

Jaargebruiksrendement van ketels

In een onlangs afgerond internationaal project is een computerprogramma ontwikkeld waarmee het jaargebruiksrendement van huishoudelijke cv-ketels kan worden berekend. Het programma bevat zowel een model voor de berekening van het deellastrendement van ketels als een model om de bedrijfscondities van de ketels te bepalen, afhankelijk van het installatieontwerp en -bedrijf. Het programma bevat bestanden met gegevens van ketels, brandstoffen en klimaat (graaddagen).

Het programma kan worden gebruikt voor bijvoorbeeld het vergelijken van ketels bij identiek installatieontwerp en -bedrijf of het optimaliseren van de inpassing van een ketel. Potentiële gebruikers van het programma zijn adviseurs, installateurs, voorlichters en ketelfabrikanten.

*- door ir. J. van Wolferen en ir. M. Koot**

In de diverse landen van de Europese Unie bestond reeds een aantal modellen om jaarrendementen van ketels te berekenen en/of te meten. Een kenmerk van deze modellen is dat zij meer ketelgegevens vereisten dan uit de verschillende nationale standaardtests beschikbaar waren.

De ontwikkeling van de CE-keuring voor ketels was de aanleiding om over de mogelijkheid van een Europees ketelmodel na te denken. In de periode 1991 - 1993 is door een aantal instituten voorbereidend werk gedaan, waaronder het vergelijken van de beschikbare modellen op basis van een set meetgegevens. Hieruit bleek dat de onderlinge verschillen, zowel in modelvorming als resultaat groot waren.

Op basis van de opgedane ervaringen is vervolgens een project gestart met als doel, een uniform en algemeen

toepasbaar model en computerprogramma voor de berekening van het jaargebruiksrendement van huishoudelijke ketels te maken. Aan het project is deelgenomen door een tiental deelnemers uit verschillende landen van de Europese Unie, waaronder Gastec en TNO voor Nederland. Het project werd mede mogelijk gemaakt door een bijdrage uit het SAVE-programma van de EU.

GLOBALE MODELVORMING

Het globale model voor de berekening van het jaargebruiksrendement is gegeven in figuur 1.

Hieruit blijkt dat het model twee hoofdonderdelen bevat:

- model voor de berekening van de bedrijfscondities van een ketel, afhankelijk van het installatieontwerp en -bedrijf;
- model voor het deellastgedrag van een ketel.

De bedrijfscondities worden constant verondersteld gedurende een zekere periode en worden beschreven door de volgende grootheden:

- warmtevraag;
- aanvoer- en retourwatertemperatuur;
- cv-debiet over de ketel;
- temperatuur in de opstellingsruimte;
- schakelfrequentie van de ketel.

Deze bedrijfscondities en het model van het deellastgedrag van een ketel bepalen het deellastrendement van een ketel.

Om tot het model en computerprogramma te komen is het project in vier hoofddelen opgesplitst:

- opstellen en valideren van het ketelmodel;
- inventariseren van nationale gegevens en opstellen van berekeningswijze van de bedrijfscondities;
- implementeren van modellen in het computerprogramma;
- uitvoeren van voorbeeldberekeningen met het programma.

KETELMODEL

Tijdens het voorbereidend werk bleken verschillende modelleringsprincipes toepasbaar te zijn:

- *Voortbouwend op het model van Dittrich.* Dit is in principe een zwart 'black-box' model, dat wordt gefit met meetgegevens.
- *Fysisch model*, waarbij de verschillende soorten verliezen van een ketel met aan de natuurkunde ontleende formules worden bepaald. Omdat niet alle modelparameters

* TNO Milieu, Energie en Procesinnovatie, Apeldoorn

** Gastec, Apeldoorn

op basis van de fysica kunnen worden bepaald moet een deel van de parameters worden gefit met meetgegevens.

Op basis van beide principes is een model opgesteld en gevalideerd. Het fysische model bleek beter te voldoen.

Het fysisch model gaat uit van de volgende warmtestromen en -verliezen:

- Bij ingeschakelde ketel is er warmtetoevoer door de brandstof. Deze warmtetoevoer wordt verminderd door verbrandingsgasverliezen, omgevingsverliezen van de relatief koele delen (omkasting) en omgevingsverliezen van de hete delen (brander). Een deel van het elektrisch verbruik van de pomp komt ten goede aan het cv-water.
- Bij uitgeschakelde ketel geeft een eventuele waakvlam zowel warmtetoevoer door de brandstof als verbrandingsgasverliezen. Zonder waakvlam zijn er ventilatieverliezen. In alle gevallen zijn er omgevingsverliezen van de koele delen. Een (nadraaiende) pomp geeft een deel van het elektrisch verbruik af aan het cv-water.
- In principe kunnen start/stopverliezen optreden, o.a. door methaanslib.

