

Piekvermogens voor verwarming met betonkernactivering

Betonkernactivering kan leiden tot een lager opgesteld vermogen voor verwarming dan volgt uit de gangbare ontwerpmethodieken. Dit artikel geeft een eerste vergelijking uit onderzoek van DWA tussen de standaard warmteverliesberekening volgens ISSO 53 en dynamische Trnsys-simulaties voor betonkernactivering. Verder worden praktijkmetingen gepresenteerd. Ten opzichte van de standaardwarmteverliesberekening kan 29% minder verwarmingsvermogen worden opgesteld voor het gedefinieerde referentiekantoor. Een specifieke en meer generieke uitwerking van de standaard warmteverliesberekening voor betonkernactivering is aan te bevelen.

Dr.ir. C.J. (Kees) Wisse, ir. D.O. (Rick) Rijkse, drs. H. (Henk) Stijnen, dr.ir. T. (Teunis) van Woudenberg en ing. P. (Peter) Pieper, DWA installatie- en energieadvies

■ OVERDIMENSIONERING

Betonkernactivering (BKA) speelt een belangrijke rol in de huidige generatie van gebouwen. Diverse (simulatie)studies besteden aandacht aan de regelstrategieën, de beschikbare afgiftevermogens, het thermisch comfort en het energiegebruik. Vanuit het oogpunt van het installatieontwerp is het op te stellen vermogen op gebouwniveau minstens net zo interessant. Enerzijds bepaalt dit de investeringskosten. Anderzijds is het deellastbedrijf van een installatie sterk bepalend voor het functioneren. In geval van overdimensionering zal veel vaker ongewenst deellastbedrijf optreden. Een voorbeeld hiervan is het veelvuldig aan-/uitschakelen van componenten. Voor koeling is aangetoond dat reducties tot 50% kunnen optreden wanneer gebruik wordt gemaakt van de thermische massa ('s nachts koelen van betonkernactivering) [1]. Voor verwarmingsvermogens zijn tot nu toe geen data beschikbaar van de Nederlandse situatie. Dit artikel geeft de eerste resultaten voor

kantoorgebouwen op basis van metingen en simulaties.

Piekvermogens voor verwarming worden in Nederland bepaald volgens de zogenoemde standaard warmteverliesberekening. Voor kantoorgebouwen is dan ISSO 53 van toepassing. Hierin wordt geen rekening gehouden met de interne warmtelast en zonnewarmte. Verder wordt gebruikgemaakt van een standaardberekening voor de opwarmtoeslag. Voor gebouwen met betonkernactivering leidt dit tot hogere vermogens voor verwarming dan nodig is. Sommige ontwerpde uitvoerende partijen vragen zonder verdere onderbouwing om 50 W/m², terwijl dit leidt tot overdimensionering.

Tot nu toe was onduidelijk hoe groot het kwantitatieve effect van de reductie van het piekvermogen voor verwarming bij betonkernactivering is, afgezien van ervaringscijfers over specifieke gevallen. DWA heeft daarom een onderzoek geïnitieerd en uitgevoerd om ontwerpcriteria te kunnen afleiden.

Dit artikel presenteert een eerste vergelijking tussen de standaard warmteverliesberekeningen volgens ISSO 53 en dynamische simulaties met Trnsys. Als vorm van validatie van de Trnsys-simulaties wordt eerst het vermogen uit praktijkmetingen vergeleken met de resultaten van de Trnsys-simulaties. Vervolgens wordt voor een referentiekantoor met NEN 5060-klimaatcondities het benodigde piekvermogen bepaald. Normen voor het binnencomfort zijn hierbij een randvoorwaarde. Er zijn berekeningen uitgevoerd met het 1%-jaar en het 5%-jaar [3]. Voor de comfortnormen is gebruikgemaakt van de ATG-methode en de GTO-methode (onderschrijdingsuren) [4]. De resultaten van de dynamische Trnsys-simulaties worden vergeleken met de resultaten van een (statische) standaard warmteverliesberekening volgens ISSO 53. Tevens wordt aandacht besteed aan het gebruik van de ATG-methode [4], in combinatie met de NEN 5060-klimaatcondities.

