

# Eindverslag IWT-CO-WP-DIRECT (070662)

---

## Inhoud:

**WP 1: Projectbeheer**

**WP 2: Literatuurstudie**

**WP 3: Technologische noden van de bedrijfswereld**

**WP 4: Uitbreiding gebouwbelastingssimulator**

**WP 5: Gedetailleerde labometingen**

**WP 6: Metingen op reële voorbeeldinstallaties**

**WP 7: Computersimulaties en modelvalidatie**

**WP 8: Evaluatie van de SPF-berekeningsmethodiek**

**WP 9: Connectie met EPB**

**WP 10: Uitbreiding van de Code van Goede Praktijk**

**WP 11: Publicatie van artikels**

**WP 12: Studiedagen en workshops**

**WP 13: Website en project CD-ROM**

**Bijlage**

## WP 1: Projectbeheer

Dit werkpakket bestond uit de volgende 3 taken:

*W1-Taak1 : Selectie en aanwerving van het personeel*

*W1-Taak2 : Voortgangsverslagen en bijeenkomsten van de gebruikerscommissie*

*W1-Taak3 : Projectbeheer*

Alle taken zijn zorgvuldig, succesvol afgewerkt. Dankzij deze goede opvolging is de rest van het project ook succesvol afgerond kunnen worden. De voortgangsverslagen van de acht georganiseerde vergaderingen met de gebruikerscommissie werden steeds op het beveiligde deel van de website gepost zodat deze voor de participerende bedrijven steeds te raadplegen waren.

[http://www.warmtepomp.info/Voor\\_Leden.htm](http://www.warmtepomp.info/Voor_Leden.htm)

Login: WPDIRECT

Paswoord: ...

Deze vergaderingen hadden steeds plaats in het De Nayer Instituut en gingen door op volgende data:

- 06/10/2008
- 27/01/2009
- 26/05/2009
- 01/09/2009
- 27/10/2009
- 10/02/2010
- 28/05/2010
- 06/10/2010
- 20/01/2011: eindvergadering

Het verslag van de eindvergadering wordt mee verwerkt met dit eindverslag. Er zal wel een overzicht gemaakt worden van de aanwezigen, opmerkingen, ...

## WP 2: Literatuurstudie

Dit werkpakket bestond uit de volgende 4 taken:

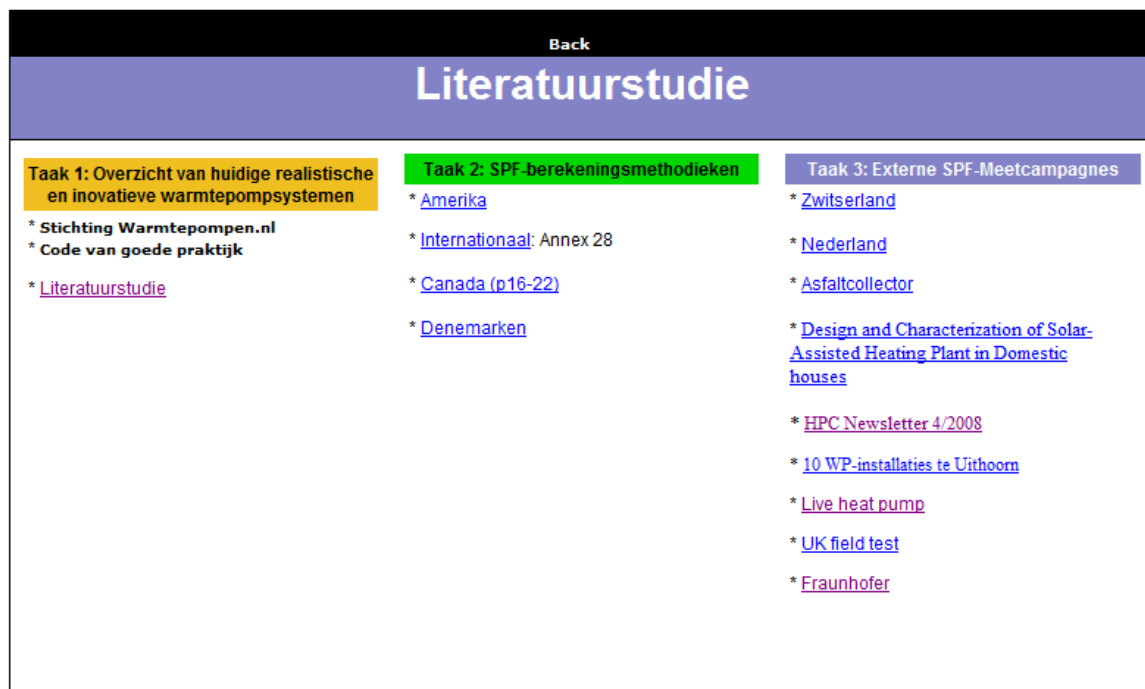
*W2-Taak1 : Overzichtstabel van huidig realistische en innovatieve warmtepompsystemen*

*W2-Taak2 : SPF-berekeningsmethodieken*

*W2-Taak 3 : Externe SPF-meetcampagnes*

*W2-Taak 4 : Literatuur- en informatiedatabank*

Voor dit gehele werkpakket werd een samenvattend document gemaakt. Ook dit is beschikbaar op het beveiligde deel van de website (voor toegang zie WP 1, doorklikken naar “Literatuurstudie + informatiedatabank”). Op deze webpagina worden tevens voor de verschillende taken in dit werkpakket de nodige links geplaatst (Figuur 1: webpagina WP2: Literatuurstudie). Zo vormt deze webpagina een literatuur- en informatiedatabank.



**Figuur 1: webpagina WP2: Literatuurstudie**

Het samenvattend document van dit werkpakket is in [bijlage1](#) toegevoegd.

Op basis van de opgezochte literatuur diende er gekozen te worden voor een SPF-rekenmethodiek. Aangezien tesamen met de start van het project een Europese norm, EN 15316: “Heating systems in buildings - Method for calculation of system energy requirements and system efficiencies - Part 4-2: Space heating generation systems, heat pump systems”, gelanceerd werd, hebben we ons voor de definitie van SPF hierop gebaseerd. In Figuur 2: Systeemgrens SPF-bepaling EN15316 worden de

De SPF wordt gedefinieerd als de som van de thermisch gebruikte warmte voor ruimteverwarming (RV, 12) en sanitair warm water (SWW, 8-13) over de totaal verbruikte elektrische energie (exclusief pomp vloerverwarming (VVW), 11)

- |                                                           |                                                        |
|-----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| 1. Warmtebronsysteem (in dit geval verticale bodemsondes) | 8. SWW warm water uitgang                              |
| 2. Bronpomp                                               | 9. Buffervat voor ruimteverwarming                     |
| 3. Warmtepomp                                             | 10. Ruimteverwarming back up heater                    |
| 4. Pomp voor SWW buffervat                                | 11. Circulatiepomp ruimteverwarming distributiesysteem |
| 5. SWW buffervat                                          | 12. Warmteafgiftesysteem                               |
| 6. SWW back up heater                                     | 13. SWW koud water ingang                              |
| 7. Primaire pomp                                          |                                                        |

**Tabel 1: Default minimum and target values for SPF for heat pump systems employed for space heating and domestic hot water production in new buildings (typical for Central Europe)**

| energy source / sink | minimum value for SPF | target value for SPF |
|----------------------|-----------------------|----------------------|
| air / water          | 2,7                   | 3,0                  |
| ground / water       | 3,5                   | 4,0                  |
| water / water        | 3,8                   | 4,5                  |

4

**Tabel 2: Default minimum and target values for SPF for heat pump systems employed for space heating and domestic hot water production in retrofit buildings (typical for Central Europe)**

| energy source / sink | minimum value for SPF | target value for SPF |
|----------------------|-----------------------|----------------------|
| air / water          | 2,5                   | 2,8                  |
| ground / water       | 3,3                   | 3,7                  |
| water / water        | 3,5                   | 4,2                  |

Tabel 3 geeft dezelfde SPF-waarden weer, maar dan voor warmtepompsystemen die enkel SWW-productie voorzien binnen Centraal Europa.

**Tabel 3: Default minimum and target values for SPF for heat pump systems employed for domestic hot water production only (typical for Central Europe)**

| energy source / sink | minimum value for SPF | target value for SPF |
|----------------------|-----------------------|----------------------|
| air / water          | 2,3                   | 2,8                  |
| ground / water       | 3,0                   | 3,5                  |
| water / water        | 3,2                   | 3,8                  |

## WP 3: Technologische noden van de bedrijfswereld

Dit werkpakket bestond uit de volgende taak:

### *W3-Taak1 : Registratie van de technologische noden van de bedrijven*

Tijdens de eerste maanden van het project werden alle bedrijven die een intentieverklaring ingevuld hadden bezocht. Bij deze bezoeken gingen we volgende zaken na:

- Correcte gegevens van de contactpersoon(en)
- In welke sector het bedrijf actief is
- In welke mate ze een interessante field test ter beschikking hadden en in hoeverre ze bereid waren om hiervoor bij te dragen.
- Welke mogelijkheden er waren voor een bijdrage aan de labometingen
- Andere opmerkingen:
  - o Welke zaken moeten in de spf-berekeningsmethodiek opgenomen worden
  - o Welke verwachtingen heeft het bedrijf voor dit project

Van elk bedrijfsbezoek werd een rapport opgesteld zodat achteraf hierop kon teruggekomen worden indien nodig. Deze documenten worden niet publiek gemaakt, sommige info ligt immers gevoelig.

Volgende bedrijven werden in deze fase van het project bezocht. (in het **vet** de bedrijven die uiteindelijk een financiële bijdrage leverden aan het project en dus uitgenodigd werden op de volgende GC-vergaderingen):

- |                                |                       |
|--------------------------------|-----------------------|
| - 3 E                          | - Verbeke geotechniek |
| - <b>Accubel</b>               | - <b>Viessmann</b>    |
| - <b>Airwell/Camair</b>        |                       |
| - <b>Belklima</b>              |                       |
| - Buderus                      |                       |
| - Cloet koeltechniek           |                       |
| - Coolair                      |                       |
| - <b>Daikin</b>                |                       |
| - <b>GEBO</b>                  |                       |
| - Geoservices                  |                       |
| - <b>Geotherma</b>             |                       |
| - Heliotherm                   |                       |
| - <b>Izen</b>                  |                       |
| - <b>Klimaterra</b>            |                       |
| - <b>Laborelec</b>             |                       |
| - <b>LT suntec</b>             |                       |
| - <b>Masser</b>                |                       |
| - Nathan import/export         |                       |
| - <b>Putboringen Verheyden</b> |                       |
| - <b>Sibomat</b>               |                       |
| - <b>Stiebel Eltron</b>        |                       |
| - The heating company          |                       |
| - <b>Thercon</b>               |                       |

## WP 4: Uitbreiding van de gebouwbelastingssimulator

Dit werkpakket bestond uit de volgende 4 taken:

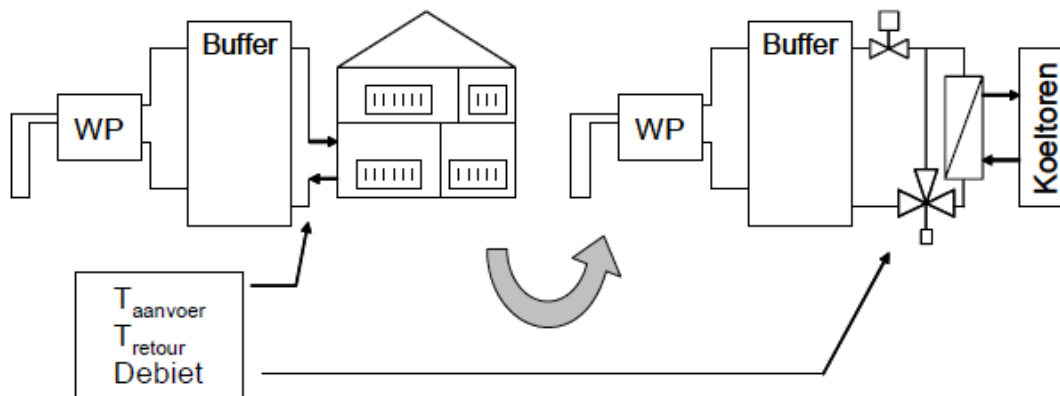
*W4-Taak 1 : Uitbreiding van de belastingssimulator naar sanitair warm water afname*

*W4-Taak 2 : Analyse van de haalbaarheid van gelijktijdige bron en gebouwsimulatie*

*W4-Taak 3 : Belasting voor luchtsysteem*

*W4-Taak 4 : Vastleggen van de warmte- en koudelasten*

Tijdens het voorgaande IWT-HOBU-warmtepompproject (PR000205) werden de warmtepompsystemen getest door middel van een belastingssimulator (Figuur 3), om onafhankelijk van een concreet gebouw een systeem te kunnen testen in realistische omstandigheden. Gesimuleerde belastingsprofielen voor verwarming werden opgelegd aan het WP-systeem.



**Figuur 3: Schematische weergave van de belastingssimulator**

De belastingssimulator is volledig vernieuwd met een nieuwe sturing en een grotere koelcapaciteit door en enkele onderdelen die dichtgeslibd waren te vernieuwen. Hiervoor is ook de software aangepast en herschreven.

De tapprofielen voor SWW werden opgezocht, maar omdat de geïnstalleerde buffervaten in het labo vroeger veel te groot gekozen waren, zijn de profielen niet automatisch ingevoerd in de simulator. De simulaties van sanitaire tappatronen gebeuren nu manueel door het vat volledig op temperatuur te brengen en daarna volledig af te koelen.

Er werd gekeken naar de haalbaarheid van gelijktijdige bron- en afgiftesimulatie. Dit bleek binnen het beschikbare tijdsbestek en de beschikbare plaats een onhaalbare kaart. Daarom werd dit onderdeel niet uitgevoerd.

Bij taak 4.2 is gebleken dat gelijktijdige bron en afgifte belasting, niet haalbaar was. Aangezien dezelfde installatie grotendeels nodig is voor de koudelasten te simuleren, is besloten dat koeling niet getest kan worden bij deze labo-opstelling.

De simulator uitbreiden naar belastingen voor lucht systemen bleek complexer dan in de aanvraag werd beschreven. Om toch de nodige resultaten uit deze opstelling te halen is gekozen om deze

belasting via een secundaire klimaat groep te gaan realiseren die echter niet door de simulator gestuurd werd. Dit zorgt er voor dat er enkel metingen op de lucht/lucht warmtepomp gebeurd zijn bij een constant veronderstelde verwarmingslast.

Belangrijk voor de belastingssimulator is het opleggen van een belastingspatroon. Tijdens het vorige warmtepompproject werden patronen gebruikt uit de CO<sub>2</sub>-studies uitgevoerd aan de KULeuven-TME van een vrijstaande woning, een rijwoning en een appartement. De ervaringen met deze eerder gebruikte belastingsprofielen waren positief, dus zijn deze ook in dit project gebruikt voor de simulatielasten.



## WP 5: Gedetailleerde labometingen

Dit werkpakket bestond uit de volgende 7 taken:

*W5-Taak 1: lucht-water-warmtepomp (enkel ruimteverwarming en combinatie met koeling en SWW productie)*

*W5-Taak 2 : lucht-lucht warmtepomp*

*W5-Taak 3: Warmtepompboiler voor SWW productie op ventilatielucht*

*W5-Taak 4: Water warmtepomp (ruimteverwarming + natuurlijke koeling + hogere temperatuurregimes)*

*W5-Taak 5: Water warmtepomp (ruimteverwarming + natuurlijke koeling + SWW productie)*

*W5-Taak 6: Water warmtepomp (ruimteverwarming + lage temperatuur energieopslag met zonnecollector)*

*W5-Taak 7: Water warmtepomp (ruimteverwarming + koeling + SWW productie + HR-WTW)*

In de eerste maanden van het project werden de te testen systemen verdeeld over de verschillen de leveranciers binnen de gebruikers groep van dit project. Initieel was het de bedoeling van een zeven tal systemen in het labo te testen. Echter door een vooral beperkt tijdsbestek zijn volgende 3 vooropgestelde warmtepompsystemen niet getest geweest: “Een warmtepomp + WTW unit”, “een warmtepompboiler” en “warmtepomp met lage temperatuuropslag”.

Volgende systemen werden in het project getest:

|                                |
|--------------------------------|
| Lucht – water warmtepomp (L-W) |
| Lucht – lucht warmtepomp (L-L) |
| Bodem-water warmtepomp (B-L)   |
| Water-water warmtepomp (W-W)   |

**Tabel 4 Overzicht systemen die in het labo getest werden**

In het kader van 2 masterproeven (De Nayer Instituut) werd er begin februari 2009 gestart met de labometingen op L-L en L-W warmtepompsystemen. De systemen W-W en B-W werden opgestart in juli 2009. Ook de metingen op deze systemen gebeurde in het kader van een masterproef.

# Metingen op de lucht/water warmtepomp

Volgende zaken worden opgemeten:

- Aanvoertemperatuur
- Retourtemperatuur
- kWh thermisch
- kWh elektrisch (circulatiepompen, ventilator, sturing en compressor)

## Meting oktober 2009

Er werd een meting gedaan over 11 dagen, verspreid over deze maand. Er werd van elke dag een minimale, maximale en gemiddelde temperatuur weergegeven.

| Dag | Temp. gem. (°C) | Temp. max (°C) | Temp. min (°C) |
|-----|-----------------|----------------|----------------|
| 1   | 13,2            | 18,2           | 12,2           |
| 2   | 11,9            | 17,1           | 9,2            |
| 3   | 12,2            | 16,2           | 8,8            |
| 4   | 12,4            | 16             | 9,4            |
| 5   | 12,4            | 15,7           | 9,9            |
| 6   | 12,9            | 16,2           | 10,3           |
| 7   | 13,7            | 16,7           | 10,6           |
| 8   | 13,6            | 16,7           | 10,7           |
| 9   | 13,5            | 16,6           | 10,4           |
| 10  | 13,5            | 16,7           | 10,1           |
| 11  | 13,5            | 16,6           | 10,2           |
| 12  | 13,3            | 16,5           | 10,2           |
| 13  | 13,1            | 16,3           | 10             |
| 14  | 12,6            | 15,9           | 9,4            |
| 15  | 12,1            | 15,6           | 8,8            |
| 16  | 12              | 15,5           | 8,3            |
| 17  | 11,7            | 15,3           | 8,1            |
| 18  | 11,5            | 15,2           | 7,8            |
| 19  | 11,3            | 15             | 7,4            |

Er werd een totaal elektrisch verbruik genoteerd van 393 kWh. Terwijl er in diezelfde periode 1234 kWh nuttige warmte is geproduceerd. Deze twee cijfers leveren ons dus een prestatiefactor van 3,14. Om deze cijfers nog meer te kaderen moet erbij vermeld worden dat er een constante aanvoertemperatuur van 45°C gewenst was. Op het schema werd een eenmalige testmeting gedaan en daaruit bleek dat er werkelijk 43,2°C geproduceerd werd op dat moment.

## Meeting november 2009

Er werd een meting gedaan over 7 dagen in de maand november. Er werd in deze periode een registratie gedaan van buitentemperatuur en van de aanvoer- en retourtemperatuur langs afgiftezijde. Hierna werd van deze periode een prestatiefactor bepaald (Tabel 5)

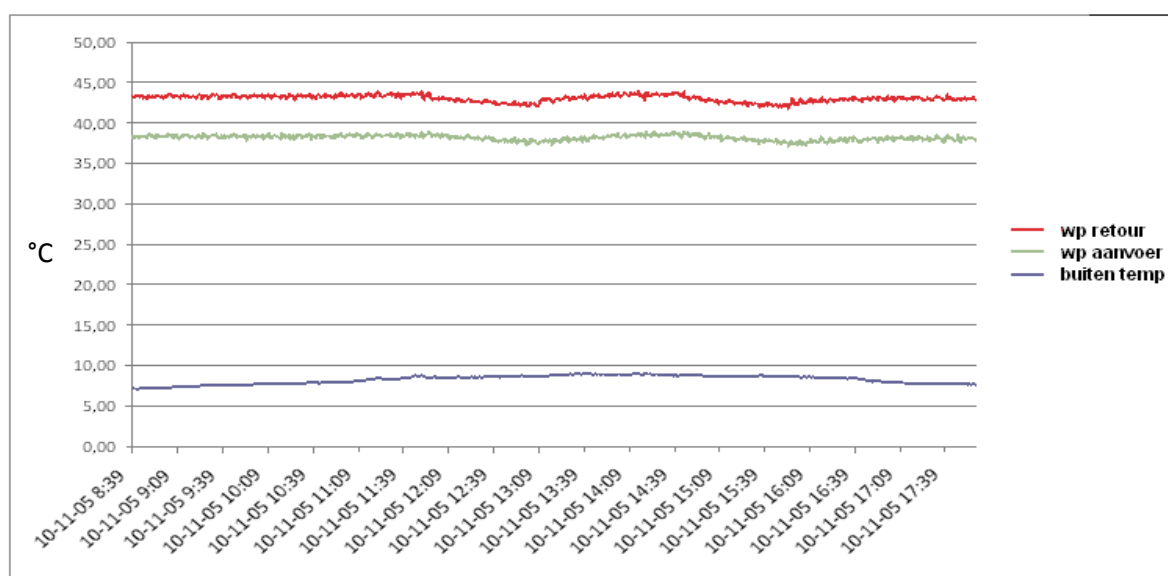
|                       |              |               |         |
|-----------------------|--------------|---------------|---------|
| Gemiddelde buitentemp | 6/11/09 8:00 | 13/11/09 8:50 | Vershil |
| 9,7°C                 |              |               |         |
| kWh el WP             | 616,1        | 1100,0        | 483,9   |
| kWh el Back-up        | 0,4          | 0,4           | 0,0     |
| kWh Calorimeter       | 4855         | 6326          | 1471    |

|     |
|-----|
| PF  |
| 3,0 |

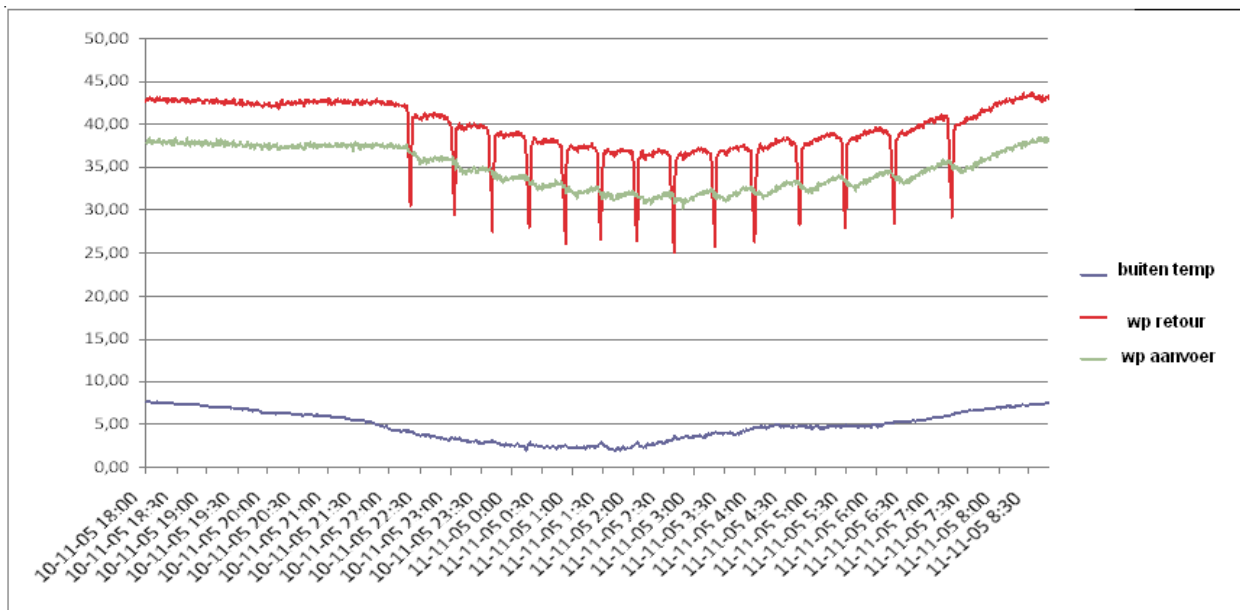
Bij  
een eerste

**Tabel 5: elektrische energie consumptie, thermische energie productie en de prestatiefactor**

meting werd er een vast setpunt van 43°C ingesteld voor de aanvoertemperatuur. Omdat in deze periode de belastingssimulator nog niet operationeel was, werd er op vollast (12kW) warmte onttrokken uit het buffervat van de simulator. Volgende grafieken (Figuur 4 en Figuur 5) geven de watertemperaturen langs condensorzijde weer samen met de buitentemperatuur. Op 10-11-2009, de vierde dag van de simulaties, was de buitentemperatuur constant boven de 7°C en kon de warmtepomp gemakkelijk het gewenste setpunt leveren. De volgende dag 11-11-2009, daalde de buitentemperatuur tot onder de 7°C en zien we regelmatig een ontdooicyclus verschijnen. De warmtepomp heeft dan ook meer problemen om de gewenste aanvoertemperatuur te leveren.



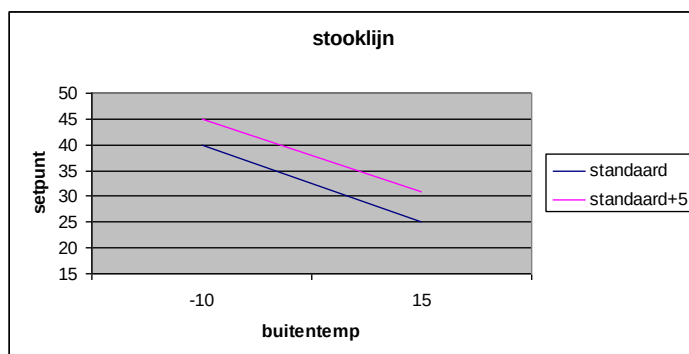
**Figuur 4: temperatuur aanvoer ( naar de warmtepomp ) en retour temperatuur in functie van de buitentemperatuur**



**Figuur 5: de invloed van de ontdooicycli op de cv watertemperatuur**

### Meeting december2009 (met simulatielast)

Vanaf deze meting is de simulator in gebruik. Er wordt getracht te meten in blokken van een week. Hier wordt telkens die periode gesimuleerd welke we in werkelijkheid zijn. Voor luchtsystemen is dit de enige oplossing omdat het in het labo niet mogelijk is om de brontemperaturen te simuleren. De elektrische back up heater is bij alle metingen ingeschakeld.

