

Tekst: Ömer Serhat Türkmen* en Carlos Infante Ferreira**

Warmtepompen in bestaande flatbebouwing

Nieuwbouw in Nederland is heel duurzaam, maar dit contingent omvat slechts vijf procent van het totale aantal gebouwen. Volgens de EU moet dus ook de bestaande bouw duurzamer. De EU-doelstelling is om het huidige energieverbruik (verwarming en elektriciteit) van gebouwen te verminderen in 2020 met twintig procent. Oude appartementsgebouwen en flats kunnen met het oog daarop gebruik gaan maken van warmtepomptechnologie, maar er kan niet zondermeer vanuit worden gegaan dat de toepassing van warmtepompen, die gemaakt zijn voor nieuwbouw en goed geïsoleerde oudbouw, dan ook duurzaam en/of kosteneffectief zijn.

De hypothese is dat, op een duurzame en kosteneffectieve manier, met het juiste geselecteerde type warmtepomp, met of zonder de combinatie van een WKK in de juiste verhoudingen, een verwarmingssysteem te realiseren is voor midden tot hoge temperaturen behoeve van bestaande appartementsgebouwen in Nederland.

Referentiegebouw

Een referentiegebouw werd geselecteerd als een oud flatgebouw bestaande uit 200 appartementen. Het gebouw zelf (warmteverdeling binnen de appartementen, drukverliezen in de radiatoren enz.), de bron (verontreinigingen, thermisch herstel enz.) en de distributie van aardgas en elektriciteit werden buiten de grenzen van het te onderzoeken systeem gelaten. Figuur 1 geeft de berekende warmtevraag van het referentiegebouw. Met behulp van de warmtevraag en de gemiddelde buitenlucht temperaturen voor De Bilt zijn de benodigde warmwater temperatuurniveaus bepaald. Figuur 2 toont de resultaten.

Figuur 2 kan omgezet worden om het aantal bedrijfsuren per jaar op

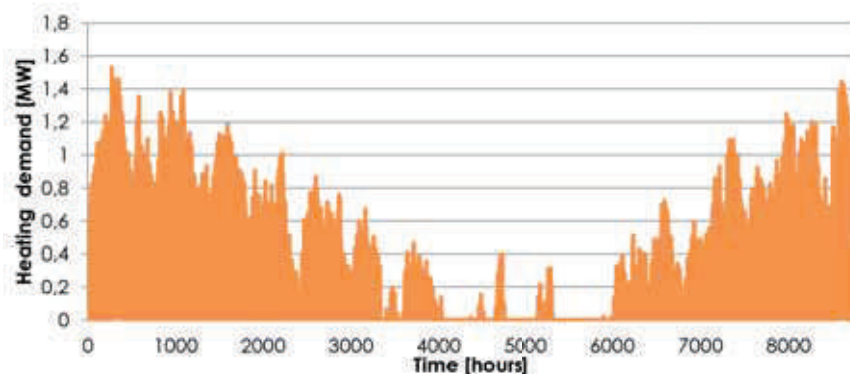
een bepaald temperatuurniveau te bepalen. Figuur 3 laat het resultaat zien. Inlaattemperaturen boven de

75°C komen bijna niet voor en kunnen door een piekapparaat afgedekt worden.

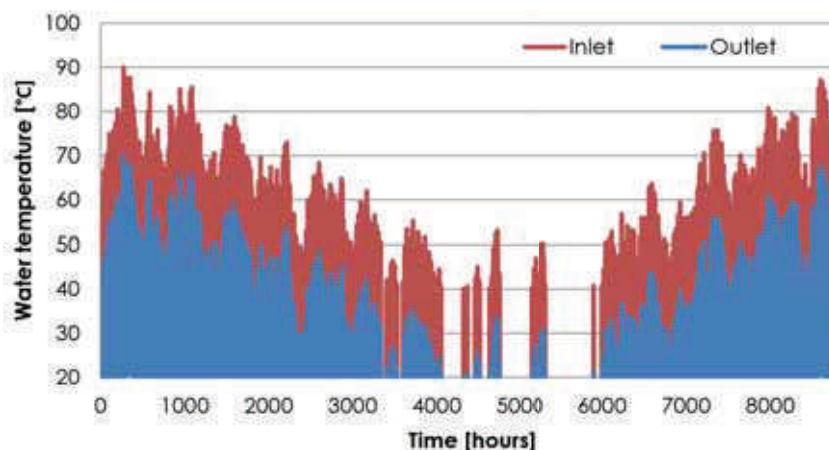
Een aquifer is beschouwd als warmtebron voor de warmtepompen. Water wordt gepompt met 12°C naar de warmtepomp en wordt teruggevoerd met een temperatuur van 5°C.

