

INSERT YOUR PICTURE(S) IN THIS CELL

Rekenmodel warmtewet Rendementen combiketel

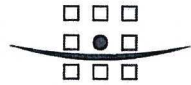
Ministerie van Economische Zaken

23 januari 2010
2e conceptrapport
9V3309



ROYAL HASKONING
thinking in
all dimensions

A COMPANY OF



ROYAL HASKONING

Wijchenseweg 132
Postbus 112
6500 AC Nijmegen
+31 (0)24 366 75 75 Telefoon
+31 (0) 24 3667 570 Fax
info@nijmegen.royalhaskoning.com E-mail
www.royalhaskoning.com Internet
Arnhem 09122561 KvK

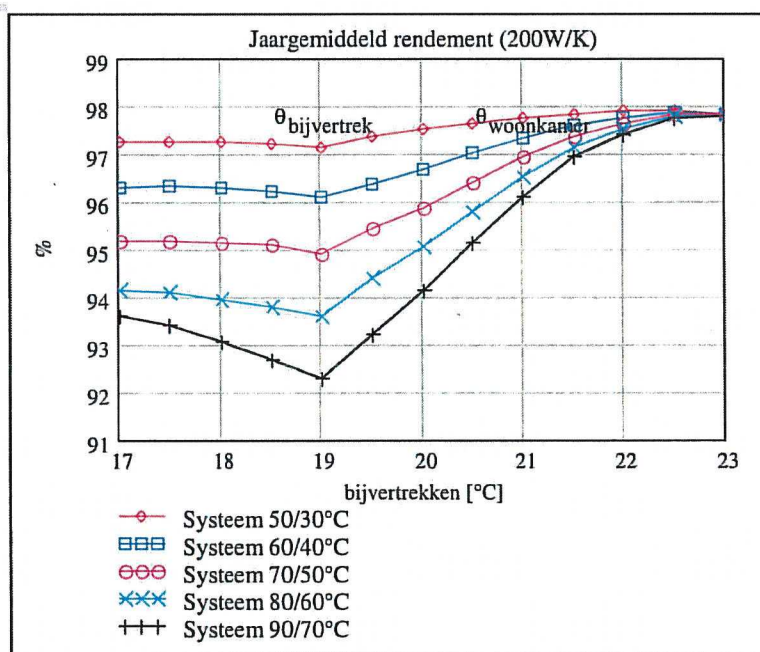
Documenttitel Rekenmodel warmtewet
Rendementen combiketel
Verkorte documenttitel Rendementen combiketel
Status 2^e conceptrapport
Datum 23 januari 2010
Projectnaam Ontwikkeling rekenmodel Warmtewet
Projectnummer 9V3309
Opdrachtgever Ministerie van Economische Zaken
Referentie 9V3309/R008/EVD/Nijm2b

Auteur(s)
Collegiale toets
Datum/paraaf
Vrijgegeven door
Datum/paraaf

SAMENVATTING

Het rendement van een combiketel is voor ruimteverwarming in rapport "Rekenmodel Warmtewet, de maximumprijs van warmte" [1] gesteld op 90%. Dit rendement maakt deel uit van het stelsel van factoren die met elkaar de voorgestelde maximumprijs bepalen.

In de voorliggende aanvullende rapportage wordt nagegaan waardoor het rendement voor ruimteverwarming wordt bepaald en of daarmee de bevestiging wordt gevonden van het in het advies gebruikte rendement. De uitgevoerde analyse laat, voor woningen met niet al te groot specifiek warmteverlies (200watt/K), het volgende beeld zien



Het in het advies gehanteerde rendement van 90% komt in deze afbeelding niet voor en moet gezien worden als ondergrens. Het rendement is nadrukkelijk afhankelijk van de systeemtemperatuur, maar bovendien afhankelijk van de wijze waarop een installatie wordt gebruikt. Het normatieve rendement in NEN 5128 wordt bevestigd voor een systeem werkend op 60/40 °C; niet voor hogere temperaturen.

INHOUDSOPGAVE

	Blz.
1 INLEIDING	1
2 REFERENTIESITUATIE	2
3 BEPALING RENDEMENT	3
4 WARMTEVRAAG WONING	4
5 GEDRAG VERWARMINGSINSTALLATIE	7
5.1 Radiatorgedrag	7
5.2 Bedrijfsonderbreking en opwarmen	9
5.3 Alleen hoofdwoonvertrek	10
6 CONDENSERENDE KETEL	12
7 SYNTHESE	15
7.1 Specifiek warmteverlies 200W/K	15
7.2 Specifiek warmteverlies 600W/K	16
8 CONCLUSIE	17
9 REFERENTIES	18

BIJLAGEN

Bijlage 1 Gecertificeerde taprendementen

1 INLEIDING

De wetgever heeft er voor gekozen de maximumprijs van warmte, in het kader van de uitvoering van de Warmtewet, te baseren op de rendementsmethode. In opdracht van het Ministerie van Economische Zaken heeft Royal Haskoning het rapport "Rekenmodel Warmtewet, de maximumprijs van warmte" opgesteld [1].

In [1] werd geadviseerd om de maximumprijs van warmte voor de kleinverbruiker als volgt te vast te stellen:

- Met alle beschreven effecten meegewogen:

$$P_w = 33.65 \frac{\text{m}^3}{\text{GJ}} \cdot P_g$$

Dit komt neer op een gewogen rendement van 84,47% (op bovenwaarde);

- Met weglating van de effecten van elektriciteitsgebruik (koken en close-in boiler):

$$P_w = 35.24 \frac{\text{m}^3}{\text{GJ}} \cdot P_g$$

Dit komt neer op een gewogen rendement van 80,66% (op bovenwaarde).

In de prijsformules zitten elementen die geen directe relatie met het rendement van een ketel zelf hebben. De ketelrendementen die in beide formules zijn besloten zijn 90% voor ruimteverwarming en 65 tot 75% voor warm tapwater (beide op bovenwaarde).

Het rendement van een centraleverwarmingketel is afhankelijk van:

- Buitenklimaat;
- Ontwerp van de verwarmingsinstallatie;
- Wijze van gebruik / manier van regelen van de verwarmingsinstallatie;
- Ontwerp en uitvoering van de ketel;

Het rendement is dus niet uitsluitend afhankelijk van de ketel zelf. Dat is de achtergrond en ook de aanleiding voor het opstellen van deze beknopte rapportage, als aanvulling op het hierboven aangehaalde rapport [1]

In het voorliggende rapport wordt nagegaan wat van het jaargemiddelde rendement van een combiketel verwacht mag worden, in gebruik voor ruimteverwarming. Niet behandeld wordt het verwachte rendement bij tappen, aangezien juist daarvan metingen beschikbaar zijn, waarover in [1] werd gerapporteerd.