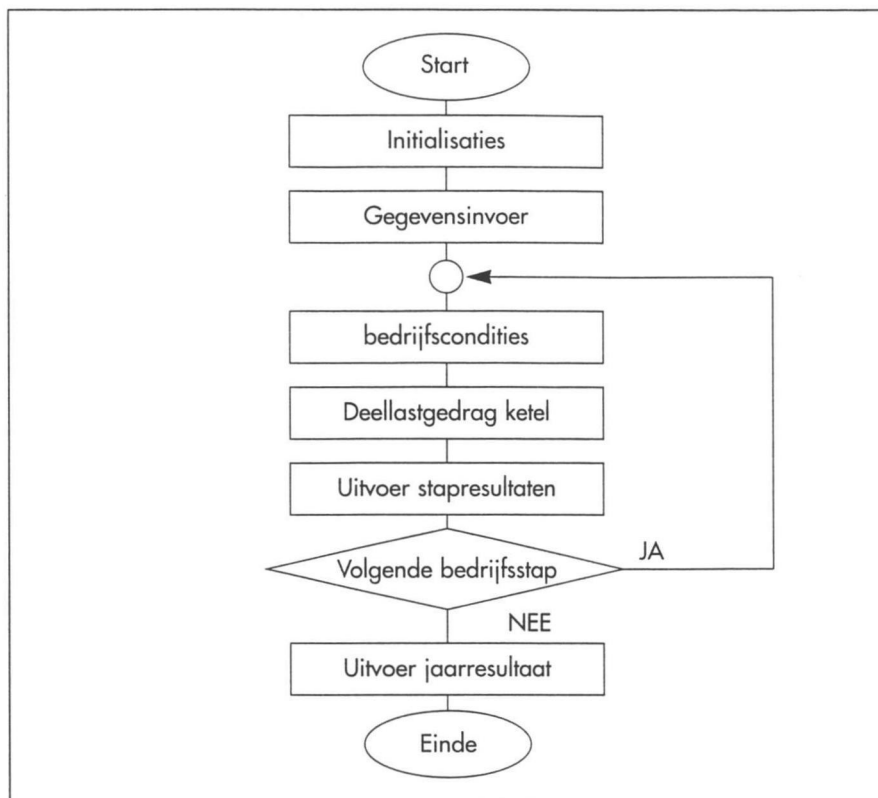
In figuur 2 zijn deze verliezen schematisch weergegeven.

Voor de validatie van het ketelmodel zijn voor 9 ketels de vereiste ketelbeproevingen uitgevoerd volgens tabel 1. Tevens is voor iedere ketel een aantal validatiemetingen uitgevoerd, waarbij het rendement gemeten is bij uiteenlopende bedrijfscondities. Vervolgens is het model gevoed met de gegevens van de beproevingen en zijn op basis hiervan de deellastrendementen berekend voor de bedrijfscondities van de validatiemetingen.

Vergelijking van de gemeten en berekende toestelprestaties voor de verschillende bedrijfscondities leidde tot de conclusie dat het model goed voldoet voor het berekenen van deellastrendementen. In figuur 3 is het globaal resultaat van de validatie weergegeven.

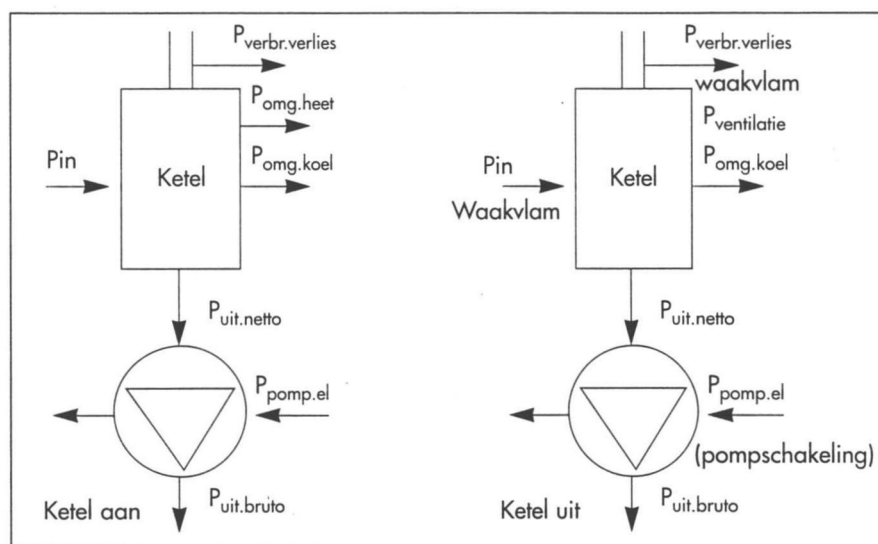
MODEL BEDRIJFSCONDITIES

In de globale modelvorming is reeds aangegeven dat de bedrijfscondities van grote invloed zijn op het gebruiks-