Warmtepompen

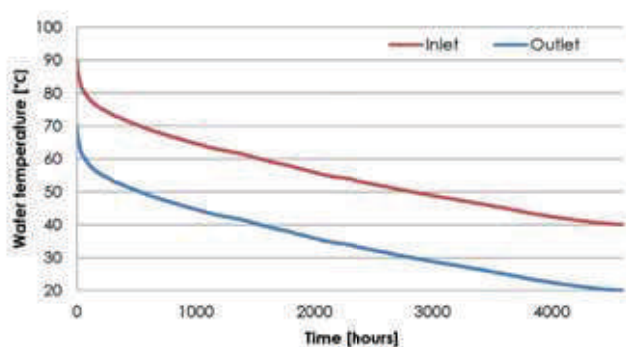
Twee warmtepompen types werden onderzocht, de dampcompressie-



Figuur 1: Warmtevraag van het referentiegebouw.



Figuur 2: Warmtevraag van het referentiegebouw. Rood: inlaat temperatuur; blauw: uitlaat temperatuur.



Figuur 3: Belastingduurkrommen met in het rood de warmwater toevoer en in blauw de retour watertemperatuur.

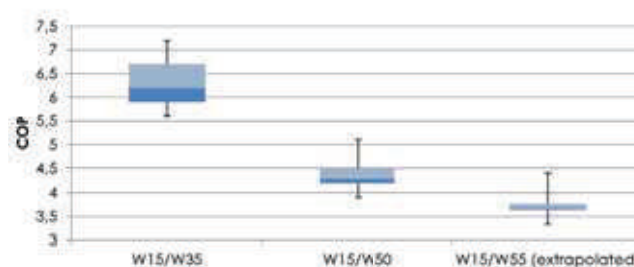
warmtepomp (DCWP), en de compressie resorptiewarmtepomp (CRWP). Laatstgenoemde is praktisch een combinatie van de twee eerder genoemde warmtepompen. De gasabsorptiewarmtepomp (GAWP) werd uiteindelijk niet meegenomen in dit onderzoek. 'Warmepompen-Testcentrum' kwantificeert de prestaties van warmtepompen. De testresultaten van een aantal gemeten warmtepompen (22 in totaal) zijn gepubliceerd online. Het gaat om DCWP met een capaciteit tussen 7,5 en 43,6 kW. Figuur 4 toont de gemiddelde gemeten COP's.

Een DCWP met een gemiddeld COP van 3,7 kan met een brontemperatuur van 15°C warmwater leveren met een temperatuur van 55°C. Het warmwatertraject voor de experimenten bij het 'Testcentrum' is 10 K terwijl voor het referentiegebouw een traject van 20 K nodig is. De methode voorgesteld door Van de Bor en Infante Ferreira (2013) is gebruikt om na te gaan welke types warmtepompen het meest economisch aantrekkelijk zijn voor toepassing in gebouwen zoals het referentiegebouw. Figuur 5 geeft de vereen-

voudigde oplossing voor warmtepompen met een vermogen van 2,8 MW, significant hoger dan voor het referentiegebouw. De bedrijfscondities voor de verschillende warmtepompen volgen uit Tabel 1.

De lift wordt hier gedefinieerd als het temperatuurverschil tussen de bronuitlaattemperatuur (5°C) en de uitlaattemperatuur van de verwarmde waterstroom (55°C). T_h staat voor de uitlaattemperatuur van de verwarmde waterstroom (55+273=328 K).