	<p>317 (kantoor 50%, vergaderruimte 15%, verkeerszone 20%, constructie 12%, technische ruimte 3%)</p>
Aandeel glas in de gevel (%)	50%
U-waarde dichte gevel (W/m ² K)	0.333
U-waarde raam (W/m ² K)/ZTA-waarde (glas)	1.3/0.33
Zonwering	Binnenzonwering
Infiltratiedebiet (m ² /h/s.m ² façade)	0.00034*0.5 (overgenomen uit [5])
Maximum luchtdebiet mechanische ventilatie (m ³ /h)	1.390
Ventilatievoud (1/h)	2
Inblaasttemperatuur ventilatie (°C)	20 voor buitentemperaturen ≤ -7 °C 17.5 voor buitentemperaturen ≥ 20 °C In het tussengebied: lineaire interpolatie
Rendement warmteterugwinning (%)	70
Interne warmtelast (W/m ² netto vloeroppervlak)	20 (kantoor) 30 (vergaderruimte)

-Tabel 1-
Gebouweigenschappen en
de belangrijkste installatie-
eigenschappen

AANPAK ONDERZOEK

Casestudy met metingen

Metingen van het verwarmingsvermogen zijn uitgevoerd in kantoorgebouw 'De Thermo-Staete' in Bodegraven. In dit gebouw wordt gebruikgemaakt van betonkernactivering. Verwarming en koeling worden geleverd door warmtepompen in combinatie met een aquifer. Voor verdere details van de metingen wordt verwezen naar [1 en 2]. De installatie is verdeeld in meerdere zones, die onafhankelijk van elkaar warmte of koude kunnen leveren. De metingen zijn uitgevoerd op zoneniveau.

Simulaties en vergelijking

De simulaties voor deze casestudy zijn eveneens op zoneniveau uitgevoerd. Hiervoor is gebruikgemaakt van het simulatiepakket Trnsys. Verdere details van de aanpak zijn beschreven in [1 en 2]. De volgende parameters

zijn gebruikt als input voor het model:

- de gemeten aanvoertemperatuur en het debiet van het water dat door de BKA-platen stroomt;
- buitenklimaatcondities;
- interne warmtelast (afgeleid uit het gemeten elektriciteitsverbruik).

De output van de simulaties betreft (onder andere):

- uittredetemperatuur van het water;
- verwarmingsvermogen;
- luchttemperatuur en stralingstemperatuur in de vertrekken.

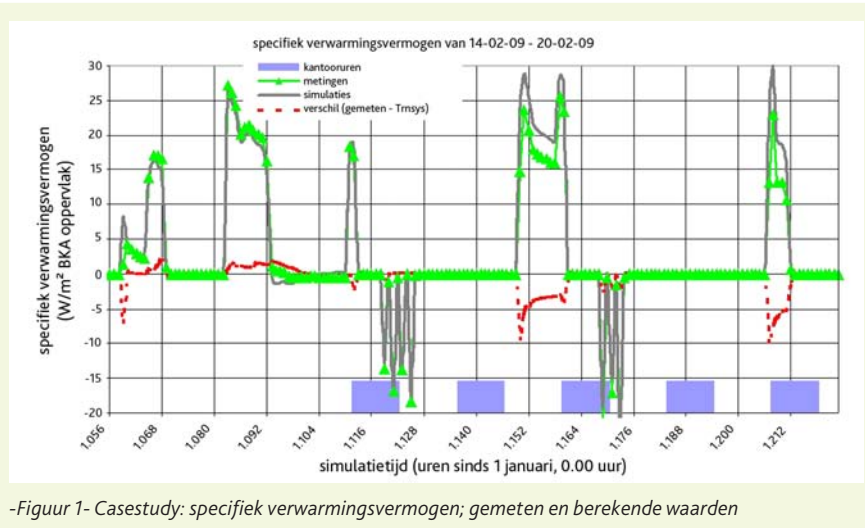
De berekende verwarmingsvermogens en de binnentemperaturen worden vergeleken met de gemeten waarden.