GBAAL MODEL VOOR HET BEREKENEN VAN HET JAARGEBRUIKERSRENDEMENT

-FIGUUR 1-



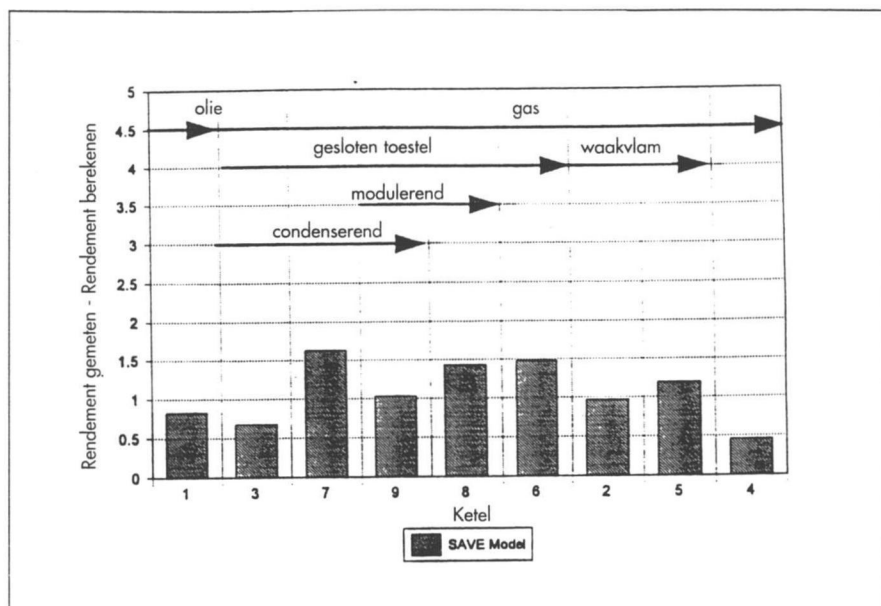
SCHEMATISCH OVERZICHT VAN DE WARMTESTROMEN VAN EEN FYSISCH KETELMODEL

-FIGUUR 2-

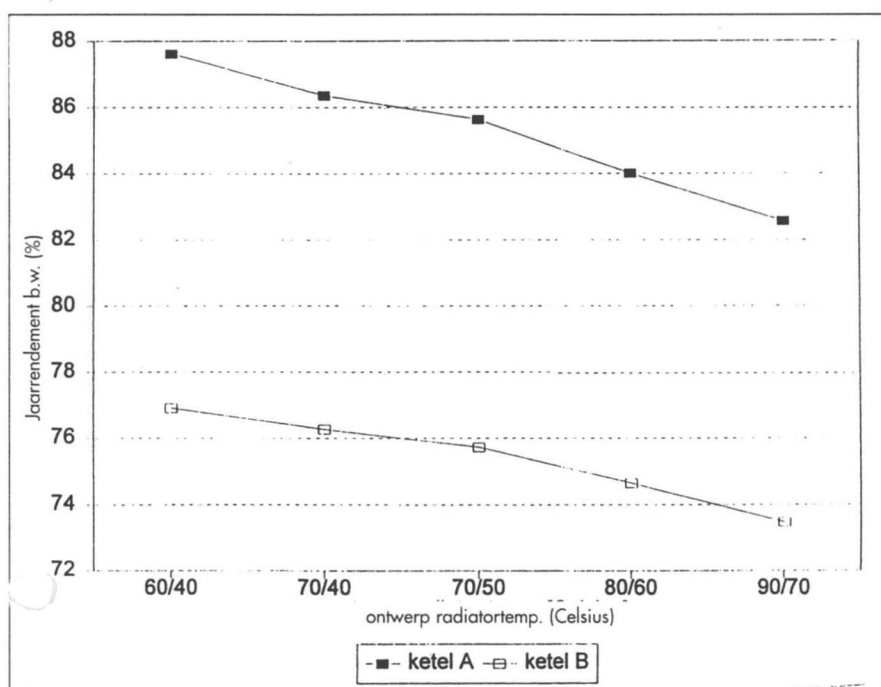
Type beproeving	Type ketels
Vollast 60/80	alle ketels
Vollast 40/60	alle ketels
Vollast 30/50	condenserende ketels
Minimum belasting 60/80	modulerende of hoog/laag ketels
Deellast 30%	alle ketels
Stilstandsverlies open	alle ketels
Stilstandsverlies gesloten	alle ketels