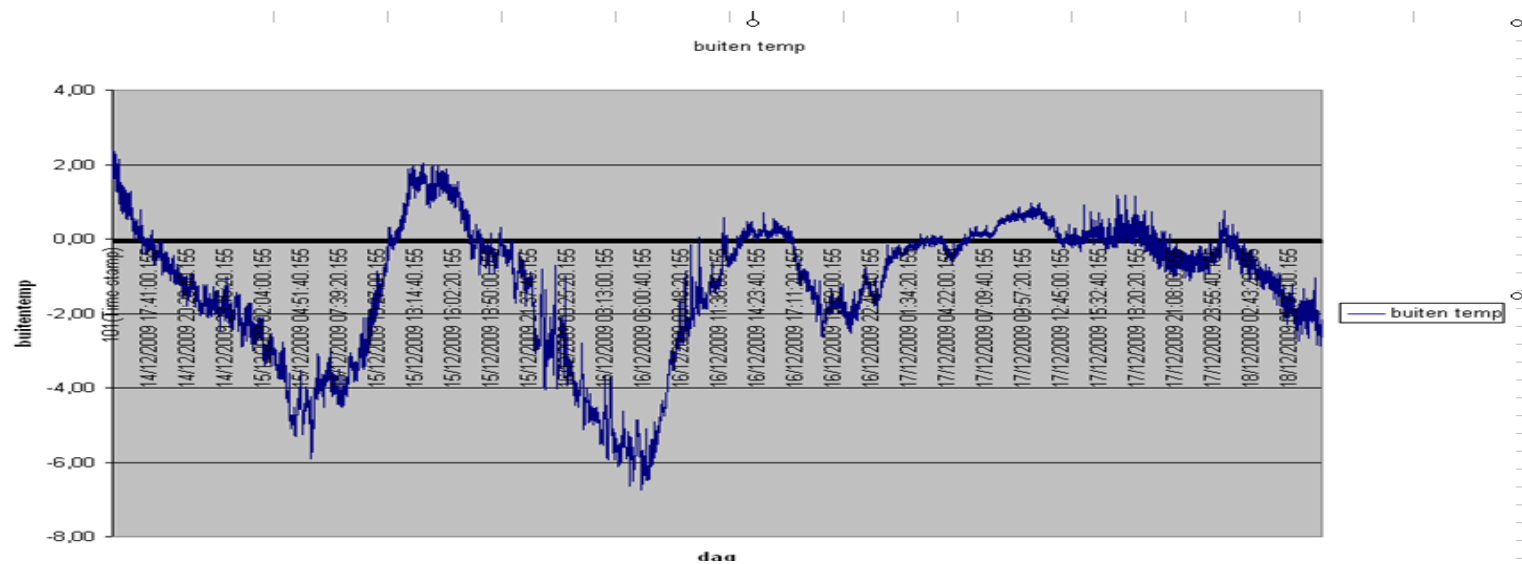


**Figuur 6:ingestelde stooklijn (setpunt aanvoertemp)**

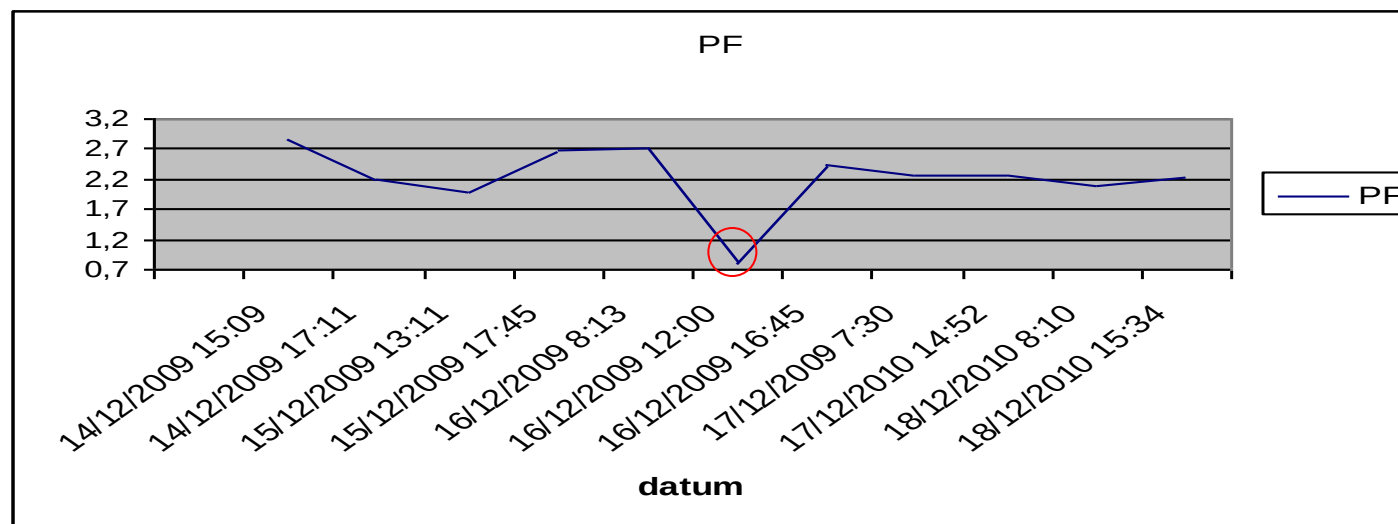
Tijdens deze meetperiode stond initieel de standaard stooklijn ( zoals deze in de simulator zit)ingesteld op het setpunt van de stooklijn. Echter om overeen te komen met de ingestelde stooklijn van de simulator moest deze waarde verhoogd worden tot + 5.Dit is gebeurde op 14/12 om 13:11

| kWh_wp | kWh_backup | kWh therm |                  | PF  |
|--------|------------|-----------|------------------|-----|
| 1322,7 | 2,9        | 7163      |                  |     |
| 1327,2 | 3,3        | 7177      | 13/12/2010 15:09 | 2,8 |
| 1348,7 | 6,6        | 7231      | 13/12/2010 17:11 | 2,2 |
| 1352,9 | 7,9        | 7242      | 14/12/2010 13:11 | 2   |
| 1358,5 | 7,9        | 7257      | 14/12/2010 17:45 | 2,7 |
| 1382,7 | 11         | 7331      | 15/12/2010 8:13  | 2,7 |
| 1390,2 | 13,3       | 7339      | 15/12/2010 12:00 | 0,8 |
| 1397,2 | 14,5       | 7359      | 15/12/2010 16:45 | 2,5 |
| 1421,8 | 19,3       | 7426      | 16/12/2010 7:30  | 2,3 |
| 1435,9 | 23,2       | 7467      | 16/12/2010 14:52 | 2,3 |
| 1474,3 | 34,5       | 7571      | 17/12/2010 8:10  | 2,1 |
| 1489,9 | 37,2       | 7612      | 17/12/2010 15:34 | 2,2 |

Tabel 6: Prestatiefactor van de lucht-water installatie in functie van de elektrisch opgenomen en thermisch geproduceerde energie



Figuur 7: Buitentemperatuur meting December 2009



Figuur 8: Verloop prestatiefactor meting december 2009

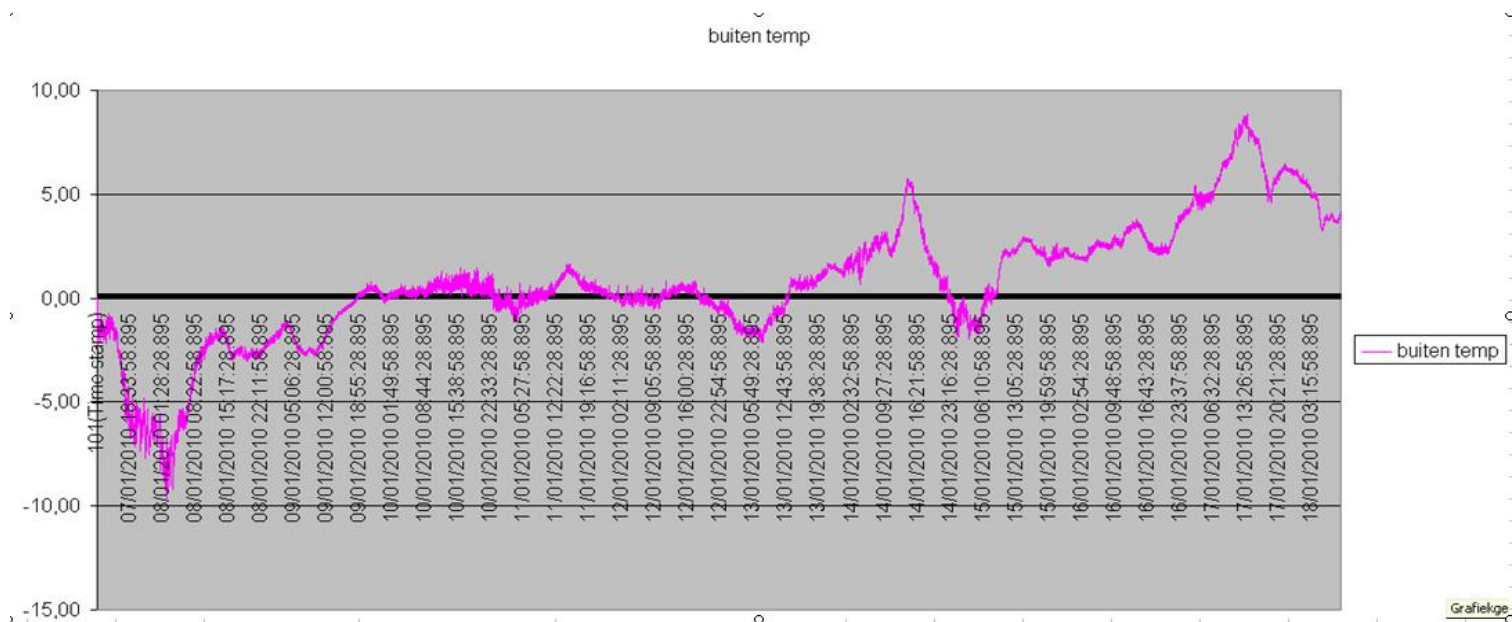
Op 16-12-2009 was de verdamper van deze pomp aan het dichtvriezen door de hevige sneeuwval op de unit. Daarom is geprobeerd om de warmtepomp handmatig in koelingmodus te krijgen, om zo de buitenunit te ontdooien.

Omdat dit niet mogelijk is onder een door de fabrikant ingestelde buitentemperatuur, heeft de pomp bijgevolg wel wat energie verbruikt maar niet omgezet in nuttige warmte wat dit lage cijfer van 0,8 verklaart(Figuur 8).

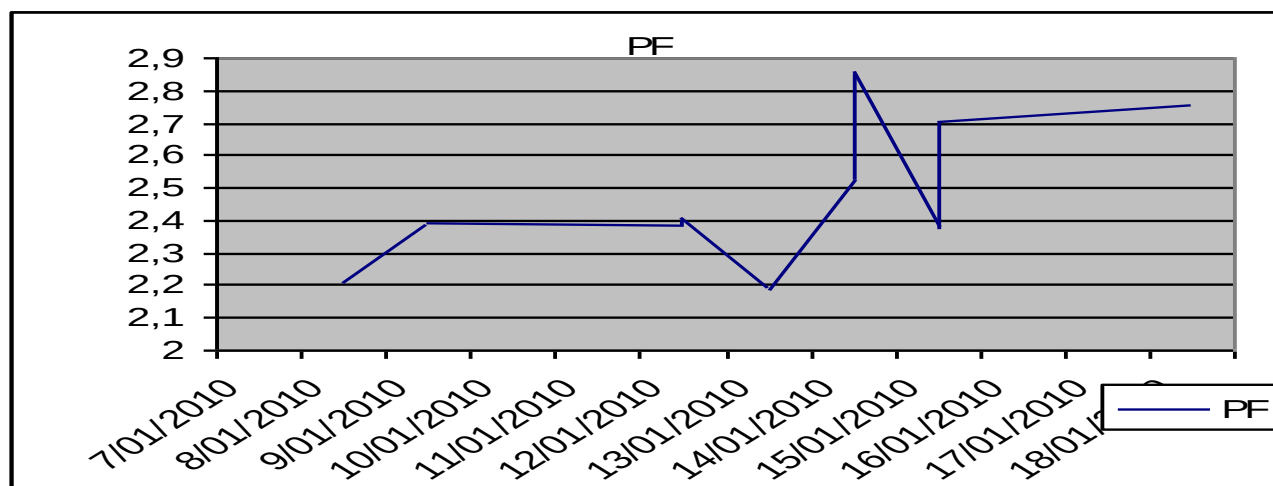
#### Meeting januari 2010 (met simulatie last)

| kWh_wp | kWh_back-up | Calorieteller kWh | datum+tijd       | tot opgenomen el. (kWh) | tot afgeg Q (kWh) | PF  |
|--------|-------------|-------------------|------------------|-------------------------|-------------------|-----|
| 1489,9 | 37,2        | 7612              | 7/01/2010 11:40  |                         |                   |     |
| 1536,7 | 42,8        | 7728              | 8/01/2010 16:22  | 52,4                    | 116               | 2,2 |
| 1575,5 | 45,4        | 7827              | 9/01/2010 16:58  | 41,4                    | 99                | 2,4 |
| 1594,6 | 45,4        | 7869              | 12/01/2010 8:36  | 17,6                    | 42                | 2,4 |
| 1600   | 45,4        | 7882              | 12/01/2010 16:38 | 5,4                     | 13                | 2,4 |
| 1622,5 | 47,1        | 7935              | 13/01/2010 8:35  | 24,2                    | 53                | 2,2 |
| 1648,6 | 47,5        | 8002              | 14/01/2010 8:45  | 26,5                    | 67                | 2,5 |
| 1653,5 | 47,5        | 8016              | 14/01/2010 16:37 | 4,9                     | 14                | 2,9 |
| 1671,5 | 48          | 8060              | 15/01/2010 8:45  | 18,5                    | 44                | 2,4 |
| 1678,8 | 48,1        | 8080              | 15/01/2010 16:34 | 7,4                     | 20                | 2,7 |
| 1731,8 | 48,1        | 8226              | 18/01/2010 9:30  | 53                      | 146               | 2,7 |

Tabel 7: Prestatiefactor van de lucht-water installatie in functie van de elektrisch opgenomen en thermisch geproduceerde energie



Figuur 9: Buitentemperatuur tussen 7 januari en 18 januari



Figuur 10: Prestatiefactor in de afgelopen meetperiode.

Er werd een totaal elektrisch verbruik genoteerd van 251,3 kWh. Terwijl er in diezelfde periode 614 kWh nuttige warmte is geproduceerd. Deze twee cijfers leveren ons dus een prestatiefactor van 2,4. Om deze cijfers nog meer te kaderen moet erbij vermeld worden dat de belasting gesimuleerd werd en dat dus de warmteproductie in functie van de buitentemperatuur is.



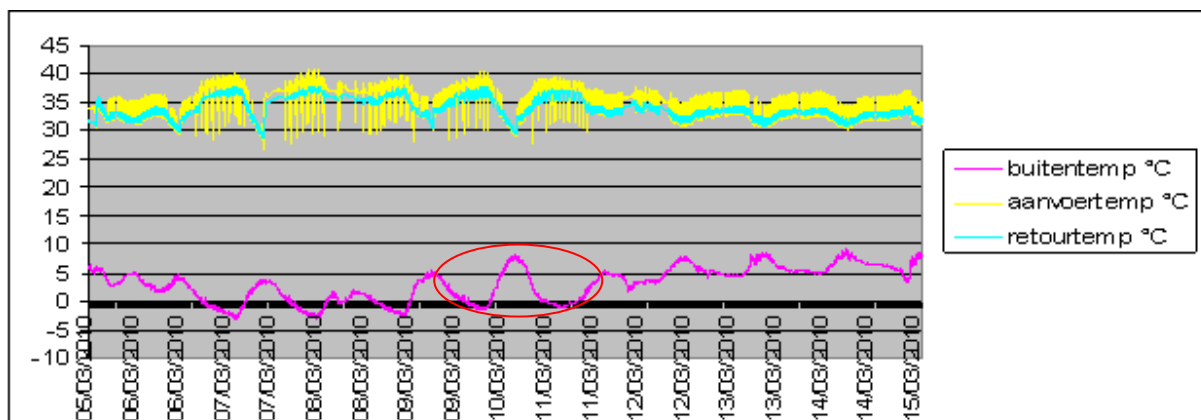
### Meeting maart 2010( gesimuleerde last)

Er werd een meting gedaan gedurende 10 dagen in de maand maart. Er werd in deze periode een registratie gedaan van buitentemperatuur en van de aanvoer- en retourtemperatuur langs afgiftezijde. Hierna werd van deze periode een prestatiefactor bepaald. De metingen zijn gebeurd bij gesimuleerde last uit dezelfde periode (5 tot 15 maart).

| Dag    | Tijd  | Elek_WP | Elek_B | elk tot |      | Calorie | verschil | PF   | NOTES       |
|--------|-------|---------|--------|---------|------|---------|----------|------|-------------|
| 5/mrt  | 13:00 | 1731,9  | 48,1   | 1780    |      | 8226    |          | -    | opstartfase |
| 8/mrt  | 16:00 | 1784,1  | 52,5   | 1836,6  | 56,6 | 8348    | 122      | 2,16 | sneeuw      |
| 9/mrt  | 12:40 | 1807,2  | 53,4   | 1860,6  | 24   | 8406    | 58       | 2,42 |             |
| 9/mrt  | 16:38 | 1808,9  | 53,4   | 1862,3  | 1,7  | 8410    | 4        | 2,35 |             |
| 10/mrt | 15:25 | 1822,3  | 53,5   | 1875,8  | 13,5 | 8439    | 29       | 2,15 |             |
| 12/mrt | 16:20 | 1855,3  | 53,7   | 1909    | 33,2 | 8518    | 79       | 2,38 |             |
| 15/mrt | 12:00 | 1879,4  | 53,7   | 1933,1  | 24,1 | 8570    | 52       | 2,16 |             |

**Tabel 8: Prestatiefactor van de lucht-water installatie in functie van de elektrisch opgenomen en thermisch geproduceerde energie**

Op onderstaande grafiek (Figuur 11) zijn de temperatuursverlopen van het aanvoerwater, het retourwater en buitentemperatuur weergegeven. Uit de grafiek blijkt dat in het begin van de meetperiode nog enkel malen heeft gevoren. Hierdoor zijn er in het begin van de meetperiode nog veel ontdooicycli waar te nemen. We kunnen ook hier mooi zien wanneer we  $\pm 5$  graden bereiken de ontdooicycli stoppen.

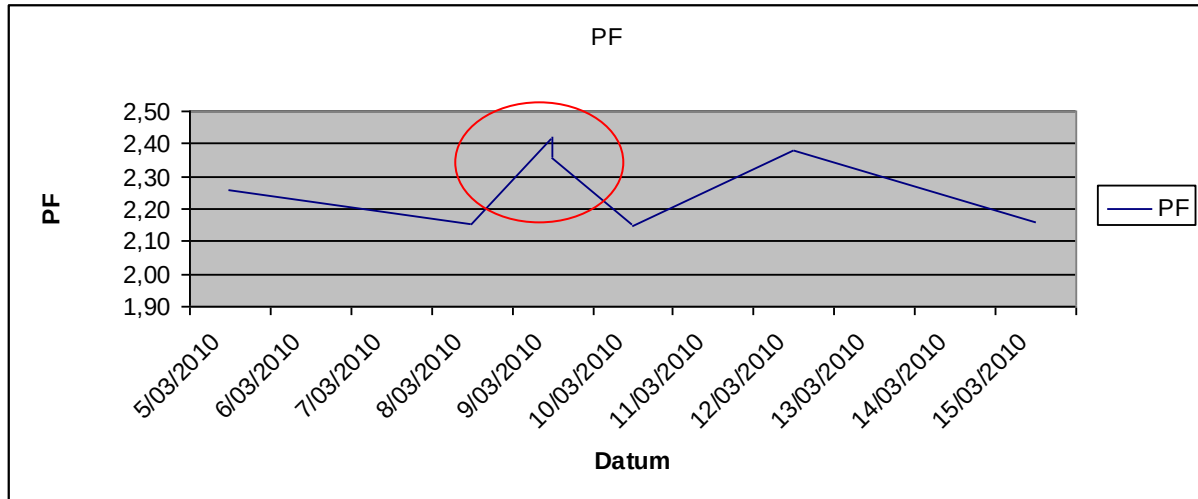


**Figuur 11 Ontdooicycli in functie van de buitentemperatuur**

Op onderstaande grafiek (Figuur 12) van de prestatiefactor zijn op het eerste gezicht geen duidelijke overeenkomsten met de grafiek van de temperaturen. Er zijn echter wel enkele bewegingen in de grafiek die te interpreteren zijn. De regeling van de afgiftemtemperatuur gebeurt met een stooklijn (bij alle labometingen), deze zorgt er voor dat bij koudere buitentemperaturen de afgifte temperatuur stijgt, wat zich laat zien in de PF grafiek. Op beide grafieken zijn merkwaardige punten aangeduid. In het begin van de week daalt de buitentemperatuur tot aan het nulpunt, deze daling is ook te zien in de grafiek van de PF. Vervolgens is er een stijging te zien in de grafiek van de prestatie factor, deze stijging is een

gevolg van de stijging van de buitentemperatuur die in die zelfde periode even boven de 6°C uitspringt. In de rode cirkel op de grafiek van de PF is ook een verticale lijn te zien, dit is het gevolg van 2 notaties op dezelfde dag (een middag- en avondmeting). De daar op volgende daling is het gevolg van een koudere periode.

Daarna stijgt de buitentemperatuur weer en daarmee ook de PF. Wat de daling op het einde van de meetperiode veroorzaakt is niet geheel duidelijk.



Figuur 12: Prestatiefactor meting maart

### Meting april lucht/water

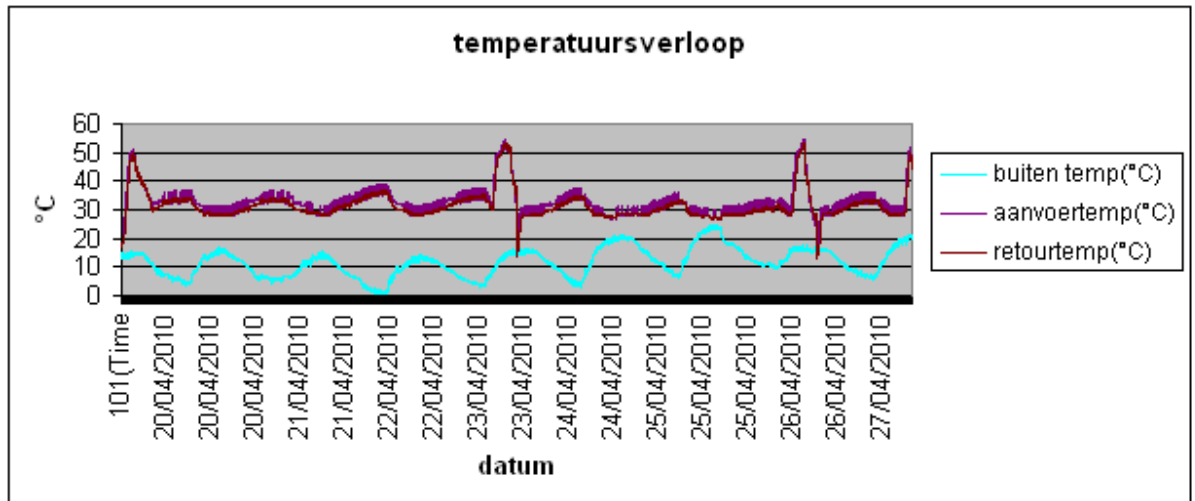
Dit is een meting die is uitgevoerd gedurende 8 dagen in de maand april. In deze meetperiode is ook een eerste keer SWW-productie gesimuleerd. De prestatiefactor is ook hier per dag berekend. Vervolgens zijn de PF en de temperaturen van aan- en afvoer en buitentemperatuur ook hier uitgezet in grafiek.

| datum/uur           | kWh<br>WP | kWh<br>back-up | kWh<br>tot<br>elek | verschil | calorie | verschil | PF   | OPM                    |
|---------------------|-----------|----------------|--------------------|----------|---------|----------|------|------------------------|
| 19/04/2010<br>15:00 | 1879,4    | 53,7           | 1933,1             |          | 8570    |          |      | START HOGE temp        |
| 19/04/2010<br>17:00 | 1884,9    | 53,7           | 1938,6             | 5,5      | 8588    | 18       | 3,27 | STOP HOGE temp         |
| 20/04/2010<br>11:30 | 1893,1    | 53,7           | 1946,8             | 8,2      | 8614    | 26       | 3,17 |                        |
| 21/04/2010<br>17:07 | 1905,1    | 53,7           | 1958,8             | 12       | 8653    | 39       | 3,25 |                        |
| 22/04/2010<br>13:55 | 1915,1    | 53,7           | 1968,8             | 10       | 8681    | 28       | 2,80 |                        |
| 23/04/2010<br>09:08 | 1924,7    | 53,7           | 1978,4             | 9,6      | 8709    | 28       | 2,92 | start hoge temp 55 – C |
| 23/04/2010<br>14:55 | 1930,7    | 53,7           | 1984,4             | 6        | 8724    | 15       | 2,50 | stop hoge temp 55 – C  |
| 23/04/10            | 1932,4    | 53,9           | 1986,3             | 1,9      | 8733    | 9        | 4,74 |                        |

|                     |        |      |        |      |      |    |      |                                                     |
|---------------------|--------|------|--------|------|------|----|------|-----------------------------------------------------|
| 16:50               |        |      |        |      |      |    |      |                                                     |
| 24/04/2010<br>17:28 | 1942,2 | 53,9 | 1996,1 | 9,8  | 8767 | 34 | 3,47 |                                                     |
| 26/04/2010<br>10:19 | 1953,8 | 53,9 | 2007,7 | 11,6 | 8805 | 38 | 3,28 | start hoge temp 55 – c                              |
| 26/04/2010<br>11:29 | 1957,4 | 53,9 | 2011,3 | 3,6  | 8817 | 12 | 3,33 | simulator af hoge temp 55 – c<br>Maximaal wegkoelen |
| 26/04/2010<br>13:29 | 1960,2 | 53,9 | 2014,1 | 2,8  | 8824 | 7  | 2,50 | stop hoge temp 55 – c                               |
| 27/04/10 14.00      | 1966,9 | 55,3 | 2022,2 | 8,1  | 8847 | 23 | 2,84 | start hoge temp 55 – C                              |
| 27/04/10 15.43      | 1970,4 | 55,3 | 2025,7 | 3,5  | 8860 | 13 | 3,71 |                                                     |

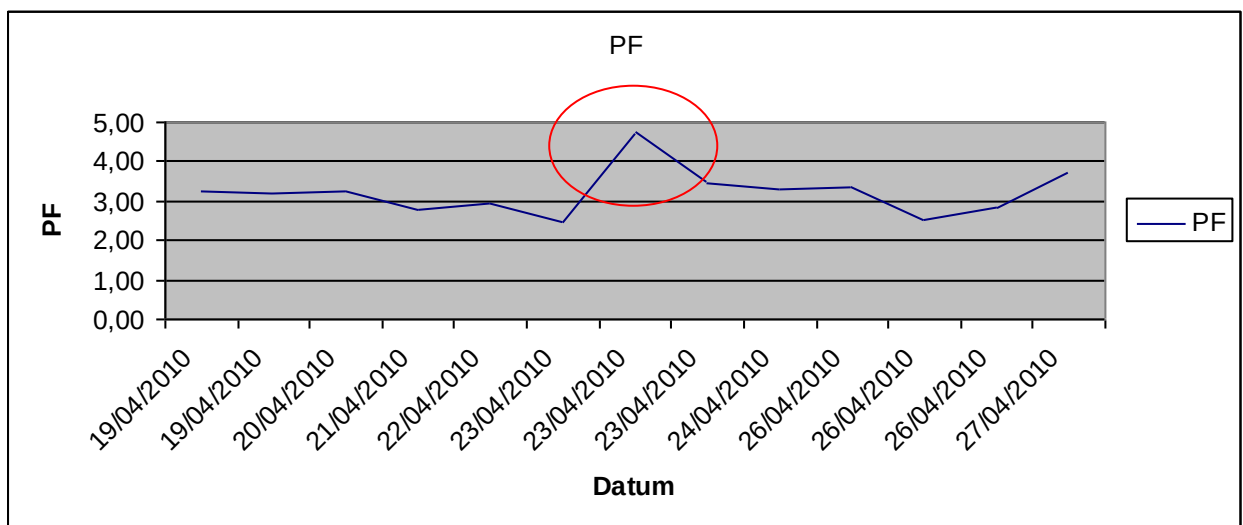
**Tabel 9: Prestatiefactor van de lucht-water installatie in functie van de elektrisch opgenomen en thermisch geproduceerde energie**

Hieronder zijn van aanvoer, retour- en buitentemperatuur in grafiek(Figuur 13) voorgesteld. De buitentemperatuur is in deze meetperiode beduidend hoger dan in de eerste meetperiode. Dit heeft een gunstig effect op de prestatiefactor. Ook zijn de simulaties van SWW mooi te zien in de grafiek hieronder.



**Figuur 13: Aanvoer , retour in functie van de buitentemperatuur en SWW productie**

In de grafiek van de PF (Figuur 14) hieronder zien we dat deze vrij constant en gunstiger dan in de vorige meetperiode. De hogere waarde van deze PF is een rechtstreeks gevolg van de hogere buitentemperatuur in deze meetperiode. Er zijn 2 kleine dips in de grafiek te zien op de plaatsen van de SWW- productie gesimuleerd wordt. De reden van de niet sterker dalende PF in deze meetperiode is waarschijnlijk te verklaren doordat de simulaties overdag gebeurd zijn wanneer de buitentemperatuur het gunstigste is. In de grafiek is in de cirkel ook een piek van 4,7 te zien. Dit is waarschijnlijk te verklaren doordat er een simulatie fout op het SWW waardoor het warmere water een tijd is blijven circuleren en de WP dus virtueel met een zeer hoge PF werkt.