Voor de condities aangegeven in Tabel 1, $\Delta T_m/T_h=0,15$, is de terugverdientijd negen jaar voor een DCWP, 7,5 jaar voor een CRWP en 6,5 jaar voor een GAWP. Omdat het vermogen niet overeenkomt met het vermogen van het referentiegebouw zijn deze getallen alleen maar indicatief. Op basis van deze gegevens werd besloten om de CRWP te vergelijken met de DCWP. Nadat de thermodynamische eigenschappen van $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$ (het gebruikte koudemiddel in de CRWP-cyclus) bepaald zijn met behulp van correlaties uit de literatuur, en is een eenvoudig thermodynamisch model ontwik-



Figuur 4: Experimentele COP's voor 22 verschillende DCWP warmtepompen. W15/W35 geeft aan dat de bron inlaattemperatuur 15°C is en dat de warmteleveringstemperatuur 35°C is.

keld. Met behulp van dit model werd geconcludeerd dat voor de gegeven warmteafgiftetemperatuur, het gunstiger was, voor wat betreft COP, om gedeeltelijk te werken in het vloeistof/damp-gebied. Voor de CRWP, werden de beste cyclus prestaties gevonden bij 90 procent mol NH_3 . Zowel de CRWP en de DCWP realiseren hogere COP's wanneer interne warmtewisselaars werden toegepast. De jaarlijkse gemiddelde COP van de CRWP met interne warmtewisselaar, voor de gegeven omstandigheden, is ongeveer 4,6, terwijl de COP voor de DCWP met interne warmtewisselaar ongeveer 4,3 is. Op gemiddelde jaarbasis, heeft de geselecteerde CRWP een 6,4 procent hogere COP dan de VCWP met interne warmtewisselaar. Figuur 6 laat de vergelijking zien. De COP van de CRWP is 6,4 procent hoger dan de COP voor de DCWP, ook als interne warmtewisselaars worden toegevoegd.

Het model is verder uitgebreid om rekening te houden met drukval en warmteoverdracht. Een shell en mini pijpen warmtewisselaar met inwendige diameters van 1,1 mm en pijplengtes van 55 cm werd gebruikt om de warmtewisselaar op te bouwen. Beiden de CRWP en de DCWP vereisen ongeveer dezelfde hoeveelheid pijpen. Dus, in termen van kapitaalkosten, zijn de warmtewisselaars van de CRWP en DCWP cycli ongeveer hetzelfde. In termen van operationele kosten, heeft de

DCWP	GAWP	CRWP
$T_h=328\text{ K}$	$\Delta T_{\text{driving}}=5\text{ K}$	$\Delta T_{\text{glide}}=20\text{ K}$
$\Delta T_{\text{lift}}/T_h=0,15$	$\Delta T_{\text{driving}}/\Delta T_{\text{lift}}=10\%$	$\Delta T_{\text{glide}}/\Delta T_{\text{lift}}=40\%$
$\Delta T_{\text{lift}}=50\text{ K}$	$\Delta T_{\text{lift}}=50\text{ K}$	$\Delta T_{\text{lift}}=50\text{ K}$

Tabel 1: Variabelen gebruikt in Figuur 5, voor de verschillende warmtepompen.

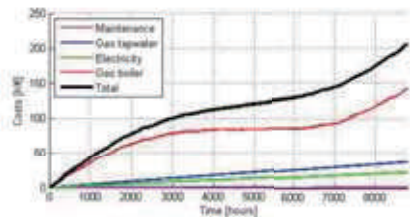
drukval in de DCWP een significant negatief effect op de COP van het systeem in vergelijking met de COP van de CRWP. Beide warmtepompen zijn verondersteld om te werken bij een maximale temperatuur van het warmteafgifte systeem van 55 → 75°C.