Thermische massa en interne warmtelast

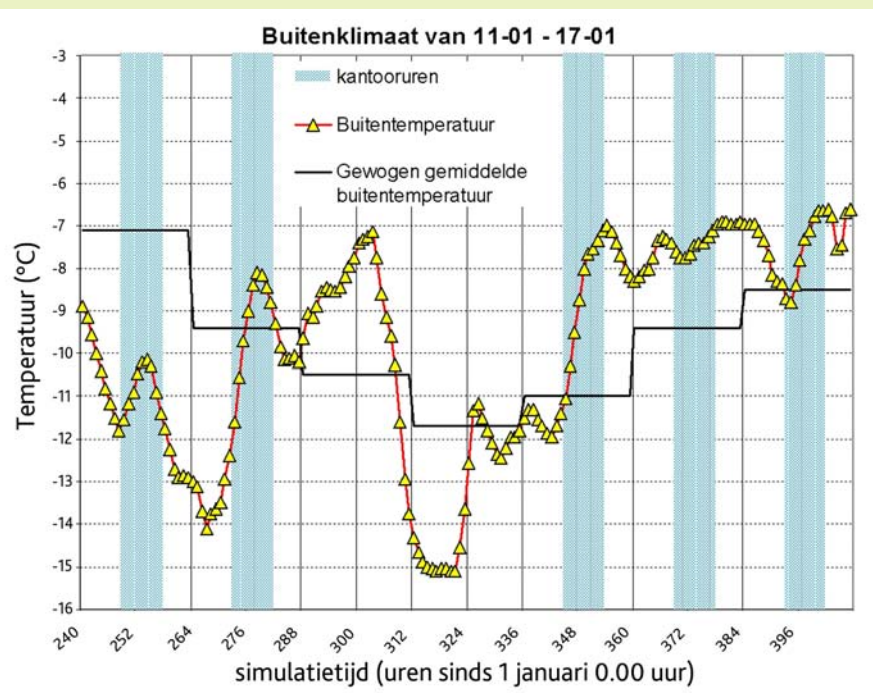
Om meer generieke resultaten te krijgen voor

de impact van de thermische massa en de interne warmtelast is gebruikgemaakt van een referentiekantoor. Tabel 1 geeft meer informatie over de gebouw- en installatie-eigenschappen. De Trnsys-simulaties zijn uitgevoerd voor een heel jaar. Voor de buitenklimaatgegevens is gebruikgemaakt van de NEN 5060 klimaatjaren voor het bepalen van de capaciteit van installaties. Er is gebruikgemaakt van de zogenoemde 1%-dataset en de 5%-dataset [3]. De 1%-dataset geeft de kleinste kans dat er meer extreme buitentemperaturen voorkomen dan die zijn opgenomen in het betreffende referentiejaar. Dat leidt overigens niet automatisch tot de hoogste capaciteit van de installatie. Dit komt onder andere doordat de waarschijnlijkheid enkel betrekking heeft op de buitentemperatuur en niet op de zonnestraling. Voor elk dataset van het buitenklimaat is in de Trnsys-simulaties de benodigde verwarmingscapaciteit berekend. Vervolgens is deze zodanig gelimiteerd dat de grens van het binnencomfort bereikt werd.

Voor de comfortcriteria is gebruikgemaakt van zowel de ATG-methode uit ISSO 74 [4] als de zogenoemde GTO-uren. In het laatste geval betreft het de onderschrijdingsuren. De reden hiervoor is dat de ATG-methode enkel data presenteert tot de zogenoemde referentiebuitentemperatuur van -5 °C. Beneden deze referentietemperatuur worden geen data gegeven in ISSO 74. Dit komt omdat de methode primair gericht is op koelsituaties. De GTO-methode hanteert een gewogen aantal uur dat de PMV-waarde van -0,5 onderschreden wordt. Dit is verder niet afhankelijk van de buitentemperatuur. Bij toepassing van de