OVERZICHT VAN DE KETELBEPROEVINGEN

-TABEL 1-



GBAAL RESULTAAT VAN DE VALIDATIE VAN HET FYSISCH KETELMODEL
-FIGUUR 3-



JAARRENDEMENT ALS FUNCTIE VAN ONTWERPTEMPATUREN
-FIGUUR 4-

rendement van een ketel. Deze bedrijfscondities worden bepaald door het installatieontwerp en -bedrijf. Uit de inventarisatie van nationale gegevens blijken o.a. de volgende aspecten van belang te zijn:

- jaarlijkse warmtevraag van de woning (MJ);
- klimaatgegevens (graaddagen), beschikbaar voor vele landen en steden/regio's;
- ontwerp installatie-afgiftevermogen (kW);

- ontwerptemperaturen van het systeem;
- regelsysteem (kamerthermostaat of stooklijn);
- opstellingsruimte;
- toepassing nachtverlaging;
- duur nachtverlaging.

De bedrijfscondities worden nu stap voor stap bepaald (zoals aangegeven in figuur 1):

- Verdeel de jaarlijkse warmtevraag over de periodes van het jaar op

basis van graaddagen.

- Bepaal bij toepassing van nachtverlaging per periode de duur van de aanwarm- en dagperiode en de belasting gedurende de dagperiode. Er wordt van uitgegaan dat het systeem vol vermogen levert tijdens aanwarmen en uitgeschakeld is gedurende de nacht.
- Bepaal per belastingsituatie de aanvoer- en retourtemperatuur en het cv-debiet, afhankelijk van het ontwerp-afgiftevermogen, de ontwerptemperaturen en het regelsysteem.
- Bereken de temperatuur van de opstellingsruimte.
- Bepaal de installatiefactor, die het aantal ketelschakelingen bepaalt.

COMPUTERPROGRAMMA BOILSIM

De hiervoor geschetste modellen zijn geïmplementeerd in het computerprogramma BoilSim. Het programma maakt gebruik van bestanden waarin gegevens van ketels, klimaat en brandstoffen zijn opgeslagen. Het is van groot belang dat deze gegevens betrouwbaar zijn. Daarom kunnen gebruikers van het programma deze bestanden wel inzien maar niet wijzigen. Het beheer van het programma en de gegevensbestanden wordt verzorgd door de programmamanagers. Voor Nederland zijn dit TNO en Gastec. Zij brengen de genoemde gegevens in en controleren deze op juistheid. Hiermee is de correctheid en betrouwbaarheid van de in het programma opgenomen gegevens gegarandeerd.

De berekening van ketelrendementen gebeurt vervolgens op projectmatige wijze.

- In het programma kunnen één of meer projecten worden geopend.
- Per project worden vervolgens door middel van een vragenlijst één of meer typen installatieontwerp en -bedrijf gedefinieerd.
- Per project worden één of meer berekeningen gespecificeerd. Dit gebeurt door per berekening een ketel, brandstof en type installatieontwerp en -bedrijf te selecteren.
- De geselecteerde berekeningen worden uitgevoerd.
- De berekeningsresultaten zijn nu beschikbaar, zowel globaal (rendement, brandstofverbruik etc.) als gedetailleerd (per belastingsituatie).

Het programma is voorzien van help-schermen. Het is tevens voorzien van de mogelijkheid om in verschillende talen de gebruiker te woord te staan. Momenteel zijn alleen Engels en Nederlands (gedeeltelijk) geïmplementeerd.

VOORBEELDEN BEREKENINGEN

De figuren 4 en 5 geven voorbeelden van rekenresultaten met BoilSim. Figuur 4 toont de invloed van de ontwerpradiatortemperatuur op het jaargebruiksrendement van een HR en conventionele ketel. De resultaten kunnen worden gebruikt om het economisch optimum te bepalen. Opmerkelijk is dat het deellastrendement dat bij de CE-keuring wordt bepaald, redelijk representatief is voor het jaargebruiksrendement van een conventionele ketel, maar flatterend hoog voor een HR-ketel (94,4 % in de test; 83-88 % op jaarbasis).