**Figuur 14 :prestatie factor tijdens de meting in april.**

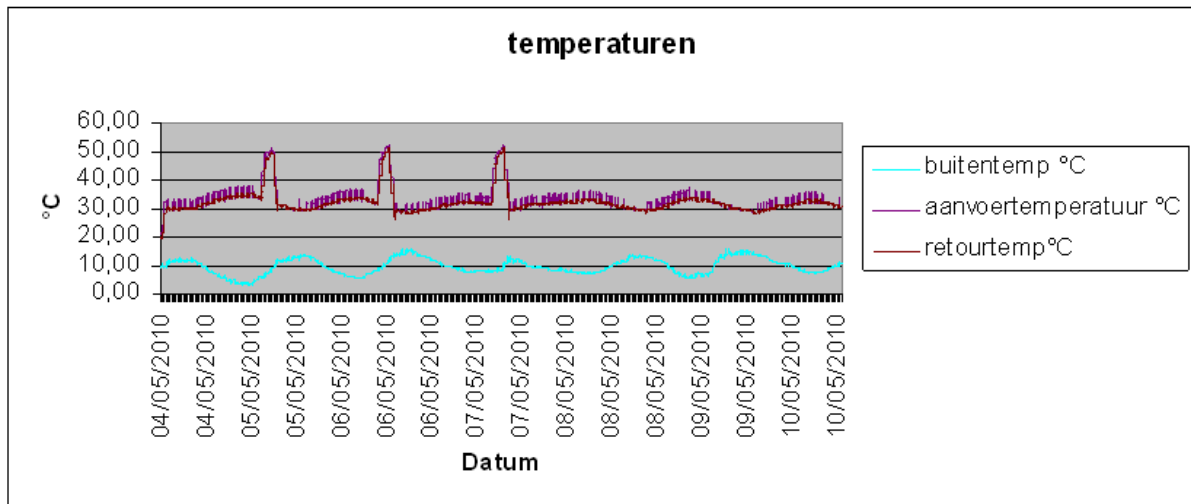
### Meeting mei.(met simulatie last en sww)

Ook in de derde meetperiode is er gemeten met simulatielast en SWW simulatie. Er is gemeten gedurende 5 dagen waarbij driemaal is opgewarmd naar 55°C.

| Datum  | uur   | kWh_WP | kWh_Back-up | tot elk | Verschil(kW<br>h) | Calorie (kWh) | Verschil<br>(kWh) | PF   | OPM                            |
|--------|-------|--------|-------------|---------|-------------------|---------------|-------------------|------|--------------------------------|
| 4/mei  | 12:00 | 1970,9 | 55,3        | 2026,2  |                   | 8860          |                   |      | start gewone cyclus            |
| 5/mei  | 8:50  | 1977   | 55,3        | 2032,3  | 6,1               | 8874          | 14                | 2,29 | start SWW 55°C                 |
| 5/mei  | 11:19 | 1981,9 | 55,3        | 2037,2  | 4,9               | 8886          | 12                | 2,44 | einde SWW 55°C, start koeling  |
| 5/mei  | 12:27 |        |             | 0       |                   |               |                   | 2,44 | einde koeling, start simulatie |
| 6/mei  | 9:25  | 1985,6 | 55,3        | 2040,9  | 3,7               | 8893          | 7                 | 1,89 | start SWW 55°C                 |
| 6/mei  | 11:55 | 1990,7 | 55,3        | 2046    | 5,1               | 8905          | 12                | 2,35 | einde SWW 55°C, start koeling  |
| 6/mei  | 12:55 |        |             | 0       |                   |               |                   | 2,35 | einde koeling, start simulatie |
| 7/mei  | 9:35  | 1995,3 | 55,3        | 2050,6  | 4,6               | 8916          | 11                | 2,39 | start SWW 55°C                 |
| 7/mei  | 12:12 | 2000,4 | 55,3        | 2055,7  | 5,1               | 8929          | 13                | 2,54 | einde SWW 55°C, start koeling  |
| 7/mei  | 13:15 |        |             | 0       |                   |               |                   | 2,54 | einde koeling, start simulatie |
| 10/mei | 11:40 | 2013,2 | 55,3        | 2068,5  | 12,8              | 8954          | 25                | 1,95 | einde simulatie,               |

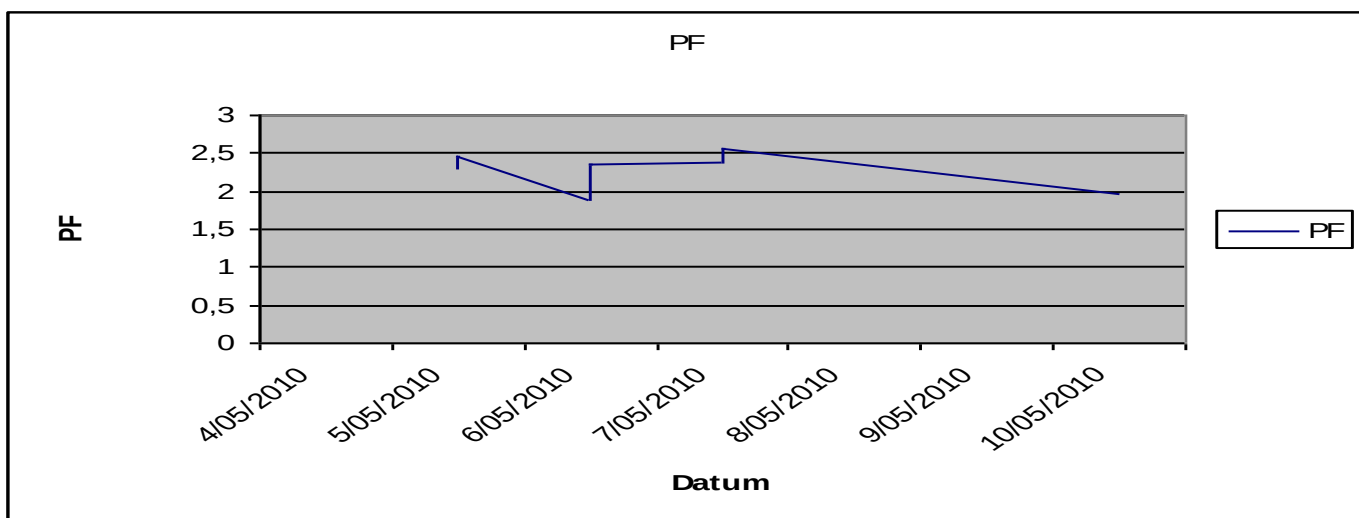
Tabel 10: Prestatiefactor van de lucht-water installatie in functie van de elektrisch opgenomen en thermisch geproduceerde energie

Hieronder zijn de aanvoer-, retour- en buiten temperatuur uitgezet in grafiek (Figuur 15). Wat uit de grafiek blijkt is dat de buiten temperatuur gemiddeld gezien terug lager ligt dan in de vorige meetperiode. Ook hier zijn de simulaties voor SWW overdag gebeurd.



Figuur 15: Aanvoer , retour in functie van de buitentemperatuur en SWW productie

Uit de grafiek hieronder blijkt dat de PF (Figuur 16) vrij constant blijft gedurende de meetperiode. In deze grafiek zijn enkele verticale lijnen in de grafiek te zien. Op deze data zijn er meerdere metingen per dag gebeurd. De reden dat er op deze data een verschil is in de PF is waarschijnlijk veroorzaakt door de SWW-productie op die dagen.



Figuur 16: Prestatie factor tijdens de meting in mei.

## Conclusie lucht/ water

Er zijn gedurende dit project verschillende relevante metingen op deze installatie gebeurd. In de beginfase zijn de metingen gebeurd bij vollast, (setpunt aanvoertemperatuur 43°C). Wat tijdens deze metingen mooi zichtbaar wordt is wanneer de ontdooicycli inschakelen en wat daar de invloed op het CV water van is. We zien dat de warmte van het CV-water wordt gebruikt om de verdamper te ontdooien. Vanaf december 2009 zijn de metingen onder simulatielast uitgevoerd. Wat hier opvalt bij de metingen in januari en maart is dat de prestatiefactor mooi de buitentemperatuur volgt. Dit is in de beide metingen verder verduidelijkt door telkens de grafiek van de PF te vergelijken met de buitentemperatuur in die periode. De verticale lijnen die op de PF-grafieken te zien zijn worden veroorzaakt doordat er meerdere telleropnames zijn gebeurd op 1 dag. Vanaf april 2010 zijn er ook simulaties gedaan op SWW. Dit werd manueel gedaan door telkens het volledig afgekoelde buffervat (800 liter, 10°C) volledig op te warmen en daarna terug volledig leeg te koelen. Deze tests werden telkens overdag gedaan en dan is de buitentemperatuur gunstiger dan s' nachts. Deze beide factoren hebben een gunstig effect op de PF

Over het algemeen liggen de resultaten van de lucht /water installaties iets lager dan de PF-waarden bij de reële testinstallaties. Dit is te verklaren doordat dit slechts momentopnames zijn over een korte meetperiode. Ook zijn de meetperiodes opzettelijk zo gekozen dat de luchtinstallaties de koudste testperiodes kregen. Hierdoor kunnen we zeker zijn dat de prestaties bij warmere buitentemperaturen beter zouden zijn. De prestatiefactor schommelt tussen 2,2 in januari (gemiddelde buitentemperatuur -3°C) en 2,9 in oktober (gemiddelde buitentemperatuur 5°C).



# Metingen op de lucht/lucht warmtepomp

De lucht/lucht installatie bestaat uit 1 buiten unit en 3 binnen units. De opbouw van de meting gebeurde als volgt: Per unit werd de in- en uitlaatemperatuur en debiet bepaald, samen met het totaal elektrisch verbruik komt men dus tot de PF.

Voor het bepalen van het therische vermogen is een andere afwijkende methode gebruikt dan bij de andere instalaties. Eerst wordt gekeken naar de sturing van de fabrikant. Deze geef aan of de binnenunits aan het koelen of verwarmen zijn en welke de geleverde uitblaasdebieten zijn. Vervolgens wordt er per binnen unit (in totaal 3 units) gekeken wat de aanzuig- en uitblaastemperatuur is. Aan de hand van volgende formule kan dan het thermische geleverde vermogen bepaald worden.

$$Q = \dot{m} * c * (\Delta T)\Delta$$

Met :

- $\dot{m}$ : massadebiet lucht(kg)( voor droge lucht bij 1Atm en 20°C =1,2041kg/m<sup>3</sup>)
- $c$ : soortelijke warmte stof (kJ/kg.K)(lucht tussen 0 en 100°C -> 0,720 kJ/kg.K)
- $\Delta T$ : temperatuursverschil over de unit( K)

Via een elektrische energiemeter wordt de elektrische energie opgemeten.

## Meting juli 2009

Op 15 juli 2009 werd een eerste gedetailleerde labometing gedaan op een Lucht/Lucht warmtepomp in vollast.

De resultaten worden samengevat met volgende cijfers:

Werkingstijd: 7,25u

Thermisch geleverde energie: 49,78 kWh

Elektrische energie: 20 kWh

PF: 2,49

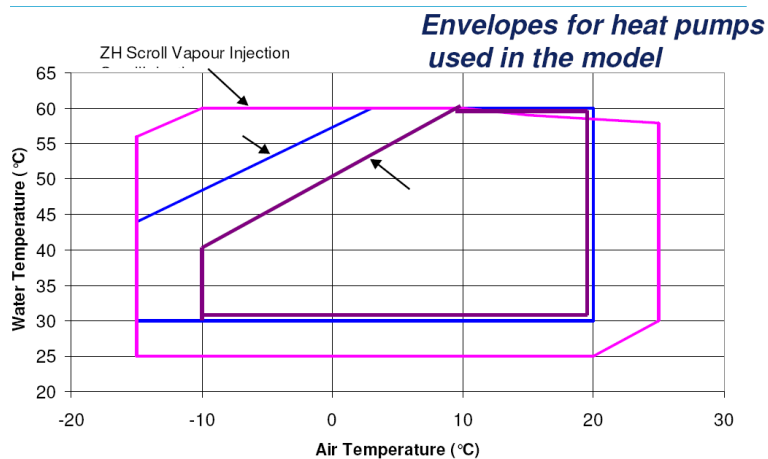
|    | D       | F        | H     | I          | J            | K             | L       | N        | P     | Q          | R            | S             | T       | V        | W     | X          | Y            | Z             | AA          | AB            |
|----|---------|----------|-------|------------|--------------|---------------|---------|----------|-------|------------|--------------|---------------|---------|----------|-------|------------|--------------|---------------|-------------|---------------|
| 1  | unit A  |          |       |            |              |               | unitB   |          |       |            |              |               | unit C  |          |       |            |              |               | totaal      |               |
| 2  | Temp    |          |       | ventilator |              | gelev energie | Temp    |          |       | ventilator |              | gelev energie |         |          |       | ventilator |              | gelev energie | Qtot (kJ/h) | in kW (=kJ/s) |
| 3  | aanzuig | uitblaas | delta | stand      | debiet(m³/h) | Q (kJ/h)      | aanzuig | uitblaas | dlta  | stand      | debiet(m³/h) | Q (kJ/h)      | aanzuig | uitblaas | delta | stant      | debiet(m³/h) | Q (kJ/h)      |             |               |
| 4  | 201(C)  | 202(C)   |       | IFanMode   |              |               | 203(C)  | 204(C)   |       | IFanMode   |              |               | 205(C)  | 206(C)   |       | IFanMode   |              |               |             |               |
| 5  | 22,72   | 40,08    | 17,37 | MAX        | 560,00       | 11153,62      | 23,31   | 24,70    | 1,39  | MAX        | 630,00       | 1004,29       | 22,62   | 26,41    | 3,79  | HIGH       | 850          | 3698,44       | 15856,35    | 4,404540961   |
| 6  | 22,88   | 37,76    | 14,89 | MAX        | 560,00       | 9560,24       | 23,31   | 26,35    | 3,04  | MAX        | 630,00       | 2195,71       | 23,16   | 24,57    | 1,42  | HIGH       | 850          | 1381,31       | 13137,26    | 3,649238509   |
| 7  | 22,97   | 37,81    | 14,84 | MAX        | 560,00       | 9531,98       | 23,49   | 28,12    | 4,63  | MAX        | 630,00       | 3341,61       | 23,35   | 24,87    | 1,52  | HIGH       | 850          | 1476,84       | 14350,43    | 3,986231071   |
| 8  | 23,02   | 41,33    | 18,31 | MAX        | 560,00       | 11759,24      | 23,70   | 29,89    | 6,19  | MAX        | 630,00       | 4474,50       | 25,12   | 25,03    | -0,09 | VLOW       | 0            | 0,00          | 16233,74    | 4,509371694   |
| 9  | 23,14   | 43,44    | 20,30 | MAX        | 560,00       | 13038,56      | 23,86   | 31,03    | 7,17  | MAX        | 630,00       | 5182,56       | 24,48   | 27,59    | 3,11  | VLOW       | 0            | 0,00          | 18221,12    | 5,061422242   |
| 10 | 23,76   | 42,73    | 18,97 | MAX        | 560,00       | 12181,83      | 23,47   | 31,44    | 7,97  | MAX        | 630,00       | 5758,40       | 24,61   | 28,58    | 3,97  | VLOW       | 0            | 0,00          | 17940,22    | 4,983395709   |
| 11 | 23,96   | 42,27    | 18,31 | MAX        | 560,00       | 11760,52      | 23,55   | 31,98    | 8,43  | MAX        | 630,00       | 6092,92       | 24,49   | 28,95    | 4,46  | HIGH       | 850          | 4344,75       | 22198,19    | 6,166163657   |
| 12 | 23,61   | 42,40    | 18,79 | MAX        | 560,00       | 12067,51      | 23,73   | 32,97    | 9,23  | MAX        | 630,00       | 6671,65       | 23,99   | 28,64    | 4,64  | HIGH       | 850          | 4524,11       | 23263,27    | 6,462019706   |
| 13 | 23,80   | 43,57    | 19,77 | MAX        | 560,00       | 12696,90      | 23,83   | 33,79    | 9,96  | MAX        | 630,00       | 7194,02       | 24,69   | 29,57    | 4,88  | HIGH       | 850          | 4757,09       | 24648,01    | 6,846669842   |
| 14 | 23,64   | 44,35    | 20,71 | MAX        | 560,00       | 13302,52      | 23,91   | 34,35    | 10,44 | MAX        | 630,00       | 7539,38       | 24,09   | 30,01    | 5,92  | HIGH       | 850          | 5770,90       | 26612,80    | 7,392444627   |
| 15 | 24,14   | 44,47    | 20,33 | MAX        | 560,00       | 13055,26      | 23,69   | 34,58    | 10,89 | MAX        | 630,00       | 7870,29       | 24,62   | 30,25    | 5,63  | HIGH       | 850          | 5489,18       | 26414,73    | 7,337424978   |
| 16 | 24,07   | 43,97    | 19,90 | MAX        | 560,00       | 12780,38      | 23,44   | 34,39    | 10,95 | MAX        | 630,00       | 7913,64       | 24,65   | 30,11    | 5,46  | HIGH       | 850          | 5322,48       | 26016,51    | 7,226809074   |
| 17 | 24,19   | 43,81    | 19,62 | MAX        | 560,00       | 12597,35      | 23,89   | 34,43    | 10,53 | MAX        | 630,00       | 7608,74       | 24,60   | 30,20    | 5,61  | HIGH       | 850          | 5465,78       | 25671,88    | 7,131076605   |
| 18 | 24,18   | 43,71    | 19,52 | MAX        | 560,00       | 12538,91      | 23,81   | 34,58    | 10,77 | MAX        | 630,00       | 7778,53       | 24,64   | 30,78    | 6,15  | HIGH       | 850          | 5990,23       | 26307,67    | 7,30768678    |
| 19 | 24,62   | 43,87    | 19,25 | MAX        | 560,00       | 12361,65      | 23,80   | 34,49    | 10,70 | MAX        | 630,00       | 7729,40       | 24,50   | 29,81    | 5,31  | HIGH       | 850          | 5179,19       | 25270,24    | 7,019511373   |
| 20 | 24,69   | 43,82    | 19,14 | MAX        | 560,00       | 12290,36      | 24,07   | 34,43    | 10,36 | MAX        | 630,00       | 7483,75       | 24,54   | 30,54    | 6,00  | HIGH       | 850          | 5845,96       | 25620,07    | 7,116686949   |
| 21 | 24,25   | 43,89    | 19,64 | MAX        | 560,00       | 12610,84      | 23,70   | 34,47    | 10,78 | MAX        | 630,00       | 7785,76       | 24,60   | 30,39    | 5,80  | HIGH       | 850          | 5650,02       | 26046,62    | 7,235171449   |
| 22 | 24,26   | 43,84    | 19,62 | MAX        | 560,00       | 12610,20      | 23,60   | 34,40    | 10,70 | MAX        | 630,00       | 7780,76       | 24,67   | 30,45    | 5,78  | HIGH       | 850          | 5720,02       | 26778,90    | 7,420640094   |

Tabel 11: Om de dertig seconden wordt er van de drie binnen units een deltaTt opgemeten en een uitblaasdebiet bepaald.

Bij de interpretatie van de resultaten dienen enkele zaken geverifieerd te worden:

- De meting gebeurde slechts over een periode van enkele uren omdat de koelgroep aanwezig in het labo enkel overdag gebruikt mag worden. We spreken hier dus niet over een SPF (Seasonal Performance Factor), maar eerder een PF (Prestatie Factor)
- De gemiddelde dagtemperatuur was 25°C. In normaal gebruik zal de warmtepomp dan niet in verwarmingsmode gebruikt worden.
- De compressor van de warmtepompunit is niet ontworpen om in dergelijke hoge buitentemperaturen nog in verwarmingsmode gebruikt te worden. Dit blijkt duidelijk uit de werkingsevenloppe van de compressor.

## Operating envelopes



Figuur 17: werkingsevenloppe van courante compressoren

### Meeting oktober 2009

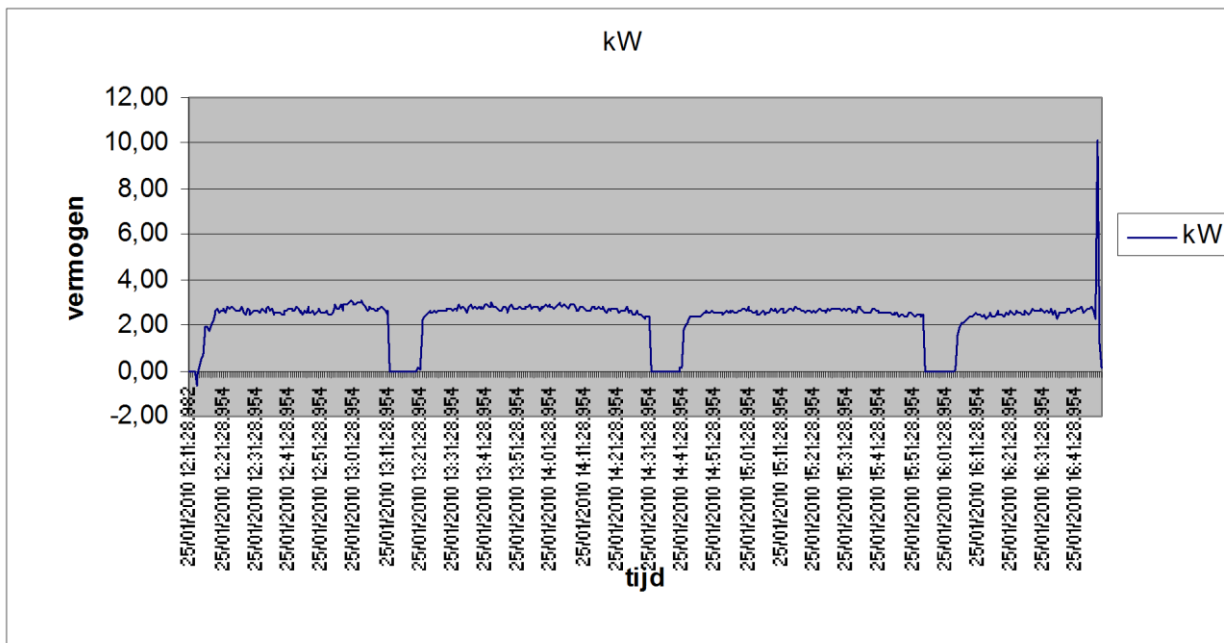
| tijd                    | Debiet<br>(m <sup>3</sup> /h) | taanz | tuitbl | Q (kJ/h) | debiet | taanz | tuitbl | Q(kJ/h) | debiet | taanz | tuitb | Q (kJ/h) | Qtot (kJ/h)                | in kW<br>(=kJ/s) |
|-------------------------|-------------------------------|-------|--------|----------|--------|-------|--------|---------|--------|-------|-------|----------|----------------------------|------------------|
| 18/10/2009-<br>9:51:49  | 450,0                         | 25,6  | 41,8   | 8387,3   | 560,0  | 19,6  | 35,6   | 10239,7 | 760,0  | 25,8  | 38,4  | 10990,9  | 29617,9                    | 8,2              |
| 18/10/2009-<br>9:52:19  | 450,0                         | 25,5  | 41,8   | 8371,3   | 560,0  | 19,7  | 35,6   | 10216,6 | 760,0  | 25,5  | 38,3  | 11187,8  | 29775,7                    | 8,3              |
| 20/10/2009-<br>12:59:19 | 0,0                           | 26,8  | 26,1   | 0,0      | 0,0    | 23,8  | 26,5   | 0,0     | 0,0    | 26,3  | 26,9  | 0,0      | 0,0                        | 0,0              |
| 20/10/2009-<br>12:59:49 | 0,0                           | 27,8  | 26,4   | 0,0      | 0,0    | 23,8  | 26,7   | 0,0     | 0,0    | 26,3  | 28,3  | 0,0      | 0,0                        | 0,0              |
|                         |                               |       |        |          |        |       |        |         |        |       |       |          | gem(kW)                    | 2,3              |
|                         |                               |       |        |          |        |       |        |         |        |       |       |          | kWh                        | 123,8            |
|                         |                               |       |        |          |        |       |        |         |        |       |       |          | Gem buiten temp 12°C<br>PF | 2,8              |

Tabel 12: Om de dertig seconden wordt er van de drie binnen units de in en uitblaastemperaturen opgemeten en een uitblaasdebiet bepaald. Hierboven zijn verschillende tussen waarden uit het overzicht gelaten

### Meeting januari 2010

| datum      | Ta1   | Tui1  | Ta2   | Tui2  | Ta3   | Tui3  | IDU | IDU2: | IDU<br>4: | Q1<br>(kJ/h) | Q2<br>(kJ/h) | Q3<br>(kJ/h) | QTOT(kJ/h)        | kW    |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|-------|-----------|--------------|--------------|--------------|-------------------|-------|
| 25/01/2010 | 18,72 | 19,31 | 12,40 | 19,27 | 18,18 | 18,37 | 0   | 0     | 0         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00              | 0,00  |
| 25/01/2010 | 18,66 | 19,39 | 12,32 | 19,08 | 18,15 | 18,35 | 0   | 0     | 0         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00              | 0,00  |
| 25/01/2010 | 22,09 | 26,60 | 27,84 | 23,74 | 22,98 | 26,18 | H   | H     | H         | 3066,60      | 3143,89      | 3356,21      | 9566,69           | 2,66  |
| 25/01/2010 | 21,97 | 26,09 | 27,91 | 23,71 | 22,90 | 26,22 | H   | H     | H         | 2807,31      | 3222,14      | 3491,89      | 9521,33           | 2,64  |
|            |       |       |       |       |       |       |     |       |           |              |              |              | kw gem            | 2,29  |
|            |       |       |       |       |       |       |     |       |           |              |              |              | kWhther           | 10,10 |
|            |       |       |       |       |       |       |     |       |           |              |              |              | PF                | 1,23  |
|            |       |       |       |       |       |       |     |       |           |              |              |              | gembuiten<br>temp | 0,1°C |

Tabel 13: Om de dertig seconden wordt er van de drie binnen units de in-en uitblaas temperatuur opgemeten en een uitblaasdebiet bepaald. Hierboven zijn verschillende tussen waarden uit het overzicht gelaten



Figuur 18: Ontdooicycli lucht/ lucht bij buitentemperatuur 0,1°C

De grafiek hierboven (Figuur 18) geeft duidelijk weer wanneer en hoelang de warmtepomp in ontdooiing werkt. Wat mooi zichtbaar wordt is dat de warmtepomp per uur éénmaal in ontdooiing gaat en dat de tijd van deze ontdooicycli oploopt tot 10 minuten. Er wordt op de momenten van de ontdooiing geen warmte gewisseld en dit weegt daardoor dus sterk op de PF van deze installatie. Een mogelijke uitbreiding van deze meting zou er in kunnen bestaan te kijken wat de invloed is van de ontdooicycli op de ruimtetemperatuur.

Er werd bij deze installatie een andere meetmethode gehanteerd. Het is echter gebleken dat de nauwkeurigheid van deze meting echt te wensen overlaat. Daarom is besloten om samen met de fabrikant te zoeken naar een manier om de meting nauwkeuriger te laten gebeuren.

#### Meting maart 2010

| Time stamp)                | $\Delta 1$ | $\Delta 2$ | $\Delta 3$ | IDU1<br>(m <sup>3</sup> /h) | IDU2<br>(m <sup>3</sup> /h) | IDU4<br>(m <sup>3</sup> /h) | Q1<br>(kJ/h) | Q2<br>(kJ/h) | Q3<br>(kJ/h) | Qtot(kJ/h) | tot kW | Qtot(kJ) |
|----------------------------|------------|------------|------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------|--------------|--------------|------------|--------|----------|
| 09/03/2010<br>09:42:21.953 | 0,11       | 0,18       | 0,74       | 0                           | 0                           | 0                           | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00       | 0      | 0        |
| 09/03/2010<br>09:42:51.924 | 0,20       | 0,26       | 0,73       | 0                           | 0                           | 0                           | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00       | 0      | 0        |
| 12/03/2010<br>13:13:21.924 | 2,85       | 20,05      | 5,53       | 350                         | 620                         | 620                         | 267,33       | 14053,01     | 0,00         | 14320,3    | 3,9778 | 119,33   |
| 12/03/2010<br>13:13:51.924 | 4,01       | 19,76      | 1,50       | 350                         | 620                         | 0                           | 1609,59      | 13664,07     | 0,00         | 15273,6    | 4,2426 | 127,28   |

|               |           |
|---------------|-----------|
| totaal(kJ)    | 857246,62 |
| totaal(kJ)    | 857246,62 |
| kWh thermisch | 238,12    |
| kWh elek      | 135,00    |
| PF            | 1,76      |

Gem buiten temperatuur 7°C

Tabel 14: Om de dertig seconden wordt er van de drie binnen units de in en uitblaastemperatuur  $t$  opgemeten en een uitblaasdebiet bepaald. Hierboven zijn verschillende tussen waarden uit het overzicht gelaten

### Meting april 2010

| 30/4/2010-<br>11:28:39c |  | IDU(m³/h) | IDU2(m³/h) | IDU4(m³/h) | ΔT1   | ΔT2  | ΔT3   | Q1(kJ/h) | Q2(kJ/h) | Q3(kJ/h) | QTOT(kW)  | tot kJ   |
|-------------------------|--|-----------|------------|------------|-------|------|-------|----------|----------|----------|-----------|----------|
| 30/4/2010-<br>11:29:9   |  | 0         | 0          | 0          | -0,43 | 0,35 | -0,68 | 0        | 0        | 0        | 0         | 0        |
| 30/4/2010-<br>11:29:39  |  | 0         | 0          | 0          | -0,28 | 0,31 | -0,63 | 0        | 0        | 0        | 0         | 0        |
| 30/4/2010-<br>16:17:10  |  | 550       | 620        | 0          | 20,23 | 9,86 | -4,21 | 12758,4  | 7010,151 | 0        | 5,5       | 164,7    |
| 30/4/2010-<br>16:17:40  |  | 550       | 620        | 0          | 20,32 | 9,71 | -5,07 | 12818,4  | 6900,651 | 0        | 5,5       | 164,3    |
| 30/4/2010-<br>16:18:10  |  | 550       | 620        | 0          | 20,73 | 9,42 | -5,59 | 13072,5  | 6694,449 | 0        | 5,5       | 164,     |
| 30/4/2010-<br>16:18:40  |  | 550       | 620        | 850        | 20,72 | 9,26 | -0,13 | 13070,7  | 6582,816 | 125,751  | 5,5       | 164,8    |
| 30/4/2010-<br>16:19:10  |  | 550       | 620        | 850        | 18,37 | 9,35 | 7,88  | 11588,4  | 6644,6   | 7683,484 | 7,2       | 215,9    |
|                         |  |           |            |            |       |      |       |          |          |          | totaal kJ | 101064,6 |
| totale meettijd (h)     |  |           |            |            |       |      |       |          |          | 4,8      | kWh therm | 28,1     |
|                         |  |           |            |            |       |      |       |          |          |          | kWh elek  | 13       |
| Gem buiten temp 7°C     |  |           |            |            |       |      |       |          |          |          | PF        | 2,2      |

Tabel 15: Om de dertig seconden wordt er van de drie binnen units de in en uitblaastemperatuur t opgemeten en een uitblaasdebiet bepaald. Hierboven zijn verschillende tussen waarden uit het overzicht gelaten



## Conclusie

De nauwkeurigheid van deze installatie is moeilijk te bepalen. Momenteel moet er gemeten worden over 3 dicht bij elkaar geplaatste binnenunits met één buitenunit. Dit zorgt er voor dat er ongewild beïnvloeding is op de verschillende andere binnenunits. Ook is de meting van de temperaturen te traag om accuraat de PF te kunnen bepalen.

