

Meetresultaten van 10 warmtepompinstallaties te Uithoorn

Niels Sijpbeer
Karin Strootman

Verantwoording

De metingen aan de warmtepompsystemen zijn verricht volgens de Standaard Opzet Monitoring Warmtepompen, ofwel SOM-WP. Mede door subsidie van NOVEM zijn in het land verschillende warmtepompsystemen volgens deze methode gemeten, waardoor de prestatie van systemen eenduidig kan worden vergeleken.

Het project is uitgevoerd onder NOVEM projectnummer 0345-01-01-01-031 en ECN projectnummer 74890.

INHOUD

1.	INLEIDING	7
2.	INSTALLATIE IN DE WONINGEN	8
3.	MEETSYSTEEM	10
4.	MEETRESULTATEN	12
4.1	Warmtepompen	12
4.2	Bodemwarmtewisselaars	14
4.3	Koeling	15
4.4	Ruimteverwarmingssysteem	16
5.	ENQUETE	18
5.1	Regeling	18
5.2	Gebruikerservaringen	18
6.	ANALYSE VAN MEETGEGEVENS	20
6.1	Kwaliteit van de warmtepompen	20
6.2	CO ₂ besparing en energiekosten	21
6.3	Installatietechnische problemen	22
7.	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	23
	BIJLAGE A BEWONERSENQUETE	
	BIJLAGE B OVERZICHT GEGEVENS UIT ENQUETE	
	BIJLAGE C MEETOVERZICHTEN	
	BIJLAGE D BEPALING VAN BRONVERMOGENS	

SAMENVATTING

In het Burgemeester Kootpark in Uithoorn is in 2002 nieuwbouw gerealiseerd, waaronder 90 villa's. In tien van deze woningen is een installatie aangebracht waarin voor verwarmingsdoeleinden bodemwarmtewisselaars en warmtepompen worden toegepast en waarmee ook gekoeld kan worden. In dezelfde woningen is ook een meetsysteem aangebracht waarmee de prestatie van de installatie gemeten kan worden. De resultaten van deze metingen worden in dit rapport gepresenteerd. In deze rapportage worden de woningen uitsluitend aangeduid met de letters A t/m J. Dit is gedaan om anonimiteit van de bewoners te garanderen.

De CO₂ winst bedraagt bij de best functionerende installatie rond de 38% ten opzichte van een referentie situatie waarbij de geleverde warmte alleen door een gasgestookte HR-ketel geleverd wordt. Bij de slechtst functionerende installatie was de CO₂ uitstoot in de periode december 2002 - december 2003 26% hoger dan in de referentie situatie. Het gaat hierbij om een systeem dat niet goed functioneert.

Normaal gesproken zal gemiddeld een Seasonal Performance Factor van 2,7 gehaald moeten worden om milieuwinst te realiseren ten opzichte van de referentie situatie. Voor negen systemen was dit het geval tijdens de meetperiode, behalve in het hierboven beschreven geval. Voor de tien systemen geldt een gemiddeld behaalde CO₂ reductie van ca. 18%.

Om de energiekosten te vergelijken is ook uitgegaan van een referentie situatie waarbij de geleverde warmte door een gasgestookte HR-ketel wordt verzorgd. De tarieven voor gas en elektriciteit uit november 2002 zijn hiervoor gebruikt. De tarieven zijn afkomstig van de energieleverancier van de bewoners. De warmtepompen zullen tenminste een SPF moeten halen van 3,1 om lagere energiekosten met zich mee te brengen dan de referentie situatie. Voor acht systemen was dit het geval.

Uit meetgegevens is gebleken dat de ingeblazen lucht in warme zomerperioden door het koelsysteem ca. 8°C afgekoeld kan worden. De gemeten koelvermogens liggen tussen de 0,5 en 1 kW. De meeste bewoners (7 van de 10) merken geen of weinig effect van koeling. De overige 3 woningen ervaren wel enig effect van het koelsysteem.

De meeste installaties leiden tot verlaging van de energiekosten, al hebben de meeste bewoners het gevoel dat dit niet zo is. Een enkeling heeft genoemd dat de kosten voor het gasverbruik lager zijn, maar dit lijkt minder zwaar te wegen dan de extra kostenpost voor elektriciteit. Ondanks het feit dat de metingen aantonen dat het overgrote deel van de warmtepompsystemen naar behoren functioneert, zijn de bewoners erg kritisch over de warmtepompsystemen. De belangrijkste redenen voor de ontevredenheid zijn;

- het ontbreken van een regelbare kamerthermostaat
- veelvuldig optredende storingen
- het niet bereiken van het gewenste comfort
- complexe regelbaarheid
- hoge energiekosten
- lelijke en slecht afgewerkte installatie

Het systeem in woning F functioneert het beste. Waarom andere systemen minder presteren kan niet direct gezegd worden. Hiervoor is een uitvoerige analyse nodig die niet binnen de doelstelling van het monitoringsproject volgens de SOM-WP valt. Wel is een overzicht gemaakt van de gemeten cv-temperaturen in de systemen (zie bijlage C). Hieruit valt op te maken dat de maximale cv-water temperatuur in woning F maximaal 34°C is en dat de warmtepomp gelijkmatig schakelgedrag (aan/uit) vertoont. Dat systemen in de andere woningen minder goed functioneren wordt mogelijk veroorzaakt doordat het systeem hydraulisch niet correct is ingeregeld. Een mogelijkheid tot het verbeteren van de systemen kan bestaan uit het overnemen van de instelling van de gewenste cv-temperatuur van de warmtepomp in woning F in de andere systemen. Een aanpassing in de regeling waarmee de radiatoren onafhankelijk van het vloerverwarmingssysteem en de warmtepomp geregeld kunnen worden, voorziet in de behoefte van betere regelbaarheid voor de bewoners. Dit vereist overigens wel aanpassingen in het

leidingwerk. In ECN rapport 'Installatieconcept voor villa's in het Burgemeester Kootpark te Uithoorn' (rapport nr. ECN-C--00-072) staat een systeem beschreven waarmee dit gerealiseerd kan worden.

Verder kan een uitvoerige analyse van de meetdata in samenwerking met de installateur leiden tot een aantal verbeterpunten voor de warmtepompsystemen (positie buitentemperatuursensor, instellingen stooklijn etc.). Het uitvoeren van deze verbeterpunten in de woningen en daarna monitoren van de resultaten kan dan vervolgens leiden tot het samenstellen van een aantal vuistregels voor het toepassen van warmtepompsystemen. De meeste bewoners staan ook positief tegenover deze exercitie en de meetinfrastructuur is aanwezig om dit uit te voeren.

LIJST VAN GEBRUIKTE SYMBOLEN, AFKORTINGEN EN CONSTANTEN

Afkortingen

WP	Warmtepomp
COP	Coefficient of Performance
SPF	Seasonal Performance Factor
PER	Primary Energy Ratio
CV	Centrale verwarming
DHW	Domestic Hot Water (warm tapwater)

Symbolen

H _s	Verbrandingswaarde van aardgas op calorische bovenwaarde	36,6 MJ/mn ³
H _o	Verbrandingswaarde van aardgas op calorische onderwaarde	32,8 MJ/mn ³
η_{centrale}	Rendement van elektriciteitsopwekking inclusief distributieverliezen (op onderwaarde)	39% ^[1]
η_{ketel}	Rendement op onderwaarde van gasgestookte HR-ketel voor ruimteverwarming	tenminste 100% ^[2]
V _{gas}	Hoeveelheid vrijgekomen CO ₂ door volledige verbranding van 1 mn ³ aardgas	1,77 kg/mn ³

[1] NEN 5128

[2] Productinformatie Agpo HR Econcompact

1. INLEIDING

In het Burgemeester Kootpark in Uithoorn is in 2002 nieuwbouw gerealiseerd, waaronder 90 villa's. In tien van deze woningen is een installatie aangebracht waarin voor verwarmingsdoeleinden bodemwarmtewisselaars en warmtepompen worden toegepast en waarmee ook gekoeld kan worden. De systemen zijn bekostigd met subsidie van de gemeente Uithoorn. In deze 10 woningen is ook een meetsysteem aangebracht waarmee de prestatie van de installatie gemeten kan worden. Een centraal computerkastje registreerde ieder kwartier de actuele waarden van de sensoren en bewaarde deze gegevens in een database. Enkele malen per maand werden deze gegevens via een telefoonverbinding door ECN uitgelezen en in een centrale database opgenomen. Met deze gegevens is vanaf het moment van oplevering van de woning en het meetsysteem tot december 2003 de prestatie van de installaties gemeten. De resultaten van deze metingen worden in dit rapport gepresenteerd.

De metingen zijn uitgevoerd volgens de Standaard Opzet Monitoring Warmtepompen, ofwel SOM-WP. Deze opzet is gebruikt bij vele monitoringsprojecten waarbij NOVEM als subsidieverstrekker betrokken is geweest. Op deze manier kunnen de gemeten resultaten op een éénduidige wijze met elkaar worden vergeleken.

Doordat de woningen niet allemaal tegelijkertijd in gebruik zijn genomen, is de start van de meetperiode voor iedere woning verschillend. Pas in de loop van 2003 waren alle woningen bewoond terwijl enkele woningen al in het voorjaar van 2002 in gebruik waren. Om toch een vergelijking te kunnen maken over een periode van een jaar is ervoor gekozen de periode van december 2002 tot december 2003 als uitgangspunt te nemen voor vergelijking. Om de verzamelde meetdata van de periode vóór december 2002 niet helemaal weg te moeten gooien, wordt ook een overzicht gegeven van enkele prestatiekengetallen op basis van alle verzamelde meetdata.

Aan het einde van de meetperiode is een enquête afgenomen van de bewoners. Hiervoor zijn 8 woningen persoonlijk bezocht en is voor 2 woningen de enquête telefonisch afgenomen. Tijdens de enquête bleek ook dat in enkele woningen nog extra een elektrische boiler was geplaatst en dat een open haard of gashaard in de woonkamer was aangebracht.

Zoals al is genoemd, maakte ECN gebruik van een telefoonaansluiting om meetgegevens uit de woningen op te halen. Door problemen met deze aansluitingen, zoals het afsluiten door KPN van ECN-telefoonlijnen zonder toestemming, is veel tijd besteed aan het 'online' houden van de meetsystemen. Hierdoor is in sommige gevallen de start van de meetperiode vertraagd, of zijn in één geval veel minder meetdata beschikbaar gekomen.

In deze rapportage worden de woningen uitsluitend aangeduid met de letters A t/m J. Dit is gedaan om anonimiteit van de bewoners te garanderen.

