrassingen. Nuttige warmte mag niet afgenomen worden, dus de circulatie wordt gestopt en de ketel-thermostaat dient het water op de ingestelde waarde te houden. Bij sommige ketels lukte dit, bij andere bleek zelfs bij een instelling op 40°C het water plaatselijk al te koken. Bij deze metingen werden daarom afvoer en retour via een goed geïsoleerde leiding kortgesloten en werd circulerend

gemeten. Een voordeel is dan dat ook de watertemperatuur goed gemeten kan worden en men niet op de ketelthermostaat hoeft af te gaan.

De meting van  $q$ , die vrij eenvoudig is uit te voeren, heeft op zichzelf al grote waarde voor een onderlinge vergelijking van toestellen. Een van de doelstellingen van het onderzoek was na te gaan of de via de meting van  $q$  berekende gebruiksrendementen werkelijk overeenstemden met over een zekere periode gemeten gebruiksrendementen. Bij de berekening moeten dan uiteraard verfijningen, zoals de invloed van de dalende watertemperatuur bij dalende benuttingsgraad, worden ingebracht, zie hoofdstuk 4. Een dergelijke vergelijking is reeds volledig uitgevoerd voor een gasboiler, figuur 10 toont de resultaten. Het meten geschiedde aan de hand van aan de praktijk ontleende tapprogramma's.

Het blijkt dat de gemeten  $\eta_g$  zelfs enkele procenten hoger ligt dan de berekende. Gezien de zeer lage benuttingsgraad ( $< 10\%$ ) van een gasboiler is dit een goed resultaat. Men ziet tevens dat  $\eta_g$  voor een gasboiler wel aanzienlijk lager ligt dan  $\eta_v$ ; bij een afname van  $100 \text{ kg}/24\text{h}$  bedraagt  $\eta_g$  circa  $45\%$ .

Met ketel A zijn een aantal metingen uitgevoerd bij diverse waarden van  $B$ , namelijk  $19,29$  en  $50\%$  en met diverse cycli, ontleend aan metingen in een woonhuis. De hierbij gevonden gemiddelde gebruiksrendementen weken niet meer dan  $1\%$  af van de, via meting van  $q$ , berekende waarden. De metingen worden nog voortgezet, maar afgaande op de tot nu toe ter beschikking gekomen gegevens lijkt de methode wel bruikbaar.

Het vermelden waard is verder nog het meten van het ventilatieverlies aan een stoomketel van  $116 \text{ kW}$  (ook opgenomen in figuur 2). Bij  $110^\circ\text{C}$  was hier  $q = 6,1\%$ . Het ventilatie-aandeel hierin was  $46\%$ , dus circa  $2,8\%$  van de belasting.

## 6. VERHOOGING VAN HET GEBRUIKSRENDEMENT

Gebleken is dat voor een normale benuttingsgraad en een normale ketel,  $\eta_g$  slechts  $3$  à  $5\%$  lager ligt dan het vollastrendement. Van verbetering van  $\eta_g$  kunnen dan ook geen wonderen verwacht worden, in feite zijn de mogelijkheden voor bestaande ketels maar gering.

De meest voor de hand liggende en ook eenvoudigste manier om in de toekomst tot een hoger gebruiksrendement te komen, is het verhogen van het vollastrendement. Door de toegestane marge van  $74$ – $83\%$  in te krimpen tot bijvoorbeeld  $80$ – $83\%$  zou al een aardige verbetering mogelijk zijn, daar immers het gebruiksrendement evenredig stijgt.

Hiernaast zouden in de keuringseisen grenzen kunnen worden gesteld aan de toelaatbare waarde van het stilstands-

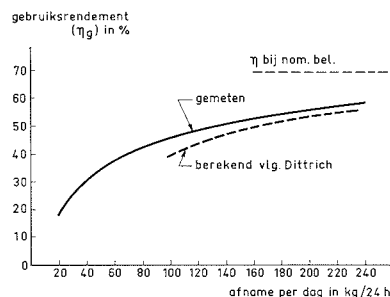


Fig. 10  
Het gemeten gebruiksrendement en het volgens Dittrich berekende gebruiksrendement van een gasboiler van  $11 \text{ kW}$  met een waterinhoud van  $115 \text{ l}$  bij een watertemperatuur van  $70^\circ\text{C}$

verlies  $q$ , dit gezien de grote spreiding die bestaande ketels, getuige figuur 2, kunnen vertonen. Bij ketel B uit figuur 2 bijvoorbeeld daalt  $\eta_g$  slechts van 78% bij  $B = 100$  tot 75,5% bij  $B = 30$ . In verband met de functie die ketels in keukenopstelling hebben voor de verwarming van deze ruimte, zou daar een hogere waarde van  $q$  toelaatbaar zijn. Een realistische aanname lijkt: maximaal 5% voor toestellen voor keukenopstelling en maximaal 3% voor de overige toestellen, bij  $t_k = 80^\circ\text{C}$ .

