

Saxion Hogeschool verkent installatieverbetering bestaande bouw

Is verbetering van de energie-efficiency van installaties in de bestaande woningbouw mogelijk? Verkennend onderzoek van de Saxion Hogeschool laat zien dat met de beschikbare technologieën al forse verbeteringen mogelijk zijn. Nieuwe ontwikkelingen, zoals de brandstofcel, maken verdere verbetering in de toekomst mogelijk.

*Door Joop Ouwehand**

Veel onderzoek en ontwikkeling in de woningbouw richt zich op het verbeteren van de energie-efficiency van nieuw te bouwen woningen. Bestaande woningbouw kreeg en krijgt wel aandacht, onder andere in het kader van EPA-W-onderzoek en bouwkundige renovatie, maar er is minder belangstelling voor.

De Saxion Hogeschool Enschede kent sinds april 2003 een lector met als onderzoeks- en onderwijsgebied "Duurzame Energievoorziening", met de gebouwde omgeving als speerpunt. Uitgangspunt daarbij is de Trias Energetica: besparen door verbetering van de gebouwschil, gebruik van duurzame energiebronnen en efficiënte opwekking van nog benodigde energie. De aandacht richt zich op de nieuwbouw van woningen en utiliteitsgebouwen, maar ook op de verbetering van de energie-efficiency van bestaande gebouwen. De Hogeschool voerde een verkennend onderzoek uit naar de energie-efficiency in de bestaande woningbouw, voor een vervolgonderzoek, gericht op mogelijkheden voor verbetering van de energie-efficiency. Dit artikel behandelt de mogelijkheden voor verbetering van warmteopwekking door toepassing van warmtepompen respectievelijk warmtekracht.

Effectief en inpasbaar

De nieuwbouw is gebonden aan normen voor de energieprestatie

(de EPC-eis binnen het Bouwbesluit); de bestaande bouw vooralsnog niet. Wel geldt voor nieuwbouw én bestaande bouw straks een systeem van energielabels; dat bij verkoop of verhuur medebepalend zal zijn voor de prijs van het pand. De energieprestatie van een woning is te verbeteren door (meer) schilisolatie en/of verbetering van de efficiency van de verwarmingsinstallatie die zowel ruimteverwarming als tapwaterverwarming betreft.

De energetische prestatie staat bij de beoordeling van mogelijkheden voor installatieverbetering uiteraard voorop. Daarnaast is, juist in de bestaande bouw, de inpasbaarheid in het huis en in de installatie van belang. Deze twee aspecten stonden dan ook centraal in de verkennende analyse. Hierbij is gekeken naar mogelijke toepassing van warmtepompen en micro- en miniwarmtekrachtsystemen in een bestaand woonhuis. De daarvoor noodzakelijke systeemtechnische aanpassingen (of het aangeven van oplossingsrichtingen) zijn ook bekeken.

De cijfermatige onderbouwing van het verkennend onderzoek berust op handmatig berekeningen. Belangrijk hulpmiddel daarbij was de belastingduurkromme voor de jaarlijkse warmtevraag, gebaseerd op gemiddelde temperatuurgegevens, alsmede informatie van leveranciers en fabrikanten van de apparaten. Betrouwbare gegevens over de prestaties van de te onderzoeken systemen, gebaseerd op uitgebreid praktijkonderzoek, ontbreken. De onnauwkeurigheid in de uitkomsten is het gevolg van de afleeson nauwkeurigheid in de gebruikte grafieken. Deze ligt binnen een marge van enkele procenten. Voor de warmtepompen was het nodig om de waarden van de warmtefactor te herberekenen voor afwijkende situaties van het afgiftesysteem.