2 REFERENTIESITUATIE

Het in de prijsformule besloten rendement hoort bij een ketel met HR 107 label. Voor de verwerving van de HR 107 label moet voldaan worden aan wat in de GASTEC publicatie "GASKEUR-criteria CV-HR:1997" [2] en in NEN EN 677 [3] is geregeld. In die zin is het volgende van belang:

1. Rendementen worden vastgesteld onder referentiecondities [3]. Dat is 20°C en 70% relatieve vochtigheid en 1 atm luchtdruk voor de omgeving.
2. Het rendement bij vollast wordt bepaald bij een temperatuurregime van 80/60°C;
3. Het rendement bij deellast wordt bepaald met temperatuurregime van 50/30°C;
4. De toekenning van de GASKEUR/HR label vindt plaats op grond van het bij 30% van de grootste nominale belasting gevonden rendement.

3 BEPALING RENDEMENT

Het momentane rendement van een ketel is van veel factoren afhankelijk. Het gaat hier om het jaargemiddelde rendement, bepaald door het quotiënt van geproduceerde warmte en verbruikte aardgas, te rekenen over een jaar. Het jaargemiddelde rendement kan op de volgende manier genoteerd worden.

$$\eta_k = \frac{\begin{array}{l} Q \leftarrow Q_w(\text{WV}_{sp}, \theta_{bi}, \theta_{bu}, Q_{int}) \\ \theta_{ri} \leftarrow \theta_{rin}(Q_{nom}, \theta_{binom}, \theta_{rinom}, \theta_{runom}, Q, \theta_{bi}, m_w) \\ \theta_{ru} \leftarrow \theta_{ruit}(Q_{nom}, \theta_{binom}, \theta_{rinom}, \theta_{runom}, Q, \theta_{bi}, m_w) \\ G_g \leftarrow G_{gas}(Q, \theta_{bu}, \theta_{ri}, \theta_{ru}, m_w) \\ \sum Q \end{array}}{\sum G_g}$$

Achter de programmastreep staat onder elkaar het volgende:

1. Q Warmtevraag van een woning;
2. θ_{ri} (Water)intredetemperatuur van de radiatoren;
3. θ_{ru} (Water)uittredetemperatuur van de radiatoren;
4. G_g Gasgebruik van de ketel (Gronings gas)
5. Quotiënt van warmtegebruik en aardgasgebruik (na afzonderlijke sommatie over een jaar)

Voor het ketelrendement geldt, per saldo dus, dat die afhankelijk is van de volgende variabelen:

$$\eta_{ketel} = \eta_k(\text{WV}_{sp}, Q_{int}, Q_{nom}, \theta_{binom}, \theta_{rinom}, \theta_{runom}, \theta_{bi}, \theta_{bu}, Q, m_w)$$

Laten we de nominale waarden voor de selectie van de radiatoren weg, dan blijven de te onderzoeken variabelen over:

$$\eta_{ketel} = \eta_k(\text{WV}_{sp}, Q_{int}, \theta_{bi}, \theta_{bu}, Q, m_w)$$

Door de wijze van notatie is te zien door welke (overige) variabelen de onderhavige wordt bepaald. In de volgende hoofdstukken wordt dit besproken.

4 WARMTEVRAAG WONING

De warmtevraag van een woning is in hoofdstuk 3 als volgt voorgesteld.

$$Q = Q_w(WV_{sp}, \theta_{bi}, \theta_{bu}, Q_{int})$$

De betekenis van de variabelen is de volgende:

- WV_{sp} specifiek warmteverlies in watt/K of in watt/°C
- θ_{bi} binnentemperatuur
- θ_{bu} buitentemperatuur
- Q_{int} interne warmtebronnen in watt

Uitwerking daarvan gaat als volgt:

De kwaliteit van een woning, in de zin van warmtegebruik, is als volgt met een specifiek warmteverlies voor te stellen:

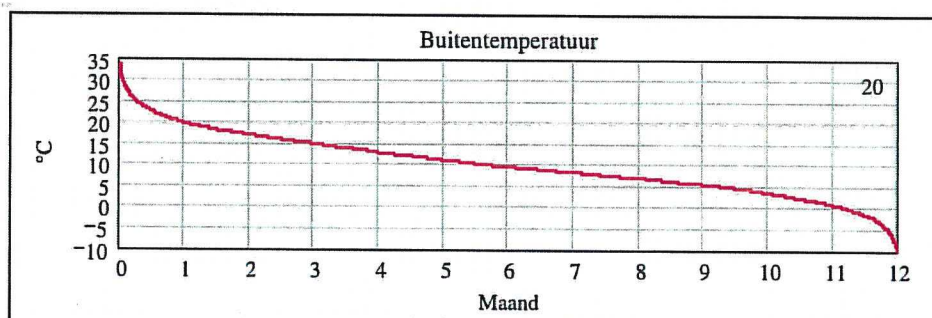
$$WV_{spec} = MC_{vent} \cdot (1 - \eta_{wtw}) + \Sigma kA_{schil}$$

In de betrekking zien we de capaciteitstroom van de ventilatielucht (MC_{vent}), het rendement van de warmteterugwinning (η_{wtw} indien aanwezig) en de som van alle warmtedoorgangen van de schil van de woning (ΣkA_{schil}). De momentane warmtebehoefte van de woning (in watt) kan dan als volgt geschreven worden:

$$Q = WV_{spec} \cdot (\theta_{bi} - \theta_{bu}) - Q_{int}$$

Het specifieke warmteverlies is vermenigvuldigd met het verschil van binnentemperatuur en buitentemperatuur (in K) en dat levert het warmteverlies. De aftrekpost stelt alle in de woning vrijkomende warmte voor, bestaande uit de warmte van aanwezige personen, ingeschakelde verlichting en apparatuur en binnenvallende zonnestraling.

De buitentemperatuur voor Nederland is, in gesorteerde vorm, als volgt:

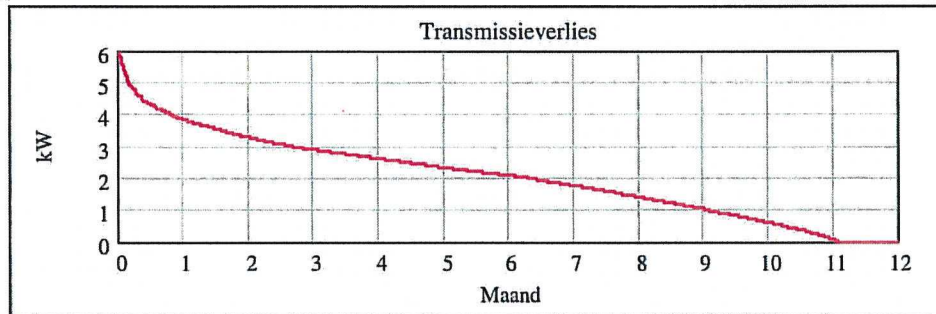


De gewenste woningtemperatuur is ongeveer 20°C en als hulplijn weergegeven.

Voor de bepaling van de warmtevraag doen we de volgende aannamen:

- Specifiek warmteverlies hoofdwoonvertrek 80W/m²K (40%)
- Specifiek warmteverlies bijvertrekken 120W/m²K (60%)
- Specifiek warmteverlies tussenwanden/vloeren 800W/m²K (400%)

Het specifieke warmteverlies van deze woning is dus 200W/K. Worden de bijvertrekken op (minimaal) 19 °C gehouden (het hoofdwoonvertrek wordt op 21 °C gehouden) dan levert dat de volgende warmtevraag (gesorteerd).