Een aanzienlijk grotere stijging van het rendement zou mogelijk zijn door de bovengrens van 83% te laten vervallen. Men moet dan rekening gaan houden met condensatie in de afvoer. Door doelbewust benutten van de condensatiewarmte in het toestel zelf, kunnen gebruiksrendementen van 85 à 90% mogelijk worden.

Stilstandsverliezen kunnen grotendeels geëlimineerd worden door modulerende regeling. Wil dit winst opleveren dan is het voorwaarde dat bij het omlaag regelen van de brander het rendement niet daalt. Gezien de ervaringen met gashaarden met modulerende regeling [1], zal dit middel vaak erger zijn dan de kwaal.

Bij bestaande toestellen met een hoog stilstandsverlies ligt dit meestal aan de matige tot slechte isolatie. Dit kan ook achteraf nog wel verbeterd worden. Voor een toestel als ketel C uit figuur 2 moet het mogelijk zijn het stilstandsverlies door betere isolatie tot de helft terug te brengen. Ook bij gasboilers (zie figuur 5) is door betere isolatie nog wel wat aan het stilstandsverlies te doen. Zoals makkelijk uit figuur 1 valt in te zien, heeft bij de lage benuttingsgraad waarbij deze toestellen werken, een verlaging van  $q$  veel meer effect dan bij een CV-ketel.

Het ventilatieverlies kan worden beperkt door het aanbrengen van een klep in de afvoer. Uit metingen is gebleken dat dit verlies voor een belangrijk deel afkomstig is van de afkoeling van constructiedelen en geconcentreerd is in de periode direct na het doven van de brander (zie figuur 6). Wil een dergelijke klep effect hebben, dan moet hij dus direct na het doven van de brander sluiten, een spoeltijd doet veel warmte verloren gaan. Een eventuele gedeeltelijke opening terwille van de waakvlam, zal ook een groot deel van deze warmte toch nog doen ontsnappen. Wonderen kunnen van een klep dus zeker niet verwacht worden. Het effect kan nog niet exact begroot worden en hangt waarschijnlijk ook af van de schakelfrequentie, veel meer dan 1 à 2% zal de winst in  $\eta_g$  waarschijnlijk niet kunnen bedragen.

Over het aanbrengen van kleppen in bestaande toestellen moet overigens niet te lichtvaardig worden gedacht, in verband met de veiligheidsaspecten.

Een veiliger en ook effectiever methode blijft het isoleren van de ketel. Veel meer zin echter heeft de toepassing van

een klep in gasboilers, zie figuur 4, daar het gemiddeld ventilatieverlies hier aanzienlijk hoger is dan bij CV-ketels en door de lange stilstandsperioden ook veel meer invloed heeft.

Een maatregel vooraf die van grote invloed kan zijn op het gebruiksrendement, is de juiste keuze van de toestelcapaciteit. Men moet niet lichtvaardig een te groot toestel kiezen; bij een toestel dat bijvoorbeeld 50% te groot is, verliest men al meer dan door betere isolatie of toepassing van een klep bespaard zou kunnen worden.

## 7. CONCLUSIES

- Het gebruiksrendement en het vollastrendement liggen dichter bijeen dan vaak wordt gedacht.
- De mogelijk te behalen winst bij het bestaande toestellenbestand is maar bescheiden en niet dan met grote moeite bereikbaar.
- Maatregelen ter verbetering van het gebruiksrendement dienen geconcentreerd te worden op de nog te bouwen toestellen.

## 8. LITERATUUR

- [1] Ing. D. J. van der Heeden; 'Energieverbruik van woningen en het rendement van gastoestellen'. TNO-'Project', 1974 no. 3, blz. 112–116.
- [2] Ir. E. van Gunst; 'Energieverbruik van woningen' TNO-'Project', 1974 no. 2, blz. 21–25.
- [3] 'Binnenklimaat en Energieverbruik'. Rapport van de gelijknamige werkgroep. Uitgave N.V. Nederlandse Gasunie, Groningen 1974.
- [4] Dipl. Ing. A. Dittrich; 'Zum Jahreswirkungsgrad von Ein- und Mehrkesselanlagen' Heizung – Lüftung – Haustechnik 23, 1972, no. 12.
- [5] L. H. Ventres and H. R. Heiple; 'Are long or short cycles better?' Fuel oil and Oil heat, april 1953.
- [6] Dipl. Ing. W. Schirmer. 'Neue Wege beim Kesselbau'. Öl- und Gasfeuerung, 1974, no. 5, blz. 362–366.