Economische beschouwingen

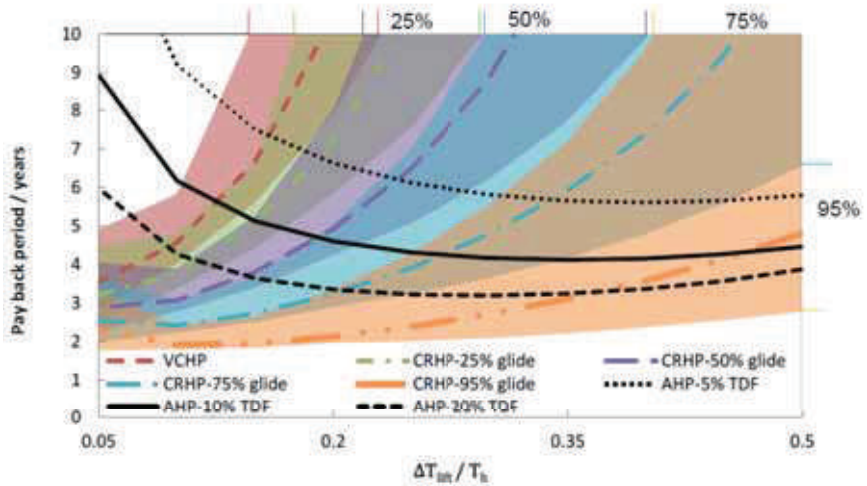
Figuur 7 laat de jaarlijkse energiekosten van het referentiegebouw zien. Inclusief onderhoud, de energiekosten bedragen k€ 205 per jaar. Duidelijk is dat de verwarmingskosten zo'n k€ 145. bedragen en zo de grootste kostenpost vormen.

Er is gekozen om drie compressoren in parallelbedrijf in te zetten voor beide CRWP en DCWP. Deze compressoren hebben vermogens van 40 kW, 80 kW en 220 kW en worden, afhankelijk van de vermogensvraag (en dus warm water temperatuur) ingezet als gegeven in Tabel 2.

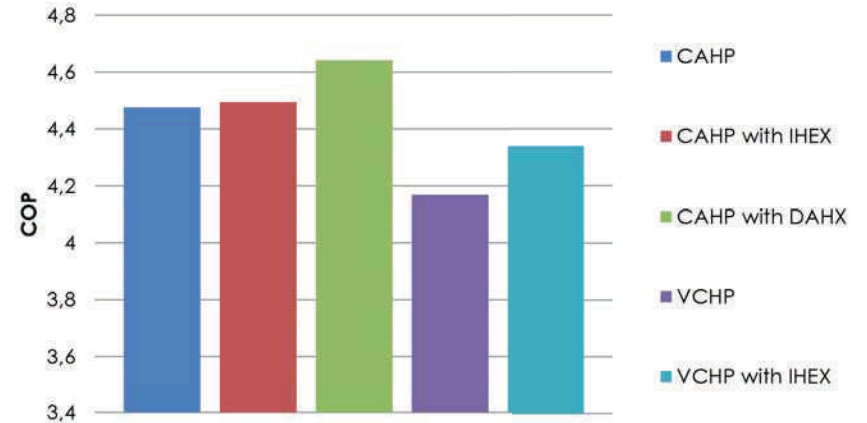
Verskillende configuraties van de verwarming voor het referentie-appartementencomplex zijn economisch geanalyseerd. In termen van bespaarde jaarlijkse energiekosten, het CRWP-systeem dat werkt in parallelbedrijf met een WKK-installatie (400 kWth max.) was de meest interessante optie. De hoogste jaarlijkse kostenbesparingen treden op als de warmtepomp de thermische energiebehoefte (1176 kWth) tot een temperatuur niveau van 55 → 75°C kan leveren. Echter de aanzienlijke toename van



Figuur 7: Jaarlijkse energiekosten van het referentiegebouw.



Figuur 5: Terugverdientijd van warmtepompen met een vermogen van circa 2,8 MW als functie van type warmtepomp en bedrijfscondities (van de Bor en Infante Ferreira, 2013).



