

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 m³ aardgas, betekent een verhoging van het gebruiksrendement van 65% naar 66%* een besparing van 60 m³/j. Bij een te verwachten gasprijs van f 0,30/m³ (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 (η) 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 (η_w). Men kan ook het schoorsteenverlies bepalen en verkrijgt daaruit het schoorsteenzijdig rendement (η_s), dat een stuk hoger ligt. De keuringseisen begrenzen dit schoorsteenverlies tussen 17 en 26% van de nominale belasting; η_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 (η_v) genoemd. Over een langere periode, bijvoorbeeld een stookseizoen, bezien ligt het gemiddelde rendement, het zogenaamde 'gebruiksrendement' (η_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 stilstandsperioden 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 η_g altijd lager zijn dan η_v ; de grote vraag is echter: hoeveel lager?

Ongetwijfeld is het mogelijk, η_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 η_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: η_g is evenredig met η . De ψ_v -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 .

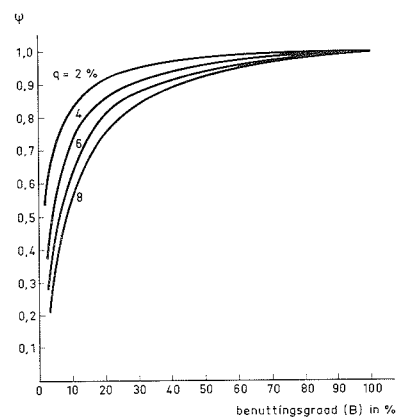


Fig. 1
De ψ waarde (= gebruiksrendement/vollastrendement) volgens Dittrich

Voor een juist gekozen verwarmingstoestel zal in een gemiddeld stookseizoen B tussen 30 en 35% liggen. De ψ -waarde ligt dan nog niet bijzonder laag: voor $B = 30\%$ tussen 0,95 en 0,84. Een ernstige daling van ψ en dus van η_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 η_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 η_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/m² 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

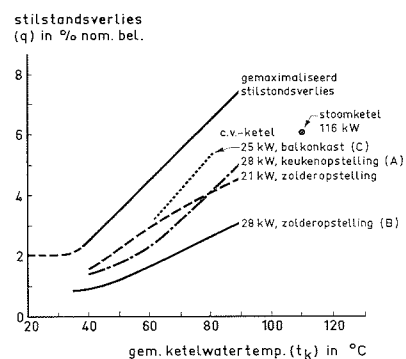
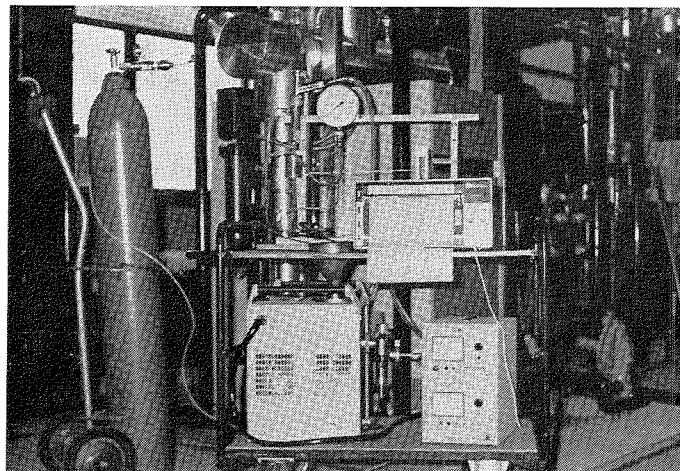


Fig. 2
De maximale en de gemeten stilstandsverliezen

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

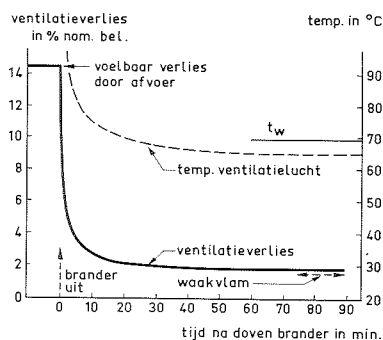


Fig. 4
 Het verloop van het ventilatieverlies
 en de ventilatieluchttemperatuur
 voor een gasboiler van 11 kW,
 waterinhoud 115 l, bij $t_w = 70^\circ\text{C}$,
 na het doven van de brander

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 η_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