De uitgangspunten bij de berekeningen waren (verkort):

- Een bestaand woonhuis in de koopsector; rijtjeshuis, tussenwoning, bouwjaar 1969 met een gebruiksoppervlak van 154 m².
- CV-systeem 90/70° C met standaardradiatoren en een HR-ketel op aardgas met weersafhankelijke regeling. Het ketelrendement tijdens het stookseizoen: 95% van de onderwaarde [2].
- De installatie is waterzijdig ingeregeld. Deze waarden zijn tevens referentiewaarden voor de vergelijkende berekeningen.
- Twee verschillende aardgasverbruiken: 2000 en 3000 m³/jr (exclusief het verbruik voor tapwaterverwarming en koken), daar bewonersgedrag en energetische kwaliteit van de gebouwschil voor woningen van hetzelfde type en grootte verschillen.
- Elektriciteitsverbruik niet relevant. Bij WKK wordt uiteraard elektriciteit opgewekt. De op enig moment teveel opgewekte elektriciteit wordt geleverd aan het E-net en op enig ander moment weer afgenomen.
- Bedrijfstijd van de verwarmingsinstallatie: 1300 vollasturen/jr [3]. Bij de gehanteerde verbruiken leidt dit tot twee verschillende benodigde installatievermogens (immers, jaarverbruik = tijd x vermogen/ketelrendement)
- Opwekkingsrendement van elektriciteit (vanaf productie tot stopcontact): 46% [2].
- De geselecteerde systemen kunnen beide omstreeks 50% van het maximale thermische schilvermogen leveren. De warmtevraag is sturend bij de bedrijfsvoering.
- De kostprijs van de systemen blijft buiten beschouwing.

Om de resultaten vergelijkbaar te maken, worden de besparingen

uitgedrukt in de landelijke besparing op de primaire energiedrager aardgas, dus indirect in vermeden CO₂-emissie. De haalbare dekkingsgraad in de warmtelevering wordt daarnaast per systeem aangegeven, evenals de benodigde extra warmteproductie door een in serie of parallel geschakelde ketel.

Beoordeelde systemen

De beoordeelde systemen zijn in vier groepen ingedeeld en genummerd.

Groep 1: Elektrisch aangedreven warmtepompen

1. W10/W55; Bronwater 10 °C en afgiftesysteem aanvoertemperatuur 55 °C
2. B0/W55; Brine 0 °C en afgiftesysteem aanvoertemperatuur 55 °C
3. L-10/W55; Lucht -10 °C en afgiftesysteem aanvoertemperatuur 55 °C

Vanaf een aanvoertemperatuur van 55 °C wordt de warmtepomp hydraulisch in serie geschakeld met een HR-verwarmingsketel en hij blijft zolang mogelijk in bedrijf, waarbij de warmtepomp water van 55 °C aan de ketel levert. Het door de warmtepomp geleverde vermogen wordt verondersteld constant te zijn. Dit lukt alleen als het verschil tussen de aanvoer- en retourtemperaturen in de installatie wordt vergroot. De thermohydraulische inpassing van de warmtepomp en de waterzijdige inregeling zijn hierbij van groot belang. Warmtepompen met de hier benodigde vermogens zijn al geruime tijd verkrijgbaar.

Groep 2: Gasgestookte warmtepompen

4. W10/W55; Gasgestookte diffusie-absorptie warmtepomp (GDAWP)
5. W10/W75; Gasgestookte zeolith-absorptie warmtepomp (GZAP)

De gastgestookte absorptie-warmtepomp heeft een maximale bedrijfstemperatuur van 55 °C. Functioneren bij hogere aanvoertemperaturen vergt ook hier serie-schakeling met een ketel, zoals

beschreven onder groep 1. De zeolith-warmtepomp kan hogere bedrijfstemperaturen leveren en heeft een groter thermisch vermogen dan de gasgestookte diffusie-absorptie-warmtepomp. Beide apparaten komen naar verwachting in 2005 op de markt.

Groep 3: micro-WKK

6. De micro-WKK gebaseerd op de Stirlingmotor is in zowel vloerverwarmingssystemen als conventionele 90/70-systemen toepasbaar. De beperking ligt derhalve in de thermische capaciteit en niet in de begrenzing door de maximale toepassingstemperatuur. Daar het thermische vermogen niet voldoende is (8 kW) komt automatisch een serie-geschakelde ketel in bedrijf om het vermogen naar behoefte aan te vullen. Het apparaat komt waarschijnlijk in 2005 op de markt. In Groot Brittannië zijn na afsluiting van een groot-scheepse veldtest inmiddels 80.000 apparaten bij de leverancier in bestelling [4].

Naar verwachting zal een Japanse motorenleverancier in 2005 met een micro-WKK op de markt komen. Het thermische vermogen (3 kW) van dit apparaat is te klein om in aanmerking te komen als warmtebron voor de bestaande woningbouw. Andere op de Stirlingtechniek gebaseerde micro-WKK-ketels zijn in ontwikkeling. Over de prestaties en de termijn van marktintroductie is weinig bekend.