Toch zijn er uit deze metingen op de installatie interessante gegevens verkregen. De metingen op het systeem lucht/lucht tonen aan dat de performantie van een dergelijk systeem zeer sterk afhangt van de buitentemperatuur. De eerste meting is gedaan in de zomer (juli), de tweede in het begin van de herfst, vooraan in het stookseizoen. De PF's die daar wordt opgemeten zijn beduidend hoger dan deze die werd opgemeten eind januari. Belangrijke parameters blijken hier het aantal ontdooicycli en de duur van deze cycli te zijn. Uit de metingen blijkt dat deze kunnen oplopen tot 1/7 van de werkingstijd. De prestatiefactor schommelt tussen 1,2 in de winter en 2,9 in het tussen seizoen

## Metingen op de bodem/water warmtepomp

### Volgende zaken worden opgemeten

- Aanvoertemperatuur secundair
- Retourtemperatuur secundair
- Aanvoertemperatuur Primair
- Retourtemperatuur Primair
- kWh thermisch
- kWh elektrisch
  - circulatiepomp,
  - sturing en
  - compressor

### Meting oktober 2009 (vollast)

Er werd een meting gedaan over één dag. Deze meting werd op vollast gedaan. Om de cijfers die hieruit volgen te kaderen, wordt ook hier een omkadering van de meetopstelling gegeven:

| Temperaturen                | °C   |
|-----------------------------|------|
| Buitentemperatuur overdag   | 17,7 |
| Buitentemperatuur 's nachts | 8    |
| Primair aanvoer             | 11,6 |
| Primair uitgang             | 7,9  |
| Secundair voorloop          | 45   |
| Secundair terugloop         | 34,2 |

| setpunt     |    |    |
|-------------|----|----|
| retour temp | 43 | °C |

Ook hier werd een meting gedaan van elektrisch verbruik en geproduceerde warmte. In een eerste tabel worden de meetgegevens weergegeven zoals ze werkelijk gemeten zijn:

| Component       | Start      |          | Stop       |          | Verbruik adh kWh-meters |
|-----------------|------------|----------|------------|----------|-------------------------|
|                 | Datum      | Tijdstip | Datum      | Tijdstip |                         |
|                 |            | hh:mm    |            | hh:mm    | kWh                     |
| Primaire pomp   | 22/10/2009 | 15:40    | 23/10/2009 | 12:52    | 13,8                    |
| Secundaire pomp | 22/10/2009 | 15:40    | 23/10/2009 | 12:52    | 1,7                     |
| Compressor      | 22/10/2009 | 15:40    | 23/10/2009 | 12:52    | 41                      |
| Calorimeter     | 22/10/2009 | 15:40    | 23/10/2009 | 12:52    | 180                     |
| Stuurbord       | 22/10/2009 | 15:40    | 23/10/2009 | 12:52    | 0                       |
| PF              |            |          |            |          | 3,19                    |

**Tabel 16: Prestatiefactor van de bodem/water installatie in functie van de elektrisch opgenomen en thermisch geproduceerde energie**

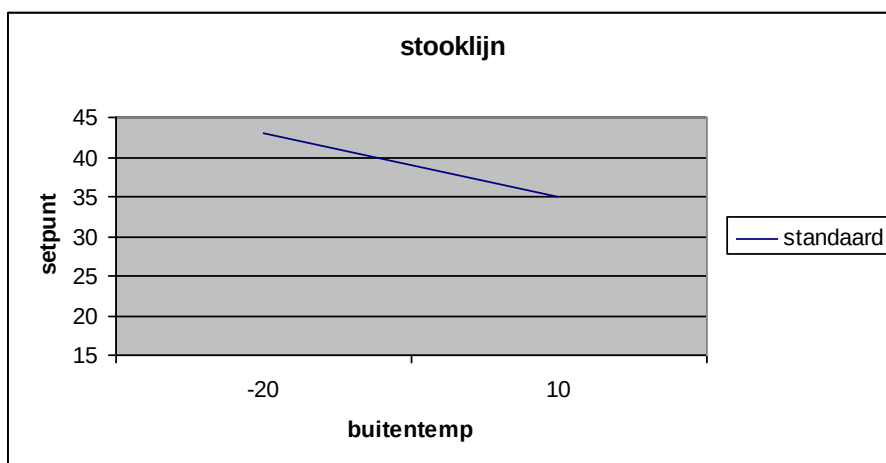
Met deze gegevens bekomen we een prestatiefactor van 3,19. Deze waarde lijkt aan de lage kant aangezien dat deze gemeten waarde niet representatief zijn voor werkelijk geïnstalleerde warmtepompinstallaties. Dit komt omdat het bronpompvermogen met 1 kW veel hoger licht dan normaal gebruikelijk is (150W). Daarom is er een verrekening gebeurd naar meer realistische werksomstandigheden. Deze worden in volgende tabel weergegeven:

| Component       | Start      |          | Stop       |          | Verbruik adh kWh-meters |
|-----------------|------------|----------|------------|----------|-------------------------|
|                 | Datum      | Tijdstip | Datum      | Tijdstip |                         |
|                 |            | hh:mm    |            | hh:mm    | kWh                     |
| Primaire pomp   | 22/10/2009 | 15:40    | 23/10/2009 | 12:52    | 1,7                     |
| Secundaire pomp | 22/10/2009 | 15:40    | 23/10/2009 | 12:52    | 1,7                     |
| Compressor      | 22/10/2009 | 15:40    | 23/10/2009 | 12:52    | 41                      |
| Calorimeter     | 22/10/2009 | 15:40    | 23/10/2009 | 12:52    | 180                     |
| Stuurbord       | 22/10/2009 | 15:40    | 23/10/2009 | 12:52    | 0                       |
| PF              |            |          |            |          | 4,05                    |

Tabel 17: Om de dertig seconden wordt er van de drie binnen units de in en uitblaastemperatuur t opgemeten en een uitblaasdebiet bepaald. Hierboven zijn verschillende tussen waarden uit het overzicht gelaten

Er is ook hier een herrekening gebeurd naar een bronpompvermogen van 150. Hierbij bekomen we een prestatiefactor van 4,05.

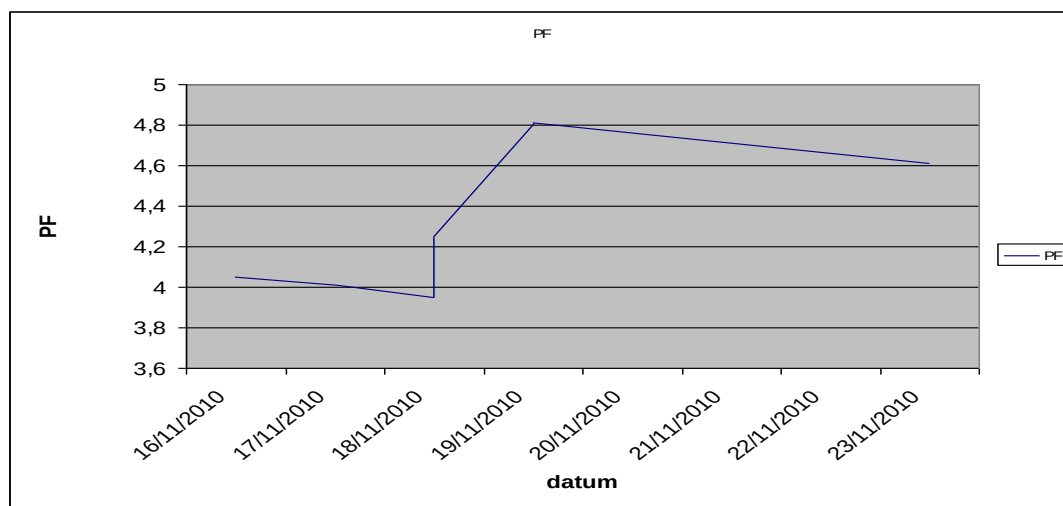
#### Meeting november2009.(Vollast)



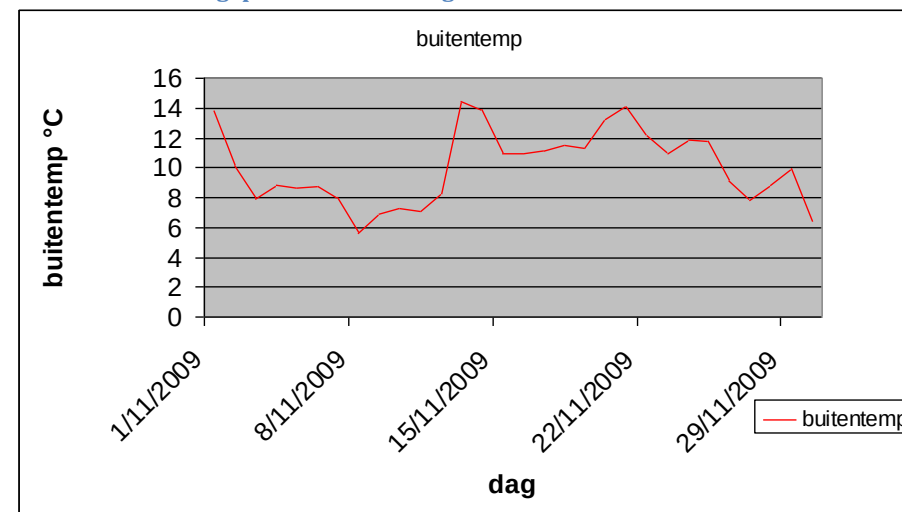
Figuur 19: Ingestelde stooklijn

|              |            |       |            |       |            |       |            |       |            |       |            |       |            |       |
|--------------|------------|-------|------------|-------|------------|-------|------------|-------|------------|-------|------------|-------|------------|-------|
| setpunt      | 45°C       |       | 45°C       |       | 40°C       |       | 40°C       |       | 35°C       |       | 35°C       |       | 35°C       |       |
| Start        | 16/11/2009 | 17:30 | 17/11/2009 | 9:30  | 17/11/2009 | 18:00 | 18/11/2009 | 9:20  | 18/11/2009 | 17:00 | 19/11/2009 | 9:35  | 19/11/2009 | 9:35  |
| Stop         | 17/11/2009 |       | 17/11/2009 | 18:00 | 18/11/2009 | 9:20  | 18/11/2009 | 17:00 | 19/11/2009 | 9:35  | 19/11/2009 | 16:55 | 23/11/2009 | 16:55 |
| Component    | kWh        |       | kWh        |       | kWh        |       | kWh        |       | kWh        |       | kWh        |       | kWh        |       |
| Gem buiten t | 11,7       |       | 11,1       |       | 11,5       |       | 11,5       |       | 11,3       |       | 11,3       |       | 12,1       |       |
| Prim pomp    | 0,6        |       | 0,3        |       | 0,7        |       | 0,3        |       | 0,7        |       | 0,3        |       | 4,2        |       |
| Sec pomp     | 0,6        |       | 0,3        |       | 0,7        |       | 0,3        |       | 0,7        |       | 0,3        |       | 4,2        |       |
| Compressor   | 33         |       | 16         |       | 34         |       | 12         |       | 23         |       | 10         |       | 139        |       |
| Calorimeter  | 139        |       | 67         |       | 140        |       | 54         |       | 106        |       | 51         |       | 680        |       |
| PF           | 4,0        |       | 4,0        |       | 3,9        |       | 4,2        |       | 4,3        |       | 4,8        |       | 4,6        |       |

Tabel 18: Prestatiefactor van de bodem/water installatie in functie van de elektrisch opgenomen en thermisch geproduceerde energie

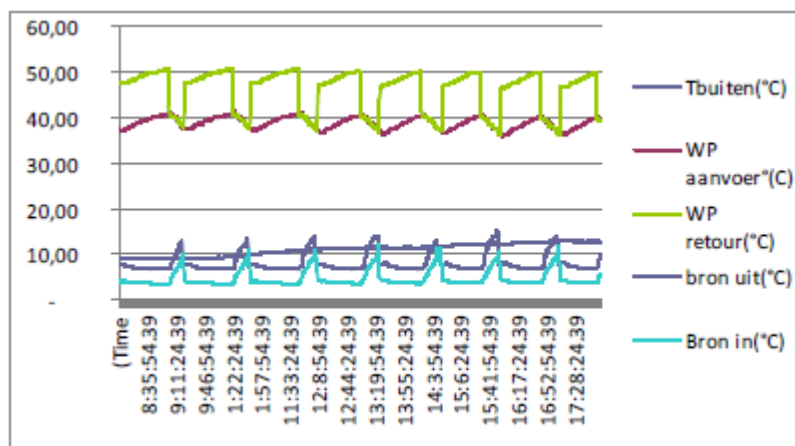


Figuur 20: Verloop prestatiefactor



Figuur 21: Buitentemperatuur

Hier is duidelijk te zien dat deze meting weinig invloed ondervindt van de wisselende buitentemperaturen(Figuur 21 en Figuur 20). De variatie op de PF is volledig te wijten aan wisselende temperatuurssetpunten langs condensorzijde.

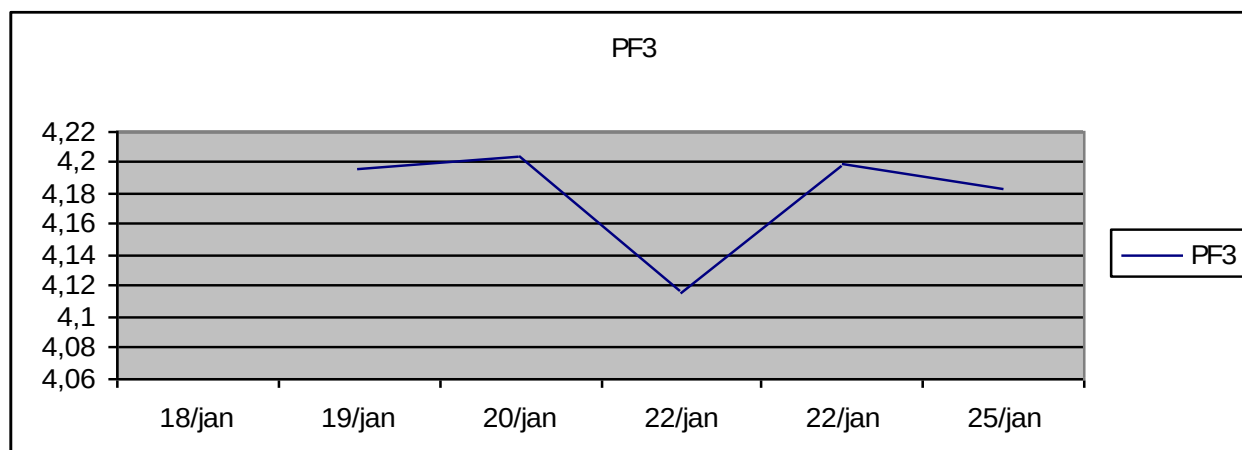


Figuur 22:Aanvoertemperatuur en retour temperatuur ,primair en secundair

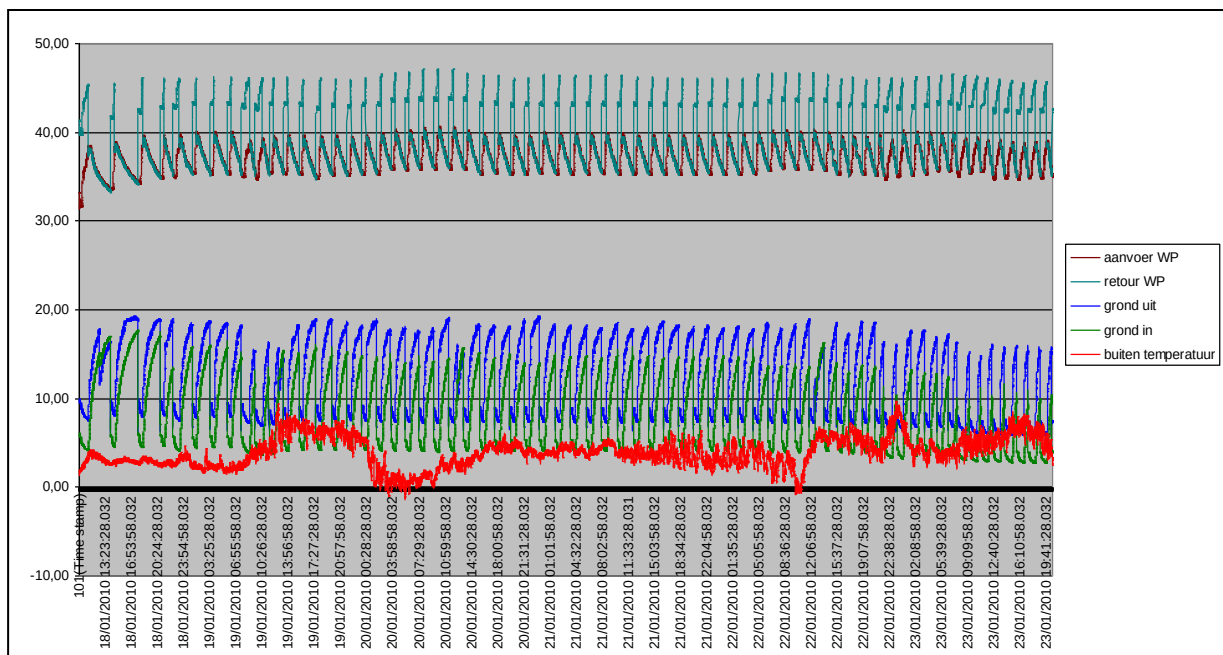
Meeting.januari 2010(met simulatielast)

| Compressor<br>(kWh) | pomp<br>prim<br>(kWh) | pomp sec<br>(kWh) | Calorie<br>(kWh) | datum+tijd |       | Verschil el<br>(kWh ) | Verschil th<br>(kWh) | PF  |
|---------------------|-----------------------|-------------------|------------------|------------|-------|-----------------------|----------------------|-----|
|                     |                       |                   | 5397             | 18/jan     | 9:50  |                       |                      |     |
| 23,8                | 0,9                   | 1,3               | 5506             | 19/jan     | 17:50 | 25,9                  | 109                  | 4,2 |
| 12,4                | 0,5                   | 0,7               | 5563             | 20/jan     | 9:57  | 13,6                  | 57                   | 4,2 |
| 34                  | 1,2                   | 1,9               | 5716             | 22/jan     | 8:55  | 37,2                  | 153                  | 4,1 |
| 7                   | 0,3                   | 0,4               | 5748             | 22/jan     | 17:59 | 7,6                   | 32                   | 4,2 |
| 86                  | 3,2                   | 2,6               | 6132             | 25/jan     | 8:30  | 91,8                  | 384                  | 4,2 |

Tabel 19: Prestatiefactor in functie van de elektrisch opgenomen en thermisch geproduceerde energie



Figuur 23: Verloop prestatiefactor



**Figuur 24: Aanvoertemperatuur en retour temperatuur ,primair en secundair**

### Meting februari en maart 2010 simulatielast

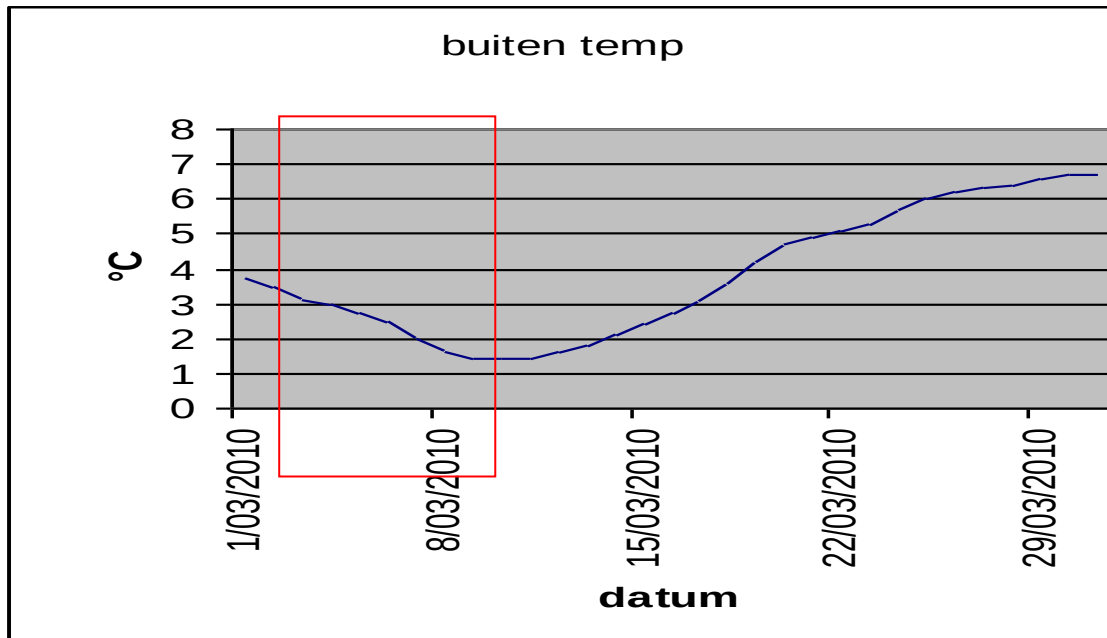
Een eerste meetperiode op de bodem/water installatie is uitgevoerd in de maand maart. Er is in de eerste meetperiode gesimuleerd over 10 dagen. In deze periode is enkel CV gesimuleerd.

|                 | 35°C       |       | 35°C      |       | 35°C      |       |
|-----------------|------------|-------|-----------|-------|-----------|-------|
| Start           | 25/02/2010 | 14:00 | 1/03/2010 | 14:00 | 2/03/2010 | 17:00 |
| Stop            | 1/03/2010  | 14:00 | 2/03/2010 | 17:00 | 6/03/2010 | 17:00 |
| Component       | Verbruik   |       | Verbruik  |       | Verbruik  |       |
|                 | kWh        |       | kWh       |       | kWh       |       |
| Primaire pomp   | 4          |       | 1,1       |       | 9         |       |
| Secundaire pomp | 1,70       |       | 0,47      |       | 3,83      |       |
| Compressor      | 109        |       | 32        |       | 105       |       |
| Calorimeter     | 491        |       | 137       |       | 569       |       |
| Stuurbord       | 1,536      |       | 0,432     |       | 1,536     |       |
| SPF             | 4,28       |       | 4,08      |       | 4,83      |       |

**Tabel 20: Prestatiefactor in functie van de elektrisch opgenomen en thermisch geproduceerde energie**

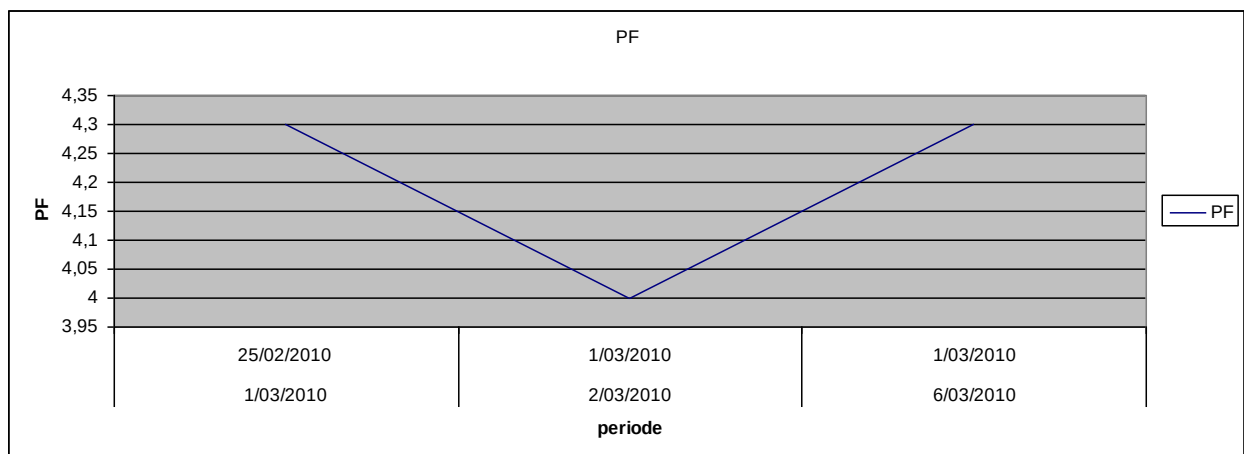
Aangezien er tijdens deze eerste meetperiode data verloren gegaan zijn van de temperatuursregimes is er geen grafiek die de verschillende temperaturen van aan- en afvoer weergegeven.

Voor de buitentemperatuur hebben we beroep gedaan op het meetstation in Ukkel dat de buitentemperaturen gedurende deze periode heeft uitgezet(Figuur 25).



**Figuur 25: Buitentemperatuur meting maart 2010**

Hieronder is de grafiek van de PF uitgezet. Er is hier een dip in het midden van de grafiek. Echter deze daling is te gering om volledig toe te schrijven aan de koudere buitentemperatuur. Het is veel waarschijnlijker dat de lengte van deze meetperiode van grotere invloed zal zijn dan de koudere buitentemperatuur.



**Figuur 26: Verloop van de prestatiefactor in maart 2010.**

### **Meting maart2010 simulatielast.**

Ook bij deze meetperiode is het SWW-gebruik gesimuleerd. Deze periode bestaat echter uit verschillende kortere metingen die telkens bovenaan onderstaande tabel verder gespecificeerd zijn. Wat hier sterk opvalt, is dat de prestatiefactor niet sterk varieert tijdens deze meetperiode. Er is echter één SWW-meting die drastisch lager is dan de anderen(meting 2 Tabel 21). Als we gaan kijken naar de verschillende energieverbruiken bij SWW-productie in latere simulaties in deze meetperiode dan zien we dat deze verbruiken sterk verschillen van de eerste meting met slechtere PF. Dit laat vermoeden dat er een omrekeningsfout werd gemaakt. Voor de berekening van de PF bij bodem/water worden de werkelijke pompvermogens (150 en 1000 W) omgerekend naar realistischere vermogens(50 W).