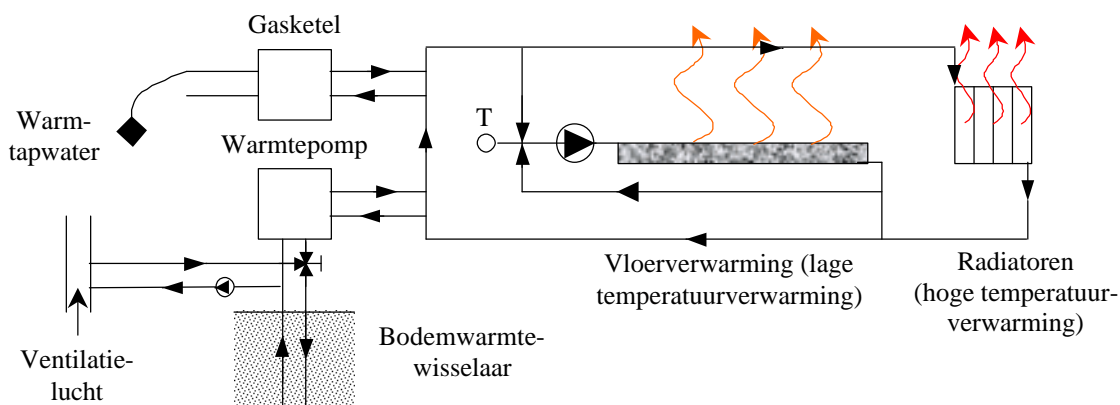
2. INSTALLATIE IN DE WONINGEN

De woningen waarin gemeten is, zijn niet identiek. Zo zijn sommige villa's geschakeld en staat een enkele vrij. Ook de oriëntatie verschilt, waardoor zoninstraling in de woningen verschilt. Onderstaande tabel vat enkele algemene bouwkundige maatregelen samen, die zijn genomen om de warmtevraag te verlagen:

Tabel 1: bouwkundige maatregelen ter vermindering van de warmtevraag

Rc waarde gevel en dak	3	$\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$
Rc waarde vloer	3,5	$\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$
ZTA glas ¹ (HR ⁺⁺)	0,6	
U waarde van ramen (HR ⁺⁺)	1,4	$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
Inhoud	ca. 745	m^3

De verwarmingsinstallatie voor de woningen bestaat uit een gasgestookte hoog-rendements ketel en een elektrisch aangedreven warmtepomp (IVT D5) die ca. 6 kW aan warmte levert. De warmtepomp onttrekt warmte (duurzame energie) via een verticale bodemwarmtewisselaar aan de bodem. De bodemwarmtewisselaar zit tot ca. 70 meter diep. Voor ruimteverwarming zijn de gasketel en de warmtepomp parallel geschakeld, waarbij de warmtepomp de basislast levert. De gasketel levert alleen warmte voor ruimteverwarming als de warmtepomp niet voldoende kan leveren. Warm-tapwater wordt volledig verzorgd door de gasketel. Afgifte van warmte voor ruimteverwarming vindt hoofdzakelijk plaats door radiatoren en vloerverwarming. Onderstaande schets toont schematisch het verwarmingssysteem.



Figuur 1: verwarmingsinstallatie

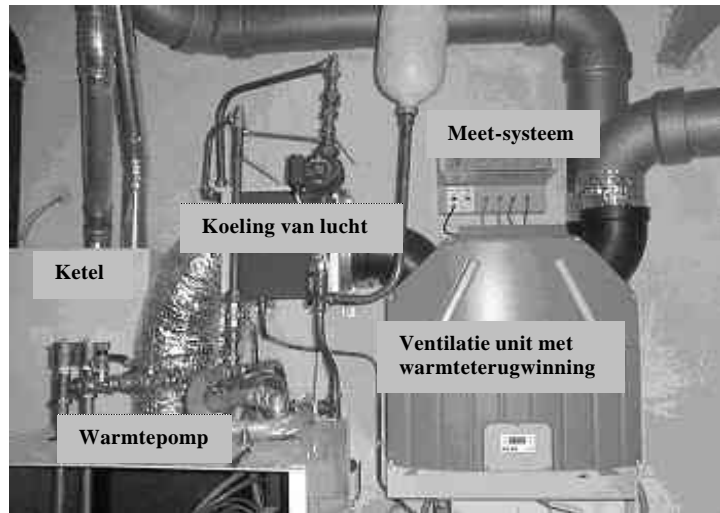
Aangezien de benodigde aanvoertemperatuur voor vloerverwarming lager ligt dan voor de radiatoren, wordt de aanvoer voor de vloerverwarming bijgemengd met water uit de retour. Een thermostaatkraan regelt de juiste aanvoertemperatuur voor de vloerverwarming. De keuze om naast de vloerverwarming ook radiatoren toe te passen is gemaakt door de projectontwikkelaar na overleg met de installateur. In de woonkamer is een temperatuursensor aangebracht. Deze sensor bepaalt of de verwarmingsinstallatie warmte moet leveren. De gewenste temperatuur kan hiermee dus niet worden geregeld. Dit kan wel gedaan worden met behulp van het

¹ ZonToetredingsfactor: Dit geeft aan hoeveel zonnewarmte door een raam naar binnenvalt. 0,6 betekent dat 40% van de zonnewarmte wordt gereflecteerd.

bedieningspaneel op de warmtepomp dat zich op de zolder bevindt. Hier kan ook de gewenste aanvoer temperatuur voor de verwarmingsinstallatie worden ingesteld.



Figuur 2: de warmtepomp



Figuur 3: foto van de installatie in de woningen

De woningen worden geventileerd door mechanisch lucht toe en af te voeren, zogenaamde balansventilatie. Dit wordt in de winter gedaan via een warmtewisselaar die het mogelijk maakt de warmte uit de lucht die naar buiten afgevoerd wordt, over te dragen op de frisse lucht die van buiten wordt aangezogen. In de zomer kan de aangezogen buitenlucht worden afgekoeld via een extra geplaatste warmtewisselaar in een luchttoevoerkanaal. Deze warmtewisselaar krijgt koud water aangevoerd van de bodemwarmtewisselaar. De bewoners kunnen deze koeling inschakelen door het omschakelen van een 'koelknop' die in de keuken is geplaatst. Hiermee wordt een pomp aangeschakeld waarmee het water door de bodemwarmtewisselaar naar de warmtewisselaar voor de ventilatielucht wordt gepompt. Figuur 3 toont de installatie.

In een aantal woningen is een extra boiler geplaatst aangezien de bewoners daar hogere eisen stelden aan de warm tapwaterlevering. Ook zijn in een aantal woningen nog open haarden of sierhaarden in de woonkamer aangebracht. In deze systemen zijn geen sensoren aangebracht, waardoor deze dus ook niet mee zijn genomen in de analyse van de meetgegevens.

3. MEETSISTEEM

Het meetsysteem is door de installateur (ES Techniek of Verdel) en Leiderdorp Instruments b.v. in de woningen aangebracht. Onderstaande tabel geeft een overzicht van de toegepaste meetapparatuur.

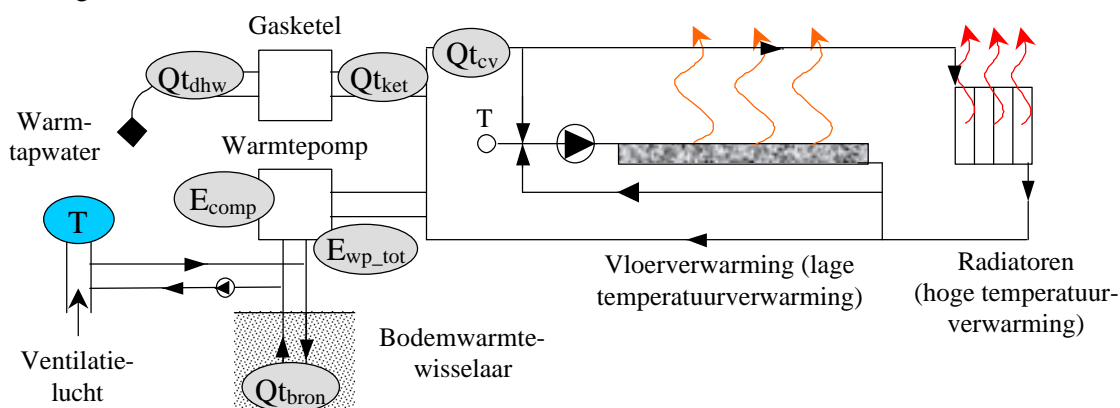
Tabel 2: overzicht van de sensoren in de installatie

Type sensor	Benaming	Plaatsing
kWh-meter	E_{wp_tot}	Elektriciteitsgebruik warmtepomp totaal
kWh-meter	E_{comp}	Elektriciteitsgebruik compressor warmtepomp
Warmtemeter	$Q_{t_{cv}}$	Totaal afgegeven warmte voor ruimteverwarming
Warmtemeter	$Q_{t_{ket}}$	Totaal afgegeven warmte door ketel voor ruimteverwarming
Warmtemeter	$Q_{t_{dhw}}$	Totaal afgegeven warmte door ketel voor warm-tapwater bereiding
Temperatuurmeter	T	Aangevoerde lucht naar de woning

De plaats van de sensoren is aangegeven in Figuur 4. De hoeveelheid warmte die wordt geleverd door de warmtepomp wordt bepaald door de geleverde warmte van de ketel voor ruimteverwarming in mindering te brengen op de totaal geleverde warmte voor ruimteverwarming, zoals aangegeven in Vergelijking 1.

$$Q_{wp} = Q_{t_{cv}} - Q_{t_{ket}} \quad \text{Vergelijking 1: bepaling van de geleverde warmte door de warmtepomp}$$

De metingen zijn uitgevoerd met een frequentie van 15 minuten. De elektriciteits- en warmtemeting zijn cumulatieve metingen. De warmtemeter die is opgenomen in het bronsysteem, kan zowel onttrekking (winter) als regeneratie (zomer) van warmte meten. In het ene geval zal de meetwaarde van deze warmtemeter toenemen, in het andere geval afnemen. Wanneer binnen een kwartier gewisseld wordt van regenereren naar koeling of omgekeerd, zal de meetfrequentie van een kwartier te laag zijn en leiden tot fouten. Je kunt immers niet terugvinden in de meetdata wat er binnen dat kwartier gebeurt. Aangezien het systeem maar enkele keren per jaar van regenereren naar onttrekken of omgekeerd zal overschakelen, mag worden verondersteld dat de meetfout die ontstaat door deze methode minimaal is. De temperatuurmeting die wordt gedaan in de ventilatielucht geeft een momentane waarde. Uiteindelijk is gebleken dat in enkele woningen deze sensor in het verkeerde ventilatiekanaal is bevestigd.



Figuur 4: plaatsing van de sensoren

In een aantal woningen zijn extra systemen opgenomen voor het leveren van een verhoogde warm-tapwater hoeveelheid. Aan deze systemen is niet gemeten, waardoor de gemeten hoeveelheid energie gebruikt voor warm-tapwaterbereiding in deze woningen lager is dan de werkelijke waarde. In dit rapport wordt in eerste instantie niets gedaan met de hoeveelheid warmte voor warm-tapwater bereiding.

De analyse van de meetdata is uitgevoerd met MathCad^[1]. Hiermee zijn de meetdata ingelezen en zijn de benodigde bewerkingen uitgevoerd om de analyse te kunnen doen. De overzichten waarin de meetresultaten staan weergegeven zijn opgenomen in bijlage C.

4. MEETRESULTATEN

Aangezien van enkele woningen al meetdata ter beschikking zijn gekomen in mei 2002 en de laatste woning begin 2003 is opgeleverd, varieert de periode waarop de meetdata van de woningen betrekking heeft. Van woning G zijn door problemen met de telefoonverbinding (KPN) slechts beperkt meetdata beschikbaar gekomen. Om toch alle meetdata te kunnen gebruiken voor een analyse, zijn verschillende analyses uitgevoerd. De eerste analyse is uitgevoerd voor de periode van december 2002 tot december 2003. Van 5 woningen zijn de meetgegevens vanaf december 2002 tot december 2003 compleet.