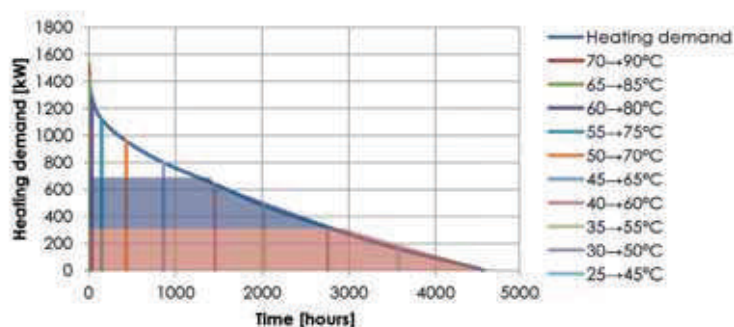
Figuur 6: Jaarlijks gemiddelde COP van de CRWP en DCWP cycli; met en zonder interne warmtewisselaars. (Türkmen, 2012).

de benodigde investeringskosten (meer warmte-uitwisseling oppervlakte, grotere compressoren, groter bronsysteem) resulteerde in een negatieve investering. De beste verhouding tussen investering en jaarlijkse besparingen werd verkregen als de warmtepomp alleen

in staat was om 336 kWth te leveren. Met deze configuratie kan de warmtepomp alleen het bereik 30 → 50°C dekken. Bij een hogere gewenste temperatuur zou de warmtepomp alleen maar zorgen voor een deel (336 kWth) van de totale warmtevraag. Tot 400 kWth kan dan door een WKK

	W _{comp} (kW) CAHP	W _{comp} (kW) VCHP	Compressor 1 (40 kW)	Compressor 2 (80 kW)	Compressor 3 (240 kW)
25 → 45 °C	26	29	X		
30 → 50 °C	59	64		X	
35 → 55 °C	99	105	X	X	
40 → 60 °C	145	152			X
45 → 65 °C	197	206			X
50 → 70 °C	257	265	CRWP	DCWP	X
55 → 75 °C	322	331	X		X

Tabel 2: Bedrijfsvoering van de drie compressoren geïnstalleerd in parallelbedrijf voor de verschillende warmteafgifte-temperatuurniveaus.



Figuur 8: Belastingduurkromme voor de beste configuratie. Rood staat voor het warmtepomp bedrijf; Blauw staat voor het WKK bedrijf. De rest wordt geleverd door hoogrendementverwarmingsketels.

Referenties

Türkmen, OS (2012) "Design and analysis of a heat pump applied to old apartment buildings". MSc thesis Delft University of Technology, Process & Energy, report 2526.
van de Bor, D, Infante Ferreira, CA (2013). "Quick selection of industrial heat pump types including the impact of thermodynamic losses". Energy, Vol. 53, pp. 312-322.

Component	Investment (k€)
Manufacturing HEX	100
Installation HEX	50
Compressor	36
Additional costs	37
Source	110
CHP	160
Total	500

Tabel 3: Investeringskosten bij toepassing van warmtepomp in combinatie met WKK (Türkmen, 2012).

worden geleverd. De resterende warmtevraag kan worden verstrekt door conventionele ketels. Deze CRWP configuratie resulteerde in jaarlijkse k€ 55 energiekostenbesparing. Benodigde investering is k€ 505 wat resulteerde in een terugverdienperiode van zestien jaar. Tabel 3 geeft een overzicht van de investeringskosten.

De configuratie met de DCWP resulteerde in k€ 52 vermindering van de jaarlijkse energiekosten. De vereiste investering in dit geval was k€ 485. Terugverdientijd was zeventien jaar.

Beide configuraties (met CRWP en met DCWP) voldoen aan het energiereductie doel van de Europese Commissie (2006) met een daling van 35% (CRWP) en 29% (DCWP) in gebruik van primaire energie.

Over de auteurs

Ömer Serhat Türkmen is werkzaam bij Koninklijke Oosterhof Holman te Grijpskerk. Carlos Infante Ferreira is werkzaam bij de Technische Universiteit Delft.

Dit onderzoek is uitgevoerd in samenwerking met Deerns Raadgevende Ingenieurs B.V. **RCC K&L**

PANASONIC

PACi



Bij de Elite 10-14 kW een

CAPACITEITSBEHOUD TOT -15 °C.

Hongkongstraat 10 - 14

3047 BS Rotterdam

T +31 (0)10 - 437 62 55

E info@multi-import.nl



Officieel distributeur:

Panasonic

WWW.MULTI-IMPORT.NL