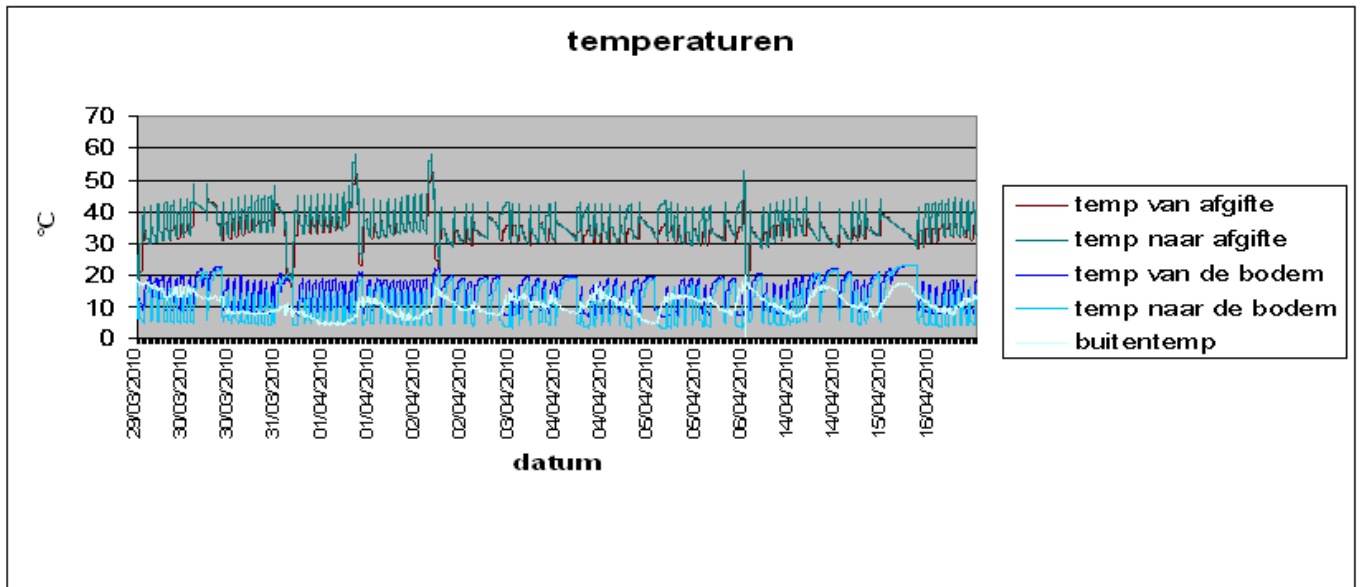


|                 | Nachtmeting |       | SWW        |       | Nachtmeting |       | SWW        |       | Nachtmeting |       | SWW       |       |
|-----------------|-------------|-------|------------|-------|-------------|-------|------------|-------|-------------|-------|-----------|-------|
|                 | 35°C        |       | 50°C       |       | 35°C        |       | 50°C       |       | 0-35°C      |       | 50°C      |       |
| Start           | 29/03/2010  | 16:35 | 30/03/2010 | 13:23 | 30/03/2010  | 16:43 | 31/03/2010 | 10:12 | 31/03/2010  | 16:05 | 1/04/2010 | 8:44  |
| Stop            | 30/03/2010  | 9:13  | 30/03/2010 | 16:43 | 31/03/2010  | 10:12 | 31/03/2010 | 16:05 | 1/04/2010   | 8:44  | 1/04/2010 | 11:44 |
| Component       | Verbruik    |       | Verbruik   |       | Verbruik    |       | Verbruik   |       | Verbruik    |       | Verbruik  |       |
|                 | kWh         |       | kWh        |       | kWh         |       | kWh        |       | kWh         |       | kWh       |       |
| Secundaire pomp | 1,4         |       | 0,6        |       | 1,5         |       | 0,2        |       | 1,4         |       | 0,2       |       |
| Primaire pomp   | 0,596       |       | 0,255      |       | 0,638       |       | 0,085      |       | 0,596       |       | 0,085     |       |
| Compressor      | 14          |       | 2          |       | 15          |       | 1          |       | 14          |       | 3         |       |
| Calorimeter     | 73          |       | 7          |       | 75          |       | 6          |       | 69          |       | 14        |       |
| Stuurbord       | 0,272       |       | 0,048      |       | 0,288       |       | 0,096      |       | 0,24        |       | 0,048     |       |
| SPF             | 4,49        |       | 2,41       |       | 4,30        |       | 4,34       |       | 4,25        |       | 4,20      |       |

Tabel 21: Prestatiefactor van de bodem/water installatie in functie van de elektrisch opgenomen en thermisch geproduceerde energie. Afwisselend SWW en CV productie

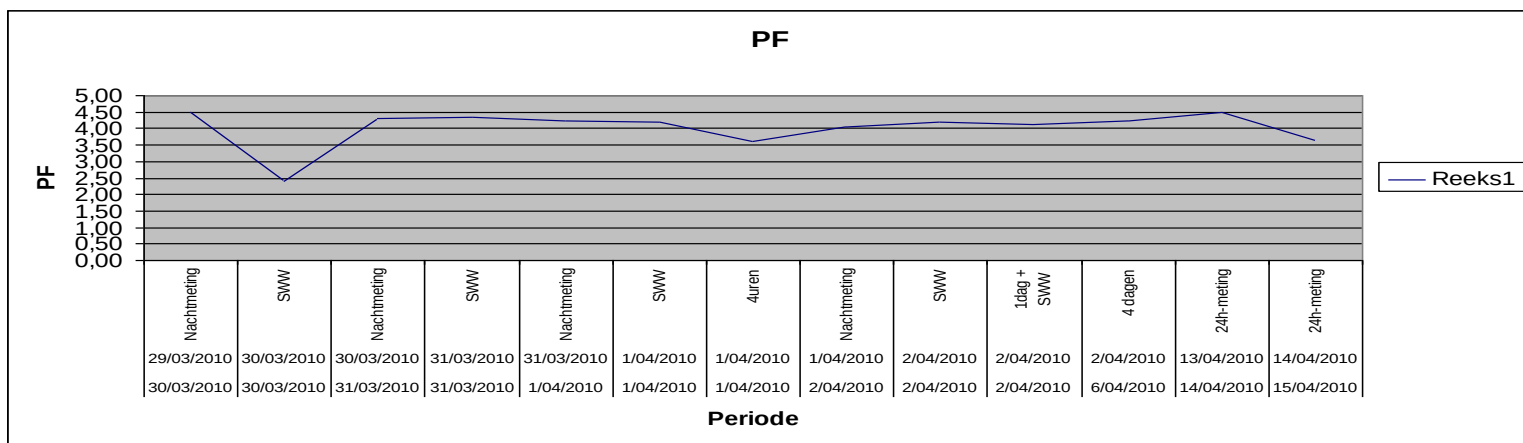
|                 | Daguren   |       | Nachtmeting |       | SWW       |       | 1dag + SWW    |       | 4 dagen   |       | 24h-meting |       | 24h-meting |       |
|-----------------|-----------|-------|-------------|-------|-----------|-------|---------------|-------|-----------|-------|------------|-------|------------|-------|
|                 | 0-35°C    |       | 0-35°C      |       | 50°C      |       | 0-35°C (50°C) |       | 0-35°C    |       | 0-35°C     |       | 0-35°C     |       |
| Start           | 1/04/2010 | 12:50 | 1/04/2010   | 15:36 | 2/04/2010 | 9:30  | 2/04/2010     | 9:30  | 2/04/2010 | 16:09 | 13/04/2010 | 16:08 | 14/04/2010 | 16:16 |
| Stop            | 1/04/2010 | 15:36 | 2/04/2010   | 9:30  | 2/04/2010 | 12:58 | 2/04/2010     | 16:09 | 6/04/2010 | 10:22 | 14/04/2010 | 16:16 | 15/04/2010 | 16:03 |
| Component       | Verbruik  |       | Verbruik    |       | Verbruik  |       | Verbruik      |       | Verbruik  |       | Verbruik   |       | Verbruik   |       |
|                 | kWh       |       | kWh         |       | kWh       |       | kWh           |       | kWh       |       | kWh        |       | kWh        |       |
| Secundaire pomp | 0,2       |       | 1,4         |       | 0,2       |       | 0,5           |       | 7,5       |       | 1,9        |       | 2          |       |
| Primaire pomp   | 0,085     |       | 0,596       |       | 0,085     |       | 0,213         |       | 3,191     |       | 0,809      |       | 0,851      |       |
| Compressor      | 3         |       | 11          |       | 3         |       | 5             |       | 62        |       | 18         |       | 8          |       |
| Calorimeter     | 12        |       | 54          |       | 14        |       | 24            |       | 313       |       | 95         |       | 41         |       |
| Stuurbord       | 0,048     |       | 0,288       |       | 0,064     |       | 0,112         |       | 1,44      |       | 0,384      |       | 0,384      |       |
| SPF             | 3,60      |       | 4,07        |       | 4,18      |       | 4,12          |       | 4,22      |       | 4,50       |       | 3,65       |       |

Tabel 22: Prestatiefactor van de bodem/water installatie in functie van de elektrisch opgenomen en thermisch geproduceerde energie. Afwisselend SWW en CV productie



**Figuur 27: Aanvoertemperatuur en retour temperatuur ,primair en secundair.**

Hier is te zien dat deze meting geen invloed ondervindt van de buitentemperatuur (Figuur 27). De buitentemperatuur fluctueert niet echt fel maar er is toch een iets warmer begin. De variatie op de PF valt volledig binnen de nauwkeurigheidsgrenzen van de meetapparatuur. In de field metingen is er wel een grotere variatie op de PF. Dat is te verklaren door het feit dat aardsondes van de warmtepomp installaties in het labo op jaarbasis zeer kortstondig gebruikt worden waardoor de degradatie van de bodemtemperatuur zeer minimaal is



**Figuur 28:verloop Prestatie factor meetperiode.**

### **Conclusie Bodem /water**

Ook hier zijn er gedurende het project verschillende relevante metingen op deze installatie gebeurd. In de beginfase zijn de metingen gebeurd bij vollast. Vanaf januari 2010 zijn de metingen onder simulatielast uitgevoerd.

Over het algemeen kunnen we stellen dat de PF bij de metingen op deze installatie zeer constant blijft. Vanaf maart is ook hier SWW gesimuleerd. De simulatie ervan gebeurde volledig gelijk aan de SWW simulaties bij de luchtwater installatie. Het vat werd volledig opgewarmd en daarna werd het weer volledig leeg gekoeld.

Over het algemeen liggen de resultaten van de bodem/water installaties iets hoger dan de PF-waarden bij de praktijkinstallaties. Dit is te verklaren doordat dit slechts momentopnames zijn over een korte meetperiode. Ook zijn de meetperiodes te kort om de bodemtemperatuur echt sterk te doen dalen. Door slechts periodiek metingen op deze installatie te doen kan de bodem bijna perfect regenereren en wordt de prestatiefactor dus zeer gunstig beïnvloed. De prestatiefactor schommelt tussen 4,2 en 4,6 gedurende het gehele stookseizoen.

## **Metingen op de water/water warmtepomp**

### **Meeting februari 2010**

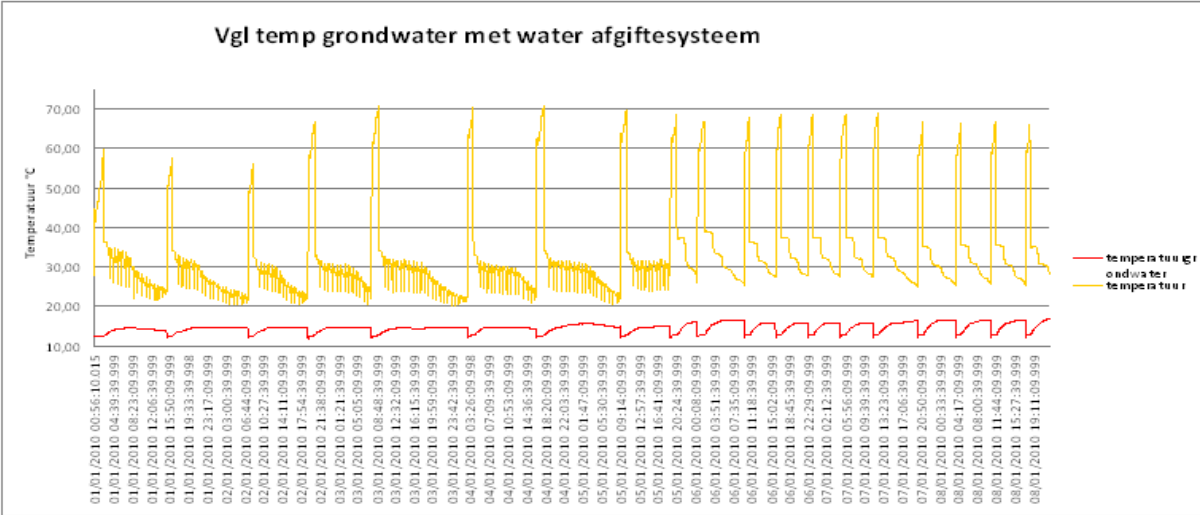
Deze meting werd uitgevoerd met een vast setpunt van 35°C als retourtemperatuur. In de eerste meting is de installatie nog serieel geschakeld. De buffer staat serieel geschakeld met de warmtepomp. Dit heeft als gevolg dat er periodiek zeer hoge aanvoertemperaturen bereikt worden ( $\pm 70^\circ\text{C}$ ). Als gevolg van deze gegevens wordt schakeling van de buffer herzien van serie naar parallel. In tegenstelling tot de meetcampagnes op de andere systemen zijn de metingen op de water /water enkel op vollast gebeurd.

In de grafiek (Figuur 29) is de aanvoertemperatuur van het water vrij hoog.  $\pm 13^\circ\text{C}$ . Dit is hoofdzakelijk te verklaren door het feit dat de sensoren op de leidingen zijn geplaatst en er niet in wat de relatief hoge temperatuur verklaart.

|                         |        |                    |          |                                              |
|-------------------------|--------|--------------------|----------|----------------------------------------------|
| van: 18/02/10 15:30     |        | tot:25/02/10 15:50 |          |                                              |
| Toestel                 | kWh    | kWh                | verschil | Opmerking                                    |
| Calorimeter Siemens     | 6019   | 6353               | 334      | Warmte afgegeven aan afgiftesysteem          |
| Energieteller voltcraft | 0      | 16,39              | 16,39    | Meet verbruik van secundaire pomp en sturing |
| Gardy/sata              | 2178,6 | 2198,8             | 20,2     | Meet verbruik prim pomp                      |

|         |     |
|---------|-----|
| Q (kWh) | 334 |
| E (kWh) | 134 |
| PF      | 2,5 |

Tabel 23: Prestatiefactor van de water/water installatie in functie van de elektrisch opgenomen en thermisch geproduceerde energie.



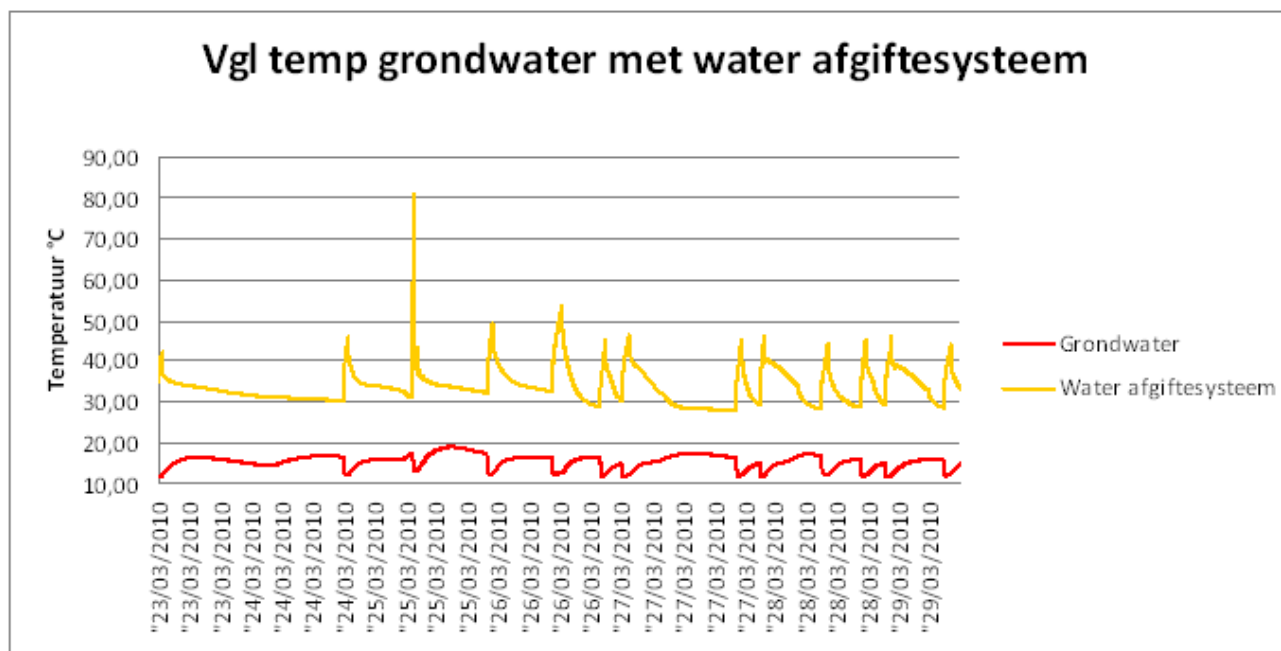
r

Figuur 29 :aanvoertemperatuur en brontemperatuur van de water/water

### Meeting maart 2010

Ook deze meting werd uitgevoerd met een vast setpunt van 35°C als retourtemperatuur. Vanaf hier is de installatie parallel geschakeld. De buffer staat nu parallel geschakeld met de warmtepomp. Ondanks het feit dat er nu veel minder hoge temperaturen worden bereikt aan condensorzijde, blijft ook hier de PF ondermaats. Dus ondanks het feit dat de warmtepomp werkt onder gunstigere condities aan de condensorzijde blijft het probleem aan de orde.

| Meting gestart op:23/03/10 om 11:20 |         | Meting beëindigt op: 29/03/10 om 15:33 |              |          |                                              |
|-------------------------------------|---------|----------------------------------------|--------------|----------|----------------------------------------------|
| Toestel                             | kWh     | Toestel                                | Verbruik kWh | verschil | Opmerking                                    |
| Caloriemeter Siemens                | 6353    | Caloriemeter Siemens                   | 6594         | 241      | Warmte afgegeven aan afgiftesysteem          |
| Energieteller voltcraft             | 0       | Energieteller voltcraft                | 25,44        | 25,44    | Meet verbruik van secundaire pomp en sturing |
| landys +gyr                         | 10044,9 | landys +gyr                            | 10118,5      | 73,6     | Meet verbruik van compressor 3f en prim pomp |
| Gardy/sata                          | 2198,8  | Gardy/sata                             | 2216,6       | 17,8     | Meet vervruik prim pomp                      |



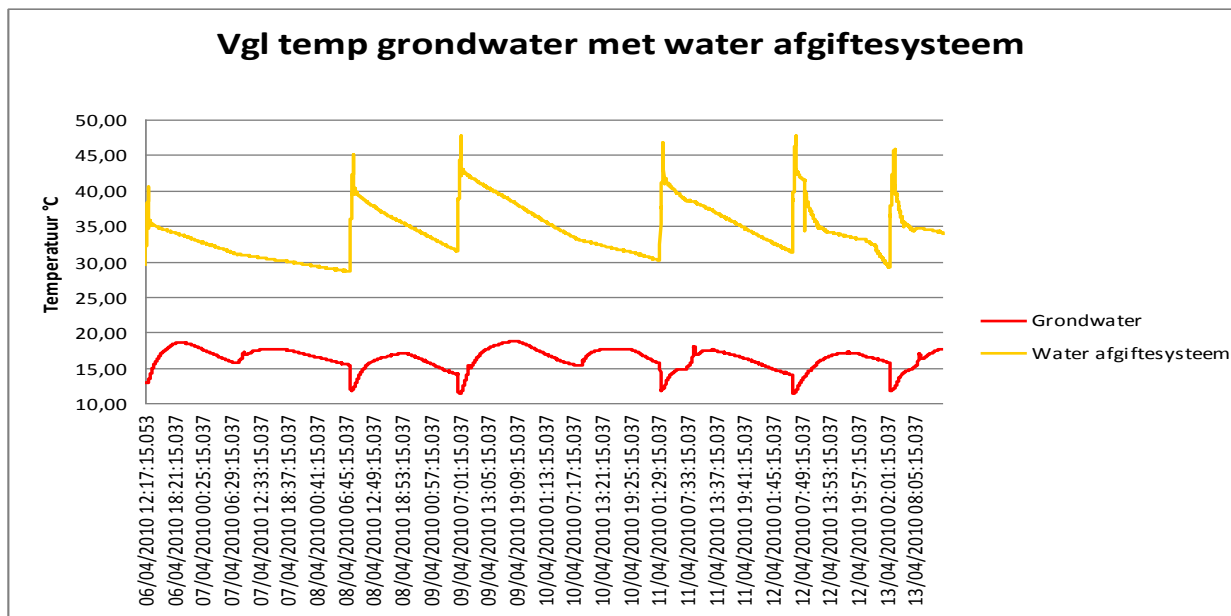
|         |       |
|---------|-------|
| Q (kWh) | 241   |
| E (kWh) | 99,04 |
| PF      | 2,5   |

**Tabel 24: Prestatiefactor van de water/water installatie in functie van de elektrisch opgenomen en thermisch geproduceerde energie**

## Meeting april 2010

Ook in de derde en voorlopig laatste geregistreerde meting blijven de problemen zich voordoen. Dit was de aanleiding om met de fabrikant samen naar de oorzaak te zoeken. Hierdoor is duidelijk geworden dat de oorzaak van de slechte resultaten ligt in het feit dat de warmtepomp te groot is gedimensioneerd voor het afgiftesysteem. De pomp heeft een thermisch vermogen van 18kW en de simulator kan maar 10 kW wegkoelen.

| Meting gestart op: 6/04/10 om 12:17u |              | Meting beëindigt op: 13/04/10 om 14:07u |              |          | Opmerking                                    |
|--------------------------------------|--------------|-----------------------------------------|--------------|----------|----------------------------------------------|
| Toestel                              | Verbruik kWh | Toestel                                 | Verbruik kWh | verschil |                                              |
| Calorimeter Siemens                  | 6594         | Calorimeter Siemens                     | 6673         | 79       | Warmte afgegeven aan afgiftesysteem          |
| Energieteller voltcraft              | 0            | Energieteller voltcraft                 | 26,4         | 26,4     | Meet verbruik van secundaire pomp en sturing |
| landys +gyr                          | 10118,5      | landys +gyr                             | 10141,6      | 23,1     | Meet verbruik van compressor 3f en prim pomp |
| Gardy/sata                           | 2216,6       | Gardy/sata                              | 2222,8       | 6,2      | Meet vervruik bronpomp                       |



|                      |      |
|----------------------|------|
| Q (kWh) <sub>c</sub> | 79   |
| E (kWh)              | 49,5 |
| PF                   | 1,6  |

**Tabel 25: Prestatiefactor van de water/water installatie in functie van de elektrisch opgenomen en thermisch geproduceerde energie**

**Figuur 31: aanvoertemperatuur en brontemperatuur van de water/water**

### Conclusie water/water

Op water/water zijn verschillende metingen gedaan tijdens het afgelopen project. De resultaten op deze installatie waren echter ver onder de te verwachten resultaten van deze installatie. In het begin van de metingen in februari was de installatie serieel aangesloten op het buffervat, dit gaf geen gunstig resultaat. Deze opstelling werd zo overgenomen uit een eerder project. Daarom is besloten deze teststand om te bouwen zodat deze warmtepomp ook parallel op het buffervat wordt aangekoppeld. Vanaf maart zijn de metingen in parallelle werking uitgevoerd. Aangezien dat het probleem zich bleef voordoen is verder gezocht naar de mogelijke oorzaak van dit probleem. Uit de metingen hierboven is gebleken dat de vooropgestelde COP van de fabrikant niet kon worden gehaald. Ook is gebleken dat de afgiftetemperaturen die gemeten werden veel te hoog waren. Hierdoor is duidelijk geworden dat de oorzaak van de slechte resultaten ligt in het feit dat de warmtepomp te groot is gedimensioneerd voor het afgiftesysteem. De warmtepomp heeft een thermisch vermogen van 18kW en de simulator kan maar 10 kW wegkoelen Dit is vooral gedimensioneerd op de andere geothermische installaties, die een veel kleiner nominaal vermogen hebben. Hierdoor kan de pomp de geproduceerde warmte onvoldoende kwijt. De warmteproductie is veel groter dan, de afname aan kan. Een meting op kortere periode ( een cyclus ) toont aan dat deze hypothese klopt. Echter hiervan zijn geen uitgebreide grafieken beschikbaar. De gemeten prestatiefactor ligt rond de 2,5 en is daarmee lager dan de fieldmetingen in de zelfde meetperiode.



## WP 6: Metingen op reële installaties

Dit werkpakket bestond uit volgende 3 taken:

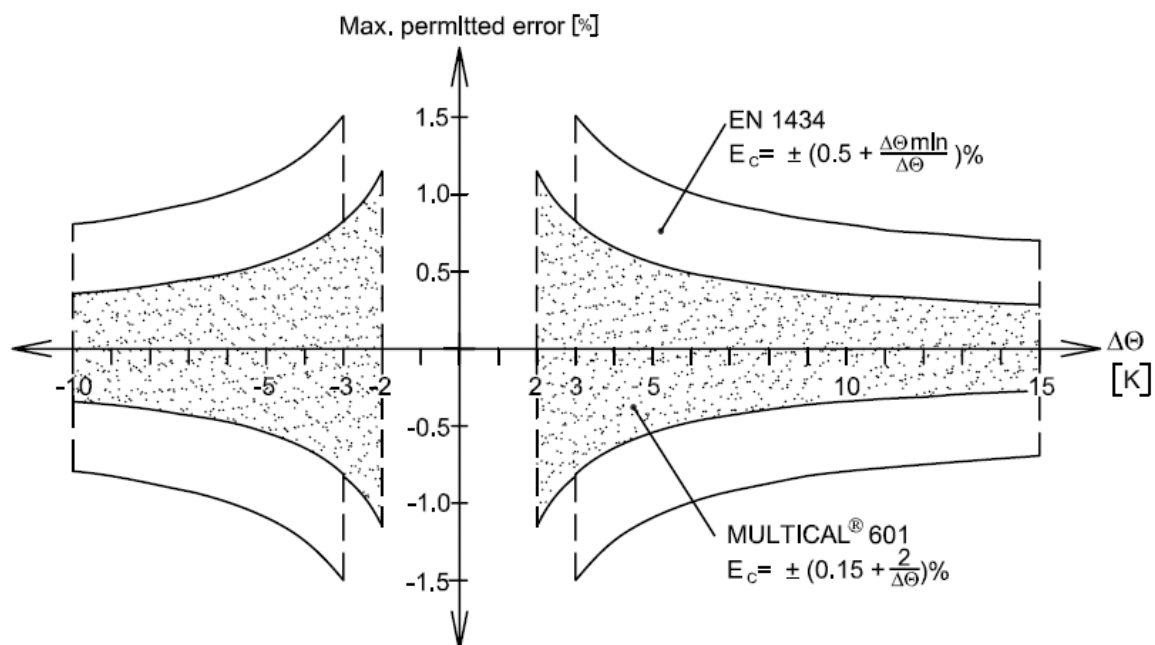
*W6-Taak 1 : Selectie van mogelijke te bemeten installaties*

*W6-Taak 2 : Metingen op locatie*

*W6-Taak 3 : Informatiefiches in-situ metingen*

In de eerste fase van het project werden contacten gelegd met verschillende bedrijven om de monitoring tot een goed einde te brengen. Om de SPF van verschillende warmtepompen op te volgen zijn immers sensoren, communicatieapparatuur en data-acquisitie nodig. Na deze contacten werd voor het volgende systeem gekozen.

Warmtetellers: Landis & Gyr 2WR (**Error! Reference source not found.**). Deze voldoet qua nauwkeurigheid aan de Europese norm EN 1434 (Figuur 32)



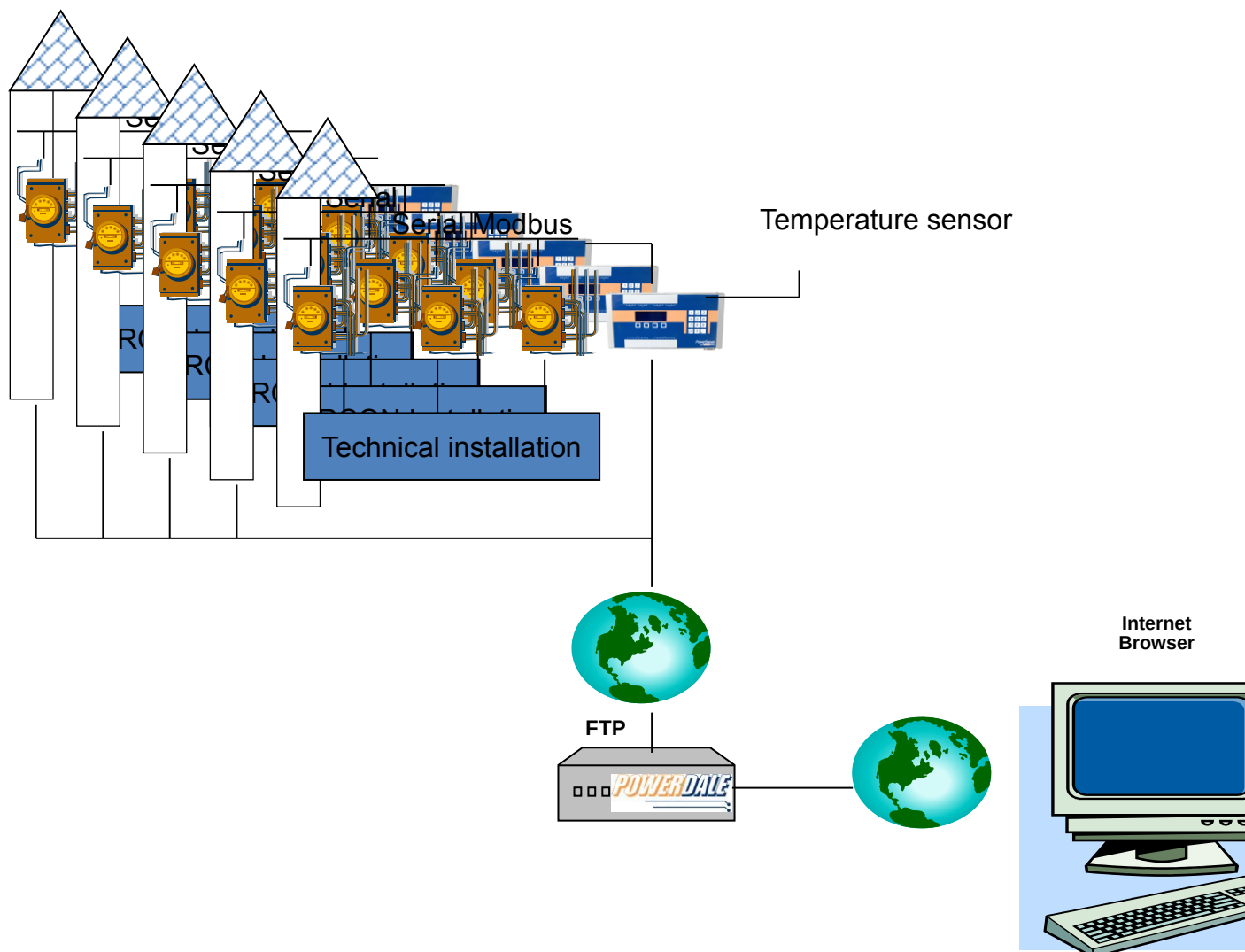
Figuur 32: Figuur uit datasheet Caloriteller Kampstrup Multical 601. Weergave nauwkeurigheid EN 1434

Elektrische kWh-tellers: Conto D Tri (**Error! Reference source not found.**)

Met inbegrip van de nauwkeurigheid van beide types sensoren is een algemene nauwkeurigheid van de (S)PF mogelijk van 0.1.