De tweede analyse is gedaan met alle beschikbare meetdata. Hierbij dient de kanttekening gezet te worden, dat in de periode vóór december 2002 er onduidelijkheden bestonden over de kWh meting van de warmtepomp (E_{wp_tot}). Het ging hier om de bijtelling van het elektriciteitsgebruik van de circulatiepomp van de vloerverwarming. In de periode vóór december 2002 is in sommige gevallen een continue elektriciteitsgebruik van 80 Watt opgeteld bij het totale elektriciteitsgebruik. Dit is na december 2002 niet meer gedaan. Voor de berekening van de COP van een warmtepomp heeft deze bijtelling geen effect, voor het berekenen van de SPF wel. Dit verschil bedraagt slechts enkele procenten.

Tabel 3: data waarop meetgegevens van de woningen beschikbaar kwamen

Woning	A	B	C	D	E	F	G ²	H	I	J
Datum	26-6-02	10-12-02	25-11-02	22-2-03	7-10-02	6-9-02	5-11-02	24-9-02	22-5-02	26-6-02

In de bodemwarmtewisselaar wordt een mengsel van water en glycol toegepast. De thermische eigenschappen van dit mengsel worden hoofdzakelijk bepaald door de mengverhouding van het water en de glycol. Echter, voor het correct functioneren van de warmtemeter is het van belang deze thermische eigenschappen goed te kennen. Helaas verschilt deze mengverhouding in de praktijk van woning tot woning, mede doordat systemen af en toe opnieuw gevuld zijn. Om de waarden van de warmtemeter die in het bronsysteem is toegepast te kunnen gebruiken, is daarom een bewerking uitgevoerd. Dit is verder toegelicht in bijlage D.

4.1 Warmtepompen

Het functioneren van de warmtepomp kan worden beoordeeld door twee kentallen; de COP en de SPF. COP staat voor 'coefficient of performance' en geeft aan hoeveel warmte de warmtepomp levert ten opzichte van de opgenomen elektriciteit van de compressor van de warmtepomp. De COP kan worden bepaald op ieder moment dat een meting wordt gedaan.

$$COP_n = \frac{(Q_{wp(n+1)} - Q_{wp(n)}) / tijdsinterval}{(E_{comp(n+1)} - E_{comp(n)}) / tijdsinterval}$$

Vergelijking 2: bepaling van de COP

(n = tijdstip van meting, n+1 = tijdstip van volgende meting)

Door opstarteffecten en nadraaitijden van de warmtepomp geven de meetresultaten soms waarden die leiden tot COP's kleiner dan 1 en groter dan 8. Deze waarden zijn niet meegenomen voor de bepaling van de gemiddelde COP.

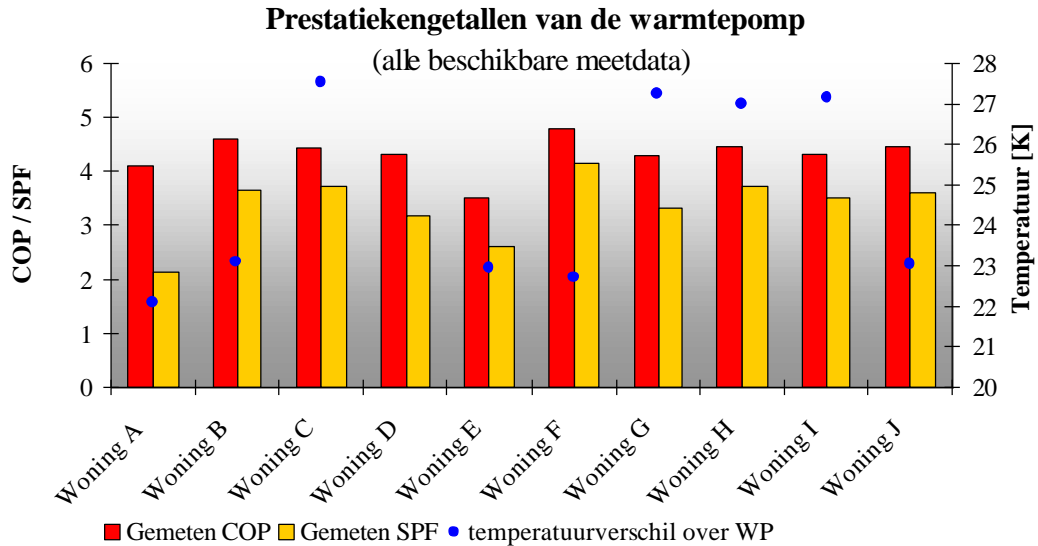
De SPF staat voor 'seasonal performance factor' en geeft aan hoeveel elektriciteit de warmtepomp verbruikt ten opzichte van de geleverde warmte over een bepaalde periode. De SPF geeft dus één getal dat een gemiddelde is over een periode. Dit in tegenstelling tot de COP die bepaald kan worden op ieder moment dat een meting wordt gedaan.

² Maar beperkte hoeveelheid meetgegevens beschikbaar

$$SPF = \frac{Q_{wp}}{E_{wp_tot}}$$

Vergelijking 3: bepaling van de SPF

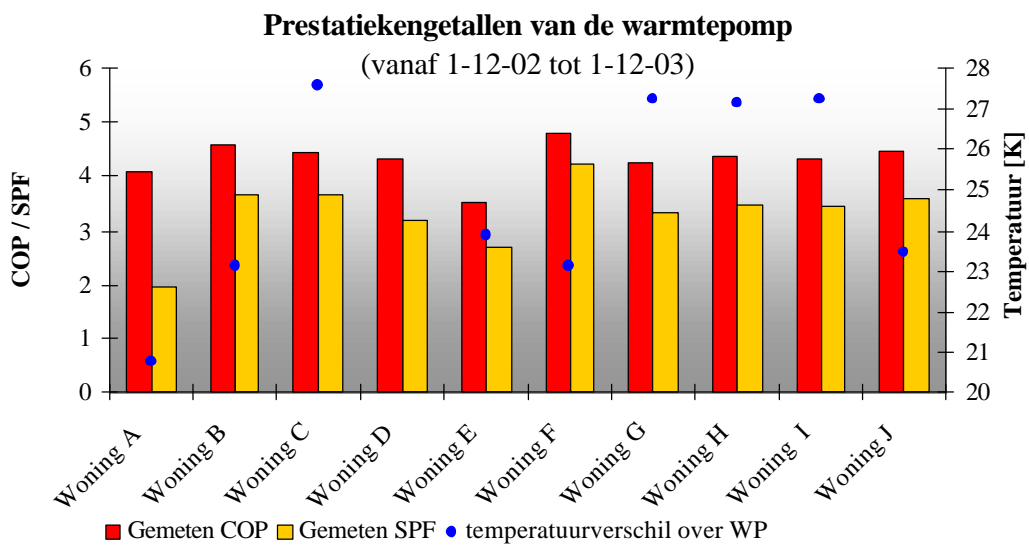
In Figuur 5 zijn de gemiddeld gemeten COP, de SPF en het gemiddeld temperatuurverschil over de warmtepomp weergegeven, bepaald aan de hand van alle beschikbare meetdata.



* Temperatuurverschil over warmtepomp in woning D bedraagt 19°C.

Figuur 5: Meetresultaten over alle beschikbare data

Bovenstaande is ook gedaan voor de meetdata die zijn verzameld in de periode van 1 december 2002 tot 1 december 2003. De verkregen getallen kunnen dan op een eerlijkere manier met elkaar worden vergeleken, aangezien het dezelfde meetperiode betreft. Echter, eind 2002 hebben problemen bij KPN gezorgd voor het afsluiten van enkele telefoonaansluitingen. Hierdoor ontbreken bij een aantal woningen meetgegevens. Tabel 4 geeft aan over welke periode eventueel meetdata van de betreffende woning ontbreken.



* Temperatuurverschil over warmtepomp in woning D bedraagt 19°C.

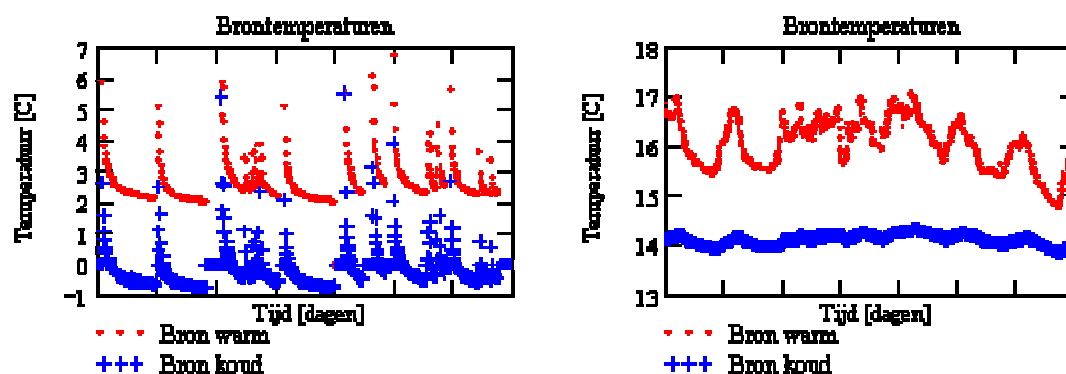
Figuur 6: Meetresultaten over de periode december 2002 december 2003

Tabel 4: overzicht van perioden waarin meetdata ter beschikking is gekomen

Woning B	Start vanaf 10-12-02 16:45
Woning C	geen gegevens beschikbaar vanaf 16-12-02 12:00 tot 2-2 14:00
Woning D	start vanaf 22-2-2003
Woning F	geen gegevens beschikbaar vanaf 11-6-02 17:30 tot 7-12 0:45
Woning G	Start vanaf 23-2-03 3:00
Woning I	geen gegevens beschikbaar vanaf 9-12-02 tot 16-12-02 10:15 en vanaf 12-2-02 3:00 tot 14-4-02 9:15 en vanaf 10-5-02 0:0 tot ..

4.2 Bodemwarmtewisselaars

Eén bodemwarmtewisselaar is tot ca. 70 meter diep aangebracht. Door de wisselaar stroomt een mengsel van water en glycol om invriezen bij kortstondige temperaturen onder 0°C te voorkomen.