Deze woning heeft een maximale warmtevraag van 6kW. Maar er zijn ook interne warmtebronnen die een stookgrens veroorzaken. De in een woning vrijkomende warmte stellen we, als benadering, als volgt voor.

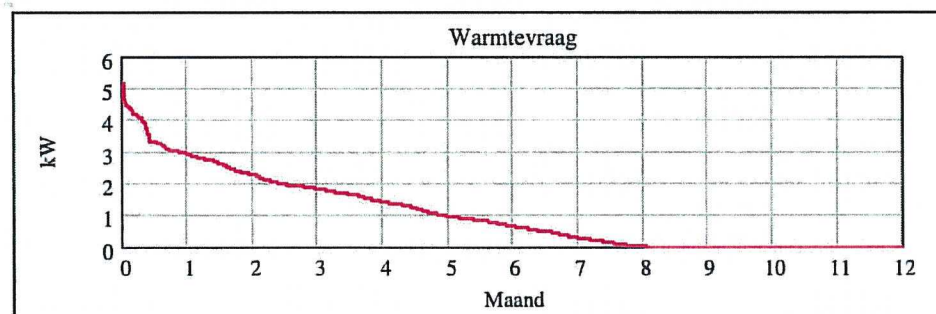
$$Q_{\text{int}} = 500 \text{ W} + 1500 \text{ W} \cdot \frac{\theta_{\text{bu}} - \min(\theta_{\text{bu}})}{\max(\theta_{\text{bu}}) - \min(\theta_{\text{bu}})}$$

Er wordt dus altijd 500W aan warmte geproduceerd (ijskast, televisie, radio, personen, wasmachine, wasdroger, etc). Daarbovenop komt een warmtebron die afhankelijk wordt gesteld van de buitentemperatuur; dat is de invloed van de binnenvallende straling van de zon. Zo werkt het niet precies, maar wel ongeveer en voldoende voor deze notitie.

De verdeling van de interne warmtebronnen wordt als volgt gekozen:

- Vrijkomende warmte in hoofdwoonvertrek 70%
- Vrijkomende warmte in bijvertrekken 30%

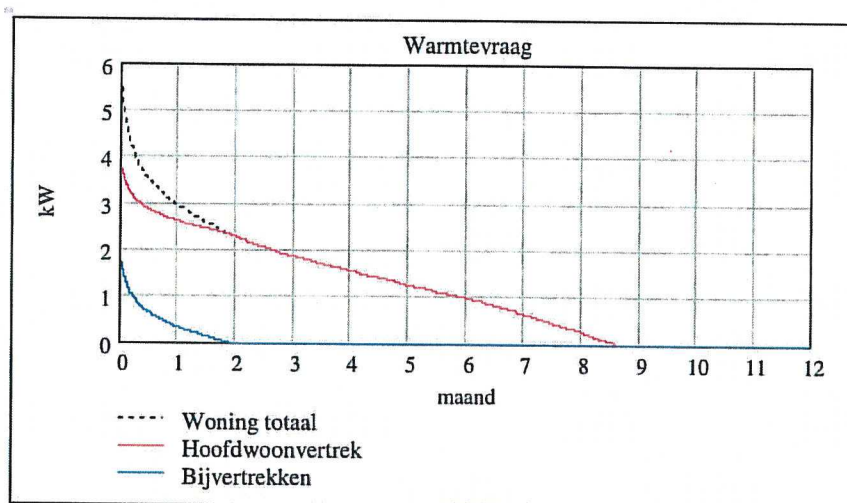
De meeste warmte komt dus vrij in het hoofdwoonvertrek. De resulterende warmtevraag die door de radiatoren en de ketel geleverd moet worden is dan als volgt:



De maximale warmtevraag (althans gemiddeld gesproken) bedraagt nu 5,19kW. De jaarlijkse warmtevraag is in dit geval 32,55GJ. Wordt dit gedeeld door de maximale

warmtevraag (6kW) dan krijgen we een bedrijfstijd van dit vermogen en die is dan 1507uur/jaar, als indicator van het patroon.

Als in het hoofdwoonvertrek een temperatuur van 21 °C en in de bijvertrekken een temperatuur van 19°C wordt ingesteld, dan is de verdeling van de warmtevraag als volgt voor te stellen.



De warmtevraag in de bijvertrekken is laag, terwijl toch 60% van het specifieke warmteverlies aan de bijvertrekken werd toegerekend. Dat wordt veroorzaakt door de tussenwanden en de tussenvloeren die niet geïsoleerd zijn en daarom veel invloed uitoefenen.

5 GEDRAG VERWARMINGSINSTALLATIE

Een centrale verwarmingsketel is bedoeld een woning op temperatuur te houden. Daartoe wordt water, dat uit de radiatoren retour stroomt, in de ketel opgewarmd. De ketel produceert deze warmte alleen maar als dit door de installatie in de woning wordt gevraagd, doordat regelkleppen (bijvoorbeeld radiatorcransen) open lopen om warm water aan verwarmingslichamen te kunnen toevoeren.

De retourwatertemperatuur komt voort uit warmtebehoefte (van de woning). Veel warmtevraag en een hoge watertemperatuur horen bij elkaar en weinig warmtevraag en een lage watertemperatuur horen bij elkaar. Dit verband is te bepalen als bekend is hoe de verwarmingslichamen zijn geselecteerd.

In dit onderzoek wordt uitgegaan van de toepassing van radiatoren. Het gedrag daarvan is in hoofdstuk 3 als volgt genoteerd:

$$\theta_{ri} = \theta_{rin}(Q_{nom}, \theta_{binom}, \theta_{rinom}, \theta_{runom}, Q, \theta_{bi}, m_w)$$

$$\theta_{ru} = \theta_{ruit}(Q_{nom}, \theta_{binom}, \theta_{rinom}, \theta_{runom}, Q, \theta_{bi}, m_w)$$

Dus een betrekking voor de waterintrede en de wateruitrede van de radiator(en). De betekenis van de variabelen is de volgende:

- Q_{nom} nominale warmteafgifte in watt
- θ_{bi} nominale binnentemperatuur (20 °C)
- θ_{ri} nominale intredetemperatuur van de radiator (80 °C)
- θ_{ru} nominale uittredetemperatuur van de radiator (60 °C)
- Q werkelijke warmtevraag
- θ_{bi} werkelijke binnentemperatuur
- m_w debiet in % van het nominale debiet

Uitwerking daarvan gaat als volgt.