Eén of meer sensoren van beide type tellers worden gekoppeld aan de Powerlogger (Nu Power Maxi) van Powerdale (**Error! Reference source not found.**). Deze leest ter plekke de data uit en verwerkt deze in een locale webpagina. De uitgelezen waarden worden dagelijks via GPRS of ethernet doorgestuurd naar een centrale server, waar elke gebruiker zijn eigen installatie kan opvolgen en de medewerkers van WP-DIRECT alle installaties kunnen opvolgen. Voor een principeschema, zie Figuur 33.

De data kunnen online uitgelezen worden van het begin van de metingen tot de dag van inloggen. Er kan ook per maand een automatische SPF-berekening uitgevoerd worden. Ten slotte is het mogelijk om van elke installatie op maandbasis de ruwe meetdata (per kwartier) in Excelvorm te downloaden.



**Figuur 33: Principeschema datacommunicatie**

In totaal werden op 21 meetlocaties sensoren aangebracht. Niet alle meetlocaties geven even succesvol hun data door. In de volgende hoofdstukken wordt er per meetlocatie een kort dossier weergegeven waarin de belangrijkste kenmerken worden aangehaald. Vervolgens worden de resultaten van de start van de metingen tot en met december 2010 weergegeven. Op het einde van dit hoofdstuk worden algemene besluiten getrokken in verband met de metingen op reële installaties. Op Figuur 34 worden de locaties van de verschillende installaties weergegeven.



**Figuur 34: Meetlocaties WP-DIRECT**

Binnen het project werden volgende types warmtepompen gemonitord:

- 1 Water/Water
- 1 Horizontaal Bodem/Water
- 4 Verticale Bodem/Water
- 2 Dx/Water
- 11 Lucht/water

Van deze installaties wordt, indien er 2 warmtemeters geïnstalleerd werden, per maand de verhouding tussen warmte voor RV en SWW weergegeven. Dit gebeurt zonder absolute waarden, omdat deze in de 2<sup>e</sup> grafiek met bargraphs worden weergegeven. Indien er slechts 1 sensor na de condensor geïnstalleerd werd, wordt de totaal geproduceerde warmte door de warmtepompunit weergegeven.

Vervolgens worden in de tweede grafiek 2 lijngrafieken weergegeven. Een eerste geeft de maandelijkse prestatiefactor (PF) weer als de verhouding van de gemeten warmte over de geconsumeerde elektrische energie per maand. (Zie dossier wat wel en niet inbegrepen is bij beide tellers!). De tweede grafiek geeft een gecumuleerde SPF weer. Het vetgedrukte cijfer op het einde van deze grafiek geeft dus de SPF weer van het begin van de metingen tot en met de maand december 2010. Tussentijdse waarden kunnen benaderend afgelezen worden.

# Water/Water

## Dossier

Type warmtepomp: Water/Water

Type woning:

- Vrijstaand / half open / rijwoning
- K-peil:44
- Verwarmd oppervlak: 115 m<sup>2</sup>
- Bewoond oppervlak: /
- Ventilatiesysteem: /
- Locatie: booischot

Meetopstelling:

- Aantal warmtemeters: 2
  - o Op circuit VVW
  - o Voor SWW-vat
- Aantal elektrisch tellers: 2
  - o Warmtepompunit
  - o bronpomp
- Exclusief:
  - o Warmteverlies SWW-vat
  - o Regeling WP-unit

Dimensionering bron: Open bron, 65m diep, vermogen bronpomp 550 W (werkelijk opgenomen vermogen 800 W)

Warmtepomp: 17.1 kW (10-35)

Afgiftesysteem: vloerverwarming

Boilerinhoud:300l                      Geen buffervat

Regeling:stooklijn, nachtverlaging, SWW-productie 's nachts, geen legionella-programma

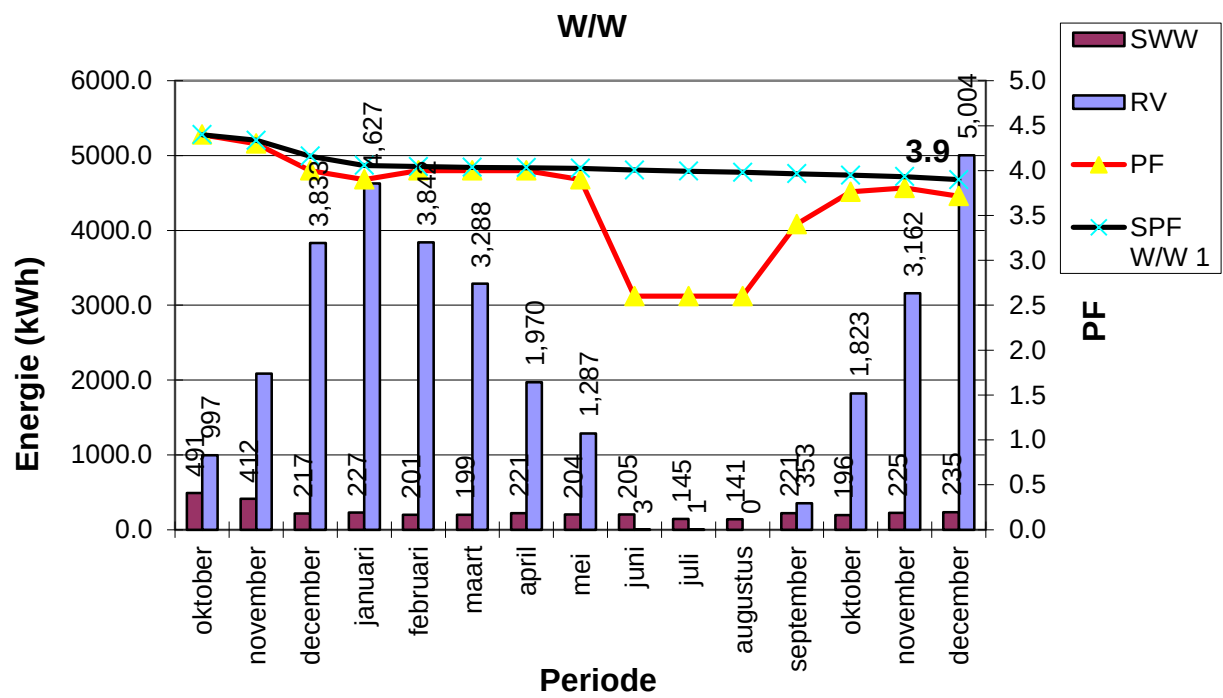
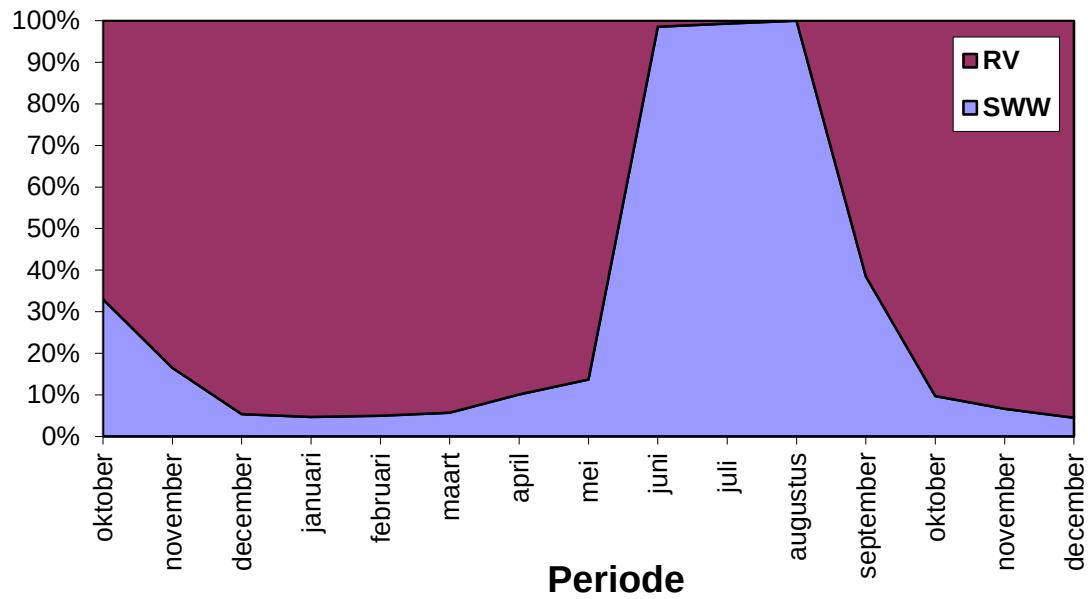
Maximum SWW-temperatuur (juli): 65°C (aan de opwekkingszijde)

Opmerkingen:

- Start metingen: 12/10/2009
- Probleem met SWW-klep: 9 nov werd dit opgelost

## Resultaten

### Aandeel SWW W/W 1



# Horizontaal Bodem/Water

## Dossier

Type warmtepomp: Hor. Bodem/Water

Type woning:

- Vrijstaand / half open / rijwoning
- K-peil:37
- Verwarmd oppervlak: /
- Bewoond oppervlak: 220 m<sup>2</sup>
- Ventilatiesysteem: D
- Locatie: Beauvechain

Meetopstelling:

- Aantal warmtemeters: 2
  - o Op circuit VVW
  - o Na SWW-vat
- Aantal elektrisch tellers: 2
  - o Warmtepompunit+brongpomp
  - o CV-pomp
- Exclusief: /

Dimensionering bron: 15 kringen van 100m: 50m heen op 80cm diepte, 50m terug op 150cm diepte

Warmtepomp: 8.8 kW (0-35)

Afgiftesysteem: vloerverwarming + 1 ventilo convector

Boilerinhoud:160l                      Geen buffervat

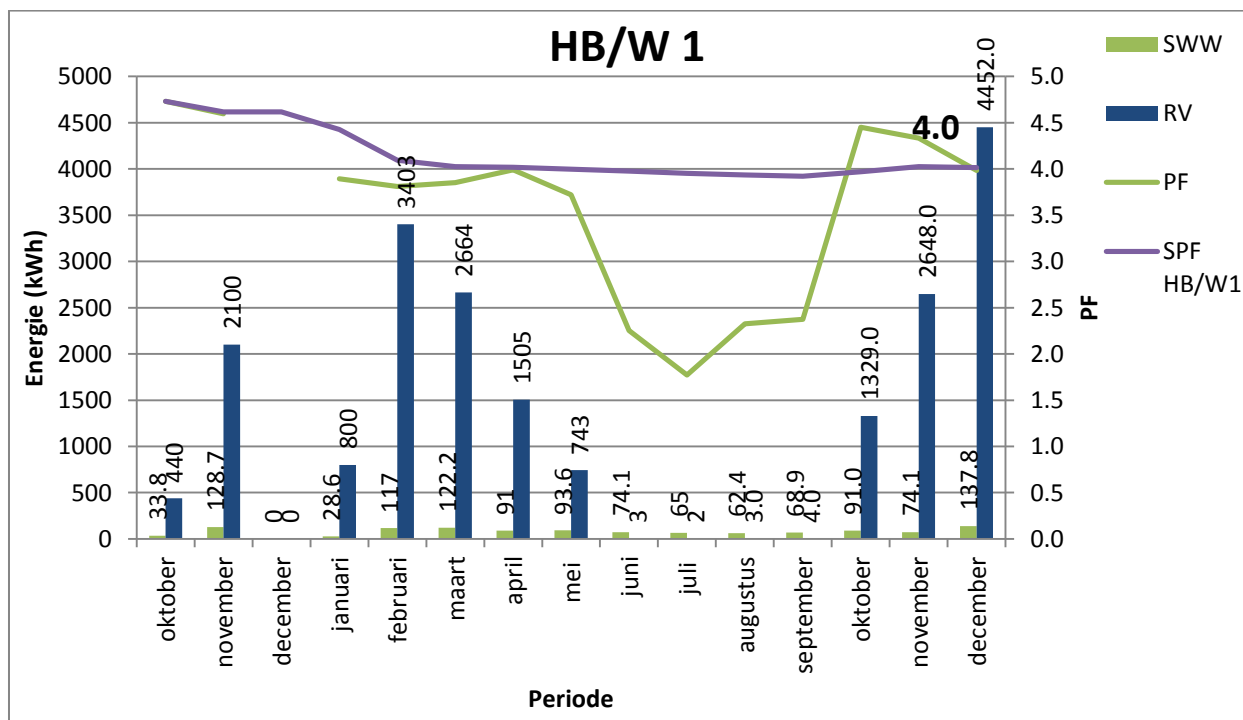
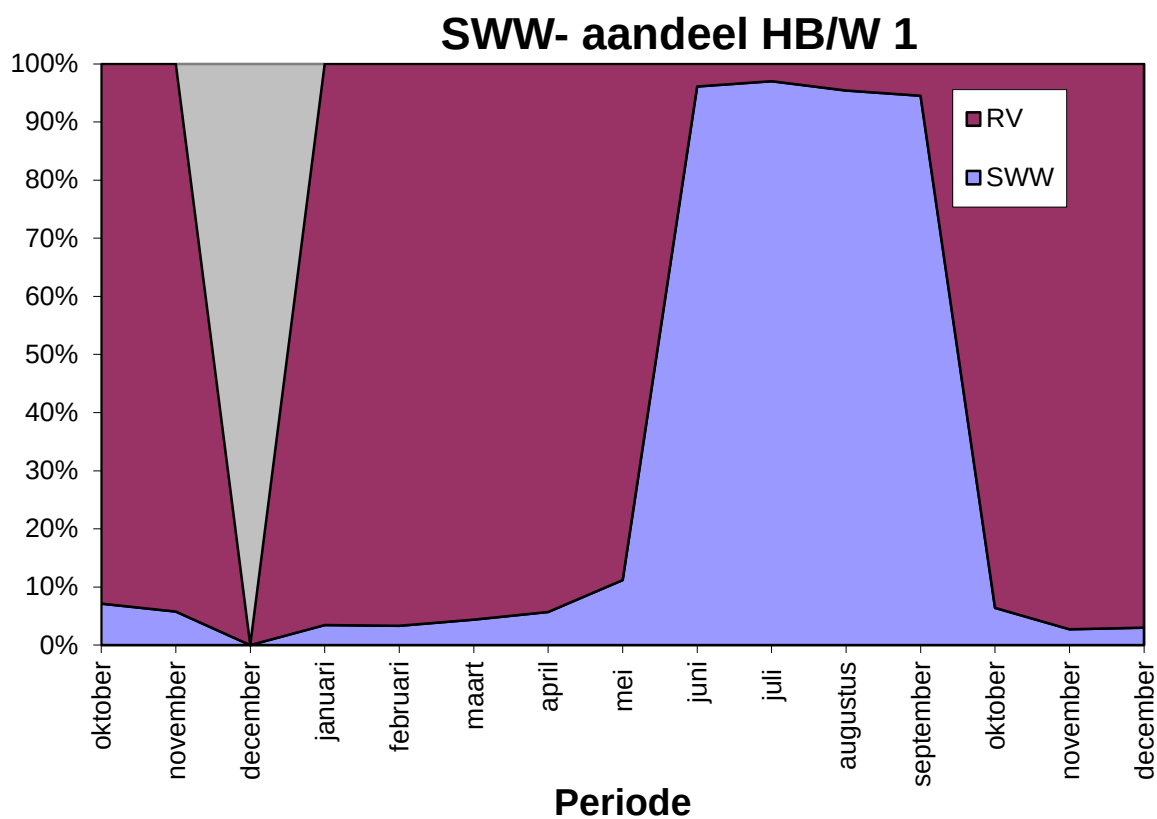
Regeling:stooklijn,geen nachtverlaging, SWW-productie 's nachts, geen legionella-programma

Maximum SWW-temperatuur (juli): 54°C (aan de aftapzijde)

Opmerkingen:

- Start metingen 23/10/2009
- In december een datacommunicatieprobleem

## Resultaten



# Vertikaal Bodem/Water 1

## Dossier

Type warmtepomp: Ver. Bodem/Water

Type woning:

- Vrijstaand / half open / rijwoning
- K-peil:35
- Verwarmd oppervlak: /
- Bewoond oppervlak: 250 m<sup>2</sup>
- Ventilatiesysteem: A
- Locatie: Belsele

Meetopstelling:

- Aantal warmtemeters: 1
  - o Na condensor
- Aantal elektrisch tellers: 1
  - o Alles exclusief pomp VVW
- Exclusief:
  - o Warmteverlies SWW-vat

Dimensionering bron: 3 kringen, dubbele U, tichelman aansluiting, 100m diep, collector 80cm diep, 250W bronpompvermogen

Warmtepomp: 15.4 kW (0-35)

Afgiftesysteem: vloerverwarming

Boilerinhoud:300l                      Geen buffervat

Regeling:stooklijn,geen nachtverlaging, SWW-productie zowel 's nachts als overdag, legionella-programma, ruimtecompensatie

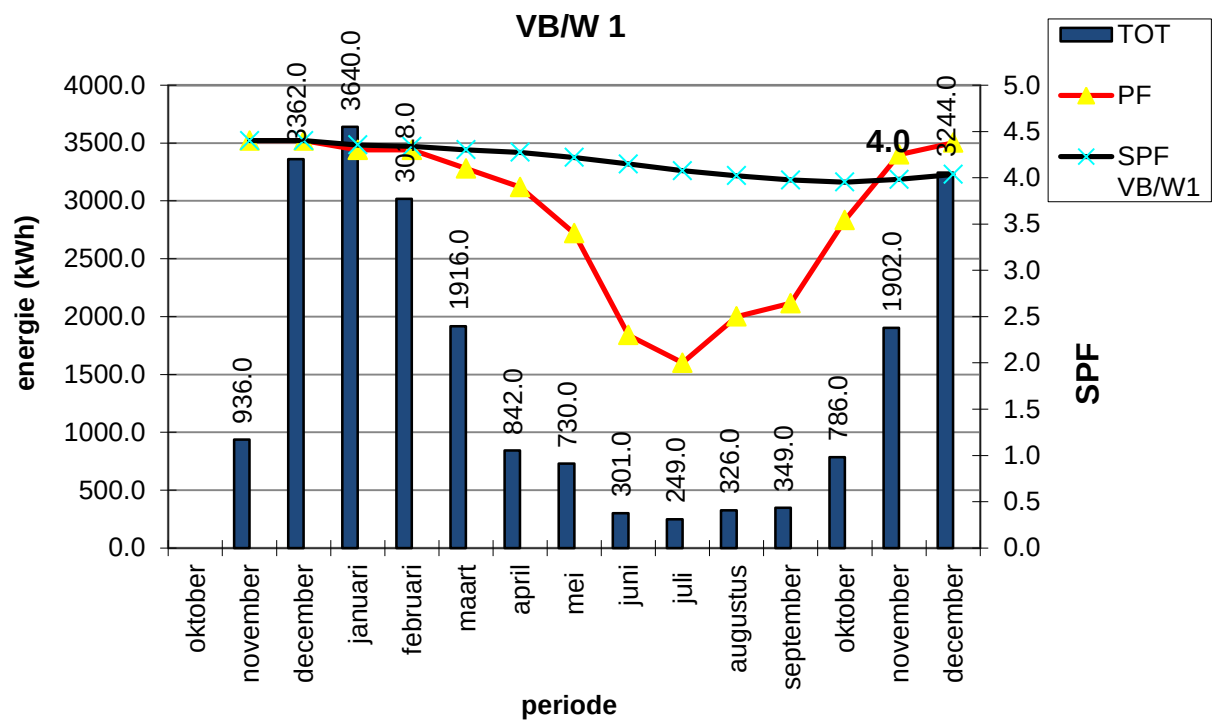
Maximum SWW-temperatuur (juli): 67°C (aan de opwekkingszijde)

Opmerkingen:

- Start metingen: 18/11/2009



## Resultaten



# Vertikaal Bodem/Water 2

## Dossier

Type warmtepomp: Ver. Bodem/Water

Type woning:

- Vrijstaand / half open / rijwoning
- K-peil: /
- Verwarmd oppervlak: /
- Bewoond oppervlak: 250 m<sup>2</sup>
- Ventilatiesysteem: D
- Locatie: Brecht

Meetopstelling:

- Aantal warmtemeters: 2
  - o Op circuit VVW
  - o Na SWW-vat
- Aantal elektrisch tellers: 1
  - o Compressorvermogen
- Exclusief:
  - o Regeling warmtepomp
  - o Elektrische bijstook, niet actief
  - o Pomp SWW-productie
  - o bronpomp

Dimensionering bron: 3 kringen, dubbele U, tichelman aansluiting, 90m diep,

Warmtepomp: 10.2 kW (0-35)

Afgiftesysteem: vloerverwarming

Boilerinhoud: 390l                      Geen buffervaat

Regeling: stooklijn, geen nachtverlaging, SWW-productie zowel 's nachts als overdag, geen legionellaprogramma

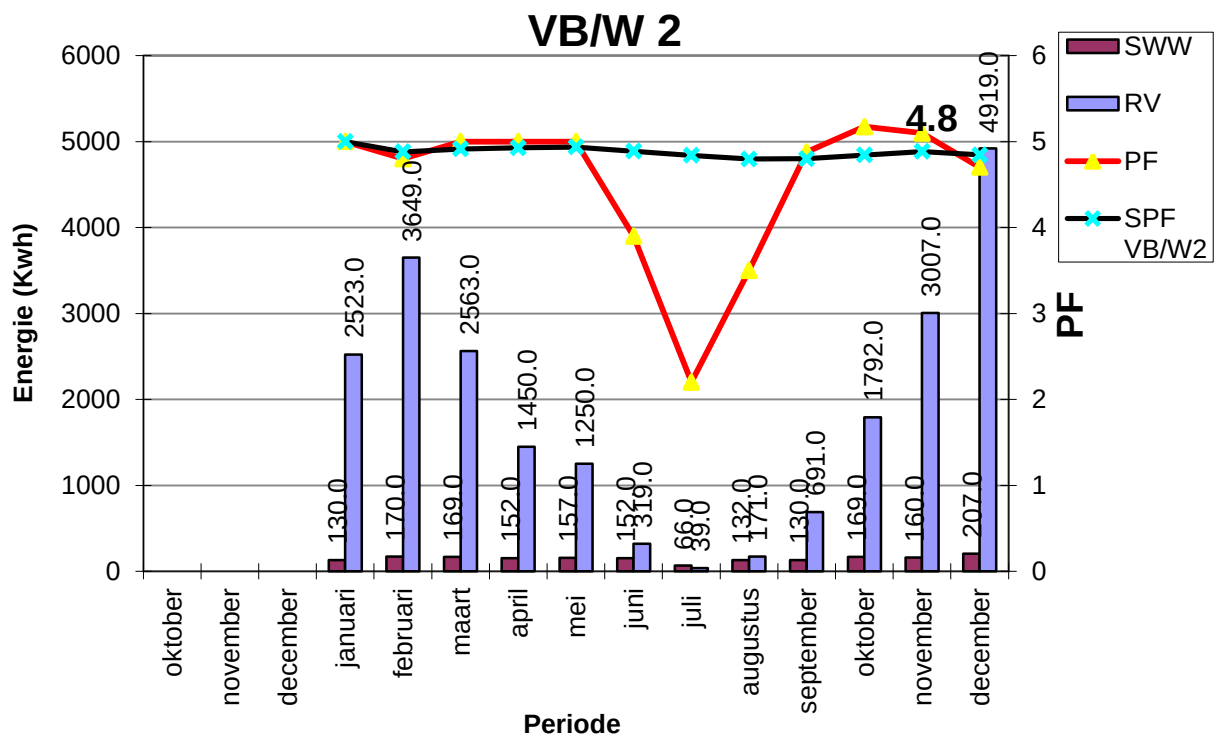
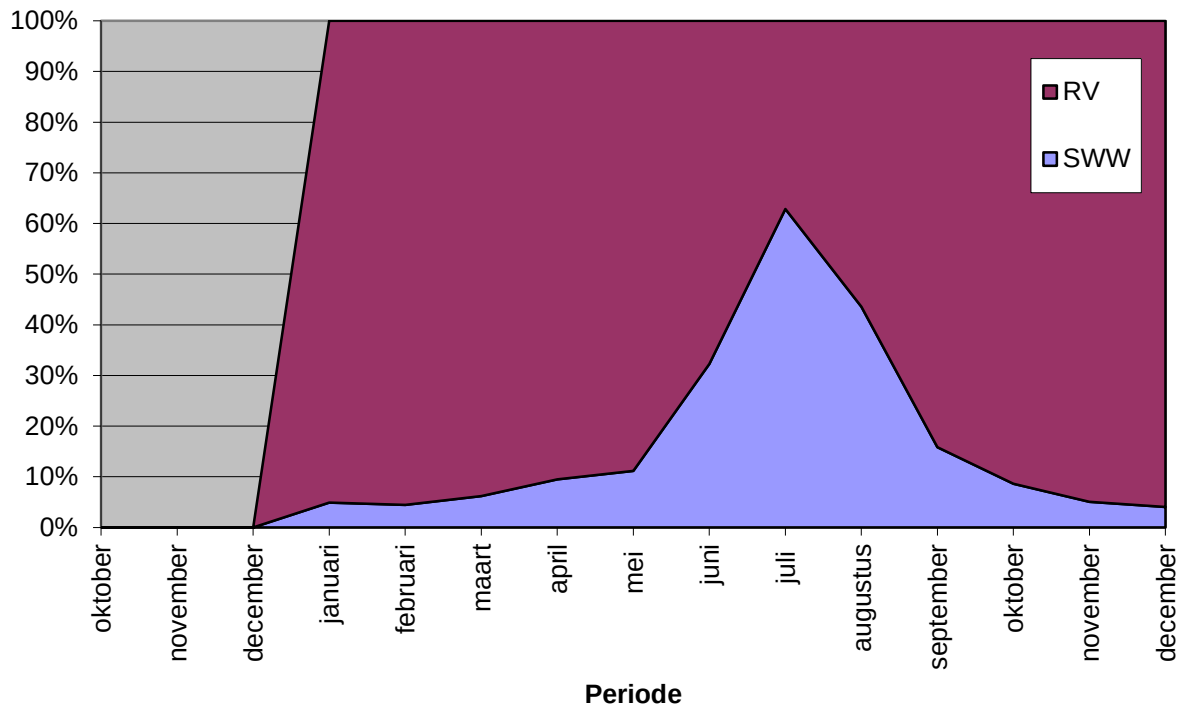
Maximum SWW-temperatuur (juli): 50°C (aan de aftapzijde)

Opmerkingen:

- Start metingen: 13/01/2010
- Passieve koeling aanwezig, niet opgemeten

## Resultaten

### Aandeel SWW VB/W 2



# Vertikaal Bodem/Water 3

## Dossier

Type warmtepomp: Ver. Bodem/Water

Type woning:

- Vrijstaand / half open / rijwoning
- K-peil: 48
- Verwarmd oppervlak: 358 m<sup>2</sup>
- Bewoond oppervlak: 436 m<sup>2</sup>
- Ventilatiesysteem: D
- Locatie: O.L.V. Waver

Meetopstelling:

- Aantal warmtemeters: 1
  - o Na condensor
- Aantal elektrisch tellers: 1
- Exclusief:
  - o Warmteverlies SWW-vat
  - o Verbruik elektrische weerstand
  - o Verbruik SWW-pomp