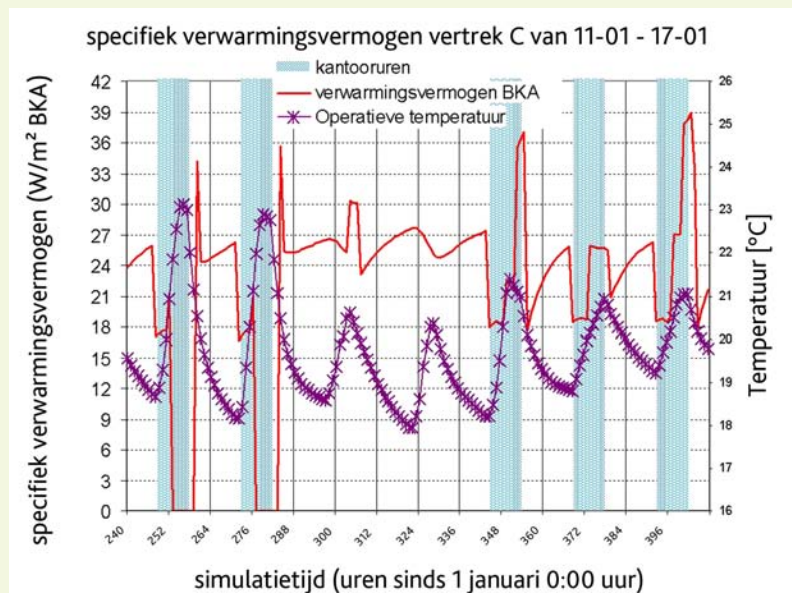
-Figuur 1- Casestudy: specifiek verwarmingsvermogen; gemeten en berekende waarden



-Figuur 2- Waarden voor de gewogen gemiddelde buitentemperatuur tijdens het weekend met koudegolf (1%-dataset NEN 5060)

1%-dataset treden in de ATG-methode referentie-buitentemperaturen beneden de $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ op. Er is dan sprake van extrapolatie. Voor de eindconclusies wordt in dit artikel gebruikgemaakt van de GTO-methode (maximaal 150 onderschrijdingsuren). Voor de GTO-methode wordt voor de wintersituatie gerekend met

de volgende kledingwaarden en activiteiten-niveaus: 0,9 clo en 1.2 Met. Naast de Trnsys-berekeningen is een berekening gemaakt volgens de standaard warmte-verliesberekening conform ISSO 53 [5]. Deze is weer gebaseerd op de Europese Standaard EN 12831. Hierin worden voor het piekver-



-Figuur 3- Specifiek verwarmingsvermogen van vertrek C, samen met de operatieve ruimtetemperatuur, casus 4 uit tabel 2

mogen voor verwarming de volgende posten meegenomen:

- transmissieverliezen;
- ventilatieverliezen (inclusief het effect van mechanische ventilatie, warmterugwinning en infiltratie);
- opwarmtoeslag.

Er is gebruikgemaakt van VA 101 (versie 6.70). De interne warmteproductie en de zonbelasting worden dus niet meegenomen. De dynamiek van de thermische massa wordt ook niet meegenomen (afgezien van de opwarmtoeslag). In de Trnsys-simulaties worden deze effecten wel meegenomen. Een interessante vraag is dan ook of dit veel gaat uitmaken voor het op te stellen verwarmingsvermogen.

RESULTATEN

Praktijkmetingen

In het geval van de casestudy produceren drie warmtepompen de warmte. Gebleken is dat twee warmtepompen nagenoeg voldoende zijn om het gebouw op temperatuur te houden. In dit artikel laten we de gemeten vermogens zien van één BKA-zone. De resultaten zijn weergegeven in figuur 1. De getoonde data betreffen een week met buitentemperaturen tussen de -2 en $+8\text{ }^{\circ}\text{C}$. Het verschil tussen de gemeten en berekende piekwaarden is 7 W/m^2 . De actuele afwijking op een specifiek moment is maximaal 9 W/m^2 als gevolg van de afwijking op het tijdstip dat het maximum optreedt. Het maximum verwarmingsvermogen op zoneniveau bedraagt in dit geval 28 W/m^2 .