Groep 4: mini-WKK

7. 1-Zuiger gasmotor. Deze mini-WKK is al circa 7 jaar op de Nederlandse markt beschikbaar. De installatietemperatuur vormt ook hier geen belemmering voor de inzet. Verder is het thermische vermogen groot genoeg om gedurende een lange tijd warmte te leveren. De bijstook met een ketel is van korte duur.
8. Gasgevoede PEM-brandstofcel. Deze kan volgens de opgave van de fabrikant tot een aanvoertemperatuur van 700 °C worden bedreven. Het thermische

vermogen is echter onvoldoende en ook hierbij is ondersteuning van een bijstookketel nodig. Naar verwachting zal de brandstofcelketel pas in 2010 op de markt komen.

De tabel op pagina 12 geeft het overzicht van de berekende uitkomsten van het vooronderzoek. De kolommen *gasinkoop* en *gas-inkoopbesparing* hebben betrekking op de huisbezitter. *Gasbesparing landelijk* is het verschil tussen de inkoopvermindering voor de huisbezitter en het meerverbruik voor de elektriciteitsproductie, indien deze volledig met aardgas zou worden opgewekt. Bij toepassing van WKK zal de huiseigenaar meer gas moeten inkopen dan voor de warmteproductie nodig is.

Resultaten en conclusies

Algemeen

- Door betere schilisolatie kan worden volstaan met een lagere installatietemperatuur en een kleiner thermisch vermogen. In alle gevallen zal de installatie weersafhankelijk geregeld moeten worden, om de eigenschappen van de energieopwekkers maximaal te kunnen benutten.
- Door nieuwe technologieën voor de opwekking van warmte, respectievelijk warmte en kracht, toe te passen in de bestaande woningbouw is een significante besparing mogelijk op het huidige verbruik van primaire energiedragers. De besparing is technologie- en installatieafhankelijk.
- Verbetering van de gebouwschil op zich levert ook een grote besparing op. Een combinatie van deze maatregel met een efficiënte installatietechniek maakt besparingen van 50% en meer mogelijk. Toepassing van een weersafhankelijke temperatuurregeling moet zorgen voor een optimale benutting van de thermische rendementen van de onderzochte apparaten.

Warmtepompen

- Elektrisch aangedreven warmtepompen presteren onder de aangenomen bedrijfscondities beter dan de thermisch aangedreven, aardgasgestookte warmtepompen



en verbruiken op landelijk niveau duidelijk minder aardgas. Echter, aardgasgestookte warmtepompen hebben een minder grote warmtebron nodig en werken stil.

● Elektrisch aangedreven compressiewarmtepompen zijn in diverse vermogens te verkrijgen.

Een nadeel van dit type warmtepomp is dat het geleverde vermogen niet regelbaar is.

● Warmtepompen zijn alleen inzetbaar bij een CV-aanvoertemperatuur van maximaal 55 °C; bij hogere temperaturen loopt de prestatie terug. Is toch een hogere

temperatuur nodig, dan kan de aanvoerleiding van de warmtepomp direct worden aangesloten op de retourleiding van de CV-ketel. De ketel zorgt dan voor de gewenste temperatuurlift. Het verschil tussen de aanvoer- en retourtemperatuur van de installatie moet dan wel aanzienlijk worden vergroot. Dat vergt een zeer zorgvuldige thermohydraulische inpassing. Het genoemde grotere temperatuurverschil leidt wel tot capaciteitsverlaging van de radiatoren.

● Warmtepompen hebben een "warmtebron" nodig om de warmte aan te onttrekken. Dit betekent dat de keuze daarvan, en de daarbij behorende investering, bepalend zijn voor de prestaties van het apparaat. Zie hiertoe de kolom van de Seasonal Performance Factor (SPF).