Dimensionering bron: 6 kringen, dubbele U, 150m diep, collector 80cm diep,

Warmtepomp: 12.8 kW (0-35)

Afgiftesysteem: plafondverwarming, badkamer supplementair wandverwarming

Boilerinhoud SWW: 300l      Geen buffervat

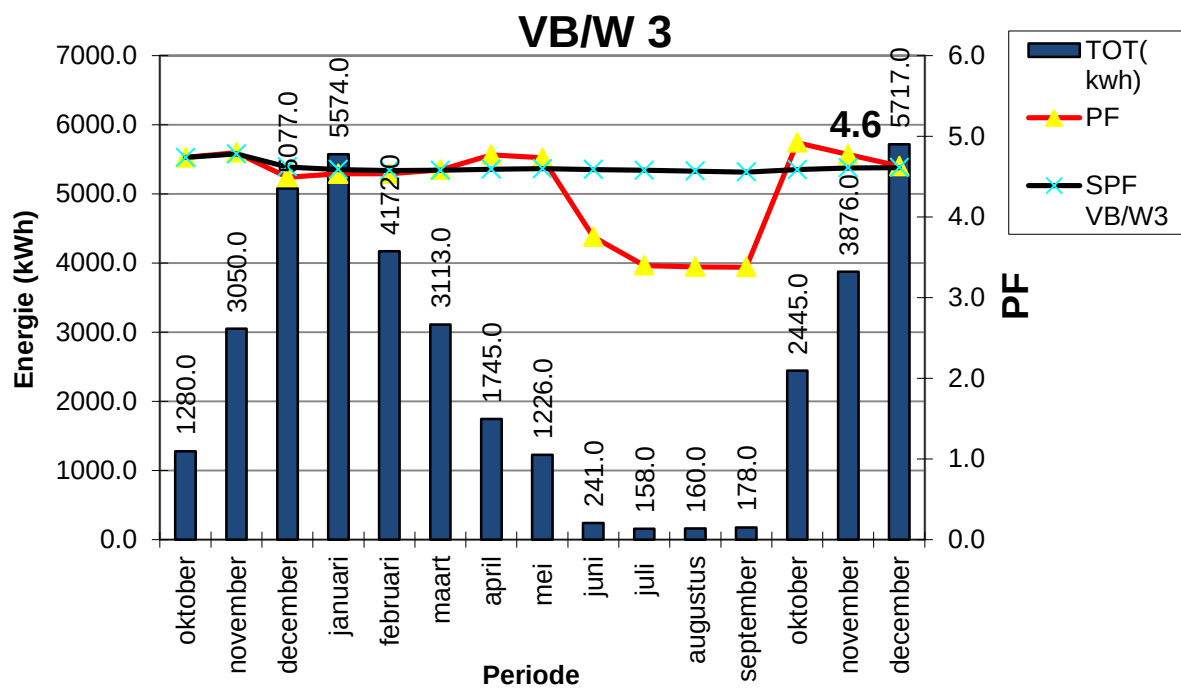
Regeling: stooklijn, nachtverhoging, SWW-productie's nachts, legionella-programma,

Maximum SWW-temperatuur (juli): 52°C (aan de opwekkingszijde)

Opmerkingen:

- Start metingen: 12/10/2009
- Passieve koeling aanwezig, maar niet opgemeten

## Resultaten



# Vertikaal Bodem/Water 4

## Dossier

Type warmtepomp: Ver. Bodem/Water

Type woning:

- Vrijstaand / half open / rijwoning
- K-peil: 33
- Verwarmd oppervlak: 286 m<sup>2</sup>
- Bewoond oppervlak: 286 m<sup>2</sup>
- Ventilatiesysteem: D
- Locatie: Waver

Meetopstelling:

- Aantal warmtemeters: 3
  - o Op broncircuit
  - o Op circuit VWW
  - o Voor SWW-vat
- Aantal elektrisch tellers: 3
  - o Totaal elektrisch verbruik
  - o Verbruik pompen VWW
  - o Verbruik elektrische bijstook
- Exclusief:
  - o Warmteverlies SWW-vat

Dimensionering bron: 2 kringen, dubbele U, 120m diep, collector 80cm diep, 390W  
bronpompvermogen

Warmtepomp: 16 kW (prototype, geen technische specificaties aanwezig), overgedimensioneerd

Afgiftesysteem: vloerverwarming met buffervat (setpunttemperatuur 35°C)

Boilerinhoud: 300l

Buffervat: 300l

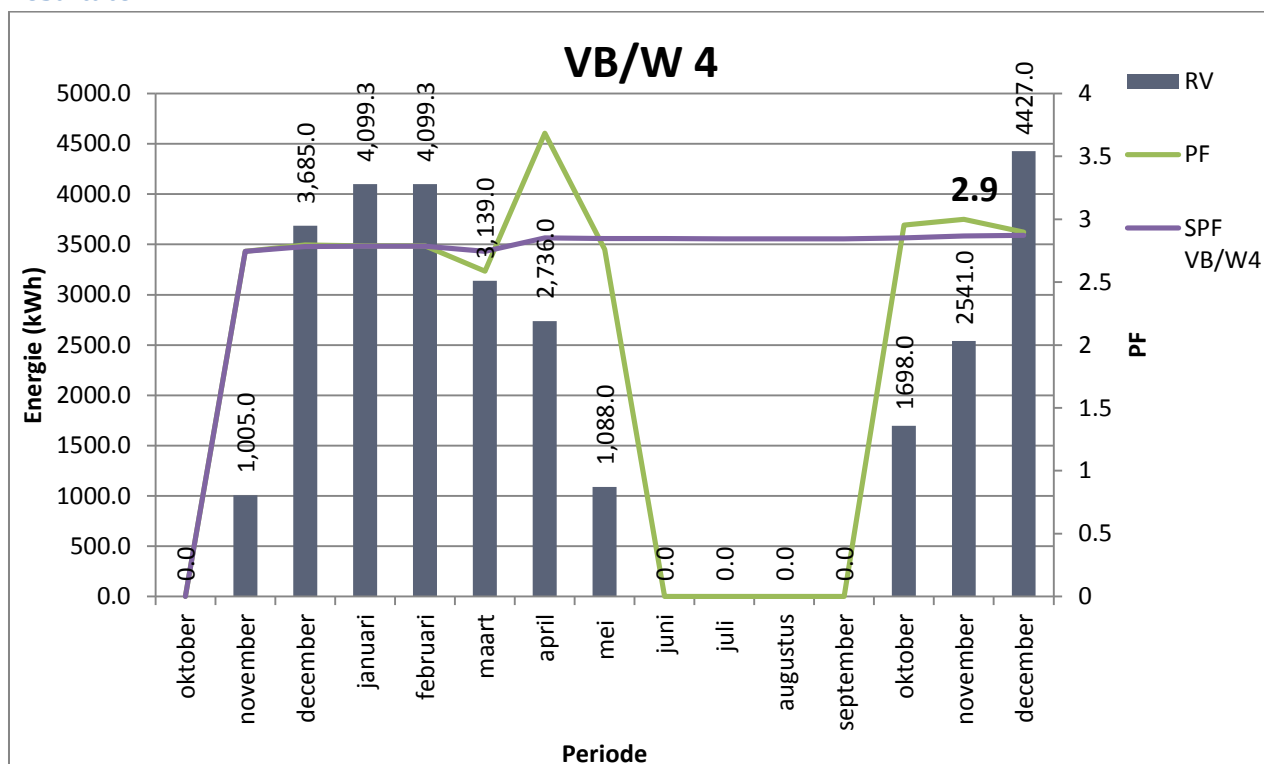
Regeling: Ruimtethermostaat per verdiep (2), SWW-productie WP als vorverwarming, rest elektrisch,

Maximum SWW-temperatuur (juli): / (aan de opwekkingszijde)

Opmerkingen:

- Start metingen: 19/11/2009
- WP voorziet nog geen SWW
- WP buiten dienst in zomermaanden

## Resultaten



# Dx/Water 1

## Dossier

Type warmtepomp: Dx/Water

Type woning:

- ~~Vrijstaand~~ / half open / ~~rijwoning~~
- K-peil: 32
- Verwarmd oppervlak: /
- Bewoond oppervlak: 448 m<sup>2</sup>
- Ventilatiesysteem: /
- Locatie: Schlaiten

Meetopstelling:

- Aantal warmtemeters: 1
  - o Na condensor
- Aantal elektrisch tellers: 1
- Exclusief:
  - o Warmteverlies buffervat

Dimensionering bron: 24 kringen, 60m, 60-80 cm diepte

Warmtepomp: 23.8 kW (-5-35)

Afgiftesysteem: vloerverwarming, met buffervat

Bufferinhoud: 300l                      Geen boilervat

Regeling: stooklijn (continue uitgangstemperatuur), nachtverlaging (op basis van kamerthermostaat)

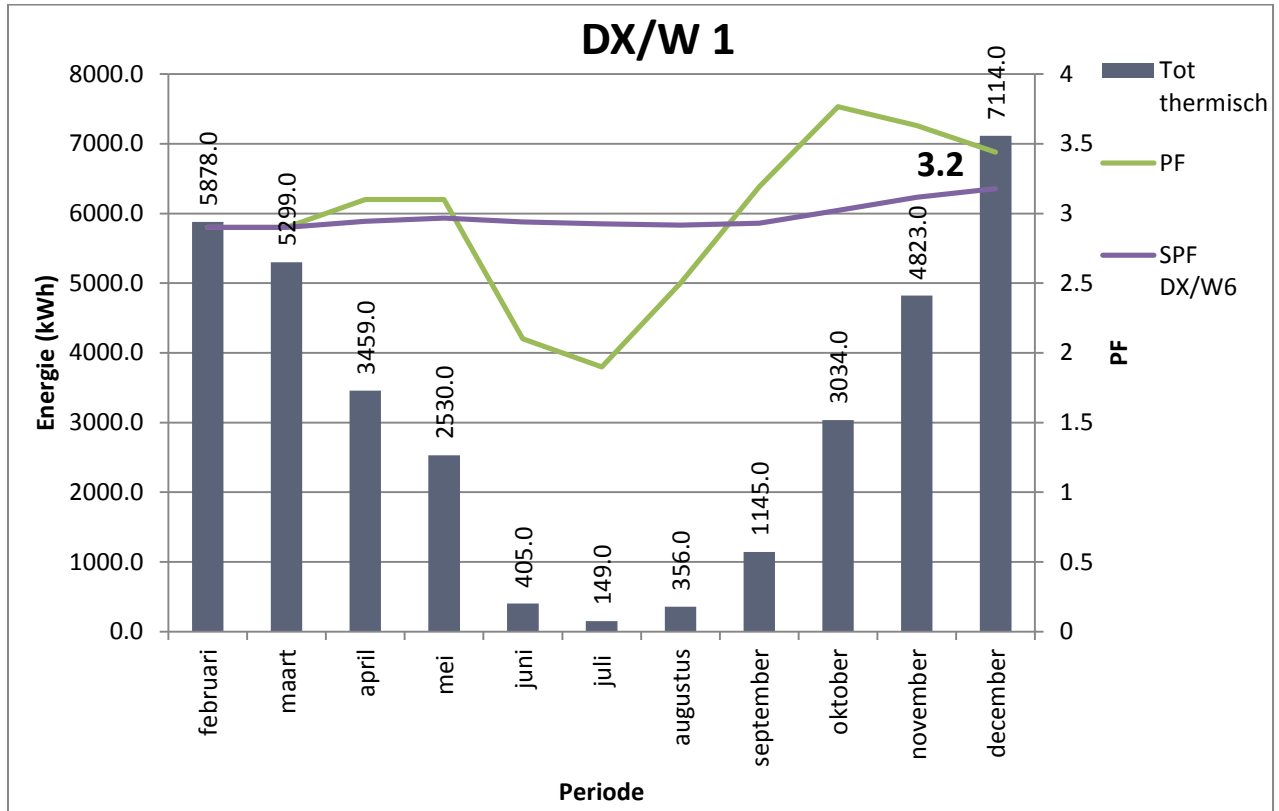
Maximum SWW-temperatuur (juli): /

Opmerkingen:

- Start metingen: 21/12/2009
- WP voorziet nog geen SWW



## Resultaten



## Dx/Water 2

### Dossier

Type warmtepomp: Dx/Water

Type woning:

- ~~Vrijstaand~~ / half open / ~~rijwoning~~
- K-peil: /
- Verwarmd oppervlak: /
- Bewoond oppervlak: 173 m<sup>2</sup>
- Ventilatiesysteem: D
- Locatie: Anzegem

Meetopstelling:

- Aantal warmtemeters: 2
  - o Voor buffervat VVW
  - o Voor SWW-vat
- Aantal elektrisch tellers: 1
- Exclusief:
  - o Warmteverlies buffervat
  - o Warmteverlies SWW-vat
  - o Inclusief pomp VVW

Dimensionering bron: 4 kringen, 70m, 120 cm diepte

Warmtepomp: 8.8 kW (4-35)

Afgiftesysteem: vloerverwarming, met buffervat

Bufferinhoud: 500l                      Boilerinhoud: 200l

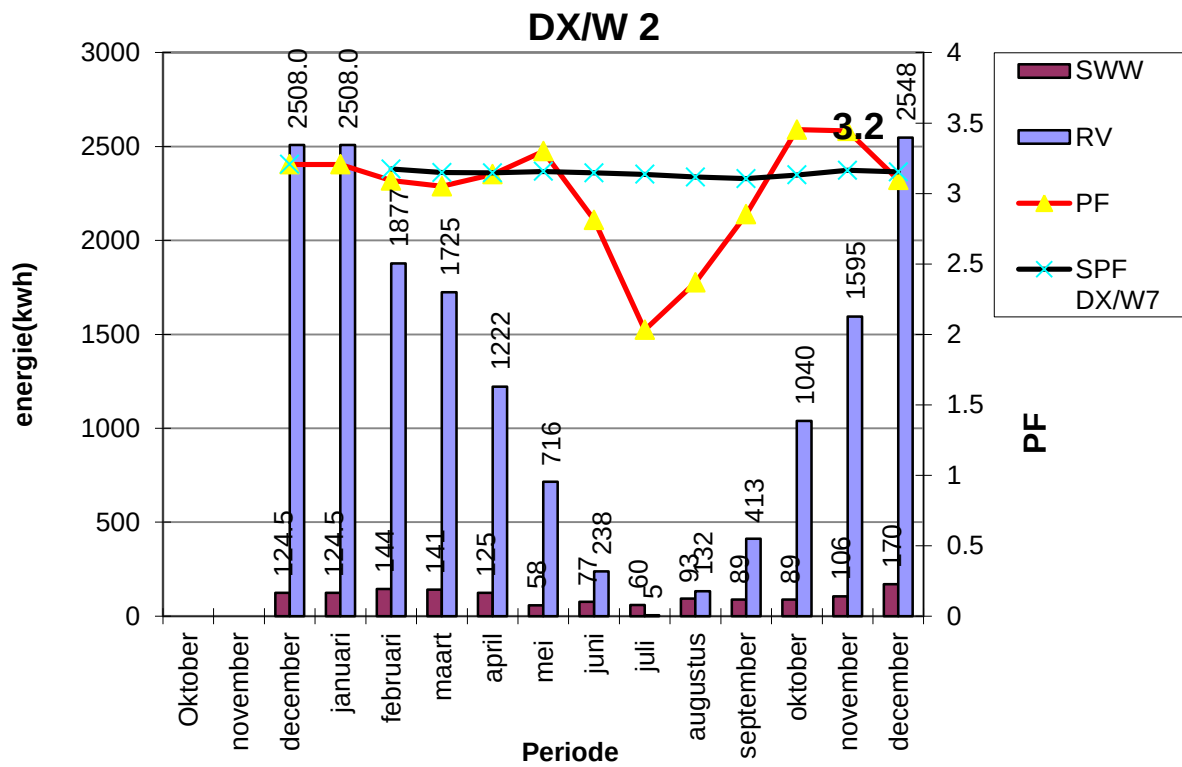
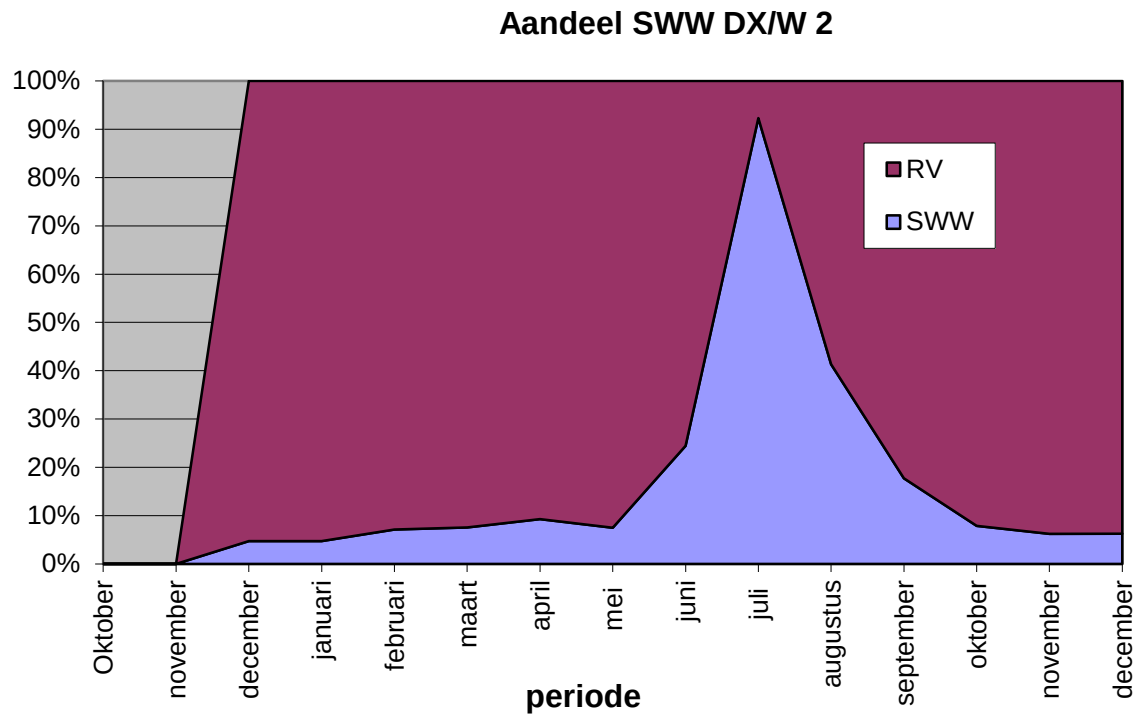
Regeling: stooklijn, nachtverlaging, SWW zowel 's nachts als overdag

Maximum SWW-temperatuur (juli): 59°C (aan de opwekkingszijde)

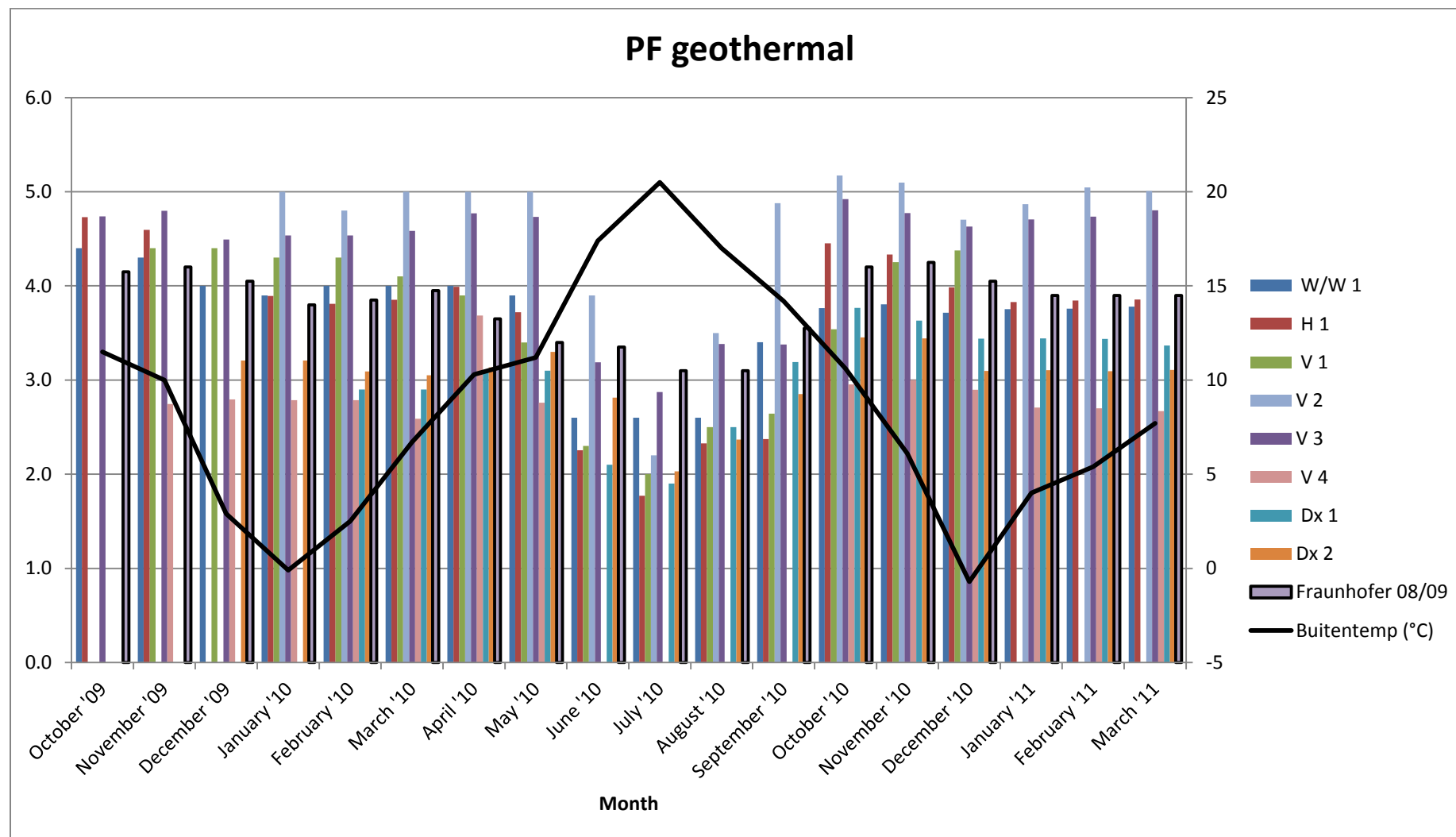
Opmerkingen:

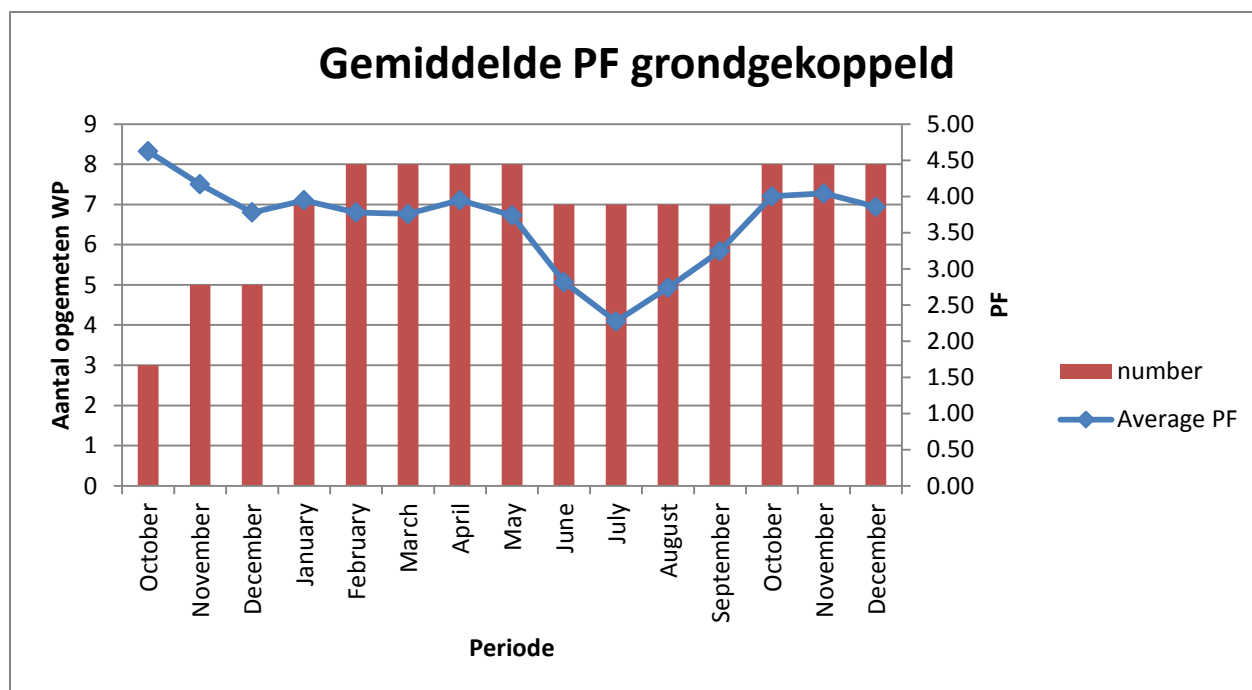
- Start metingen: 04/12/2009 → tellerstandverschil t.e.m. 29/01/2010

## Resultaten



## Onderlinge vergelijking & buitenlandse meetcampagne (Grondgekoppeld)





Tabel 26: Default minimum and target values for SPF for heat pump systems employed for space heating and domestic hot water production in new buildings (typical for Central Europe)

| energy source / sink | minimum value for SPF | target value for SPF |
|----------------------|-----------------------|----------------------|
| air / water          | 2,7                   | 3,0                  |
| ground / water       | 3,5                   | 4,0                  |
| water / water        | 3,8                   | 4,5                  |

Tabel 27: Samenvattende tabel Grondgekoppelde warmtepompen

| WP-systeem | meetperiode        | SPF | Q totaal (kWh) OF<br>Q CV (kWh)/ Q SWW (kWh)<br>okt-dec 2010 |
|------------|--------------------|-----|--------------------------------------------------------------|
| W/W        | Okt 2009-Dec 2010  | 3,9 | 9989 / 656                                                   |
| HB/W 1     | Okt 2009-Dec 2010  | 4,0 | 8429 / 303                                                   |
| VB/W 1     | Nov 2009-Dec 2010  | 4,6 | 5932                                                         |
| VB/W 2     | Jan 2010-Dec 2010  | 4,8 | 9718 / 536                                                   |
| VB/W 3     | Okt 2009-Dec 2010  | 4,6 | 12038                                                        |
| VB/W 4     | Okt 2009-Dec 2010  | 2,9 | 8566                                                         |
| Dx/W 1     | Febr 2010-Dec 2010 | 3,2 | 14971                                                        |
| DX/W 2     | Febr 2010-Dec 2010 | 3,2 | 5183 / 365                                                   |

## **Belangrijkste conclusies grondgekoppelde warmtepompen:**

Ten eerste is het belangrijk te vermelden dat de bedrijven zelf meetlocaties naar voor mochten schuiven. Aangezien WP-DIRECT een collectief onderzoek was, diende de bedrijven een belangrijke financiële bijdrage te leveren aan het project. Dit gebeurde voor het grootste deel door het ter beschikking stellen van meetlocaties, voorzien van sensoren en communicatieapparatuur. Hierdoor kunnen we besluiten dat deze (en ook de volgende lucht warmtepompen) vooral best-cases zijn.

Een eerste feit is dat de PF in de zomerperiode sterk terugvalt. Dit fenomeen valt te verklaren doordat er in deze periode voornamelijk SWW-productie dient voorzien te worden, maar ook door het elektrische standby-verliezen van de warmtepomp. Doordat er minder warmte geproduceerd wordt, stijgt het aandeel van het elektrisch verbruik van de regeling (die constant aanstaat) aanzienlijk in verhouding met het totaal elektrisch verbruik. Ten slotte spelen ook de thermische verliezen van het SWW-vat een belangrijke rol (in de zomerperiode is er vaak een lager SWW-verbruik), of indien een buffervat voor ruimteverwarming gebruikt wordt, dienen deze verliezen ook gecompenseerd te worden. Toch dient deze sterke terugval onmiddellijk gerelativeerd te worden, omdat het aandeel van de geproduceerde warmte bij deze lage prestatiefactoren in de zomermaanden te verwaarlozen is vergeleken met het totaal geproduceerde warmte op jaarbasis. Dit is ook terug te vinden in de gecumuleerde SPF-grafiek. Deze kent geen grote terugval in de zomerperiode ondanks de slechte prestatiefactoren. Indien het aandeel SWW gevoelig stijgt, vb lage energiewoning/passief woning, dient hier wel rekening mee gehouden te worden.