## ONTWIKKELINGSTENDENZEN IN VERWARMINGSSYSTEMEN

*Ir. J. Claus*

### 1. INLEIDING

Uit analyses van in de naaste toekomst bereikbare besparingen in het gebruik van fossiele brandstof is gebleken, dat de verwarmingssector daartoe nog interessante mogelijkheden biedt

De studie die door de 'Stichting Toekomstbeeld der Techniek' aan de energievoorziening is gewijd, laat zien dat de mogelijke brandstofbesparing in 1985 rond 15% kan bedragen, wanneer althans de in de studie omschreven maatregelen worden genomen [1].

Van deze 15% dient volgens de studie  $\frac{2}{3}$  deel, dus 10% van het totale brandstofverbruik, te worden bezuinigd in de verwarmingssector.

Verwacht kan worden dat het nastreven van deze besparing niet uitsluitend op ideologische gronden zal behoeven te geschieden, maar dat een en ander zal worden gestimuleerd door een bewust prijs- en voorschriftenbeleid van de overheid en door de prijsontwikkelingen op de internationale brandstofmarkt.

Dit betekent dat de ontwikkelingen in de verwarmings-techniek de komende jaren zullen worden bepaald door

#### BRANDSTOF-ECONOMIE EN WARMTE-ECONOMIE

In het algemeen kan worden gesteld dat het verminderen van het brandstofverbruik dient te worden bereikt door:

- verminderen van het warmteverbruik
- verbeteren van de efficiency bij het opwekken van warmte en bij de warmteafgifte.
- introductie van alternatieve mogelijkheden.

Welke invloed deze maatregelen kunnen hebben op de ontwikkeling van verwarmingsapparatuur zal in de volgende hoofdstukken worden nagegaan. Tevens zal daarin worden besproken op welke punten nog nader onderzoek noodzakelijk is ten einde deze ontwikkeling mogelijk te maken.

## 2. VERMINDEREN VAN HET WARMTEVERBRUIK

Vermindering van het verbruik van warmte kan worden bereikt door

- thermisch bouwen
- warmteterugwinning
- voorkomen van verspilling

### 2.1 *Thermisch bouwen*

Zonder enige twijfel zal in de naaste toekomst bij het ontwerpen van nieuw te bouwen woningen het uitgangspunt 'Thermisch bouwen' voorop staan. Ook in bestaande woningen zal zoveel mogelijk aan deze vorm van warmte economie worden gedaan door verbetering van isolatie en aanbrengen van dubbele beglazing.

De gevolgen van deze ontwikkeling zijn:

- Het aandeel van de ventilatieverliezen in de totale warmteverliezen neemt toe.
- De benodigde hoeveelheid warmte per m<sup>2</sup> vloer of wandoppervlak neemt af.
- Door 'warmere' wanden en glasoppervlakken kan met een lagere temperatuur van de verwarmingsoppervlakken worden volstaan.
- De luchttemperatuur in een vertrek kan lager zijn.
- Het dynamisch warmtetechnisch gedrag van het gebouw of de woning verandert.

Deze effecten hebben op de ontwikkeling van verwarmingsapparatuur de volgende consequenties:

- Een stijgende behoefte aan 'gecontroleerde ventilatie', dus aan toepassing van luchtverwarming. [2] [3]
- De mogelijkheid om in nieuwe woningen lage temperatuur verwarmingssystemen zoals lucht-, vloer- en stralingsverwarming toe te passen.
- De mogelijkheid om in bestaande woningen de CV-installatie bij een lagere watertemperatuur te bedienen.
- De noodzaak de regelsystemen van de verwarmingsinstallatie aan te passen aan de eigenschappen van 'thermisch gebouwde' woningen en gebouwen.

In welke mate de hier genoemde ontwikkelingen realiteit zullen worden, hangt natuurlijk af van de realiseerbaarheid en van de kosten die daaraan verbonden zijn. Juist omdat lage-temperatuur verwarmingssystemen tot op heden in de woningbouw niet of nauwelijks zijn toegepast, ontbreekt hier voldoende ervaring en zal het nodig zijn om door onderzoek gegevens te verkrijgen over zaken zoals de meest economische wijze van aanleg, de onderhoudskosten, de bedrijfskosten en de regeltechnische aspecten [4].