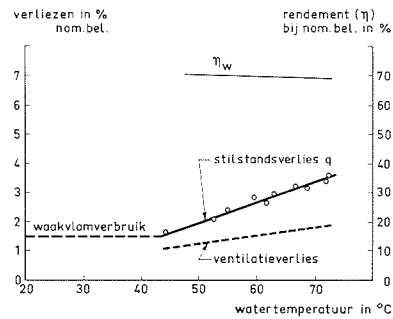


Fig. 5
De verliezen en het rendement van een gasboiler van 11 kW met een waterinhoud van 115 l

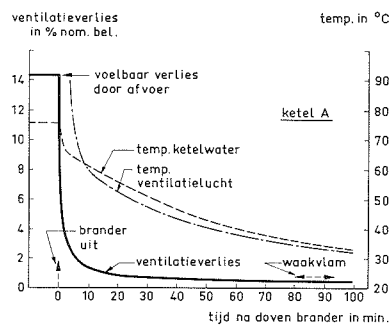


Fig. 6
Het verloop van het ventilatieverlies en de ventilatieluchttemperatuur van een CV ketel van 28 kW na het doven van de brander

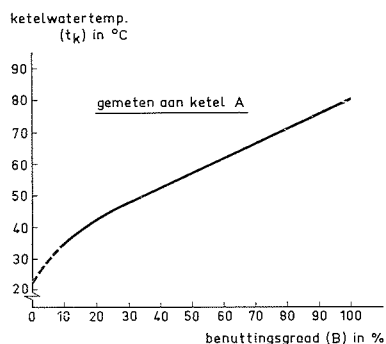


Fig. 7
Het verband tussen de gemiddelde ketelwatertemperatuur en de benuttingsgraad

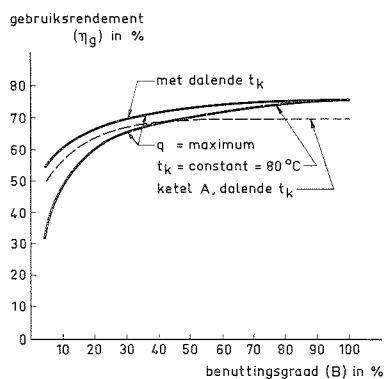


Fig. 8
Het gebruiksrendement bij gelijkblijvende resp. dalende ketelwatertemperatuur

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 η_g voor een constante waarde van $t_k = 80^\circ\text{C}$. Van 75%, (het vollastrendement bij $B = 100\%$) daalt η_g tot 65% voor een benuttingsgraad van 30%. Houdt men echter rekening met de daling van t_k volgens figuur 7 dan daalt η_g slechts tot 69%. Eveneens in figuur 8 vindt men het verloop van η_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 η_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 η_g slechts tot 68%. Bij een normale benuttingsgraad is de daling die η_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 η_g van 33% genoemd. Uitgaande hiervan kan men op eenvoudige wijze berekenen, dat tijdens de stilstandsperiodes 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 η_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, η_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 η_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 η met circa 4% dalen. Dit is overigens sterk afhankelijk van de constructie van de trekonderbreker.

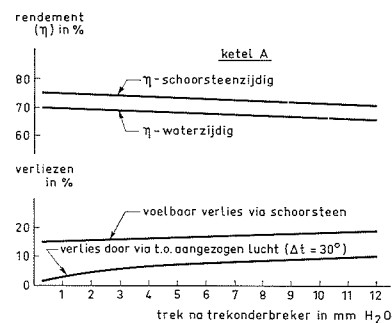


Fig. 9
De invloed van de trek op het rendement en de verliezen

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 η_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 η_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 η_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 η_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 η_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 η_g voor een gasboiler wel aanzienlijk lager ligt dan η_v ; bij een afname van 100 kg/24h bedraagt η_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 kW (ook opgenomen in figuur 2). Bij 110°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, η_g slechts 3 à 5% lager ligt dan het vollastrendement. Van verbetering van η_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-

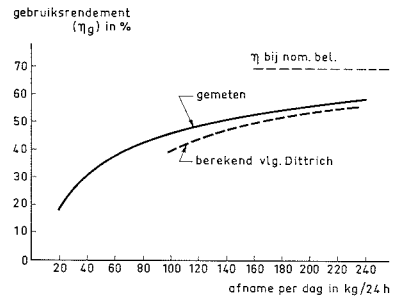


Fig. 10
Het gemeten gebruiksrendement en het volgens Dittrich berekende gebruiksrendement van een gasboiler van 11 kW met een waterinhoud van 115 l bij een watertemperatuur van 70°C

verlies q , dit gezien de grote spreiding die bestaande ketels, getuige figuur 2, kunnen vertonen. Bij ketel B uit figuur 2 bijvoorbeeld daalt η_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 η_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.