5.1 Radiatorgedrag

De gevraagde warmte wordt geleverd, door aan verwarmingslichamen warm water te leveren dat daarin afkoelt en zodoende warmte afgeven aan de te verwarmen ruimte. De warmteafgifte van radiatoren wordt getypeerd met de radiatorvergelijking en die luidt als volgt:

$$Q = Q_{nom} \cdot \left(\frac{\Delta\theta_{In}}{\Delta\theta_{Innom}} \right)^{m_{rad}}$$

De warmteafgifte wordt gerelateerd aan nominale warmteafgifte, temperatuursverschil, nominaal temperatuursverschil en een exponent die de mix van convectie en straling typeert. Voor het temperatuursverschil geldt het gemiddelde dat logaritmisch bepaald wordt en als volgt is gedefinieerd:

$$\Delta\theta_{ln} = \frac{\theta_{ri} - \theta_{ru}}{\ln\left(\frac{\theta_{ri} - \theta_{bi}}{\theta_{ru} - \theta_{bi}}\right)}$$

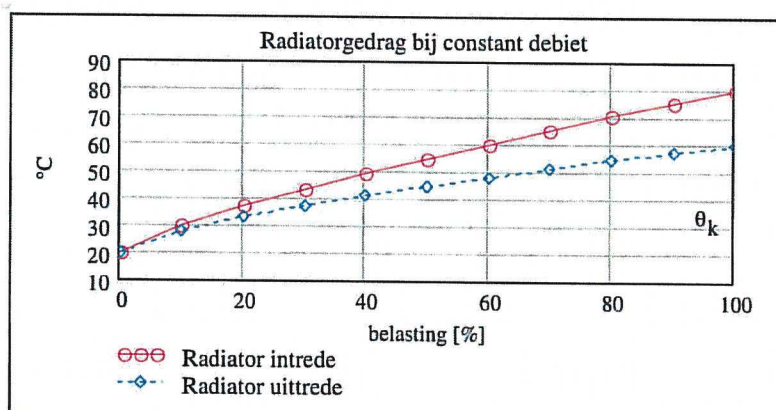
In deze betrekking staan de aanvoer- en de retourtemperatuur van de radiator en de binnentemperatuur (de kamertemperatuur). De nominale condities voor radiatoren zijn in vrijwel alle brochures van fabrikanten als volgt:

$$\theta_{avnorm} = 80^\circ\text{C} \quad \theta_{rtnorm} = 60^\circ\text{C} \quad \theta_{knorm} = 20^\circ\text{C}$$

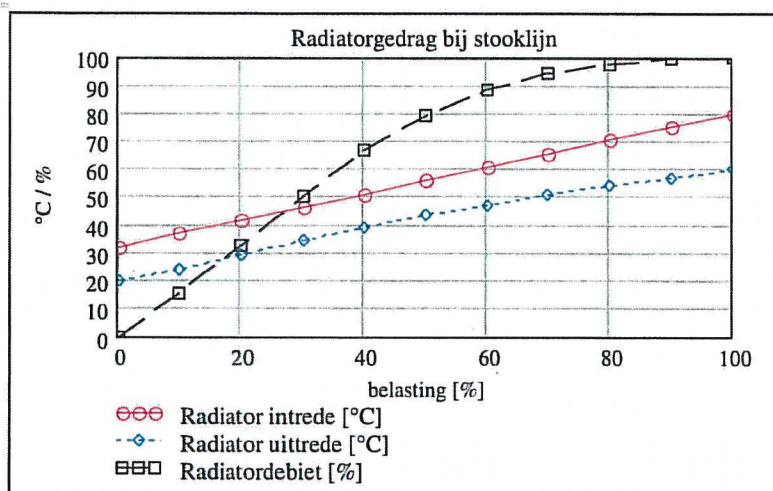
Voor verreweg de meeste radiator typen geldt als exponent:

$$m_{rad} = 1.333$$

Zo is het gedrag van een radiator bepaald en kan als volgt geïllustreerd worden.



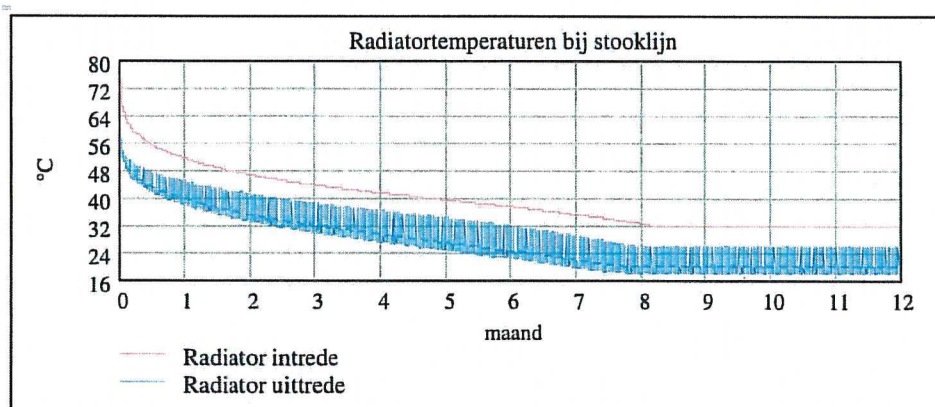
De radiatoren van bovenstaande afbeelding zijn ontworpen op 80/60/20°C. Afgebeeld zijn de intredetemperatuur en de uittredetemperatuur bij een constant waterdebiet ($m_w=100\%$). Dit geldt (in beginsel) voor radiatoren in een hoofdwoonvertrek waarop geen radiatorthermostaat is gemonteerd. In slaapkamers en in overige bijvertrekken wordt (meestal) wél een radiatorthermostaat toegepast en dan moeten die radiatoren het doen met de watertemperatuur die door functioneren van de kamerthermostaat in het hoofdwoonvertrek, in samenhang met daar geplaatste radiatoren, wordt veroorzaakt. Zo kan de in de bijvertrekken op de radiatoren aangeboden watertemperatuur worden gezien als de stooklijn van het hoofdwoonvertrek. Die watertemperatuur kan te laag of te hoog zijn; dat is niet bij voorbaat te zeggen. We stellen ons een stooklijn voor die bij vollast (allicht) een temperatuur van 80°C heeft. Een stooklijn is een rechte lijn en wel zodanig dat met het ontwerpdebiet (van de pomp) kan worden volstaan. Dit houdt in dat de watertemperatuur bij nullast op 32,2°C uitkomt. Het gedrag van radiatoren die een stooklijn krijgen aangeboden kan als volgt geïllustreerd worden.



De radiatoren van bovenstaande afbeelding zijn ontworpen op 80/60/20°C. Rechts in de figuur zijn de watertemperaturen (bij 100% belasting) te herkennen. Loopt de belasting terug naar 0% dan daalt de intredetemperatuur (lineair) naar 32,2°C. De retour verloopt daarbij ongeveer lineair en daalt van 60°C naar kamertemperatuur (20°C). Het debiet dat over de radiator stroomt begint (bij 80/60°C) op 100% en loopt uiteindelijk helemaal terug naar 0% als ook de belasting (de warmtevraag) 0% is.

5.2 Bedrijfsonderbreking en opwarmen

De radiatoren in dit voorbeeld zijn geselecteerd op de warmtevraag bij -8°C buiten en een toeslag voor opwarmen van 10%. Zo wordt het geïnstalleerde vermogen 4310watt voor het hoofdwoonvertrek en 1800watt voor de bijvertrekken. Er treedt, als gevolg van bedrijfsonderbrekingen en opwarmen, een verandering op van de ruimtetemperatuur en een verschuiving van de warmtevraag. Tijdens opwarmen is de ruimtetemperatuur allicht lager (dan 20°C), anders zou opwarmen ook niet nodig zijn. Tijdens nachtverlaging is dit eveneens het geval. Met de hierboven gegeven stooklijn en met de bedrijfsonderbrekingen, krijgen we de volgende temperaturen.