Dit laatste punt zal ook vanuit de bouwconstructie moeten worden benaderd. Het is daarvoor van het grootste belang dat berekeningen en metingen, zoals onder andere door

Soeleman [5] zijn beschreven, worden uitgevoerd aan meer typen woningen, zodat een verdere verfijning van de berekening mogelijk wordt en uiteindelijk een optimale afstemming van gebouw en installatie kan worden bereikt.

## 2.2 *Warmteterugwinning*

De naam warmteterugwinning houdt in, dat hier gedacht wordt aan het hergebruik van warmte die reeds een functie heeft vervuld. De mogelijkheden die hiertoe in woningen en gebouwen aanwezig zijn, zijn:

- gebruik van warmte uit warm afvalwater.
- gebruik van warmte uit warme-lucht afvoer.

Het toepassen van deze principes heeft op de ontwikkeling van verwarmingsapparatuur de volgende consequenties:

- Het toepassen van warmte-accumulatoren teneinde de afvalwarmte die doorgaans in een zeer korte tijd vrijkomt op te slaan en in een later stadium te kunnen benutten.
- Het toepassen van volledige luchtverwarming waarbij via regeneratieve of recuperatieve warmte-overdracht of warmtepompen de afvalwarmte van het afvoer- naar het toevoerkanaal wordt getransporteerd en eventueel weer op het gewenste temperatuurniveau wordt gebracht.

Het hergebruik van warmte die in luchtafvoerkanalen aanwezig is, wordt reeds op beperkte schaal toegepast. Te verwachten is, dat met de stijgende brandstofprijzen de toepassing van deze systemen nog meer ingang zal vinden. Een overzicht van verschillende warmteterugwinningssystemen en principes is besproken in de Vakantieleergang voor Warmtetechniek van 1972 [6]. Nader onderzoek aan deze systemen zal in eerste instantie gericht moeten zijn op een nauwkeurige beschrijving van het regeltechnisch gedrag van de gebruikte apparatuur, zodat een optimale inpassing in het gehele verwarmingssysteem mogelijk wordt.

Speciale aandacht zal moeten worden geschonken aan de toepassingsmogelijkheden van de warmtepomp in het warmteterugwinningssysteem. Onderzoek naar het hergebruik van afvalwarmte in afvalwater bevindt zich nog in het allereerste verkennende stadium. Volgens de studie van de werkgroep Binnenklimaat en Energieverbruik bedraagt het aandeel van de afvalwaterstroom in de totale warmteverliezen voor een thermisch gebouwde woning circa 10% [7]. In Duitsland worden momenteel proeven genomen met warmte-accumulatoren, waarin de beschikbare afvalwarmte tijdelijk wordt opgeslagen [8].

Nagegaan zal moeten worden in hoeverre deze systemen praktisch toepasbaar zijn. In ieder geval zal aan de ontwikkeling van warmte-accumulatoren nog de nodige aandacht moeten worden besteed.

### 2.3 Vermijden van verspilling

Wanneer we onder 'verspilling' verstaan 'het zonder enige noodzaak verbruiken van warmte', betekent dit dat er bij de behandeling van dit aspect van uit gegaan wordt dat de mogelijkheden tot een zuiniger warmteverbruik wel bestaan, maar dat daarvan om de een of andere reden geen gebruik gemaakt wordt.

Het niet benutten van de mogelijkheden van een installatie behoeft niet altijd te berusten op onkunde of onwil, maar kan ook voorkomen doordat door vervuiling of verkeerde afstelling het rendement van een verwarmingsinstallatie terugloopt.

Dat er bij de verwarming van gebouwen en woningen warmte verspild wordt is zeker.

Vergelijkingen van brandstofverbruiken tussen gelijksoortige woningen en gebouwen vertonen onderlinge afwijkingen, die niet alleen met een verschil in gezinssamenstelling of gebruiksgedrag kunnen worden verklaard [9]. Maatregelen waarmee verspilling van warmte kan worden voorkomen zijn:

- Periodieke controle van regeling en rendement van de installatie.
- Invoeren van een progressief brandstoftarief.
- Bij collectieve systemen de kosten toekennen op basis van een absolute meting van de afgenomen warmte.
- Goede voorlichting over warmte-economie.

De ontwikkelingen die op grond van deze maatregelen op het installatievlak te verwachten zijn, beperken zich tot het gaan toepassen van een betrouwbare absolute meting van de geleverde warmte.

Dit zal echter alleen realiseerbaar zijn, wanneer de daartoe noodzakelijke warmtemeters in de toekomst tegen acceptabele kosten kunnen worden geproduceerd.