Figuur 5 toont de invloed van de warmteafgifte van een continu draaiende cv-pomp op het rendement als functie van de totale warmtevraag. Duidelijk blijkt dat de pomp bij een lage jaarlijkse warmtevraag een grote bijdrage levert in de warmtevoorziening. Maar ook bij een normale warmtevraag is de bijdrage aan het rendement nog ruim 2 %.

TOEKOMSTIGE ONTWIKKELINGEN

In 1996 wordt de eerste versie van BoilSim onder de projectdeelnemers verspreid met een bescheiden set aan gegevens. In dit jaar zullen de deelnemers zelf onderzoeken wat de toepasingsmogelijkheden van het programma in hun land zijn. Een belangrijk probleem wordt nog gevormd door het gebrek aan beschikbaarheid van toereikende ketelgegevens. Voor de CE-keuring zijn minder beproevingen vereist dan voor BoilSim wordt gevraagd. Aanvullende gegevens zouden bijvoorbeeld op basis van vrijwilligheid kunnen worden geleverd door ketelfabrikanten. Een alternatief is dat een procedure wordt opgezet om - afhankelijk van het keteltype - de aanvullende gegevens te schatten. Hierover zal door Gastec en TNO met de fabrikanten overleg worden gevoerd.

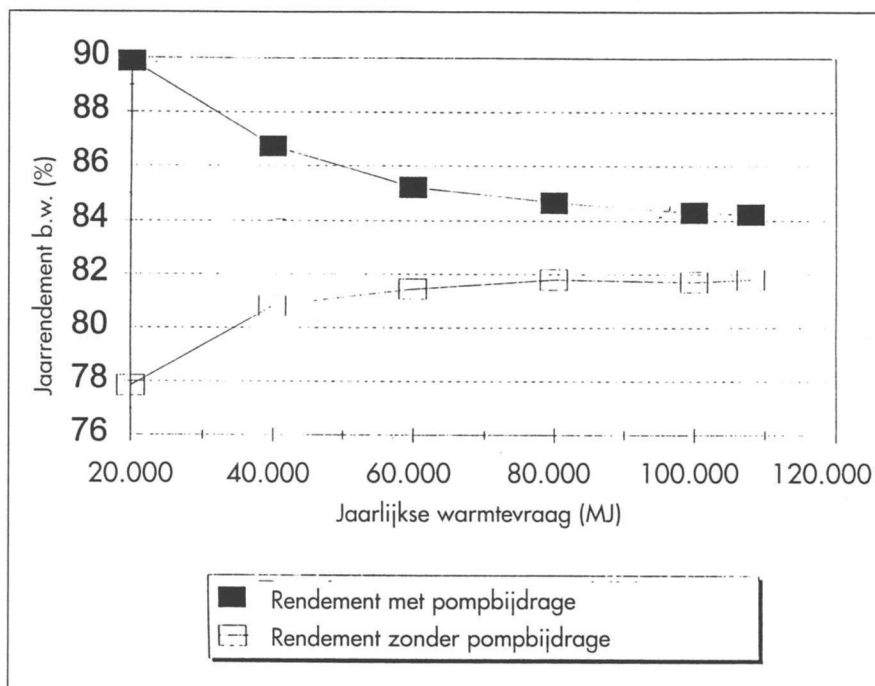
In Nederland zal de eerste versie van BoilSim voor slechts f 100,- (excl. BTW) verkrijgbaar zijn.

Voor informatie over en bestelling van het programma kunt u terecht bij:

Ir. M. Koot
Gastec, unit Gastoepassingen
Postbus 137, 7300 AC Apeldoorn
tel: 055 - 5 393 342
fax: 055 - 5 393 494

Mogelijke ontwikkelingen in de toekomst zijn:

- ontwikkelen ketelmodel voor toestellen voor warmtapwaterbereiding;
- onderzoek toepasbaarheid BoilSim voor grote ketels (50 - 1000 kW);
- uitbreiden BoilSim met berekening emissies (CO₂, CO, NO_x, SO₂);
- uitbreiden BoilSim met berekening verbruik hulpenergie (elektrisch).



INVLOED VAN DE WARMTEAFGIFTE VAN DE CV-POMP OP HET JAARRENDEMENT VAN DE KETEL
-FIGUUR 5-

Deelnemende instituten:

- Danish Gas Technology Centre (projectleider)
- Danish Technological Institute
- Gaz de France
- CETIAT (Frankrijk)
- British Gas
- Italgas
- Lund Institute of technology (Zweden)
- Ruhrgas
- Gastec
- TNO