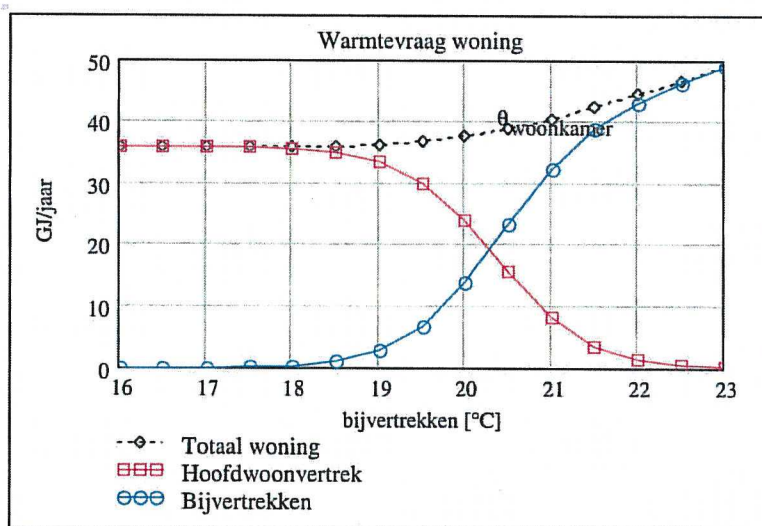


Deze figuur is weergegeven op grond van gesorteerde belasting. Aangezien de stooklijn daarmee evenredig is, is de belasting te herkennen aan de temperatuur van de intrede,

voor zover die boven de minimumtemperatuur van 32,2°C ligt. De retour varieert steeds, afhankelijk van de aard van de bedrijfsonderbreking en afhankelijk van de grootte van de belasting.

5.3 Alleen hoofdwoonvertrek

Kinderen die naar school gaan gebruiken hun kamer om te studeren. Bijvertrekken worden alleen verwarmd als ze in gebruik zijn, maar worden vaak niet gebruikt. Dit betekent dat het hoofdwoonvertrek wordt verwarmd, terwijl aangrenzende ruimten niet worden verwarmd. De radiatoren in het hoofdwoonvertrek moeten dan de verliezen naar de onverwarmde ruimten compenseren, waarvoor ze feitelijk niet geselecteerd waren. Extra, omdat in de bijvertrekken de temperatuur daalt. Laten we instelling van de temperatuur in de bijvertrekken variëren, dan levert dat het volgende beeld:

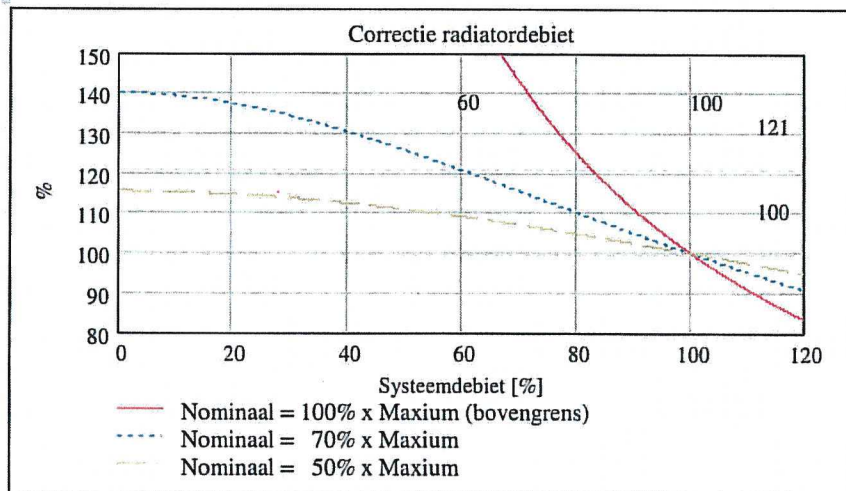


Als de temperatuur in de bijvertrekken op 16°C wordt ingesteld, dan wordt daar nimmer warmte gevraagd; het hoofdwoonvertrek vraagt dan (ongeveer) 35GJ/jaar; en dat is dan voldoende voor de hele woning. Wordt de temperatuur in de bijvertrekken op een hogere temperatuur ingesteld, dan gaat de warmtevraag in het hoofdwoonvertrek naar beneden; dit treedt op vanaf een temperatuur van (circa) 18°C in de bijvertrekken. Maar dan gaat ook de totale warmtevraag van de woning omhoog.

Het belang van bovenstaande beschouwing is er in gelegen dat de radiatoren in het hoofdwoonvertrek meer warmte leveren dan waarvoor ze zijn geselecteerd. Maar dan werken ze dus ook niet bij het bedoelde temperatuurregime (in dit geval bij 80/60/20°C). Maar juist omdat radiatoren in de overige vertrekken niet gebruikt worden, levert de centrale verwarmingspomp meer water aan de wél in bedrijf zijnde radiatoren. Dit effect kan als volgt geschat worden.

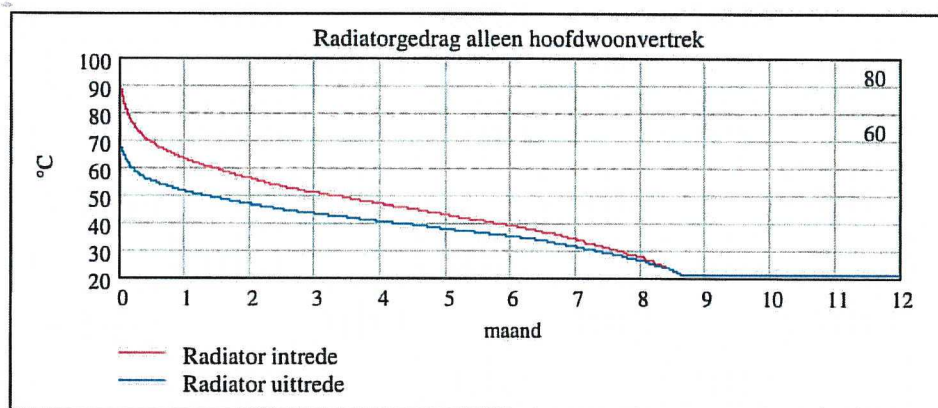
$$\varphi_r = \frac{1}{\sqrt{1 - (1 - \varphi_s^2) \cdot \varphi_{nm}^2}}$$

Hier staat een correctiefactor op het debiet over een radiator (ϕ_r) die afhankelijk is van het totale debiet over het systeem (ϕ_s) en van een vormfactor van de pomp (ϕ_{nm}). Voor een pomp met een steile karakteristiek nadert ϕ_{nm} tot 1 en voor een pomp met een vlakke karakteristiek is $\phi_{nm} \ll 1$. In een grafiek is het effect als volgt te illustreren.



Als er dus radiatoren zijn dichtgezet, stel 60% (zie figuur), dan loopt wél het totale debiet terug, maar de overblijvende radiatoren krijgen meer water te verwerken dan waarvoor ze zijn geselecteerd. Als het nominale debiet van de pomp 70% van het maximale debiet bedraagt, is dat ongeveer 121% (zie figuur). Dat is maar goed ook, want meer vermogen leveren dan waarvoor radiatoren zijn bedoeld, kan alleen maar als er meer water overheen stroomt.