WKK

● De onderzochte Stirling micro-WKK geeft een geringe besparing op aardgas. De motor die het volgende jaar op de markt komt, heeft een laag elektrisch rendement en levert voor een bestaande woning derhalve in thermodynamisch opzicht slechts een marginale verbetering op in vergelijking met de gescheiden opwekking van warmte en kracht. Een aanzienlijke verhoging van het elektrische rendement van een Stirling-eenheid is beslist noodzakelijk om tot een significante besparing te komen, die kan concurreren met een elektrisch aangedreven compressiewarmtepomp. Een voordeel van deze motor is, dat hij wat betreft vermogenslevering regelbaar is. De warmtevraag kan modulerend worden gevolgd.

● De mini-WKK, gebaseerd op een ééncilinder verbrandingsmotor, levert weliswaar een hoge dekking in de warmtevraag, maar ook een grote productie van elektriciteit. Bij een huishouden met een normaal elektriciteitsverbruik levert de installatie netto elektriciteit aan het net. Het vermogen van deze motor is niet regelbaar.

● De mini-WKK gebaseerd op de brandstofcel levert een met de warmtepompen vergelijkbare dekking en een overproductie aan ►

Nr. beoordeeld systeem	apparaat	Qth kWh Pel KWel	SPF resp. PER	Dekking warmte-productie kWhth	Dekking %	Totale warmte- vraag kWhth	Extra E-inkoop kWh	E-productie kWh	Gasinkoop m ³	Gasinkoopbesparing m ³	Gasbesparing landelijk m ³
1a	WP (W/W)	8	4	12360	74%	16700	3090	n.v.t.	520	1480	720
1b	WP (W/W)	11,5	4	18570	74%	25100	4640	n.v.t.	780	2220	1070
2a	WP (B/W)	8	3,4	12360	74%	16700	3640	n.v.t.	520	1480	580
2b	WP (B/W)	11,5	3,4	18570	74%	25100	5460	n.v.t.	780	2220	870
3a	WP (L/W)	8	2,8	12360	74%	16700	4410	n.v.t.	520	1480	390
3b	WP (L/W)	11,5	2,8	18570	74%	25100	6630	n.v.t.	780	2220	585
4a	GDAWP (W/W)	4	1,2	7348	44%	16700	n.v.t.	n.v.t.	1690	269	296
4b				7680	31%	25100			2690	310	310
5a	GZWP (W/W)	10	1,35	15870	95%	16700	n.v.t.	n.v.t.	1435	565	565
5b				16570	63%	25100			2410	590	590
6a	Micro-WKK	8 (th)	n.v.t.	14960	89%	16700	n.v.t.	1870	2200	-200	255
6b		1 (el)		17520	70%	25100		2190	3240	-240	293
7a	Mini-WKK	12,5 (th)	n.v.t.	16630	97%	16700	n.v.t.	7330	3035	-1035	756
7b		5,5 (el)		22490	90%	25100		9910	4410	-1410	1017
8a	Mini-WKK	7 (th)	n.v.t.	12860	77%	16700	n.v.t.	8570	3300	-1330	769
8b		4,6 (el)		17370	69%	25100		11580	4800	-1800	1032

Duurzaam, fossiel of uranium?

Jarenlange besparingsprogramma's hebben niet kunnen verhinderen dat onze stroomhonger gestaag blijft toenemen. Elk jaar verbruiken we in Nederland gemiddeld zo'n 2,3 procent meer elektriciteit dan het jaar ervoor. De groei van de economie, de toename van het aantal apparaten in huis en op kantoor, de enorme groei van internet en telecom met de bijbehorende stroomverslindende server- en switchboerderijen – het zijn nog slechts enkele factoren welke aan die blijkbaar onvermijdelijke, structurele groei bijdragen.

Een gelijkblijvende brandstofmix van het elektriciteitsproductiepark zorgt voor een CO₂-uitstoot die net zo snel groeit als het elektriciteitsverbruik. De elektriciteitsproductie zorgt voor bijna de helft van de totale CO₂-uitstoot. Omdat Nederland en de rest van de EU zich aan 'Kyoto' verbonden hebben, moet de CO₂-uitstoot van de elektriciteitsproductie wel omlaag. En trouwens, 'Kyoto' is nog maar het begin. Laten we een sprongetje maken naar 2030 en stellen dat er dan in Nederland 70% meer elektriciteit wordt gevraagd, terwijl dan de CO₂-uitstoot uit de elektriciteitsproductie met 35% moet zijn gedaald (let wel, in absolute zin!). De CO₂-uitstoot per kWh moet dan ruimschoots zijn gehalveerd ten opzichte van 2004.