## 3. VERBETEREN VAN DE EFFICIENCY

### 3.1 Rendement bij het opwekken van warmte

Het nuttig effect waarmee de in de brandstof aanwezige energie wordt omgezet in warmte wordt gekarakteriseerd door 'het rendement van het stooktoestel'.

Het thermisch rendement geeft aan hoeveel van de oorspronkelijk in de vorm van brandstof toegevoerde energie aan het verwarmingsmedium wordt afgestaan.

Naast dit rendement kan ook nog worden vastgesteld in hoeverre van de mogelijkheden van de brandstof om energie van een bepaald niveau te genereren gebruik is gemaakt. Dit wordt aangegeven met het exergetisch rendement.

In tabel 1 is aangegeven hoe groot het thermisch rendement en het exergetisch rendement van verschillende verwarmingssystemen is [10].



Systeem	Exergetisch rendement %	Thermisch rendement %
CV-vollast	4,25	88
CV (gemiddeld)	3,5	70
Elektrische verwarming	2,25	36
Warmtepomp	7-9	110-145
Warmte-kracht	28-33	80-90

Op grond van de getallen in deze tabel en het algemene streven het thermisch en exergetisch rendement van de toegepaste apparatuur zo hoog mogelijk op te voeren kunnen de volgende ontwikkelingstendenzen worden verwacht:

- Een verbetering van het gebruiksrendement van bestaande apparatuur.
- Het ontwikkelen van nieuwe stooktoestellen waarin de rookgassen verder worden afgekoeld dan thans gangbaar is.
- Het op grotere schaal toepassen van gecombineerde warmte-krachtopwekking gekoppeld met wijkverwarming.
- Het toepassen van warmtepompsystemen.

Zoals in zoveel gevallen is het ook hier niet te verwachten dat een van deze ontwikkelingen zonder meer zal overheersen.

Zo zal in reeds bestaande woningen en wijken het toepassen van stookapparatuur met een hoger rendement veelal de voorkeur verdienen, terwijl er in nieuw te bouwen wijken en steden steeds naar zal worden gestreefd de verwarming te verzorgen vanuit warmte-krachtinstallaties al of niet gecombineerd met warmtepompsystemen.

Welke aantrekkelijke mogelijkheden de gecombineerde warmte-krachtopwekking biedt is in de literatuur uitgebreid beschreven [11] en [12] en [13].

Wat de onderzoekaspecten betreft kan worden gesteld dat het onderzoek aan bestaande verwarmingsapparatuur thans zover is gevorderd dat een aantal mogelijkheden tot verbetering van het gebruiksrendement kunnen worden aangegeven [14] en wat hun effect betreft kunnen worden gekwantificeerd. Het invoeren van deze verbeteringen is een taak van de toestelconstructeurs.

De toepassing van deze verbeteringen kan worden bevorderd door de huidige keuringseisen te verscherpen en tijdens de keuring ook het stilstandsverlies van verwarmingstoestellen te bepalen en aan bepaalde eisen te toetsen.

De ontwikkeling van stooktoestellen waarin de rookgassen tot een lagere temperatuur worden afgekoeld, zal tot gevolg hebben dat het gevaar voor waterdampcondensatie in de

rookgasafvoerkanalen toeneemt. Hierdoor zullen aangepaste rookgaskanalen moeten worden ontwikkeld. Ook de mogelijkheden van verwarmingstoestellen waarin de waterdampcondensatie bewust wordt nagestreefd dienen te worden onderzocht. Het feit dat in goed geïsoleerde woningen de temperatuur van het verwarmingsmedium lager kan zijn maakt de toepassing van dit type toestellen mogelijk. Met gecombineerde warmte-kracht opwekking is in Nederland reeds ervaring opgedaan [15]. Toch zal het nodig zijn om met aan de nieuwe verhoudingen aangepaste berekeningen en met studies vast te stellen voor welke toepassingen deze vorm van energie- en warmtevoorziening geschikt is. Speciale aandacht zal daarbij geschonken moeten worden aan planologische aspecten. Hetzelfde geldt voor de toepassing van warmtepompsystemen. Gezien de verwachte tendens de aangesloten woningen met luchtverwarming en warmteterugwinningssystemen uit te voeren (paragraaf 2) zullen deze berekeningen zeker ook voor deze variant moeten worden gemaakt.