Thermische massa en interne warmtelast

In de paragraaf 'Methode' is al aangegeven dat er meer algemene resultaten worden afgeleid voor het standaard referentiekantoor, zoals gedefinieerd in tabel 1. Tabel 2 geeft de resultaten van de standaard warmte-verliesberekeningen volgens ISSO 53 en de Trnsys-berekeningen. Voor de standaard warmteverliesberekening zijn twee opties doorgerekend. Eén optie met hoge temperatuurverwarming (radiatoren) en één met vloerverwarming. Voor de optie met vloerverwarming wordt voor ventilatieverliezen gerekend met een luchttemperatuur die $1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ lager is dan de operatieve temperatuur die toegepast wordt voor transmissieverliezen [5]. Voor beide opties wordt gerekend met een ontwerp-buitentemperatuur die gelijk is aan $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ (casus 1 en 2 in tabel 2). Verlaging van de luchttemperatuur geeft een lager vermogen voor verwarming, maar dit is uiteraard geen gevolg van de interne warmtelast of de zonbelasting. Vanwege de lage watertemperatuur bij betonkernactivering is de stralingstemperatuur niet zodanig hoog dat

een luchttemperatuur van 18,5 °C voldoet aan de comfortnormen. Voor de vergelijking met de Trnsys-berekeningen wordt uitgegaan van een luchttemperatuur van 20 °C (casus 1 in tabel 2). Bij het minst robuuste ontwerp op basis van de 5%-klimaatdataset is een reductie van het piekvermogen voor verwarming van 47% mogelijk (casus 6 ten opzichte van casus 1). Bij het meest robuuste ontwerp is een reductie mogelijk van 29% (casus 4 ten opzichte van casus 1). Dit is de reductie als gevolg van de interne warmtelast, zonbelasting en de buffering in de thermische massa. Het toepassen van de optie voor vloerverwarming in de warmteverliesberekening geeft een 'quick-and-dirty' aanpak om voor betonkernactivering het vermogen te bepalen (casus 2). De luchttemperatuur fungeert dan als het ware als fitfactor om de effecten van de interne warmtelast, de zonbelasting en de buffering hiervan mee te nemen. Het onderliggende fysische mechanisme is echter verschillend en het resultaat kan dus in andere configuraties dan het standaardkantoor (sterk) afwijken.

■ DISCUSSIE

De resultaten die uit de Trnsys-berekeningen komen, hangen af van de klimaatdata, de comfortcriteria en de regelstrategie. De thema's klimaatdata en comfortcriteria worden hier verder toegelicht en aan een nadere analyse onderworpen.

Klimaatdata

De 1%-dataset geeft bij een gelijk comfortcriterium volgens de ATG-methode het grootste benodigde piekvermogen. Dat is te verklaren vanuit de koudegolf die opgenomen is in de 1%-dataset. Figuur 2 geeft een typerend voorbeeld hiervan, dat tevens heel interessant is voor de hier geschetste problematiek. Tijdens de getoonde periode in figuur 2 treden er buitentemperaturen van -14 °C op gedurende het weekend. Tijdens dit weekend is de gewogen gemiddelde buitentemperatuur volgens de ATG-definitie beneden de -10 °C. Dat is tevens de periode wanneer er geen interne warmtelast optreedt. Dit is dus een testcase voor het beschikbare verwarmingsvermogen. Is de betonkernactivering nog in staat het comfort te leveren?

Comfortcriteria

Figuur 3 laat de optredende binnentemperaturen van vertrek C uit tabel 1 zien. Dit is het meest kritische vertrek: een hoekvertrek op het Zuidwesten. Daar blijkt dat de operationele temperatuur in het genoemde weekend weliswaar boven de 18 °C blijft, maar de eerste uren van de maandagochtend niet op tijd op 20 °C is. Het geschetste voorbeeld is dan ook één van