De vraag is dan of het verhoogde debiet voldoende is voor de verhoogde afgifte. Dat is niet altijd het geval. In dit voorbeeld loopt de watertemperatuur op, zoals in de volgende (gesorteerde) grafiek is te zien.

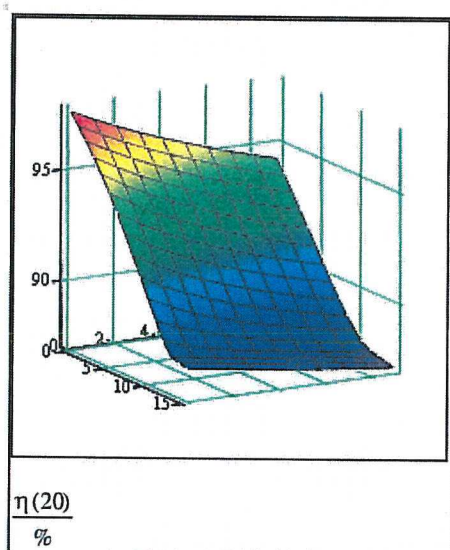


De selectie van de radiatoren is 80/60 °C, maar het regime van de radiator moet stijgen naar 90/70 °C bij de ontwerpbelasting.

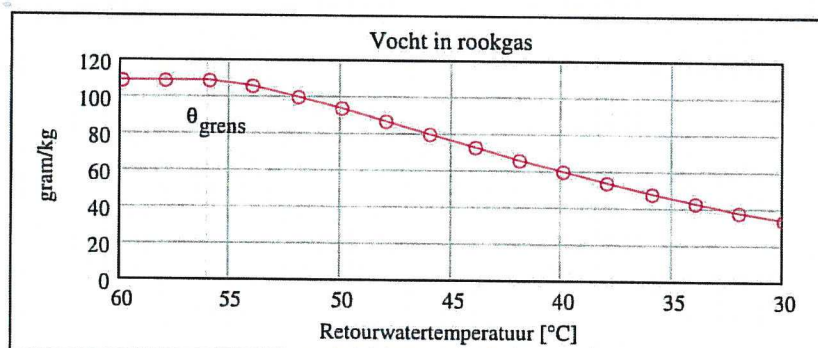
6 CONDENSERENDE KETEL

Voor het rendement van de ketel wordt aangesloten op de beproevingsvoorschriften in [2] en [3]. Dit houdt in dat de HR 107 label wordt vastgesteld bij 30% belasting van de ketel en bij een temperatuurtraject van 50/30 °C. De label heeft betrekking op bovenwaarde. Op onderwaarde is dan sprake van een rendement van 96,5%. Bedenk dat NEN 5128 een rendement van 97,5% toestaat.

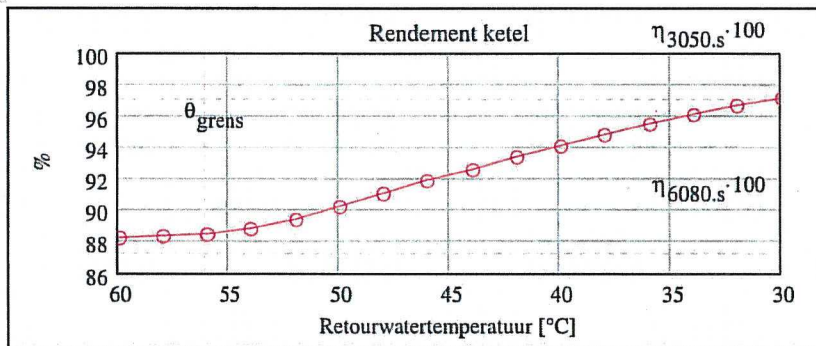
Voor het volgende voorbeeld is een ketel uit de markt geselecteerd die een rendement vertoont van (meer dan) 108%. Op onderwaarde is het rendement 97,4%. Het rendement als functie van retourtemperatuur en als functie van de belasting verloopt van die ketel als volgt (onder testcondities en dat is 20 °C/70%RV).



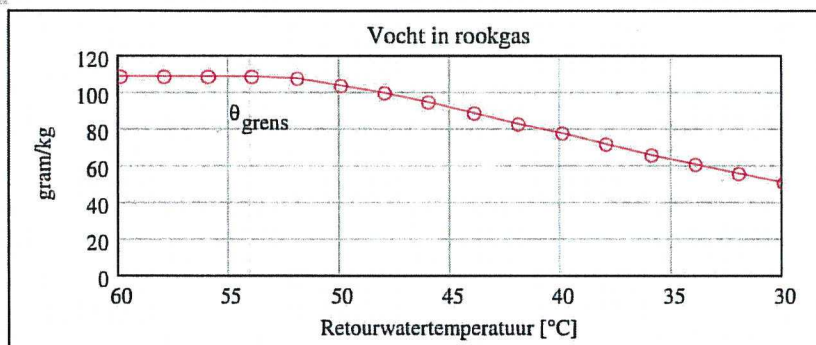
Het maximale rendement is 97,6%. Dat is bij 20% belasting en 50/30 °C (links boven in de afbeelding). Ketels kunnen moduleren tot circa 25%, dus de plot geeft een iets te groot bereik aan. Het minimale rendement is 87,2%. Dat is bij 110% belasting en 80/60 °C (rechts onder in de afbeelding). Er zit een knik in de plot en die wordt bepaald doordat de oppervlaktetemperatuur van de warmtewisselaar het dauwpunt van het rookgas bereikt. We kijken naar enkele afzonderlijke plaatjes om te duiden wat er gebeurt.



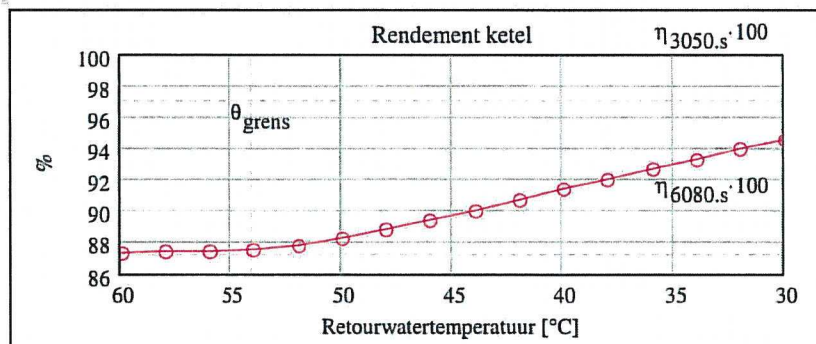
Hier zien we het vochtgehalte in het rookgas dat de ketel verlaat bij 30% belasting, als functie van de retourtemperatuur en bij een vaste temperatuurverhoging van het water van 20°C. Bij 20°C/70%RV testconditie zit er 108gram vocht in 1kg (droog) rookgas bij een ketel die werkt met luchtfactor 1,3 (dit is marktconform). Het dauwpunt is daarbij 56,5°C. Aan de afbeelding is ook te zien dat daarbij (in de buurt) condensatie gaat beginnen en het (overblijvende) vochtgehalte allengs lager wordt. Het verloop van het rendement dat daarbij hoort is als volgt.



