

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 m² 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 toevoer-kanaal 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 zonne-warmte op willekeurige momenten beschikbaar komt, worden bij zonneverwarmingssystemen hoge eisen gesteld aan de regeling en aan het warmte-accumulatievermogen. Een ander aspect van een zonnearmtesysteem 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.

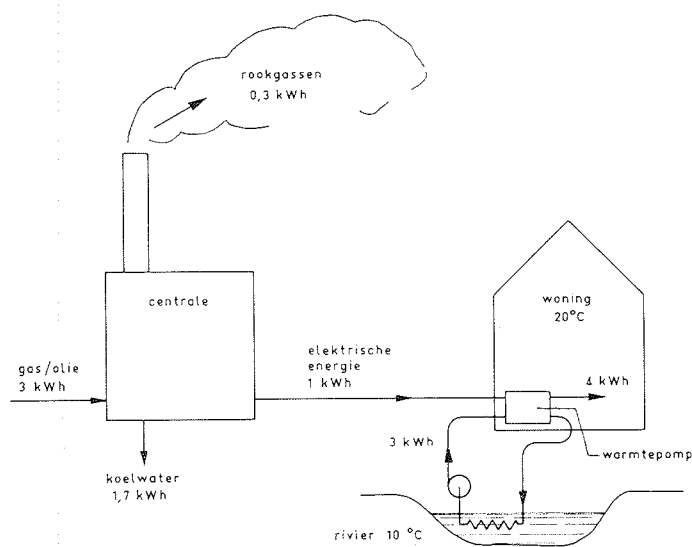


Fig. 1
Schema van de energie- en warmte-
stromen bij toepassing van een
warmtepomp

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 angeblazen 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