### 3.2 *Rendement van de warmte-afgifte*

De verwarmingsinstallatie in een woning of een gebouw heeft tot doel de warmte op die momenten en in die hoeveelheden af te geven die overeenkomen met de vraag. Dit houdt in dat er een dusdanige regeling moet worden toegepast dat vraag en aanbod van warmte met elkaar in evenwicht zijn. Daarnaast dient er uiteraard voor te worden gezorgd dat in het warmtedistributienet zo weinig mogelijk warmte verloren gaat. Dit houdt in dat in de komende jaren meer aandacht moet worden besteed aan:

- verbeteren van de regeling
- isolatie van warmtetransportleidingen

Aan de regeling van verwarmingsinstallaties is tot op heden niet altijd voldoende aandacht besteed. Reden hiervoor is niet alleen het feit dat de te maken kosten niet opwegen tegen de besparingen, maar ook de onvoldoende kennis van het dynamisch gedrag van gebouwen en installatie in de praktijk. Het is bekend dat met relatief eenvoudige wijzigingen in het regel- en distributiesysteem besparingen kunnen worden bereikt [9]. Een uitgebreid onderzoek naar de bereikbare besparingen door verbetering van de regeling van verwarmingsinstallaties is dan ook gewenst. Omdat de regeling moet zorgen voor een goed samenspel van gebouw en installatie, zal het dynamisch gedrag van beiden bekend moeten zijn.

Het isoleren van warme leidingen in kruipruimten en dergelijke is een bekende techniek. Anders gesteld is het met warmtetransportleidingen van wijkverwarming. Omdat de gecombineerde warmte-kracht opwekking aanzienlijke brandstofbesparingen mogelijk maakt, zal de uitvoering van warmtedistributienetten nieuwe aandacht vragen.

Dat ook in Nederland warmte-distributie op grote schaal mogelijk is, is bewezen met de stadsverwarmingssystemen in Utrecht en Rotterdam. [16]

De laatste jaren zijn vooral in het buitenland nieuwe systemen voor warmtedistributie ontwikkeld. Nagegaan moet worden hoe en waar deze systemen in Nederland toepasbaar zijn. Daarbij zal niet uitsluitend naar mislukkingen uit het verleden moeten worden gekeken maar zal moeten worden uitgegaan van een geheel nieuwe aanpak waarbij het warmtedistributiesysteem van het begin af aan in de planning van distributienetten voor water, gas en elektriciteit wordt opgenomen.

#### 4. ALTERNATIEVE ENERGIEBRONNEN

##### 4.1 Zonne-energie

De mogelijkheden om in Nederland zonne-energie dienstbaar te maken aan de ruimteverwarming, zijn reeds onderwerp van studie en experiment [17]. Doordat de zonnewarmte op willekeurige momenten beschikbaar komt, worden bij zonneverwarmingssystemen hoge eisen gesteld aan de regeling en aan het warmte-accumulatievermogen. Een ander aspect van een zonnewarmtesysteem is, dat het rendement van de collector stijgt met een dalende temperatuur van het verwarmingsmedium. Dit betekent dat bij voorkeur een verwarmingssysteem met een lage mediumtemperatuur moet worden gekozen.

Aangezien hier sprake is van een volledig nieuwe ontwikkeling, zal pas na uitgebreide proeven tot het op grote schaal toepassen van dit systeem kunnen worden overgegaan.

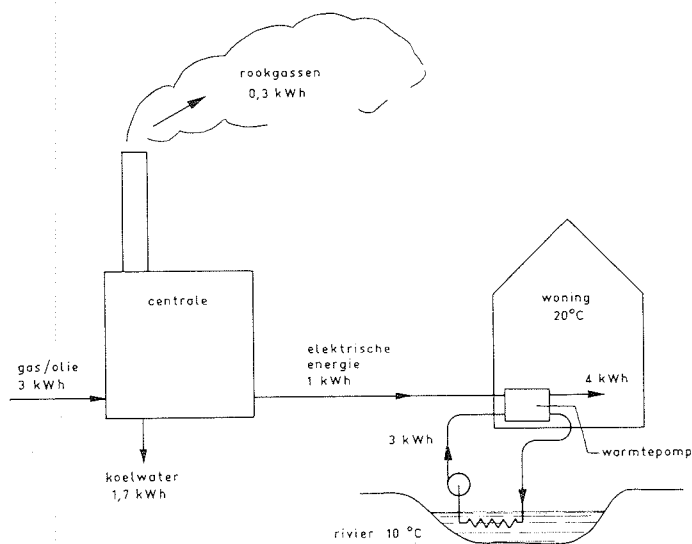


Fig. 1  
Schema van de energie- en warmte-  
stromen bij toepassing van een  
warmtepomp

Omdat uit een zonnearmtesysteem niet continu voldoende energie voor de verwarming van een woning kan worden betrokken zal regelmatig moeten worden bijgestookt. Dit is een extra complicatie die hoge eisen zal stellen aan de regeling van de installatie.