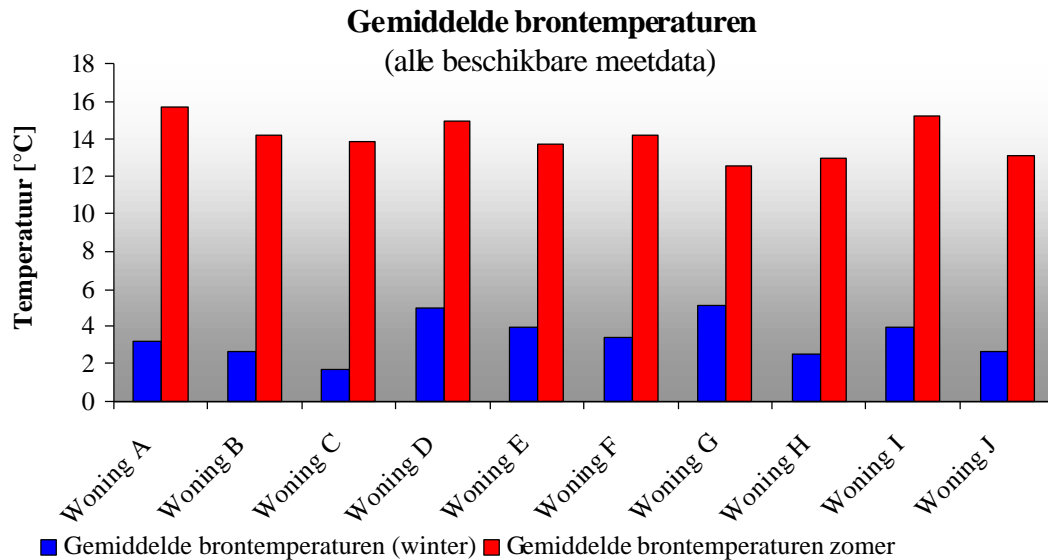


A: Koude winter periode
 Bron koud = bodem in
 Bron warm = bodem uit

B: Warme zomerperiode
 Bron koud = bodem uit
 Bron warm = bodem in

Figuur 7: brontemperaturen tijdens koude winterperiode en een warme zomerperiode (gemeten in bodemwarmtewisselaar van woning B)

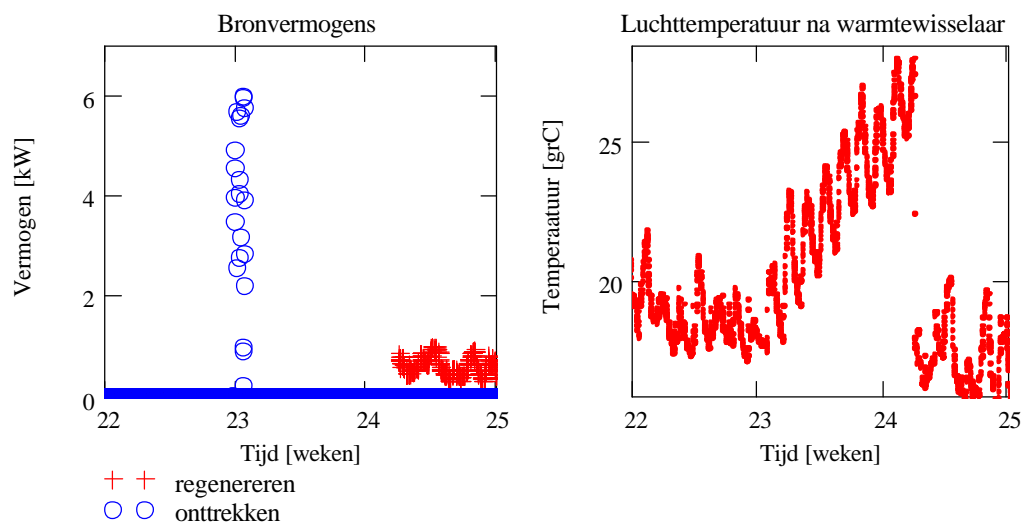
Uit de meetdata zoals is opgenomen in Figuur 7A, blijkt inderdaad dat de temperatuur van de ingaande vloeistof van de bodemwarmtewisselaar (Bron koud) onder de 0°C kan komen. De momenten dat de meetpunten van bron koud en bron warm op elkaar komen en 0°C aangeven, staat de warmtepomp uit. Minimale waarden liggen rond de -2°C bij enkele woningen. Het moment van starten van de warmtepomp is duidelijk terug te zien in deze meetdata. In de zomer kan heel duidelijk het effect van de koeling op de brontemperaturen worden teruggezien. Figuur 8 toont de gemeten gemiddelde brontemperaturen in het stookseizoen en in de zomer. Wordt de periode van december 2002 tot december 2003 beschouwd, bedraagt, gemiddeld over alle woningen, de brontemperatuur ca. 3°C in het stookseizoen en ca. 14°C in het zomerseizoen.



Figuur 8: gemiddelde brontemperaturen bepaald aan de hand van alle beschikbare meetdata

4.3 Koeling

Bij de woningen waarin de koeling functioneerde en ook de temperatuursensor in het juiste ventilatiekanaal was aangebracht, kan heel duidelijk het effect van verlaging van de luchttemperatuur worden gemeten. Figuur 9 toont het effect op de ingeblazen temperatuur en de bronvermogens op het moment dat de koeling wordt ingeschakeld in woning C. De onttrekking piek aan het begin van week 23 wordt veroorzaakt doordat op dat moment de warmtepomp is ingeschakeld voor ruimteverwarming.



Figuur 9: bronvermogen en luchttemperatuur op moment dat koeling wordt aangeschakeld

Bij de woningen waar het effect van koeling gemeten is (bij 3 woningen waren sensoren om het effect van koeling te bepalen niet goed aangesloten) bedraagt het koelend vermogen tussen de 0,5 en 1 kW. De temperatuurverlaging van de lucht is afhankelijk van de ingestelde ventilatiestand, maar bedraagt gemiddeld ca. 8°C.

4.4 Ruimteverwarmingssysteem

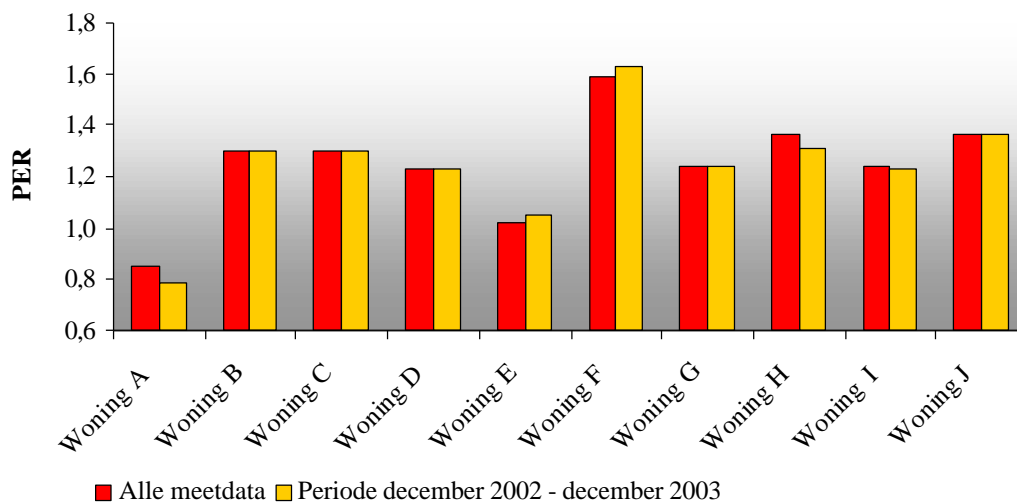
De prestatie van het totale ruimteverwarmingssysteem wordt uitgedrukt in de Primary Energy Ratio, ofwel PER. De PER geeft de verhouding weer tussen de hoeveelheid primaire energie die voor ruimteverwarming nodig was en de hoeveelheid geleverde warmte.

$$PER = \frac{Qt_{cv}}{\frac{E_{wp_tot}}{h_{centrale}} + \frac{Qt_{ket}}{h_{ketel}}}$$

Vergelijking 4: bepaling van de PER

Voor het ketelrendement wordt 100% op onderwaarde aangehouden, wat voor het systeem waarin de ketel is toegepast gangbaar is. Voor het rendement van de elektriciteitscentrale samen met de transportverliezen wordt 39% op onderwaarde aangenomen. Er is geen rekening gehouden met openhaarden of gashaarden in de woning.

Primary Energy Ratio (PER) voor ruimteverwarming

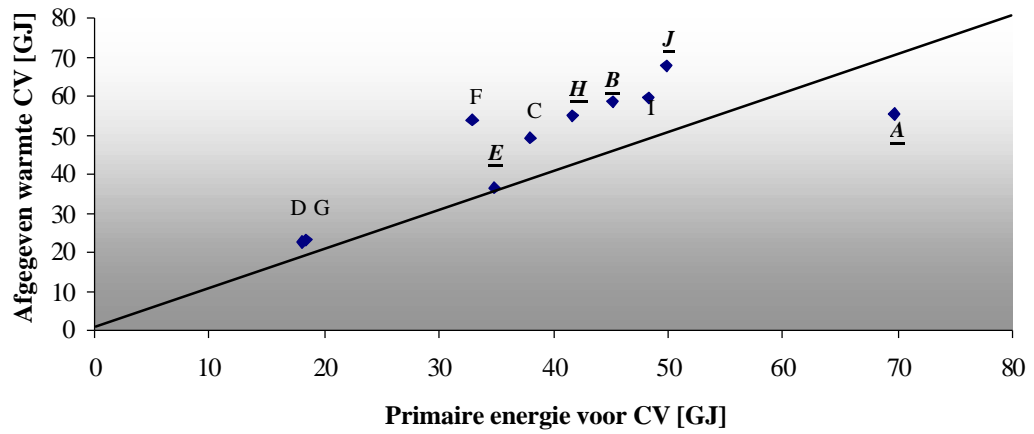


Figuur 10: PER (CV) van de gemeten systemen

Alleen het systeem in woning A levert een PER lager dan 1 op. Dit warmtepompsysteem functioneert dan ook niet naar behoren. Om deze woning te verwarmen is dus meer primaire energie nodig dan voor ruimteverwarming gevraagd wordt. De afwijkingen in de PER over de verschillende meetperioden hebben hoofdzakelijk te maken met wijzigingen in de regeling van de installatie en het functioneren van de systemen. Het effect van het bijtellen van het continue verbruik van 80 Watt bij de warmtepomp, dat in de periode voor december 2002 is gedaan, is verwaarloosbaar klein.

Om een vergelijking te kunnen maken voor alle woningen met betrekking tot de warmtevraag en de hoeveelheid primaire energie die is gebruikt voor het leveren van de warmtevraag is Figuur 11 samengesteld. De letters verwijzen naar de woningen. Onderstreepte letters verwijzen naar meetgegevens van woningen die compleet waren. Van de andere meetpunten ontbreken meetperioden. De lijn in de grafiek geeft aan hoe de verhouding tussen afgegeven warmte en gebruikte primaire energie voor een gasketel eruit ziet. Punten boven deze lijn leveren een milieuwinst op ten opzichte van de situatie met een ketel. Tabel 4 vat samen van welke woningen gegevens ontbreken en welke perioden ontbreken.

Afgegeven warmteversus gebruikte primaire energie
(periode december 2002 december 2003)



* Schuin en onderstreept gemarkeerde meetpunten zijn verkregen met complete datasets.
Figuur 11: verhouding tussen afgegeven cv-warmte en gebruikte hoeveelheid primaire energie

5. ENQUETE

In oktober 2003 is een bewonersenquête uitgevoerd om de ervaringen omtrent het gebruik van de installatie en het comfort te inventariseren. Het bewonerstevredenheidsonderzoek is via een mondeling interview uitgevoerd om een zo goed en volledig mogelijk beeld te krijgen van de mening van de bewoners. Naast de standaard enquête zijn enige specifieke vragen gesteld over de aanwezige koeling van de ventilatielucht en het afnemen van 'groene' elektriciteit door de bewoners. In bijlage A is de bewonersenquête weergegeven. In bijlage B zijn de resultaten van de enquête weergegeven. Hieronder volgt een samenvatting van de belangrijkste gegevens uit de enquête.

5.1 Regeling

Door het ontbreken van een regelbare kamerthermostaat krijgen de bewoners het gevoel dat ze de installatie niet of slecht kunnen regelen. Maar drie bewoners (uit woning A, B en C) weten dat de huiskamertemperatuur tussen de 21°C en 22°C is ingesteld. Op het bedieningspaneel van de warmtepomp zijn instellingen als gewenste cv-watertemperatuur en gewenste temperatuur te wijzigen. Deze bediening wordt complex bevonden en ook te ver weg. De warmtepomp staat immers op zolder.