Casus	Methode	Incl. thermische massa/ interne warmtelast?	Regeling/ bedrijfs- beperking	Comfort criterium vertrek C	Piekvermogen voor verwarming gerelateerd aan het bruto vloeroppervlak
1.	Warmteverlies- berekening volgens ISSO 53	- Geen interne warmtelast - Opwarmtoeslag - Hoge temperatuur verwarming	Bedrijfs- beperking; 6 W/m ² opwarm-toeslag accumulerend oppervlak	$\Theta_{\text{operatief}} = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ $\Theta_{\text{binnen, lucht}} = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ $\Theta_{\text{buiten, lucht}} = -10 \text{ }^{\circ}\text{C}$	34 W/m ²
2.	Warmteverlies- berekening volgens ISSO 53	- Geen interne warmtelast - Opwarmtoeslag - Optie vloerverwarming	Bedrijfs- beperking; 6 W/m ² opwarm-toeslag accumulerend oppervlak	$\Theta_{\text{operatief}} = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ $\Theta_{\text{binnen, lucht}} = 18,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ $\Theta_{\text{buiten, lucht}} = -10 \text{ }^{\circ}\text{C}$	29 W/m ²
3.	Trnsys Klimaatdata: 1% NEN 5060	Ja	24 uur in bedrijf; geen interne warmtelast tijdens weekend	ATG – 80% acceptatie ondergrens GTO: 95 uur	31 W/m ²
4.	Trnsys Klimaatdata: 1% NEN 5060	Ja	24 uur in bedrijf; geen interne warmtelast tijdens weekend	ATL – 65% acceptatie ondergrens GTO: 134 uur	24 W/m ²
5.	Trnsys Klimaatdata: 5% NEN 5060	Ja	24 uur in bedrijf; geen interne warmtelast tijdens weekend	ATL – 80% acceptatie ondergrens GTO: 104 uur	21 W/m ²
6.	Trnsys Klimaatdata: 5% NEN 5060	Ja	24 uur in bedrijf; geen interne warmtelast tijdens weekend	ATL – 65% acceptatie ondergrens GTO: 129 uur	18 W/m ²

-Tabel 2- Benodigde piekvermogens voor verwarming op gebouwniveau voor het gedefinieerd standaardkantoor

de onderschrijdingsuren van de 80% acceptatiegrens in de ATG-methode. Conform de ATG-methode zou er strikt gezien onvoldoende vermogen opgesteld staan. Het totaal van de onderschrijdingsuren volgens de GTO-methode is voor dit geval echter kleiner dan 150, zodat aan de conventionele GTO-norm wordt voldaan. Laatstgenoemde norm is voor dit onderzoek maatgevend.

■ CONCLUSIES

Dit artikel geeft een eerste vergelijking tussen de standaard warmteverliesberekening volgens ISSO 53 en dynamische simulaties voor een referentiekantoor met betonkernactivering. De dynamische simulaties zijn eerst vergeleken met praktijkmetingen. De berekende waarden vallen binnen de bandbreedte van de nauwkeurigheid van de metingen. Ten opzichte van de standaard warmteverliesberekening kan voor de onderzochte configuratie 29% minder verwarmingsvermogen worden opgesteld. Dit kan verder uitgewerkt worden voor andere waarden van de interne warmtelast en andere gebouwconfiguraties. Een specifieke uitwerking van de standaard warmteverliesberekening voor betonkernactivering is aan te bevelen. Tijdens het onderzoek is ook gebleken dat

de ATG-comfortnorm niet voorziet in de benodigde criteria voor beoordeling van de wintersituatie bij toepassing van de klimaatjaren conform NEN 5060.

■ DANKWOORD

De metingen van de casus zijn uitgevoerd in kantoorgebouw 'De Thermo-Staete'. De auteurs zijn Klaas de Wit, architect en eigenaar van het gebouw, erkentelijk voor het kunnen uitvoeren van de metingen.

■ REFERENTIES

1. Rijksen, D.O., Wisse, C.J., Halvering koudeopwekking door betonkernactivering, VV+, 9 en 10; 2007.
2. Piekvermogens voor verwarming bij toepassing van betonkernactivering. Wisse et al. Proceedings IBPSA-Event 2010
3. NEN 5060, Hygrothermal performance of buildings - climatic reference data, Nederlands Normalisatie Instituut, 2008.
4. ISSO-publicatie 74, 2004. Thermische Behaaglijkheidseisen voor de binnentemperatuur in gebouwen. Stichting ISSO-Rotterdam.
5. ISSO 53. 2002. Warmteverliesberekening voor utiliteitsgebouwen met vertrekhoogte tot 5 meter Stichting ISSO – Rotterdam.