#### 4.2 *Warmtepompen*

De warmtepomp is in de vorige hoofdstukken reeds genoemd als verwarmingssysteem dat in de toekomst aantrekkelijk zal worden vanwege het hoge thermische rendement waarmee de warmte kan worden opgewekt.

Voor nadere informatie over dit systeem zij verwezen naar de literatuur [18].

Afhankelijk van het te overbruggen temperatuurverschil varieert de specifieke warmte-opbrengst van de warmtepomp voor verwarmingsdoeleinden tussen 3 en 4 en het thermisch rendement tussen 110 en 145%. In Nederland is de warmtepomp slechts in enkele incidentele gevallen toegepast [19]. Reden hiervoor zijn de in verhouding tot andere verwarmingssystemen hoge kosten.

Onderzocht zal moeten worden voor welke verwarmingssystemen de warmtepomp door de veranderde energieprijzen in Nederland economisch aantrekkelijk zal kunnen worden of door ontwikkelingswerk economisch aantrekkelijk zal kunnen worden gemaakt.

#### 4.3 *Windenergie*

Ook de toepassing van windenergie voor verwarmingsdoeleinden wordt overwogen en wordt momenteel verkennend onderzocht.

Een interessant aspect daarbij is, dat in de meeste gevallen de behoefte aan warmte samenvalt met een aanbod van windenergie.

Bij het omzetten van windenergie in warmte, wordt gedacht aan de combinatie windrotor-waterrem, waarmee alle windenergie direct in warmte in het water wordt omgezet of aan het aandrijven van de compressor van een warmtepomp met de door de wind aangeblazen rotor.

In ieder geval zal ook een met windenergie aangedreven verwarming slechts een gedeelte van de totale behoefte kunnen dekken, zodat deze zal moeten worden geïntegreerd in het totale verwarmingssysteem.

### 5. ANDERE BRANDSTOFFEN

Het streven van de overheid is er momenteel op gericht om het aardgas in eerste instantie te bestemmen voor verwarmingsdoeleinden. In de ontwikkeling van de verwarmingsapparatuur neemt deze brandstof dan ook een centrale plaats in. Het is de vraag of in de toekomst de brandstof

aardgas steeds in voldoende mate beschikbaar zal blijven. Zeker wanneer men denkt aan nieuwbouw zal men zich af moeten vragen of het niet verstandig is, de verwarmingsinstallatie zo uit te voeren dat, wanneer dit nodig zou zijn, ook oliegestookte verwarmingsapparatuur kan worden geplaatst. In dit opzicht nemen warmte-kracht installaties met wijkverwarming een bevoorrechte positie in, aangezien deze installaties, vergeleken met individuele verwarmingen snel en met weinig kosten kunnen worden aangepast aan verschillende gassoorten of aan andere brandstoffen, zoals olie.

In een toekomst die nog vele jaren van ons verwijderd is, zou mogelijk het veelbesproken waterstof als brandstof interessant kunnen worden. Hoe reëel een dergelijke ontwikkeling is wordt momenteel nagegaan in een uitgebreide studie van TNO. In dit kader zal daarom worden volstaan met het signaleren van deze mogelijkheid.

## 6. CONCLUSIES

De verwachte ontwikkelingen in verwarmingssystemen en de gewenste punten van onderzoek zijn:

- lage temperatuur verwarmingssystemen zullen sterker in de belangstelling komen. Bijzondere aandacht zal daarbij de luchtverwarming krijgen omdat dit systeem zich tevens leent voor warmteterugwinning.  
Nader onderzoek zal moeten worden verricht naar de meest economische wijze van aanleg, de onderhoudskosten en de bedrijfskosten van in de woningen geïntegreerde verwarmingssystemen.
- De regeling van verwarmingsinstallaties zal verder moeten worden verfijnd. Dit zal alleen mogelijk zijn op grond van een beter inzicht in het regeltechnisch gedrag van installatie en gebouw. Nader onderzoek naar het dynamisch gedrag van gebouw en installatie is daarom gewenst.
- Warmteterugwinningssystemen en warmte-accu's zullen een onderdeel van de verwarmingsinstallatie gaan uitmaken. Het ontwikkelen en verbeteren van deze apparatuur zal ter hand moeten worden genomen.
- De op collectiviteit gebaseerde warmte-kracht opwekking al of niet gecombineerd met warmtepompsystemen, zal een groter aandeel in de verwarming van woningen en gebouwen gaan innemen. Het verdient aanbeveling de toepassingsmogelijkheden van deze systemen nader te analyseren ook op basis van een verregaande integratie van de distributienetten en -bedrijven voor water, gas, elektriciteit en warmte.
- Alternatieve energiebronnen zoals de zon, de bodem (via de warmtepomp) en wellicht ook de wind zullen gaan bijdragen in onze behoefte aan verwarming. Alvorens tot toe-

passing van deze systemen in de woningbouw kan worden overgegaan, zullen deze systemen met behulp van ontwikkelingswerk operationeel moeten worden gemaakt.