5.2 Gebruikerservaringen

Er zijn door de bewoners heel wat punten genoemd omtrent hun ervaringen met de installatie. Deze zijn in bijlage B volledig opgenomen. Hieronder volgen enkele hoofdpunten.

Instructie over installatie en gebruik

Dit wordt over het algemeen als minimaal en onvoldoende beschouwd. Het instructieboekje wordt door enkelen gebruikt maar men vindt hoe de installatie werkt en bediend kan worden te technisch omschreven.

Levert de installatie het gewenste comfort

Het merendeel van de bewoners is niet tevreden over de temperatuur in huis. Enkele veel genoemde oorzaken zijn het traag bereiken van de gewenste temperatuur en het niet voldoende warm krijgen van slaap-/badkamers.

Storingen

De installatie is volgens de meeste bewoners redelijk betrouwbaar, echter alle warmtepompsystemen hebben in meer of mindere mate te maken gehad met veel verschillende soorten storingen.

Service

De service wordt over het algemeen als goed beschouwd. De installateur is veelal snel ter plaatse en in staat om een storing te verhelpen. In een enkel geval kon de storing niet direct worden verholpen.

Geluid

De warmtepomp en het ventilatiesysteem maken beiden geluid. Dit wordt erg wisselend ervaren. De helft van de bewoners zegt geluidshinder te ondervinden door de warmtepompinstallatie en/of het ventilatiesysteem.

Energiekosten

Alle bewoners hebben de indruk dat de elektriciteitskosten erg hoog zijn en dat er geen besparing op energiekosten wordt gerealiseerd. Echter wordt ook genoemd dat een vergelijking hiervoor moeilijk is te maken ten opzichte van de oude woningen van de bewoners. Enkele bewoners noemen dat het gasverbruik waarschijnlijk lager is.

Koeling

Het effect van koeling wordt over het algemeen beperkt genoemd. 7 van de 10 bewoners merken geen of weinig effect. Opgemerkt moet worden dat veel van deze woningen geen zonwering hebben. Hieruit kan worden geconcludeerd dat de koeling van lucht alleen effectief is wanneer het gepaard gaat met efficiënte zonwering. Het koelvermogen van het koelsysteem is te beperkt om ook de ingestraalde zonnewarmte weg te koelen.

Overig

De installatie wordt in het algemeen te groot bevonden en lelijk afgewerkt. De meeste bewoners vrezen dat het onderhoud extra geld gaat kosten en er zijn vraagtekens over garantietermijnen en kostenafwikkeling. Een aantal bewoners is (zeer) ontevreden over hun warmtepomp en hadden deze liever niet in de woning gehad. Er bestaat de mogelijkheid dat een aantal bewoners de warmtepomp in de toekomst zal uitschakelen vanwege de hoge kosten en vele storingen.

6. ANALYSE VAN MEETGEGEVENS

Allereerst worden de meetgegevens besproken die betrekking hebben op de warmtepompen. Daarna komen de besparingen aan de orde en hoe deze besparingen financieel uitpakken met betrekking tot de energiekosten.

6.1 Kwaliteit van de warmtepompen

Zoals aangegeven in paragraaf 4.1, kan de prestatie van een warmtepomp worden uitgedrukt in de COP. Deze COP is afhankelijk van het temperatuurverschil over de warmtepomp, ofwel het temperatuurverschil tussen bron en cv. Aangezien deze temperaturen voor de verschillende woningen anders zijn, is het niet eerlijk de gemeten COP's te vergelijken en hieruit een conclusie te trekken over de kwaliteit van de warmtepompen. De kwaliteit van een warmtepomp kan worden bepaald door een vergelijking tussen de hoogst haalbare COP en de gemeten COP. De theoretisch hoogst haalbare COP kan worden berekend door de volgende vergelijking:

$$COP_{MAX} = \frac{T_{wp_uit} [K]}{T_{wp_uit} - T_{bron_uit}}$$

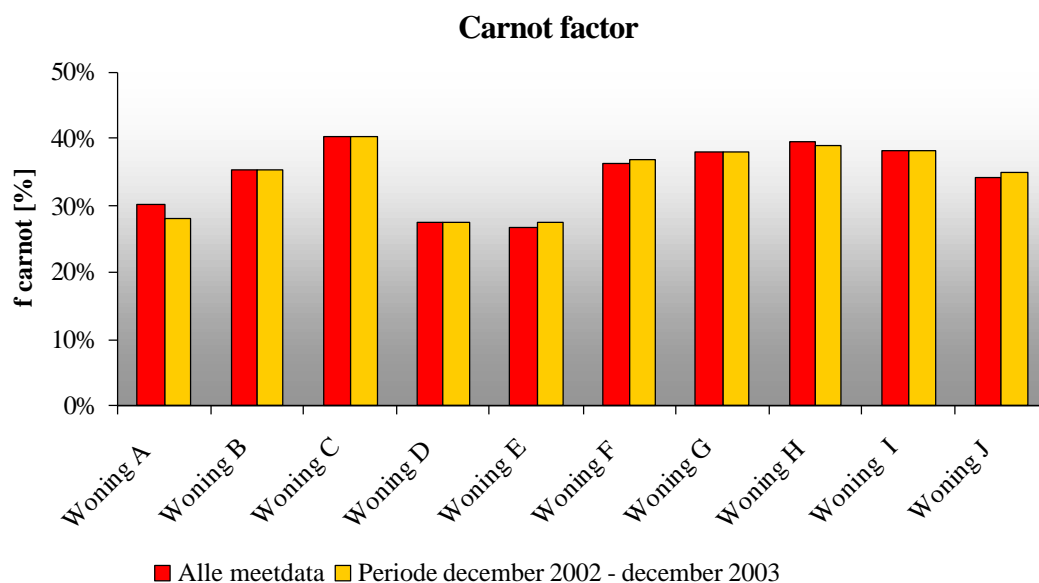
Vergelijking 5: bepaling van de COP_{MAX}

Door de gemeten COP te delen door COP_{MAX} kan een goede indruk gekregen worden van de kwaliteit van de warmtepomp. Dit wordt de Carnot factor van de warmtepomp genoemd.

$$f_{carnot} = \frac{COP}{COP_{MAX}}$$

Vergelijking 6: bepaling van de Carnot factor

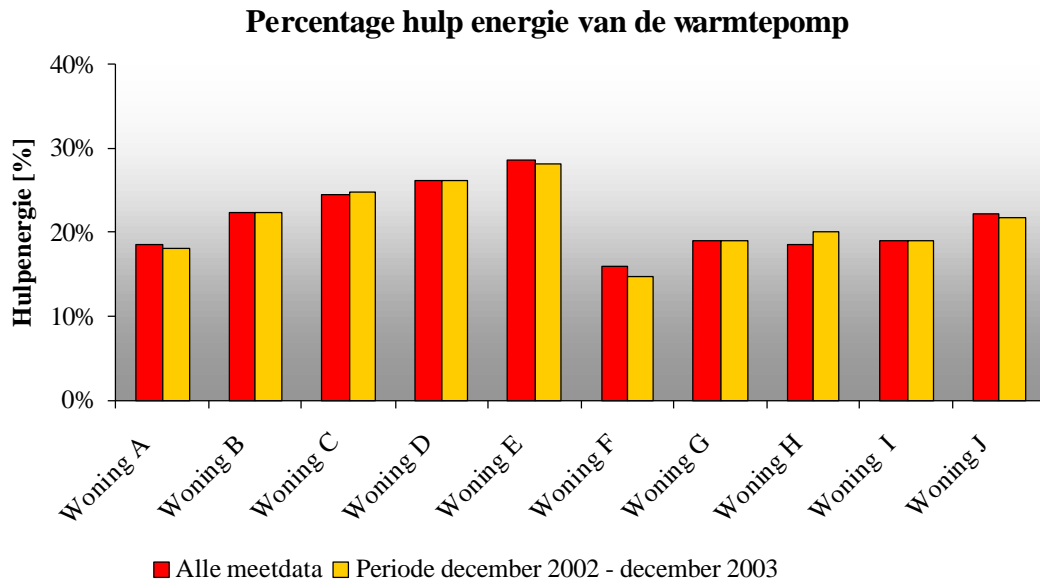
Onderstaande grafiek toont de gemeten Carnot factor van de warmtepompen.



Figuur 12: Gemeten carnot factoren

Gemiddeld bedraagt de gemeten Carnot factor 35%. De warmtepomp in woning E heeft de laagste gemeten Carnot factor van 27%, woning C de hoogste met 40%.

Of een warmtepomp zelf ook zuinig omgaat met energie, kan worden beoordeeld aan de hand van de gebruikte hoeveelheid hulpenergie. In één geval is gemeten dat maar liefst 30% van de elektrische energie die de warmtepomp gebruikt hulpenergie is. Onder hulpenergie wordt verstaan: alle energie die de warmtepomp nodig heeft voor zijn functioneren, behalve de energie voor de compressor. Dit is de energie benodigd voor regeling, cv pomp, bronpomp en aansturing van kleppen. De volgende grafiek geeft een overzicht van de gebruikte hoeveelheid hulpenergie van de warmtepompen.



Figuur 13: Percentage hulpenergie van de warmtepompen

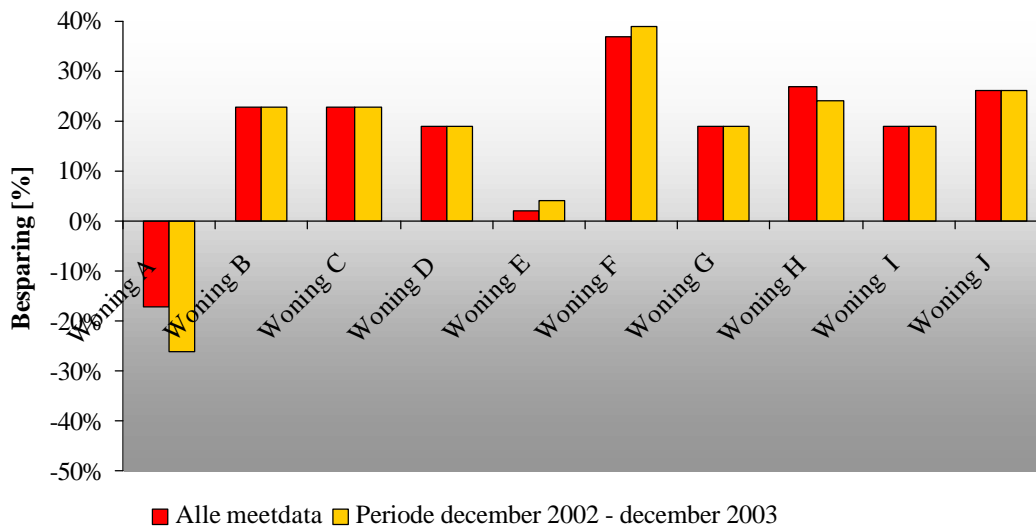
Woning F gebruikt de minste hoeveelheid hulpenergie. Dit is ook de woning waarin de PER het hoogst is, ofwel; het cv-systeem is hier het meest energiezuinig.