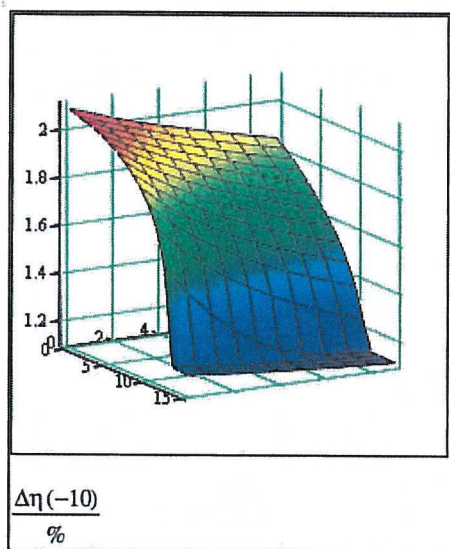
Werkt de ketel bij 100% belasting dan gebeurt het volgende:



De grens waarbij condensatie ontstaat, is verschoven naar 54°C. Er wordt bij 100% dus wel condensatie gevormd, maar het begint bij een lagere watertemperatuur en er condenseert ook minder. Het verloop van het rendement dat daarbij hoort is als volgt.



Een ketel levert geen warmte voor ruimteverwarming onder testcondities. We kijken daarom wat plaatsvindt bij -10°C buiten. Er gaat dan energie zitten in het opwarmen van die koude buitenlucht en er zit ook minder vocht in. Bij 20°C/70%RV zit er haast 9gram vocht in 1kg (droge) buitenlucht en bij -10°C/70%RV zit er ongeveer 1 gram vocht in. We kijken naar de verschillen in het rendement. Dat ziet er als volgt uit.



Het rendement wordt lager. Dat scheelt 2,1% bij 20% belasting en 1,1% bij 110% belasting. Met dit verschijnsel dient rekening gehouden te worden. De HR 107 label alléén is niet voldoende.

7 SYNTHESE

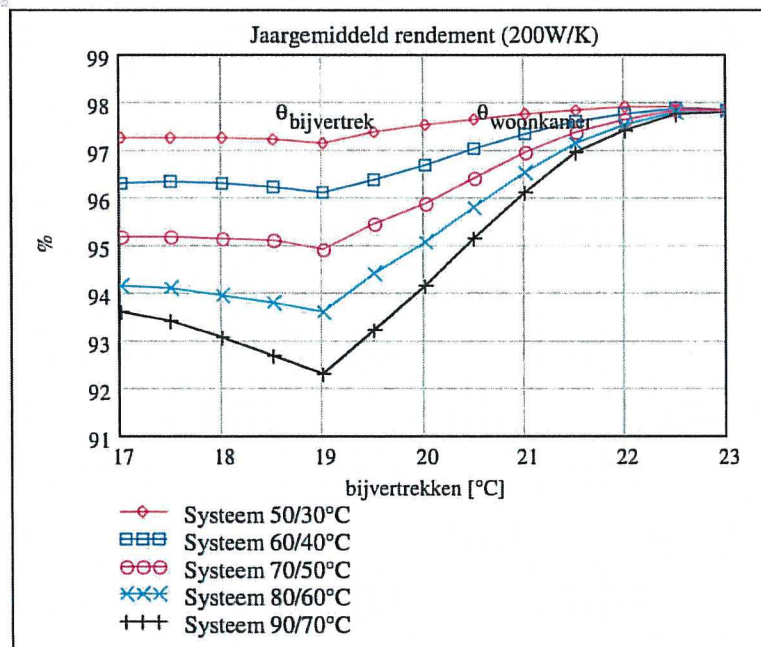
Buitenklimaat, gedrag van de verwarmingsinstallatie, gedrag van bewoners en gedrag van de ketel. Dit komt samen in de synthese. In hoofdstuk 3 werd het ketelrendement waarom het gaat nog als volgt genoteerd:

$$\eta_{\text{ketel}} = \eta_k(WV_{\text{sp}}, Q_{\text{int}}, \theta_{\text{bi}}, \theta_{\text{bu}}, Q, m_w)$$

We projecteren de belasting (hoofdstuk 4) op het gedrag van de radiatoren en van bewoners (hoofdstuk 5) en het resultaat op het gedrag van de condenserende ketel (hoofdstuk 6) om het (jaargemiddelde) rendement te kunnen bepalen. Voor de ketel wordt gerekend met een nominale belasting van 24kW en een modulatiebereik tot 25% (6kW).

7.1 Specifiek warmteverlies 200W/K

Het jaargemiddelde rendement is in de volgende figuur weergegeven als functie van gebruik bijvertrekken en als functie van het temperatuurregime waarop de radiatoren zijn geselecteerd.

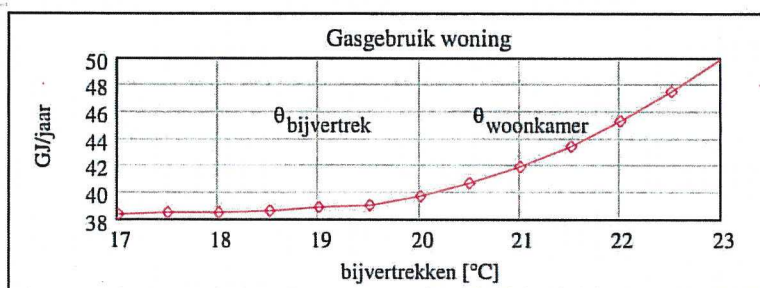


Wordt de woning gebruikt met radiatoren die werken onder ontwerpcondities, dan is het jaargemiddelde rendement het laagst, variërend van 92,5% bij 90/70°C tot 97% bij 50/30°C. De normatieve waarde van 95% volgens [7] wordt bevestigd voor een op 60/40°C geselecteerd systeem. Voor hogere temperaturen is het rendement lager.

Worden radiatoren in de bijvertrekken afgesloten, dan neemt het rendement toe. Dat is te zien voor de temperatuurinstellingen < 19°C. Het effect is bij 90/70°C het grootst en neemt allengs af bij op lagere temperatuur geselecteerde radiatoren. Het verschijnsel

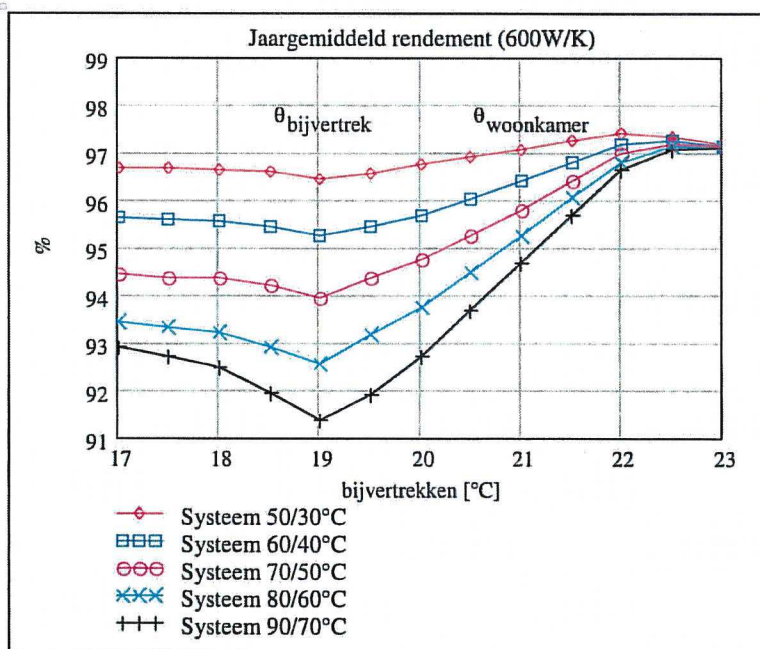
dat dit veroorzaakt is de dalende retourtemperatuur (als gevolg van de toegenomen radiatorbelasting) waarvoor de ketel gevoelig is. De tegelijkertijd toegenomen aanvoertemperatuur speelt voor het ketelrendement (vrijwel) geen rol.