In welke mate kan zonne-energie bijdragen?

In het kader van het EOS-programma 'Duurzaam bouwen, renoveren en wonen 2015' is onderzoek gedaan naar de mate waarin een woning duurzaam verwarmd kan worden. Belangrijk voor het bepalen van het beste ontwerp van een toekomstige woning zijn de totale warmtevraag en het aandeel dat een zonneboiler kan leveren. In het simulatieprogramma Trnsys zijn een woning met een traag conventioneel verwarmingssysteem en een snel vraaggestuurd (adaptief) verwarmingssysteem gemodelleerd. De vraag was: welk systeem leidt tot een lager energiegebruik en grotere inzetbaarheid van duurzame energie?

Dr. H. (Henk) Polinder, ir. A. (Arie) Kalkman, ing. A. (Ad) van der Aa, Cauberg-Huygen
Raadgevende Ingenieurs BV

■ ACHTERGROND

Het hier beschreven onderzoek moet inzicht geven in de mate waarin een duurzame energiebron (zonne-energie) kan bijdragen aan de ruimteverwarming van een duurzame woning. Maar interesse gaat ook uit naar de manier waarop klimaatinstallaties van een duurzame woning met een beperkte energievraag het beste ontworpen kunnen worden. Onderzocht wordt of het toepassen van een snel vraaggestuurd (adaptief) verwarmingssysteem tot een lager energiegebruik zal leiden dan een conventioneel verwarmingssysteem, zie ook [1]. Het betreffende vraaggestuurde verwarmingssysteem levert warmte wanneer en waar dit nodig is. Dit is gebaseerd op een aanwezigheidspatroon van bewoners, dat gedetailleerd is in tijd en ruimte. Verder is het van belang of het toepassen van het vraaggestuurde verwarmingssysteem resulteert in een duurzamer energiegebruik voor ruimteverwarming. Als conventioneel verwarmingssysteem is in dit onderzoek gekozen voor een vloerverwarmingssysteem. Dit systeem functioneert bij

relatief lage watertemperaturen; hierdoor kan een zonneboiler waarschijnlijk een relatief groot aandeel in de warmtebehoefte leveren. Een nadeel van dit systeem is dat het traag reageert op de behoefte van bewoners. Als snel vraaggestuurd verwarmingssysteem wordt een luchtverwarmingssysteem beschouwd. Dit systeem reageert snel op de behoefte van bewoners en de totale warmtebehoefte is waarschijnlijk lager dan die van het conventionele verwarmingssysteem. Maar een nadeel van het luchtverwarmingssysteem is dat het functioneert bij relatief hoge watertemperaturen; hierdoor is het aandeel in de warmtebehoefte dat een zonnecollector kan leveren waarschijnlijk kleiner dan bij het vloerverwarmingssysteem. Dit artikel presenteert de eerste resultaten van het onderzoek.

■ METHODE

Het onderzoek heeft zich tot dusverre beperkt tot het beschouwen van één type woning: een SenterNovem referentie-eengezinswoning (hoekwoning), met één specifiek aanwezig-

heidspatroon voor de bewoners. Andere type woningen en aanwezigheidspatronen voor bewoners zijn niet beschouwd. De uitgangspunten voor de referentiewoning, de bewoners en de meteorologische omstandigheden komen verderop in dit artikel aan de orde. Gebaseerd op deze referentiewoning is voor beide verwarmingssystemen een model ontwikkeld met identieke, voornoemde, uitgangspunten. De modellen verschillen alleen in het toegepaste verwarmingssysteem om een goede vergelijking tussen beide mogelijk te maken. Het softwarepakket Trnsys [2] rekent de modellen numeriek door. De totale jaarlijkse warmtebehoefte van de woning wordt voor beide verwarmingssystemen berekend. Tevens wordt berekend het aandeel in de jaarlijkse warmtevraag dat een zonneboiler kan leveren. Dit zijn twee belangrijke eigenschappen voor het bepalen van het beste ontwerp van een toekomstige, duurzame woning. Voor het bepalen van het aandeel duurzame energie worden twee typen zonnecollectoren beschouwd in het onderzoek: een vlakke-