6.2 CO₂ besparing en energiekosten

Om een uitspraak te doen over de behaalde CO₂ besparing zal een referentiesituatie gekozen moeten worden. Hiervoor is de situatie gekozen dat alleen warmte wordt opgewekt met een gasgestookte HR-ketel (rendement 100%). Hiervoor dient echter wel de opmerking gemaakt te worden dat een dergelijk systeem minder hulpenergie nodig heeft, maar daar staat tegenover dat de warmtepomp (gratis) warmte onttrekt aan de bodem die het meergebruik aan hulpenergie minstens moet compenseren. Alleen dán is een warmtepomp vanuit milieuoogpunt interessant. Gemiddeld kan worden gesteld dat de CO₂ winst 18% is, uitgaande van het gegeven dat alle benodigde elektriciteit 'grijze' stroom is. Dat wil zeggen dat het rendement voor elektriciteitsopwekking is gebaseerd op het verbranden van fossiele brandstof in een elektriciteitscentrale. Rendement van omzetting van fossiele brandstof naar elektriciteit inclusief transport bedraagt in deze berekening 39%. Wordt woning A buiten beschouwing gelaten, bedraagt het gemiddelde 22%. Figuur 14 laat de milieuwinst zien. Negatieve waarden hierin betekenen een hogere uitstoot van CO₂ dan in het gestelde referentiescenario.

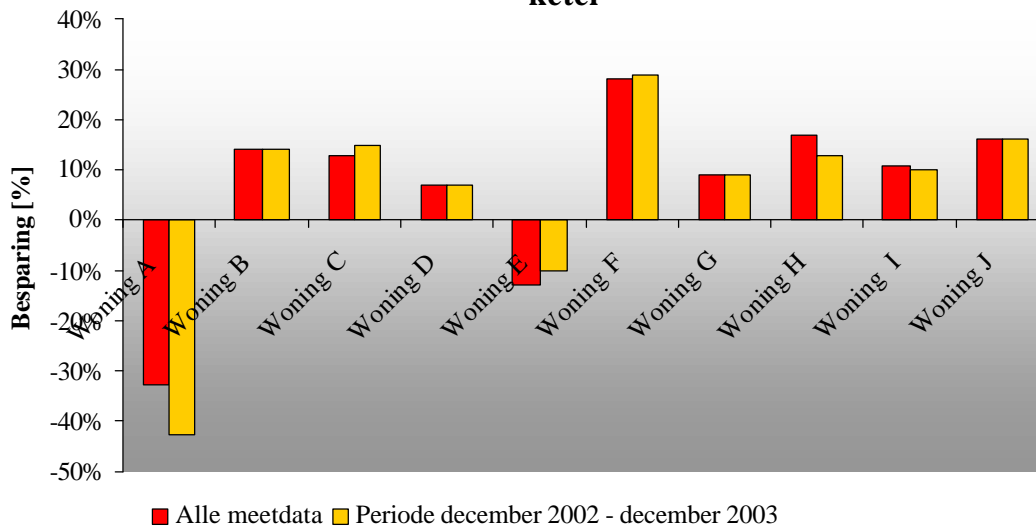
Ook is een vergelijking gemaakt tussen de energiekosten in het geval dat alleen een HR-ketel toegepast wordt en het gerealiseerde systeem met een warmtepomp. Hierbij zijn de tarieven aangehouden van de energieleverancier voor deze woningen d.d. november 2003. Gemiddeld bedraagt de besparing op energiekosten 7%. Wordt woning A buiten beschouwing gelaten bedraagt dit 11%.

CO2 besparing tov een situatie met alleen een gasgestookte hr-ketel



Figuur 14: CO₂ besparing ten opzichte van een situatie met gasgestookte HR-ketel

Kosten besparing tov een situatie met alleen een gasgestookte hr-ketel



Figuur 15: Kosten besparing ten opzichte van een situatie met gasgestookte HR-ketel

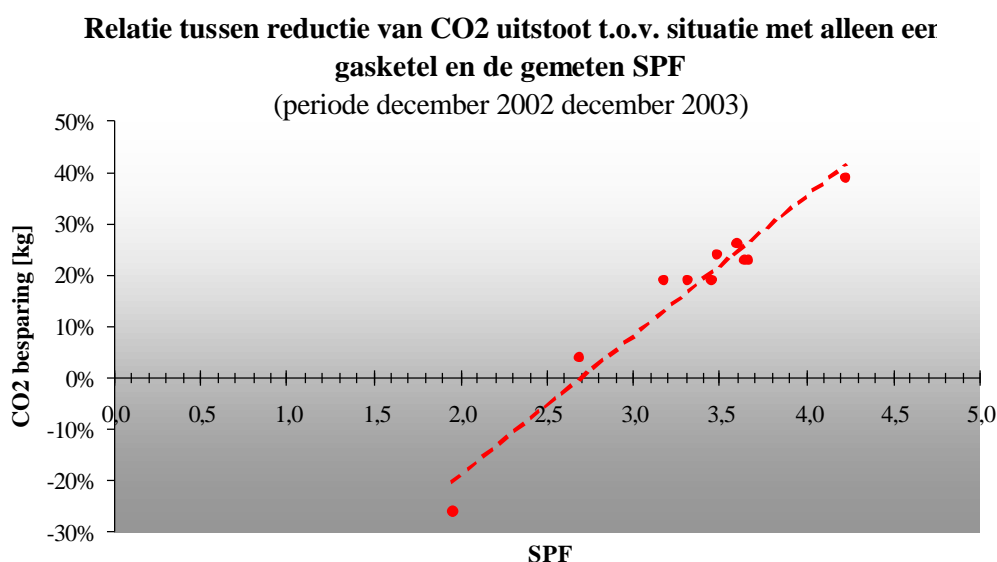
6.3 Installatietechnische problemen

Door de installateur is genoemd dat in woning E een sensor, behorende aan het warmtepompsysteem, afwijkend is geplaatst waardoor de warmtepomp onregelmatig schakelgedrag is gaan vertonen. Het gaat hierbij vermoedelijk om een sensor die de buitentemperatuur meet. Dit heeft negatieve gevolgen voor de prestaties van de warmtepomp. Verder bleek in een aantal gevallen vervuiling van filters in het cv-systeem een probleem. Hierdoor neemt de flow van cv-water door de warmtepomp af waardoor het systeem nadelig wordt beïnvloed.

7. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Met beschikbare meetdata is voor tien warmtepompsystemen een energie-analyse gemaakt. Deze analyse geeft een representatief beeld van het functioneren van de warmtepompsystemen in de periode vanaf mei 2002 tot december 2003.

Uit de resultaten van de metingen volgt dat het systeem in woning F het beste functioneert. De CO₂ winst bedraagt bij de best functionerende installatie rond de 38% ten opzichte van een referentie situatie waarbij de geleverde warmte alleen door een gasgestookte HR-ketel geleverd wordt. Bij de slechtst functionerende installatie was de CO₂ uitstoot in de periode december 2002 - december 2003 26% hoger dan in de referentie situatie. Het gaat hierbij om een systeem dat niet goed functioneert. De grafiek hieronder toont de relatie tussen behaalde besparing op CO₂ uitstoot en gemeten SPF.



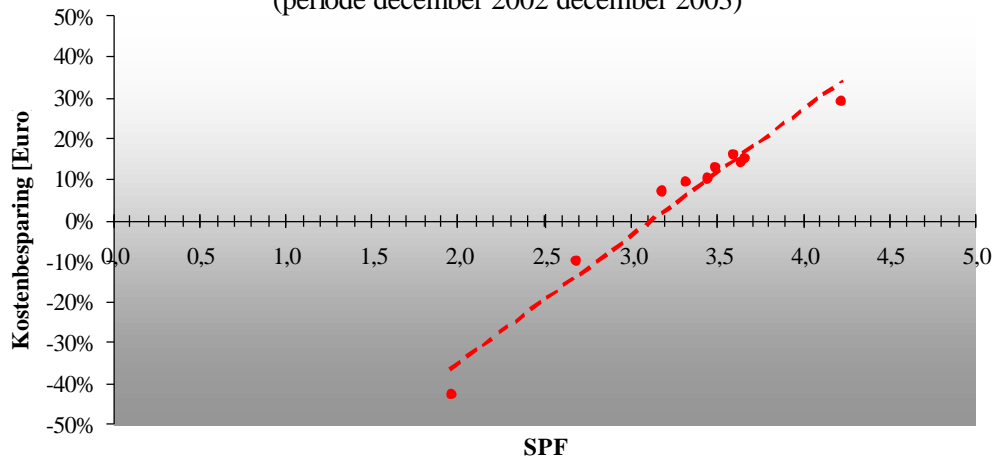
Figuur 16: Relatie tussen reductie van CO₂ uitstoot t.o.v. situatie met alleen een gasketel en de gemeten SPF

Uit bovenstaande grafiek kan worden afgelezen dat normaal gesproken gemiddeld een Seasonal Performance Factor van 2,7 gehaald moet worden om milieuwinst te realiseren ten opzichte van de referentie situatie. Bij negen systemen was dit het geval. Voor de tien systemen geldt een gemiddeld behaalde CO₂ reductie van ca. 18%.

Om de energiekosten te vergelijken is ook uitgegaan van een referentie situatie waarbij de geleverde warmte door een gasgestookte HR-ketel wordt verzorgd. Hiervoor zijn de tarieven voor gas en elektriciteit uit november 2002 gebruikt. De tarieven zijn afkomstig van de energieleverancier van de bewoners. De warmtepompen zullen tenminste een SPF moeten halen van 3,1 om lagere energiekosten met zich mee te brengen dan de referentie situatie. Voor acht systemen was dit het geval.

Bespaarde energiekosten t.o.v. situatie met alleen een gasketel versus SPF

(periode december 2002 december 2003)



Figuur 17: Relatie tussen uitgespaarde energiekosten t.o.v. situatie met alleen een gasketel en de gemeten SPF

Uit de metingen blijkt dat de meeste installaties wel leiden tot verlaging van de energiekosten, al hebben de meeste bewoners het gevoel dat dit niet zo is. Een enkeling heeft genoemd dat de kosten voor het gasverbruik lager zijn, maar dit lijkt minder zwaar te wegen dan de extra kostenpost voor elektriciteit. Ondanks het feit dat de metingen aantonen dat het overgrote deel van de warmtepompsystemen naar behoren functioneert, zijn de bewoners erg kritisch over de warmtepompsystemen. De belangrijkste redenen voor de ontevredenheid zijn;

- het ontbreken van een regelbare kamerthermostaat
- veelvuldig optredende storingen
- het niet bereiken van het gewenste comfort
- complexe regelbaarheid
- hoge energiekosten
- lelijke en slecht afgewerkte installatie

Uit de meetgegevens is gebleken dat de ingeblazen lucht in warme zomerperioden door middel van het koelsysteem ca. 8°C afgekoeld kan worden. De gemeten koelvermogens liggen tussen de 0,5 en 1 kW. De meeste bewoners (7 van de 10) merken geen of weinig effect van koeling. De overige 3 woningen ervaren wel enig effect van het koelsysteem.