Hoe hebben we dan ons elektriciteitsproductiepark aangepast? Verdere rendementsverbetering van bestaande technologieën alléén levert in ieder geval onvoldoende op. Ook ruimere toepassing van WKK schiet tekort. Zelfs met het vervangen van alle kolencentrales door gascentrales komen we er nog lang niet. *Business as usual* is dus onvoldoende: er moet echt andere technologie komen. Duurzame energie? Misschien, maar niet zoals het nu gaat. In 2002 werd 3,6 TWh elektriciteit uit duurzame bronnen gewonnen. Dat was ongeveer 3,5 procent van de totale elektriciteitsproductie. Het leeuwendeel daarvan kwam uit afval en biomassa. Probleem is dat er fysieke grenzen zitten aan de beschikbaarheid ervan. Ongeveer 0,9 TWh kwam uit windkracht. Dat is weliswaar dubbel zo veel als in 1996, maar ook het tienvoudige zou nog nauwelijks zoden aan de dijk zetten. Zonne-energie is in de grafiekjes nog niet zichtbaar; misschien in die van het jaar 2102. Kernsplijting dan maar? Daarvoor bestaat geen draagvlak. Kernfusie? Het duurt nog zeker 40 jaar voordat we daar echt iets aan hebben, maar het kan ook 80 worden.

Een complete hernieuwing van het elektriciteitsproductiepark vergt zeker twee tot drie decennia. Toch is er geen brede consensus welke richting we op moeten gaan. Sterker nog, het debat is te sterk gepolariseerd en te weinig inhoudelijk om vruchtbaar te kunnen zijn. Zonder duidelijke en breed gedragen keuzes volgt echter geen trendbreuk. Misschien weet Energieraad-voorzitter Peter Vogtlander hoe het verder moet. Samen met twee andere prominente sprekers gaat hij op het thema in tijdens de gezamenlijke Nieuwjaarsborrel van AEC, F&B, VNE en AvePA op 14 januari in Putten-Nulde.

elektriciteit. De brandstofcel heeft naar verhouding een hoog elektrisch rendement, waardoor de benutting van brandstofexergie beter is dan in voorgaande WKK-installaties. Ook is het vermogen goed regelbaar en blijven het elektrische rendement en het totale rendement bij de verschillende belastingssituaties vrijwel constant. Experts verwachten dat de brandstofcelketel tegen het jaar 2010 leverbaar zal zijn.

- De brandstofcel is eveneens een interessant alternatief ter vervanging van de huidige HR-ketel. De ontwikkeling naar compactere apparaten en geringere massa is in dat geval noodzakelijk.

- De voorwaarden voor teruglevering van elektriciteit aan het net voor kleinverbruikers zijn per elektriciteitsbedrijf verschillend. Dat geldt ook voor teruglevering van elektriciteit uit zonnepanelen

op de daken van particulieren. De voorwaarden voor teruglevering van elektriciteit aan het net voor kleinverbruikers dient landelijk eenduidig, wettelijk te worden geregeld. Deze regeling zou de toepassing van micro- en mini-WKK moeten bevorderen.

- Toepassing van de micro-WKK levert, in deze analyse, een besparing op tussen 10 en 13% ten opzichte van gescheiden opwekking. De hoogste besparing levert wellicht in de toekomst de brandstofcelketel, namelijk tussen de 34 en 38%. Een goede concurrent is de compressiewarmtepomp die, onder de voorwaarden van deze analyse, onder optimale bedrijfscondities een besparing kan opleveren van 36%. Een verbetering van de warmtepomptechnologie en een nog verdere verhoging van het elektrische rendement van de centrale opwekking levert een

interessant energetisch perspectief voor de toekomst.

Referenties

- [1] MONITweb: energie in cijfers
- [2] Novem: Protocol monitoring duurzame energie
- [3] Isso: Zakboekje installatietechniek
- [4] Website: Bund der deutschen Energieverbraucher
- [5] Leveranciersinformatie

* ir. Joop Ouwehand reë is werkzaam als docent en onderzoeker bij de Academie Life-science Engineering & Design van de Saxion Hogeschool Enschede. Hij leidt het onderzoek naar de prestatieverbetering en verduurzaming van de energievoorziening en installatietechniek in gebouwen.