Worden radiatoren in de bijvertrekken nadrukkelijk gebruikt en (zelfs) op een hogere temperatuur ingesteld dan waarvoor ze bedoeld zijn, dan neemt het rendement eveneens toe. Dat is te zien voor de temperatuurinstellingen > 19°C. De betrekkelijkheid van de toename van het rendement blijkt uit het aardgasgebruik.



7.2 Specifiek warmteverlies 600W/K

Bij een woning waarvan de (thermische) grootte getypeerd wordt met 600W/K geldt het volgende.



Deze grafiek heeft dezelfde structuur en betekenis. Alle lijnen liggen ongeveer 1% lager. Het doorslaggevend effect is de toegenomen ketelbelasting waarvoor deze berekening ook was bedoeld als illustratie.

8 CONCLUSIE

Het rendement voor ruimteverwarming van een ketel wordt beïnvloed door het systeem, het gebruik door de bewoner, de buitentemperatuur en de belasting.

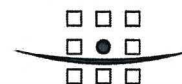
Het in [1] voorgestelde rendement voor ruimteverwarming van 90% blijkt een ondergrens te zijn voor ketels die een HR 107 label hebben verworven.

9 REFERENTIES

- [1] Rekenmodel Warmtewet, de maximumprijs van warmte. Royal Haskoning, referentie 9V3309/R005/EVD/Nijm2 d.d. 21 september 2009.
- [2] GASKEUR-criteria; CV-HR-label; GASTEC
- [3] NEN EN 677:1989
- [4] Eigenschappen van aardgas, GASUNIE, 1980 etc.
- [5] VDI Wärmeatlas
- [6] Thermodynamiek, H.D. Baer, xxx
- [7] NEN 5128

=0=0=0=

A COMPANY OF

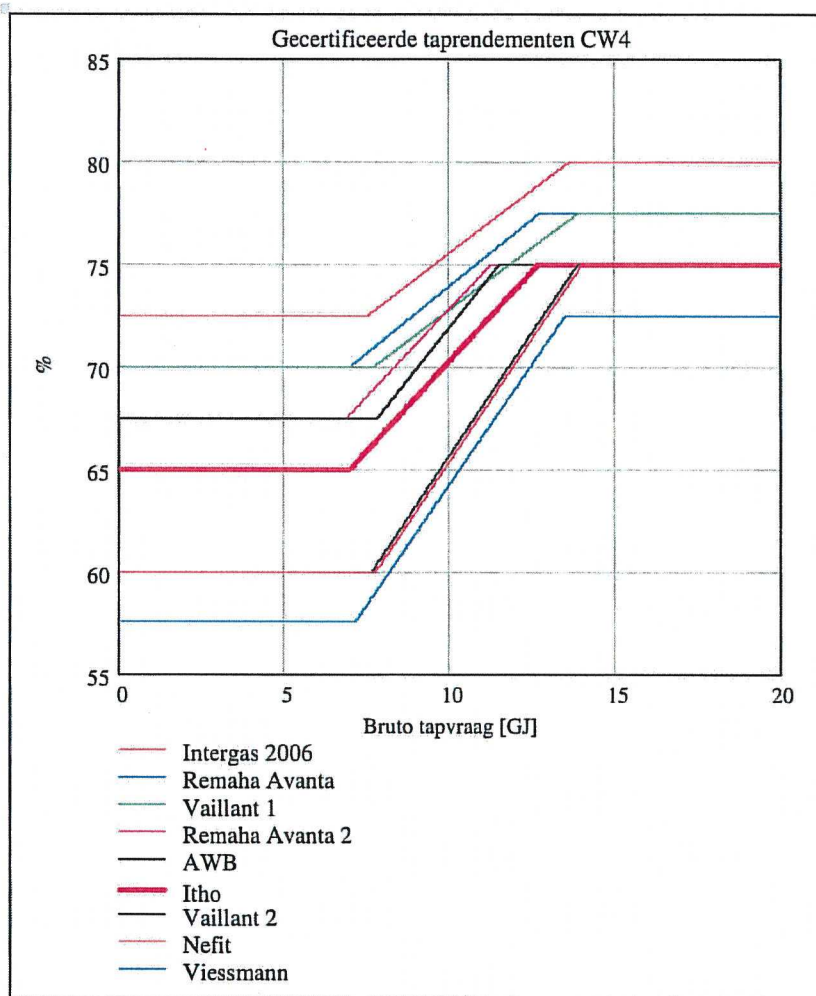


ROYAL HASKONING

Bijlage 1 Gecertificeerde taprendementen

Taprendementen van de combiketel worden in deze aanvullende rapportage niet besproken. Dit is voldoende geïnventariseerd en besproken in [1]. Voor de volledigheid wordt onderstaand nog een keer opgenomen wat eerder werd gerapporteerd.

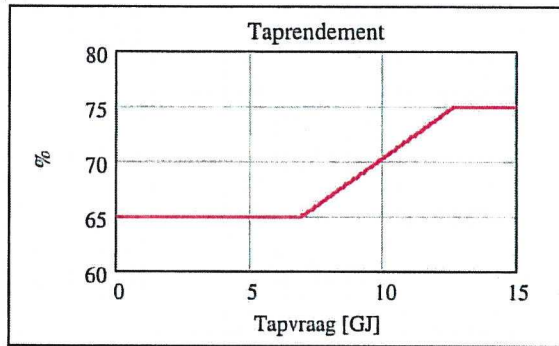
Taprendementen worden tegenwoordig op het Gaskeur certificaat vermeld. Van een aantal ketels is dit rendement in de onderstaande grafiek verwerkt.



Het gemiddelde (de dikke rode lijn) is als volgt te typeren.

$$\eta_{\text{tap}}(\text{BTV}) := \max\left(65\%, \min\left(65\% + 10\% \cdot \frac{\text{BTV} - 6.94 \text{ GJ}}{5.72 \text{ GJ}}, 75\%\right)\right)$$

De grafiek van dit gemiddelde ziet er als volgt uit.



Intergas loopt duidelijk voorop met haar gecertificeerde taprendement. In de volgende grafiek is te zien hoe snel de ontwikkeling is gegaan.