Het systeem in woning F functioneert het beste. Waarom andere systemen minder presteren kan niet direct gezegd worden. Hiervoor is een uitvoerige analyse nodig die niet binnen de doelstelling van het monitoringsproject volgens de SOM-WP valt. Wel is duidelijk geworden dat in een aantal gevallen de cv-zijdige filters erg zijn vervuild doordat deze niet gereinigd zijn. Hierdoor neemt de flow over de warmtepomp af, wat het functioneren nadelig beïnvloedt. Verder bleek dat in woning E een sensor, behorende aan het warmtepompsysteem, afwijkend is geplaatst waardoor de warmtepomp onregelmatig schakelgedrag is gaan vertonen. Dit heeft een negatieve invloed op de prestaties van de warmtepomp. Verder is een overzicht gemaakt van de gemeten cv-temperaturen in de systemen (zie bijlage C). Hieruit valt op te maken dat de maximale cv-water temperatuur in woning F maximaal 34°C is en dat de warmtepomp gelijkmatig schakelgedrag (aan/uit) vertoont. Dat systemen in de andere woningen minder goed functioneren wordt mogelijk veroorzaakt doordat het systeem hydraulisch niet correct is ingeregeld. Een mogelijkheid tot het verbeteren van de systemen kan bestaan uit het overnemen van de instellingen van de warmtepomp in woning F in de andere systemen. Een aanpassing in de regeling waarmee de radiatoren onafhankelijk van het vloerverwarmingssysteem en de warmtepomp geregeld kunnen worden, voorziet in de behoefte van betere regelbaarheid voor de

bewoners. Dit vereist overigens wel aanpassingen in het leidingwerk. In ECN rapport 'Installatieconcept voor villa's in het Burgemeester Kootpark te Uithoorn' (rapport nr. ECN-C--00-072) staat een systeem beschreven waarmee dit gerealiseerd kan worden.

Verder kan een uitvoerige analyse van de meetdata in samenwerking met de installateur leiden tot een aantal verbeterpunten voor de warmtepompsystemen (positie buitentemperatuursensor, instellingen stooklijn etc.). Het uitvoeren van deze verbeterpunten in de woningen en daarna monitoren van de resultaten kan dan vervolgens leiden tot het samenstellen van een aantal vuistregels voor het toepassen van warmtepompsystemen. De meeste bewoners staan ook positief tegenover deze exercitie en de meetinfrastructuur is aanwezig om dit uit te voeren.

BIJLAGE A BEWONERSENQUÊTE

Algemene gegevens	
Naam	
Bewoner huidige woning sinds/...../.....
Wat voor verwarmingsinstallatie had u in uw vorige woning ?	HR-ketel / VR-ketel / warmtepomp / geiser / kachel / open haard / elektrische boiler / anders:
Wat voor warmteafgiftesysteem had u in uw vorige woning ?	radiatoren / vloerverwarming / wandverwarming / luchtverwarming
Had u in uw woning een koelinstallatie ?	ja / nee

Gebruiksomstandigheden		
Aantal bewonersvolwassenenkinderen
Hoeveel personen zijn normaal gesproken thuis?	ochtend:volwassenen middag:volwassenen avond:volwassenenkinderenkinderenkinderen
Op welke temperaturen stelt u globaal de thermostaat in?	ochtend:°C middag:°C avond:°C nacht:°C	
Worden de slaapkamers ook regelmatig verwarmd? Hoe vaak?		

Gebruikservaringen	
Hoe bent u geïnstrueerd over het gebruik van uw installatie?	
Voldoet de installatie voor wat betreft ruimteverwarming aan uw comforteisen?	
Voldoet de installatie voor wat betreft warm water aan uw comforteisen?	
Wat vindt u van het bedieningsgemak van de installatie?	
Wat vindt u van de regelbaarheid van de installatie?	
Is de installatie betrouwbaar?	

Hoe vaak zijn er storingen opgetreden?	
Hoe ervaart u de service van de leverancier / installateur?	
Hoe ervaart u het geluid van de installatie?	
Heeft u de indruk dat u op energiekosten bespaart?	
Wat vindt u van het ventilatiesysteem?	
Hoe ervaart u het effect van koeling via de ventilatielucht?	
Heeft u nog aanpassingen aan uw woning of installatie gedaan na oplevering van de woning?	
Neemt u groene stroom af?	
Heeft u nog andere opmerkingen betreffende uw installatie?	

Informatie over het monitoringsproject	
Hoe bent u op de hoogte gesteld van het feit dat uw systeem geëvalueerd zou worden?	
Heeft u hinder ondervonden van het monitoringsproject?	
Heeft u nog andere opmerkingen?	

BIJLAGE B OVERZICHT GEGEVENS UIT ENQUETE

bewoner huidige woning sinds	woning J: eind augustus 2002 woning A: 16 september 2002 woning D: 28 oktober 2002 woning F: 31 oktober 2002 woning E: 1 december 2002 woning C: 2 december 2002 woning B: 15 januari 2003 woning H: 28 januari 2003 woning I: 20 februari 2003 woning G: 7 maart 2003
------------------------------	---

	HR-ketel	VR-ketel	overig
type verwarmingsinstallatie in vorige woning	5 woningen: A, C, E, I, J	4 woningen: B, D, F, G	- woning A: combi HR-ketel met zonneboiler - woning H centrale VR-ketel

	radiatoren	combinatie vloerverwarming en radiatoren
type warmte-afgiftesysteem in vorige woning	6 woningen: A, D, J, F, G, H	4 woningen: B, C, E, I

	ja	nee
koelinstallatie aanwezig in vorige woning	-	10 woningen

Gebruiksomstandigheden

	Aantal bewoners	wanneer thuis		
		ochtend	middag	avond
woning A	2 volwassenen + 2 kinderen	1 volw+1 kind	1 volw+1 kind	2volw+2kind
woning B	2 volwassenen + 2 kinderen	-	-	2volw+2kind
woning C	4 volwassenen + 1 kinderen	1 volw+1 kind	-	4volw+1kind
woning D	2 volwassenen + 3 kinderen	1 volw	1 volw+1 kind	2volw+3kind
woning E	2 volwassenen + 0 kinderen	-	-	2volw.
woning F	2 volwassenen + 2 kinderen	1 volw+1 kind	1 volw+2 kind	2volw+2kind
woning G	2 volwassenen + 2 kinderen	1 volw+1 kind	1 volw+1 kind	2volw+2kind
woning H	1 volwassenen + 0 kinderen	-	-	1 volw
woning I	2 volwassenen + 2 kinderen	1 volw	-	2volw+2kind
woning J	2 volwassenen + 2 kinderen	1 volw	1 volw	2volw+2kind

Thermostaatinstellingen en verwarming van de slaapkamers

De thermostaat kan niet ingesteld worden, alleen via de warmtepomp is aanpassing in ruimtetemperatuur mogelijk. Van de woningen A, B en C is de ruimtetemperatuur-instelling bekend en ligt rond de 21°C - 22°C. De slaapkamers worden in alle woningen verwarmd via lage temperatuur (LT)-radiatoren met thermostaat en/ of vloerverwarming. In woning H staan alleen de radiatoren op de studeerkamer en op zolder aan. In woning I worden de slaapkamers niet verwarmd volgens de bewoners.

Gebruikservaringen

Hoe zijn de bewoners geïnstrueerd over het gebruik van de installatie:

De meeste bewoners geven aan minimaal/slecht te zijn geïnformeerd over specifiek gebruik van de installatie en dat meer instructie over de warmtepomp en vloerverwarmingssysteem wenselijk is. Er is wel een informatieavond geweest waarin globaal wat over de installatie verteld is. Daarnaast is bij een aantal woningen bij oplevering van de woning enige mondelinge uitleg geweest over de installatie door de installateur. De bewoners van woning G hebben geen idee hoe de warmtepomp te regelen is wanneer het buiten echt koud wordt en dat het onduidelijk is of de installatie goed is ingesteld. Bij sommige woningen is de installateur langs geweest om uitleg te geven over het systeem. Verder maken de bewoners bij bediening van de warmtepomp gebruik van het instructieboekje/gebruiksaanwijzing. Een aantal bewoners geeft aan dat de handleiding moeilijk te begrijpen is (te technisch). Zo is bijvoorbeeld het principe van de stooklijn niet duidelijk voor veel bewoners. Bewoners van woning J geven aan dat ze de warmtepomp bewust niet teveel inregelen en dat ze achteraf pas te horen kregen dat de installatie 'experimenteel' was.

Voldoet de installatie voor wat betreft ruimteverwarming aan de comforteisen van de bewoners:

De bewoners van woning A melden dat de slaapkamers helaas ook verwarmd moeten worden vanwege een te hoge retourtemperatuur die anders optreedt. Deze maatregel voorkomt dat de warmtepomp in storing gaat. In het najaar is het 's middags te warm in deze woning, terwijl het 's avonds te kil wordt. In woning B is de temperatuur op de benedenverdieping voldoende en lijkt het op de bovenverdieping wat kil, terwijl de radiatoren op de hoogste stand worden gezet. De woonkamer in woning C is behaaglijk, echter de slaapkamers worden niet warmer dan 18°C. De zolder en werkkamer worden met name als onbehaaglijk koud ervaren. De bewoners van woning D vinden de ruimteverwarming redelijk, het duurt wel veel te lang voordat de woning is opgewarmd. De bewoners van woning E zijn tevreden over de ruimteverwarming. In woning F is de temperatuur in de badkamer niet behaaglijk, de designradiator wordt niet warm. De vloerverwarming voelt volgens de bewoners niet warm aan en het bereiken van de ingestelde temperatuur gaat traag. De bewoners vinden het binnenklimaat wel prettig aanvoelen en een voordeel van het vloerverwarmingssysteem is volgens de bewoners de afwezigheid van de maffe luchtjes. De bewoners van woning G vinden de ruimteverwarming redelijk. In woning H zijn de tussendeuren in de woning verwijderd, hierdoor is er soms sprake van een koude stroming/ trek door de woning. De benedenverdieping van woning I is te koud, hierover is al contact opgenomen met de installateur. De bovenverdieping voldoet wel aan de comforteisen. In woning J is de ruimtetemperatuur soms onbehaaglijk laag (ca. 16°C) en zijn de slaapkamers aan de noordkant koud. De bewoners merken op dat de warmtepomp in 2002 pas laat in het najaar aanging en hoe kouder het buiten is, hoe beter het binnenklimaat wordt.

Voldoet de installatie voor wat betreft warm water aan de comforteisen van de bewoners:

De installatie voor warm water voldoet goed bij alle woningen. De bewoners van woning E vinden echter wel dat het lang duurt voordat het warme water beneden is.

Hoe is het bedieningsgemak van de installatie volgens de bewoners:

Het bedieningsgemak van de installatie wordt wisselend ervaren. Sommige bewoners hebben zich verdiept in de technische gebruikshandleiding en kunnen hierna de installatie zelf in beperkte mate regelen. Andere bewoners vinden de bediening redelijk lastig, vanwege de zeer uitgebreide menukeuze van de warmtepomp en de technische onbekendheid van het systeem. De meeste bewoners wijzigen in de warmtepomp alleen de kamertemperatuur.

Hoe is de regelbaarheid van de installatie volgens de bewoners:

De regelbaarheid van een warmtepompsysteem wordt traag en beperkt ervaren door de bewoners. De installatie wordt alleen op de temperatuur in de woonkamer geregeld; een aparte temperatuurinstelling voor de overige ruimtes is niet mogelijk. Verder is er geen eenvoudig te bedienen thermostaat aanwezig, wat voor sommige bewoners een groot gemis is. De bewoners

dienen dus voor een wijziging in de ruimtetemperatuur naar de warmtepomp op zolder te gaan. De bewoners van woning B merken op dat wanneer in de woning intensief gewerkt wordt, het al snel te warm in de ruimte wordt en het te lang duurt voordat de temperatuur in de woning is afgekoeld.