## 7. LITERATUUR

- [1] Energy Conservation: Ways and Means. Publikatie 19 Stichting Toekomstbeeld der Techniek.
- [2] Schaaf, G. v.d., Klimaat in woningen: Ontwikkelingstendenzen, Klimaatbeheersing **3** (1974) Nr. 8 blz. 346–348.
- [3] Gunst, E. v., Enkele opmerkingen over mechanische ventilatie. Klimaatbeheersing **3** (1974) Nr. 8 blz. 342–348.
- [4] Voorstudie naar mogelijkheden tot besparing op energie voor ruimteverwarming in woningen. Rapport BII-46 Stichting Bouwresearch.
- [5] Soeleman, R. S., Een praktische methode om het temperatuurgedrag in gebouwen te voorspellen en vergelijking van de van dag tot dag berekende warmtebehoefte van een woning met het van dag tot dag gemeten warmteverbruik. Publikatienrs. 473 resp. 530 van het Instituut voor Milieuhygiene en Gezondheidstechniek TNO (de laatstgenoemde publikatie is in dit boekje opgenomen).
- [6] Knoll, W. H., Energiebesparende systemen (ook in TVVL **1** (1972) nr. 12 blz. 570–581).  
Heeden, J. J. v. d., Warmte-overdracht en Energieverbruik bij compacte warmtewisselaars. Vacantieleergang voor Warmtetechniek 1972. (ook in Klimaatbeheersing **2** (1973) nr. 8 blz. 391–404).
- [7] Binnenklimaat en Energieverbruik. Rapport van de Werkgroep Binnenklimaat en Energieverbruik, N.V. Ned. Gasunie, dec. 1973.
- [8] Integrierte Energieversorgung. VDI Bericht 222.
- [9] Adam, W., Brandstofverbruik van gebouwen. TVVL-TNO-dag, 5 november 1974 (in dit boekje opgenomen).
- [10] Claus, J., Afvalwarmte en verwarming. Vacantieleergang voor Warmtetechniek 1974 (ook in Verwarming en Ventilatie **32** (1975) nr. 1 blz. 19–27).
- [11] Hondius, H. en Wassenaar, K., Mogelijkheden van energiebesparing door gecombineerde opwekking van elektriciteit en warmte. Elektrotechniek **52** 1974 Nr. 7.
- [12] Collet, P. J., Energiebesparing door combinatie van 'total energy' systemen en warmtepompen. De Ingenieur **86** 1974 Nr. 19 blz. 358–362.
- [13] Resing, J. C., Enkele economische aspecten van afstandsverwarming in combinatie met elektriciteitsopwekking. Electro-techniek **51** 1973 Nr. 16 blz. 894–899.
- [14] Heeden, D. J. v. d., Toestelgedrag en gebruiksrendement. TVVL-TNO-dag 5 november 1974 (in dit boekje opgenomen).
- [15] Resing, J.C., Energiebesparing door toepassing van stadsverwarming. Vacantieleergang voor Warmtetechniek 1974.
- [16] Visser, J., Ondergronds leidingnet ten behoeve van warmtetransport. Vacantieleergang voor Warmtetechniek 1974.
- [17] Koppen, C. W. J. van, Toepassingsmogelijkheden van zonne-energie. Klimaatbeheersing **3** (1974) nr. 5 blz. 194–203.
- [18] Ree, H. v. d., 'De Warmtepomp'. Grondslagen en geschiedenis. Vakantieleergang voor Warmtetechniek 1972. (Ook in Klimaatbeheersing **2** (1973) nr. 6 blz. 294–315).
- [19] Nunes, E. C., Praktijkervaringen met warmtepompsystemen. Vacantieleergang voor Warmtetechniek 1972. (Ook in Klimaatbeheersing **2** (1973) nr. 2 blz. 73–88).

## Colofon

Bij het tot stand komen van deze uitgave waren mede betrokken:

Ir. H. B. Bouwman	redactie
Mevr. M. Th. Khiati	typewerk
A. Boer en W. H. van Velzen	tekenwerk
W. D. Meinema B.V. - Delft	lay-out en drukwerk
M. H. de Groot	coördinatie
Henk Nieuwenhuijs en Dick van der Ree	foto's