Is de installatie betrouwbaar en zijn er vaak storingen opgetreden:

De installatie is volgens de meeste bewoners redelijk betrouwbaar, echter hebben alle warmtepompsystemen in meer of mindere mate te maken gehad met veel verschillende soorten storingen. Een generaal veel voorkomend probleem bij deze warmtepomp installatie is dat wanneer de koelknop in stand 'aan' staat en een spanningsuitval plaatsvindt, de warmtepomp in storing raakt (error modus). De koelknop moet in de 'uit' stand staan om de storing te verhelpen. Hieronder volgen de meeste storingen die volgens de bewoners zijn opgetreden:

- Woning A: heel veel storingen van de warmtepomp; te hoge retourtemperatuur, te hoge druk, te lage druk, aanwezigheid lekkage en ontbreken van een klep waardoor er geen koeling mogelijk was.
- Woning B: alleen in beginperiode storing van de warmtepomp door lucht in de leiding.
- Woning C: 2 storingen opgetreden, waarvan 1 storing door een bedieningsfout.
- Woning D: kapotte printplaat die de vlinderklep naar vloerverwarming aanstuurt.
- Woning E: storing opgetreden in warmtepomp na stroomstoring (koelknop).
- Woning F: storing doordat ruimteverwarming 1e verdieping niet correct was aangesloten en een storing doordat systeem niet goed is afgevuld. Daarnaast is de koelknop verkeerd aangesloten door verkeerde relaisaansluiting van de pompen.
- Woning G: alleen in beginperiode zijn enige storingen opgetreden.
- Woning H: redelijk veel storingen door verkeerd gemonteerde pompen, relais van koelknop verkeerd aangesloten, druk in systeem loopt steeds terug, warm waterleiding niet correct aangelegd.
- Woning I: installatie niet betrouwbaar door de vele storingen van de warmtepomp. In totaal al 12 à 13 storingen opgetreden, geen oplossing voor de storingen voorhanden.
- Woning J: twee storingen in het eerste halve jaar. Problemen gehad met bronsysteem van warmtepomp.

Hoe wordt de service van de leverancier/ installateur ervaren door de bewoners:

De meeste bewoners vinden dat de installateur snel ter plaatse is bij een storing. De installateur is meestal in staat de storing te verhelpen, echter volgens de bewoners is de installateur niet erg goed bekend met het systeem vanwege het vaak moeten raadplegen van de bijbehorende documentatie. Een aantal bewoners vindt de uitleg over het systeem erg summier, vooral voor niet-technische personen. Een korte praktische handleiding en/of meer mondelinge uitleg is gewenst. Volgens de bewoners van woning D kan er geen service op het gehele systeem door één partij worden geleverd, wegens gebrek aan kennis. De bewoners van woning F vinden de service niet echt goed, vanwege het afschuiven van verantwoordelijkheden van de installateur bij problemen. De bewoners van woning H zijn niet tevreden over de service van de installateur; vaak duurt het langer dan een week voordat er iemand langs komt en één keer duurde het zelfs drie weken voordat de storing verholpen werd. Daarnaast kan de installateur het probleem niet altijd oplossen hetgeen de bewoners vervelend en jammer vinden. Ook de bewoners van woning I zijn zeer ontevreden over de installateur, storingen worden niet goed verholpen waardoor het binnenklimaat zeer onaangenaam ervaren wordt.

Hoe wordt het geluid van de installatie ervaren door de bewoners:

De bewoners van vijf woningen (woning A, C, E, F en I) blijken geen geluidshinder te ondervinden van de warmtepomp of het ventilatiesysteem. Wel is de installatie enigszins hoorbaar in de woning. Geluid van het ventilatiesysteem wordt door de bewoners van woning B en J als storend ervaren, het geluid van de warmtepomp is daarentegen acceptabel. De bewoners van woning D en H vinden dat zowel het warmtepompsysteem als het ventilatiesysteem te veel geluid produceren. De bewoners van woning G ondervinden vooral 's nachts veel last van de warmtepomp en vinden het geluid van het ventilatiesysteem acceptabel.

Hebben de bewoners de indruk dat op energiekosten bespaard wordt:

Alle bewoners hebben de indruk dat het elektriciteitsverbruik erg hoog is en dat er geen besparing op energiekosten is bij toepassing van een warmtepomp. Het is voor de bewoners echter moeilijk een indruk te krijgen van energiebesparing door het verschil in inhoud tussen de oude woning (met gasketel) en nieuwe woning (met warmtepomp). Sommige bewoners merken wel op dat het gasverbruik waarschijnlijk lager is.

Wat vinden de bewoners van het ventilatiesysteem:

De helft van de ondervraagde bewoners vindt het ventilatiesysteem naar behoren functioneren. De bewoner van woning H heeft last van enige stankoverlast doordat de ingang van de ventilatiekanalen vlakbij de schoorsteen van de burens is geplaatst. De bewoners van woning A en B vinden de lucht erg droog, benauwd (vooral in de winter). Vaak wordt er eveneens een raam of deur geopend in de woningen. De bewoners van woning B vragen zich af of de verversingscapaciteit wel voldoende is voor de inhoud van de woning. De bewoners van woning D vinden de warmteterugwinunit een zeer grote en onhandige kast. De afzuiging van de doucheruimte is volgens de bewoners van woning J onvoldoende. Bij sommige bewoners bestond onduidelijkheid bij welke positie van de koelknop de koeling werd geactiveerd.

Hoe ervaren de bewoners het effect van koeling via de ventilatielucht:

De bewoners van zeven woningen merken geen of weinig effect van de koeling. Vier woningen hiervan hebben nog geen zonwering aangebracht, van de andere woningen is het onbekend. De overige drie woningen (woning B, C en I) merken wel enig effect van een lichte luchtkoeling, mits alle deuren en ramen verder gesloten zijn en de zonwering omlaag staat. De bewoners van woning D zijn van oordeel dat de capaciteit van de luchtkoeling te beperkt is om ook maar 0,3°C te koelen.

Hebben de bewoners nog aanpassingen aan de woning of installatie gedaan na oplevering:

woning A: kleine uitbouw in woonkamer, geen zonwering
woning B: verwarmde garage, open haard in woonkamer, zonwering aanwezig
woning C: aangebouwde serre met veel glas, sfeerverwarming (gas), toilet in bergingsruimte met vloerverwarming, 240 liter boiler, elektrisch koken, zonwering aanwezig
woning D: geen aanpassingen
woning E: gashaard, elektrische vloerverwarming in de badkamer, geen zonwering
woning F: elektrische boiler in de keuken, extra binnenmuren, geen zonwering
woning G: buitenvoeler verplaatst, gashaard, designradiator en elektrische vloerverwarming in badkamer.
woning H: binnendeuren uit woning gehaald, stuk van de vliering tussen woonkamer en slaapkamer weggehaald, kleine uitbouw in woonkamer, geen zonwering.
woning I: open haard in woonkamer, woonkamer uitgebouwd en extra vloerverwarming aangelegd.
woning J: serre met geïsoleerd (HR) glas

Nemen de bewoners groene stroom af:

De bewonders van woningen C, E, F en H nemen groene stroom af.

Overige opmerkingen van de bewoners betreffende de installatie:

De meeste bewoners vinden de warmtepomp en opstelling lelijk en groot. De isolatie lijkt soms niet goed te zijn aangebracht vanwege de roestplekken op de koude leidingen. Verder zijn er in woning I open en strak gespannen elektriciteitsdraden (220V) zichtbaar en is het leidingwerk en isolatie onprofessioneel aangelegd volgens de bewoners.

De bewoners vermoeden dat het onderhoud extra geld vraagt en dat de vervangbaarheid van de installatie in de toekomst hoge kosten met zich meebrengt. Ook bestaat er bij de bewoners onduidelijkheid over garantietermijnen en eventuele kostenafwikkeling.

Sommige bewoners zouden graag betrokken zijn geweest tijdens het voorontwerp van de installatie en betreuren het dat er geen overleg is geweest met de eigenaren van de woning.

Een aantal bewoners zijn (zeer) ontevreden over hun warmtepomp en hadden deze liever niet in hun woning gehad. Na de vele storingen en de hoge elektriciteitsrekening zullen sommige bewoners in de toekomst misschien besluiten om de warmtepomp uit te schakelen en de HR-ketel in te zetten voor ruimteverwarming aangezien ze hiermee geen concessies doen aan het binnenklimaat.

Hoe zijn de bewoners op de hoogte gesteld van het monitoringsproject:

De meeste bewoners hebben een informatieavond van UBA gevolgd waarin gesproken werd over het monitoringsproject. Daarnaast is een brief naar de bewoners gestuurd door UBA bij aankoop van de woning en is naderhand een brief door ECN verstuurd.

Hebben de bewoners hinder ondervonden van het monitoringsproject:

Bij een aantal woningen waren problemen met de privé telefoonaansluiting. Voor KPN was het onduidelijk dat er een zakelijke aansluiting aanwezig was die door ECN betaald werd, terwijl tegelijk ook één of meerdere privé telefoonaansluitingen van de bewoners aanwezig waren in de woning. Hierdoor werd soms door KPN de telefoonlijn van de bewoners of van ECN afgesloten. De bewoners van woning E hebben veel hinder ondervonden van het monitoringsproject doordat de hele straat moest worden opengebrouwen vanwege onvoldoende capaciteit voor twee telefoonaansluitingen. Daarnaast zijn er bij een aantal woningen ook een aantal sensoren defect geraakt, welke vervangen zijn gedurende de meetperiode. De bewoners van woning J hebben de onplezierige indruk dat ze via het monitoringsproject in de gaten gehouden worden door ECN.

BIJLAGE C MEETOVERZICHTEN VAN DE WONINGEN

BIJLAGE D BEPALING VAN BRONVERMOGENS

In de bodemwarmtewisselaar wordt een mengsel van water en glycol toegepast. De thermische eigenschappen van dit mengsel worden hoofdzakelijk bepaald door de mengverhouding van het water en de glycol. Echter, voor het correct functioneren van de warmtemeter is het van belang deze thermische eigenschappen goed te kennen. Helaas verschilt deze mengverhouding in de praktijk van woning tot woning, mede doordat systemen af en toe opnieuw gevuld zijn. De waarden die de warmtemeter in de bron dan aangeeft moet hierdoor kritisch bekeken worden, en zal in de meeste gevallen dus niet de juiste waarden weergeven. Om dit probleem te verhelpen is volgende bewerking uitgevoerd:

De hoeveelheid warmte die door de warmtepomp aan het cv-systeem wordt geleverd, zou ongeveer gelijk moeten zijn aan de som van de warmte die uit de bodem wordt gehaald en de hoeveelheid elektriciteit die de compressor gebruikt. Verliezen in de compressor zullen hierin een kleine afwijking veroorzaken. Door nu de hoeveelheid warmte die aan de bodem is onttrokken te bepalen door het verschil te nemen van de hoeveelheid warmte die de warmtepomp levert en het elektriciteitsgebruik van de compressor, kan toch een goede indicatie worden gegeven van de hoeveelheid warmte die uit de bodem wordt gehaald. Door nu de gemeten waarde door de warmtemeter in de bron te delen op de berekende waarde, kan een correctiefactor worden bepaald. Deze factor wordt gebruikt om de gemeten warmtestromen uit de bron te bepalen. Hiermee kunnen de behaalde koelvermogens worden vastgesteld.