Vervolgens zien we dat het Water/Water warmtepompsysteem de minimum SPF volgens de Europese norm EN 15450 haalt, maar dat de target value voor de SPF helaast niet gehaald wordt. Dit is voornamelijk te verklaren door het grote verbruik van de bronpomp die met een slecht rendement werkt en hierdoor meer verbruikt dan in het nominaal werkingspunt.

Van de grondgekoppelde warmtepompen halen de meeste vertikaal gekoppelde warmtepompsystemen de minimum SPF en de target SPF. De enige warmtepomp die deze waarden niet haalt is een experimentele opstelling.

Alle DX/Water warmtepompen halen de minimum SPF-waarde niet.

In vergelijking met de Fraunhofer metingen valt er een grotere terugval van maanderlijkse PF-waarden in de zomer waar te nemen. Nochtans hebben ze in deze meetcampagne ook zo goed mogelijk trachten de elektrische standby verliezen van de warmtepomp mee te nemen. Opgelet, de vergelijking gaat niet volledig op omdat bij de Fraunhofer metingen de metingen op locaties in Duitsland plaatsvonden (lichtjes andere klimaat) en deze gebeurden in het jaar 2008-2009 (andere weersomstandigheden).

# Lucht/Water 1

## Dossier

Type warmtepomp: Lucht/Water

Type woning:

- Vrijstaand / half open / rijwoning
- K-peil: 42
- Verwarmd oppervlak: /
- Bewoond oppervlak: 200m<sup>2</sup>
- Ventilatiesysteem: D
- Locatie: Gobbendonk

Meetopstelling:

- Aantal warmtemeters: 2
  - o Op circuit VVW
  - o Voor SWW-vat
- Aantal elektrisch tellers: 3
  - o Warmtepompunit inclusief pomp VVW
  - o Elektrische bijstook boiler
  - o Back up weerstand
- Exclusief:
  - o Warmteverlies SWW-vat

Dimensionering bron: /

Warmtepomp: 16.1 kW (7-35)

Afgiftesysteem: vloerverwarming

Boilerinhoud: 300l

Geen buffervat

Regeling: Vaste aanvoertemperatuur (in beginfase) → stooklijn met ruimtecompensatie, nachtverlaging, SWW-productie 's nachts, legionella-programma

Maximum SWW-temperatuur (juli): 57°C (aan de opwekkingszijde)

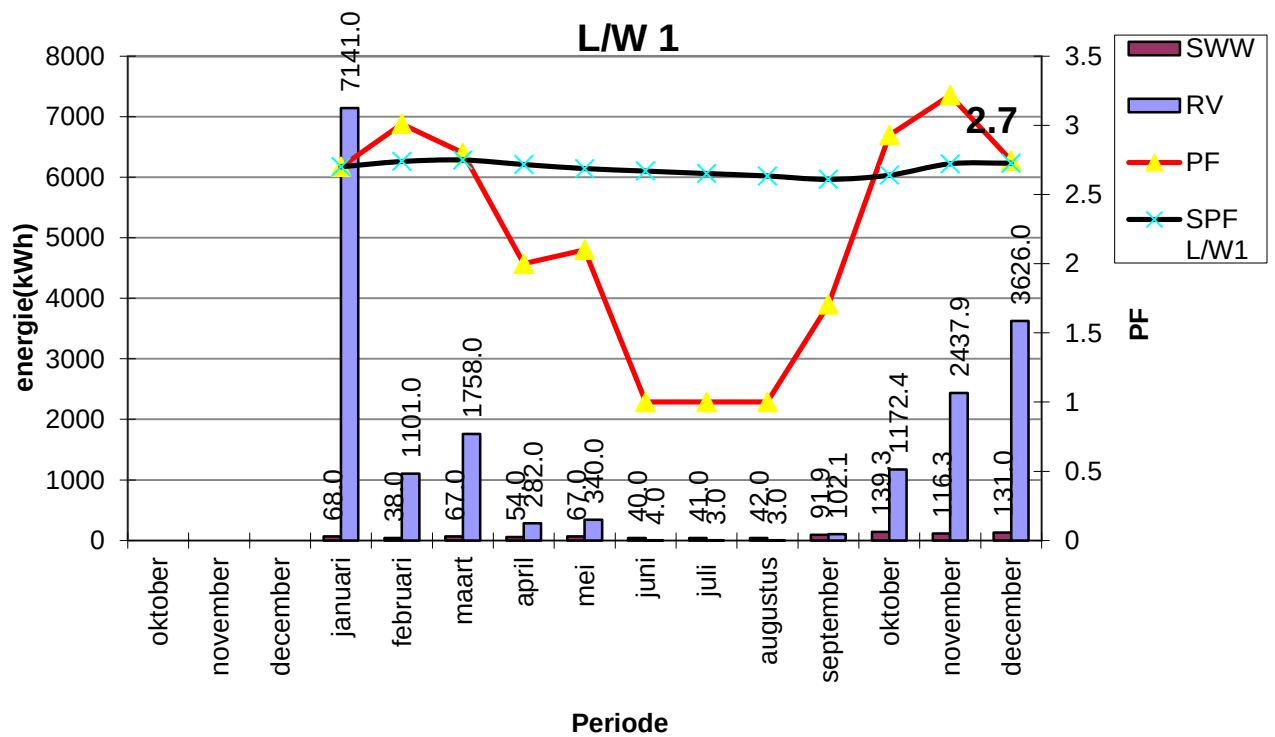
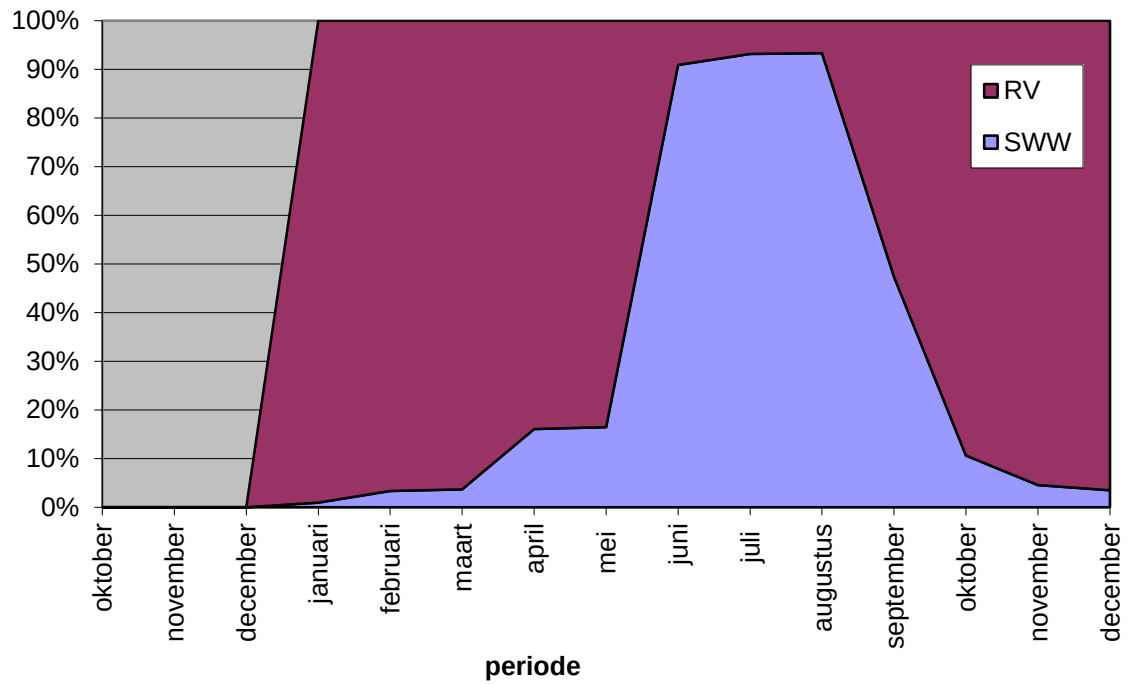
Opmerkingen:

- Start metingen: 10/11/2009
- Problemen met GPRS module in beginfase → tellerstandverschil t.e.m. 28/01/2010



## Resultaten

### Aandeel SWW



# Lucht/Water 2

## Dossier

Type warmtepomp: Lucht/Water

Type woning:

- Vrijstaand / half open / rijwoning
- K-peil: 46
- Verwarmd oppervlak: /
- Bewoond oppervlak: 280m<sup>2</sup>
- Ventilatiesysteem: C
- Locatie: Riemst

Meetopstelling:

- Aantal warmtemeters: 2
  - o Op circuit VVW
  - o Voor SWW-vat
- Aantal elektrisch tellers: 2
  - o Warmtepompunit inclusief pomp VVW
  - o Elektrische bijstook boiler + back up heater
- Exclusief:
  - o Warmteverlies SWW-vat

Dimensionering bron: /

Warmtepomp: 16.1 kW (7-35)

Afgiftesysteem: vloerverwarming

Boilerinhoud: 300l                      Geen buffervat

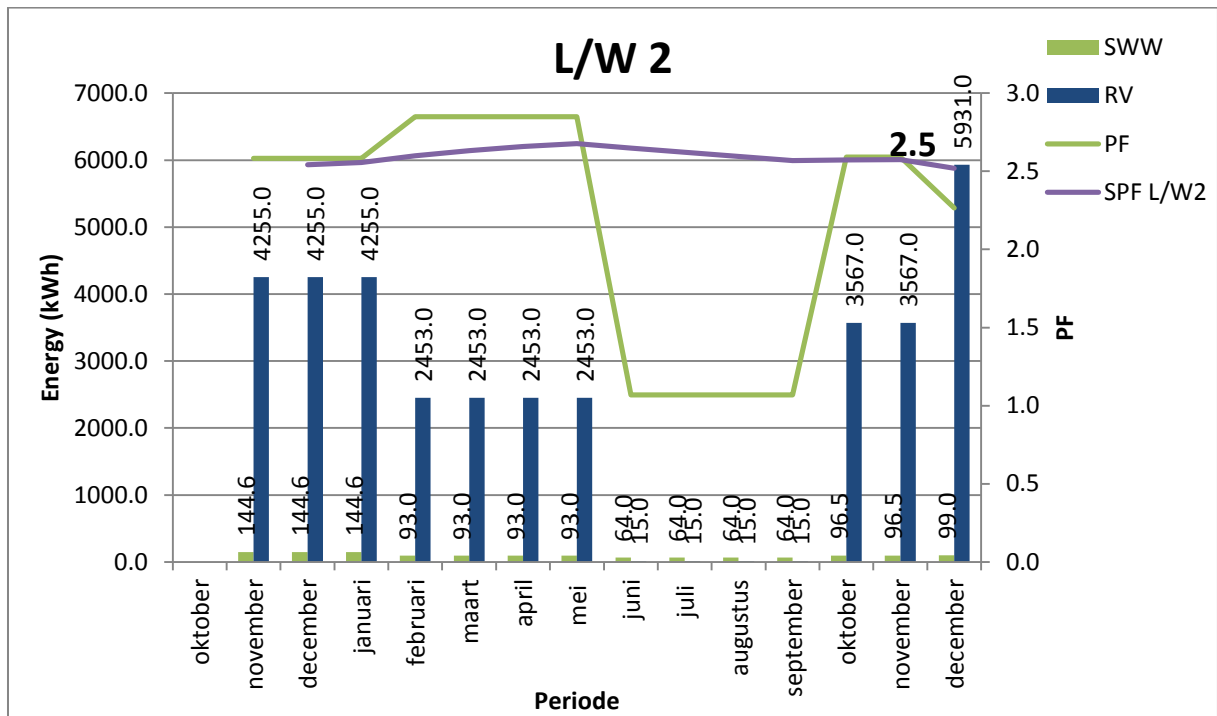
Regeling: stooklijn, nachtverlaging, SWW-productie zowel 's nachts als overdag, legionella-programma

Maximum SWW-temperatuur (juli): /

Opmerkingen:

- Start metingen: 20/11/2009
- Problemen met GPRS module en elektrische kWh → 5 keer tellerstandverschil gemaakt in periode t.e.m. 21/01/2011 (evenredig verdeeld over tijdsspanne tellerstandverschil)
- 7m<sup>2</sup> zonnepanelen voor SWW-productie

## Resultaten



# Lucht/Water 3

## Dossier

Type warmtepomp: Lucht/Water

Type woning:

- Vrijstaand / half open / rijwoning
- K-peil: 42
- Verwarmd oppervlak: /
- Bewoond oppervlak: 350m<sup>2</sup>
- Ventilatiesysteem: D
- Locatie: Koolkamp

Meetopstelling:

- Aantal warmtemeters: 2
  - o Op circuit VVW
  - o Voor SWW-vat
- Aantal elektrisch tellers: 1
  - o Alle elektrische componenten excl pomp VVW
- Exclusief:
  - o Warmteverlies SWW-vat

Dimensionering bron: /

Warmtepomp: 16.2 kW (7-35)

Afgiftesysteem: vloerverwarming

Boilerinhoud: 300l                      Geen buffervat

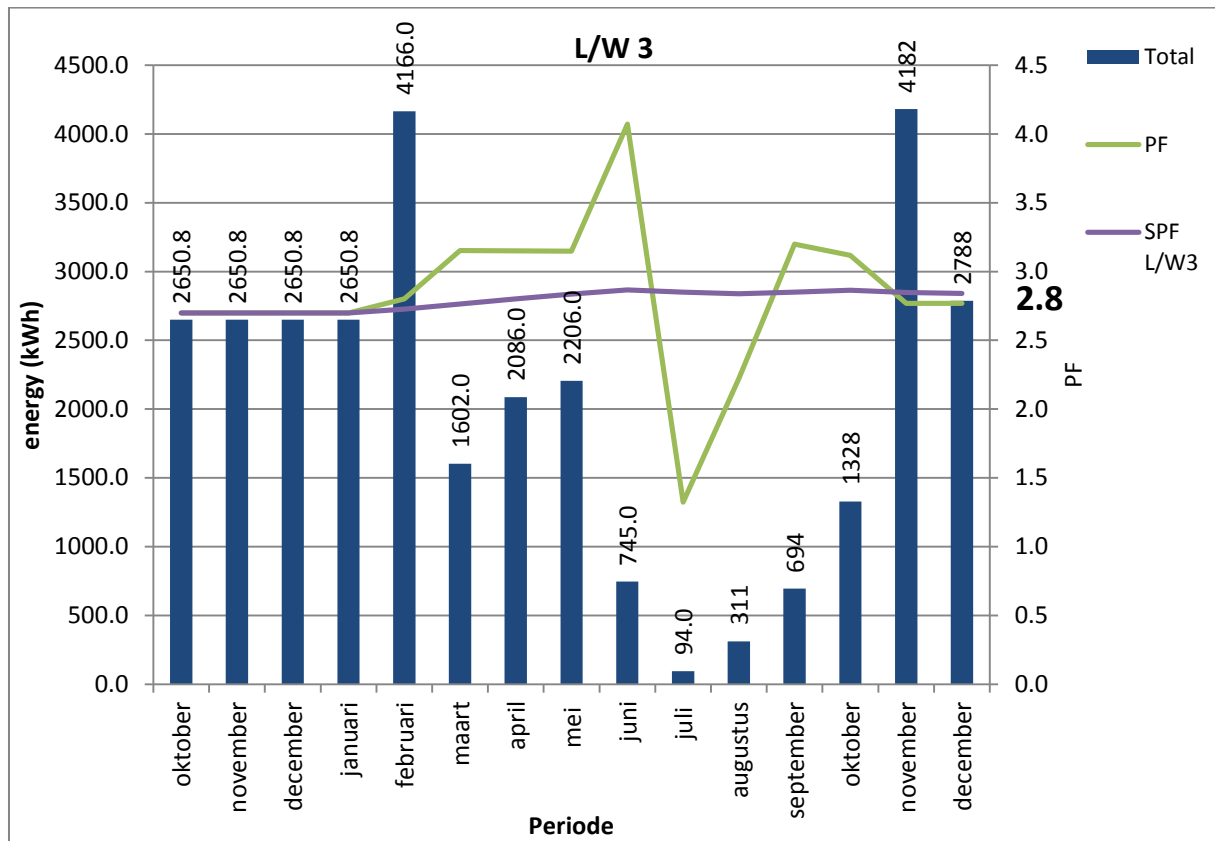
Regeling: stooklijn met ruimtecompensatie, nachtverlaging, SWW-productie's nachts, legionella-programma

Maximum SWW-temperatuur (juli): /

Opmerkingen:

- Start metingen: 15/10/2009
- Tellerstandverschil tot 01/02/2010 → evenredig verdeeld over periode

## Resultaten



# Lucht/Water 4

## Dossier

Type warmtepomp: Lucht/Water

Type woning:

- ~~Vrijstaand~~ / half open / ~~rijwoning~~
- K-peil: 55
- Verwarmd oppervlak: /
- Bewoond oppervlak: 266m<sup>2</sup>
- Ventilatiesysteem: /
- Locatie: Peer

Meetopstelling:

- Aantal warmtemeters: 1
  - o Op circuit VVW
- Aantal elektrisch tellers: 2
  - o WP-unit + elektrische bijstook
  - o Regeling + ventilator
- Exclusief: /

Dimensionering bron: /

Warmtepomp: 9 kW (2-35)

Afgiftesysteem: vloerverwarming

Boilerinhoud: /            Geen buffervat

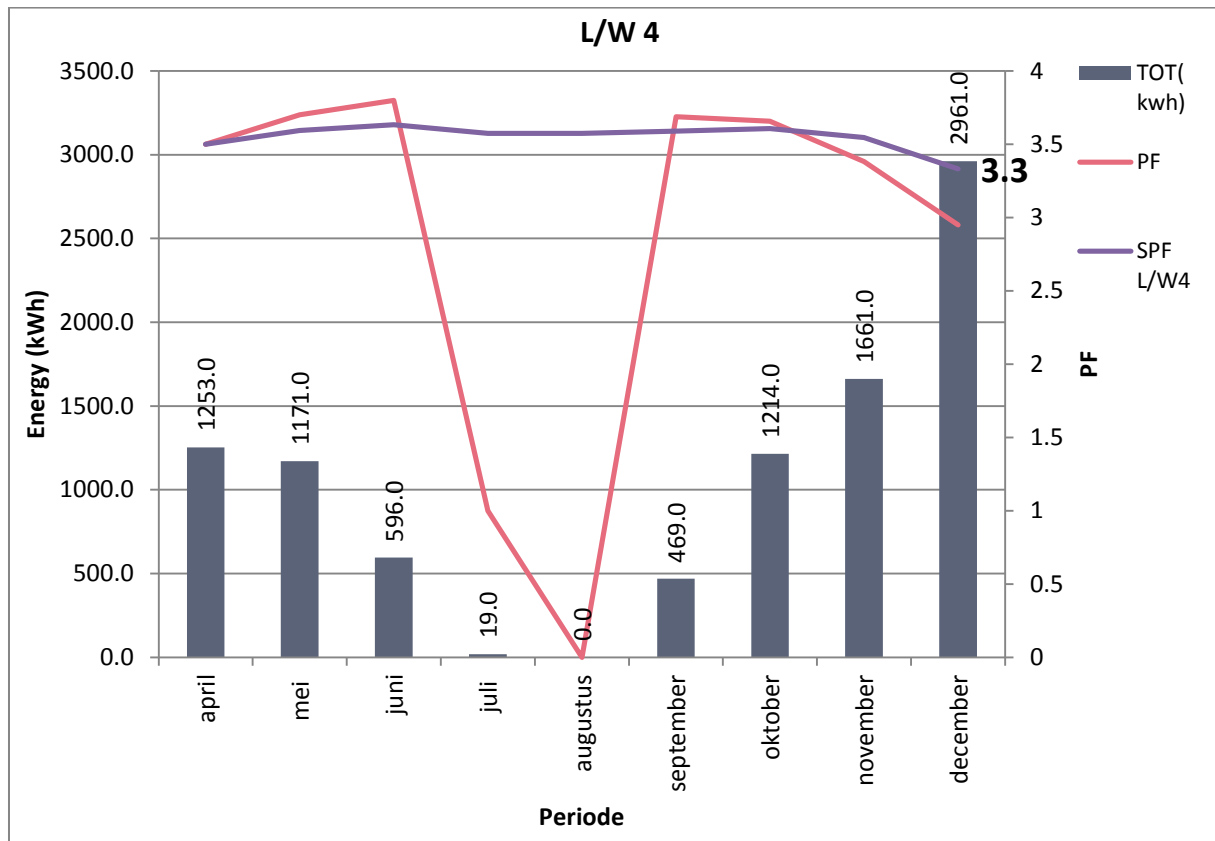
Regeling: stooklijn, nachtverlaging

Maximum SWW-temperatuur (juli): /

Opmerkingen:

- Start metingen: 15/03/2010
- SWW wordt door gasketel aangemaakt, alsook warmte voor radiatoren bovenverdieping

## Resultaten



De warmtepompunit werd in augustus handmatig uitgeschakeld. Hierdoor werd er geen warmte geproduceerd, maar was er ook geen elektrisch standby verlies.

# Lucht/Water 5

## Dossier

Type warmtepomp: Lucht/Water

Type woning:

- Vrijstaand / half open / rijwoning
- K-peil: /
- Verwarmd oppervlak: /
- Bewoond oppervlak: 200m<sup>2</sup>
- Ventilatiesysteem: /
- Locatie: Zutendaal

Meetopstelling:

- Aantal warmtemeters: 3
  - o Op circuit VVW
  - o Op circuit HTV
  - o Voor SWW-vat
- Aantal elektrisch tellers: 3
  - o Buitenunit (sturing+ compressor + ventilatoren + interface)
  - o Totaal Regelkring ( primaire pomp ,secundaire pompen , mengventiel , 3-wegventiel, regelaar)
  - o Primaire pomp, elektrische bijstook
- Exclusief:
  - o Warmteverlies SWW-vat

Dimensionering bron: /

Warmtepomp: 8 kW (7-35)

Afgiftesysteem: vloerverwarming + radiatoren (bovenverdieping)

Boilerinhoud: 300l                      Geen buffervat

Regeling: stooklijn met ruimtecompensatie, nachtverlaging, SWW-productie 's nachts, legionella-programma

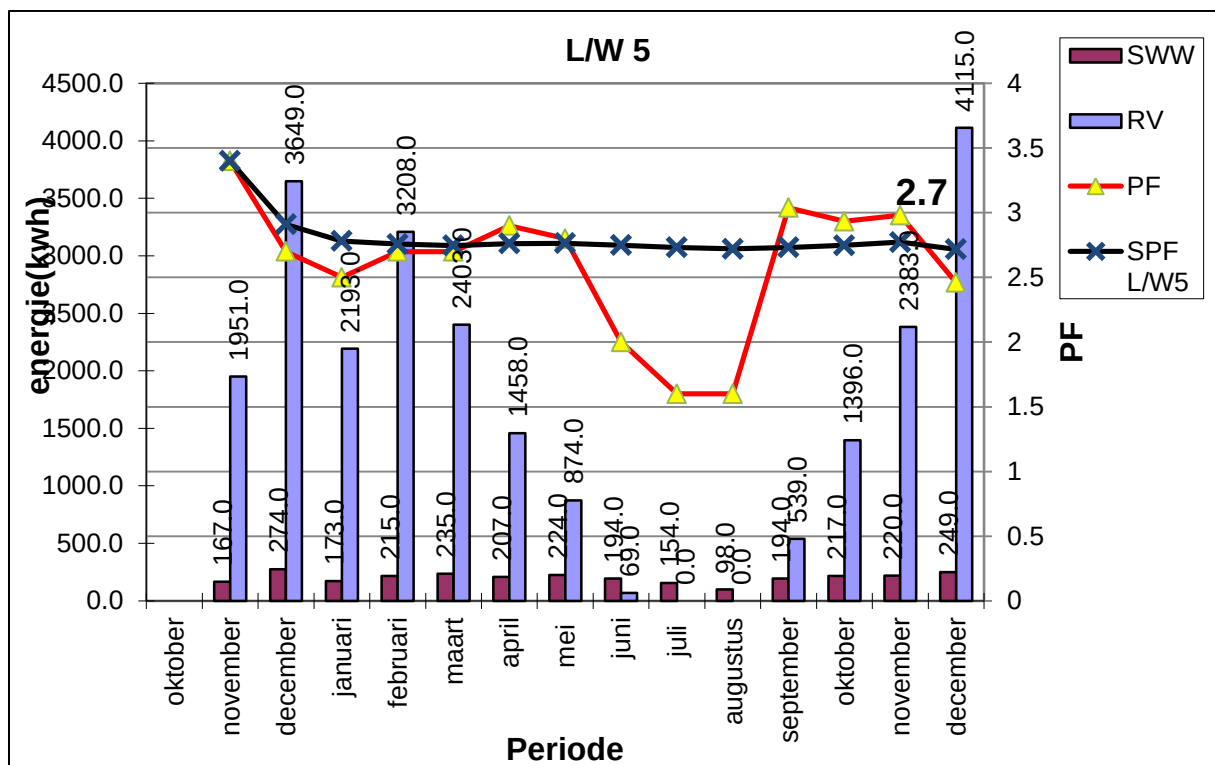
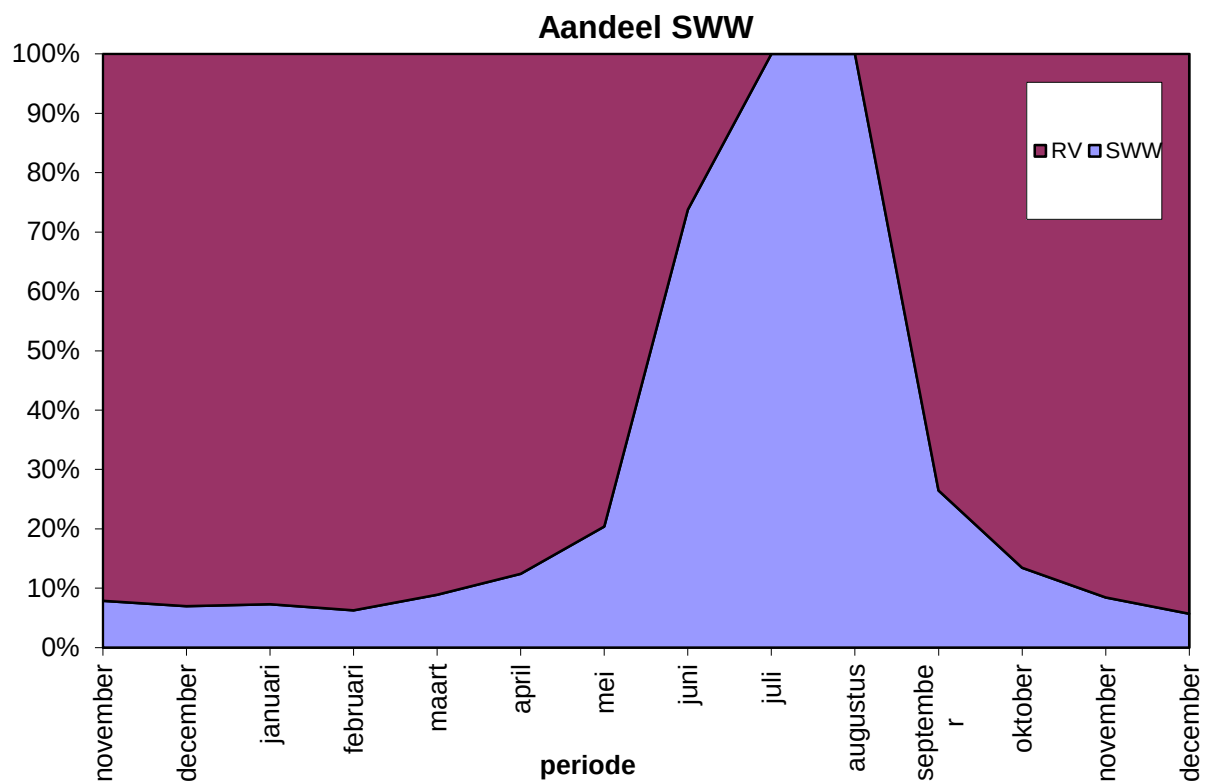
Maximum SWW-temperatuur (juli): 63°C (aan de opwekkingszijde)

Opmerkingen:

- Start metingen: 01/10/2009



## Resultaten



# Lucht/Water 6

## Dossier

Type warmtepomp: Lucht/Water

Type woning:

- Vrijstaand / half open / rijwoning
- K-peil: 96
- Verwarmd oppervlak: /
- Bewoond oppervlak: 160m<sup>2</sup>
- Ventilatiesysteem: /
- Locatie: Châtelet

Meetopstelling:

- Aantal warmtemeters: 1
  - o Na condensor
- Aantal elektrisch tellers: 3
  - o Buitenunit (sturing+ compressor + ventilator)
  - o Circulatiepompen
  - o Elektrische bijstook
- Exclusief:
  - o Warmteverlies SWW-vat

Dimensionering bron: /

Warmtepomp: 12 kW (7-45)

Afgiftesysteem: Radiatoren voor 15 mei 2010 (T<sub>max</sub> = 45°C), convectoren na 15 mei 2010

Boilerinhoud: 200l                      Geen buffervat

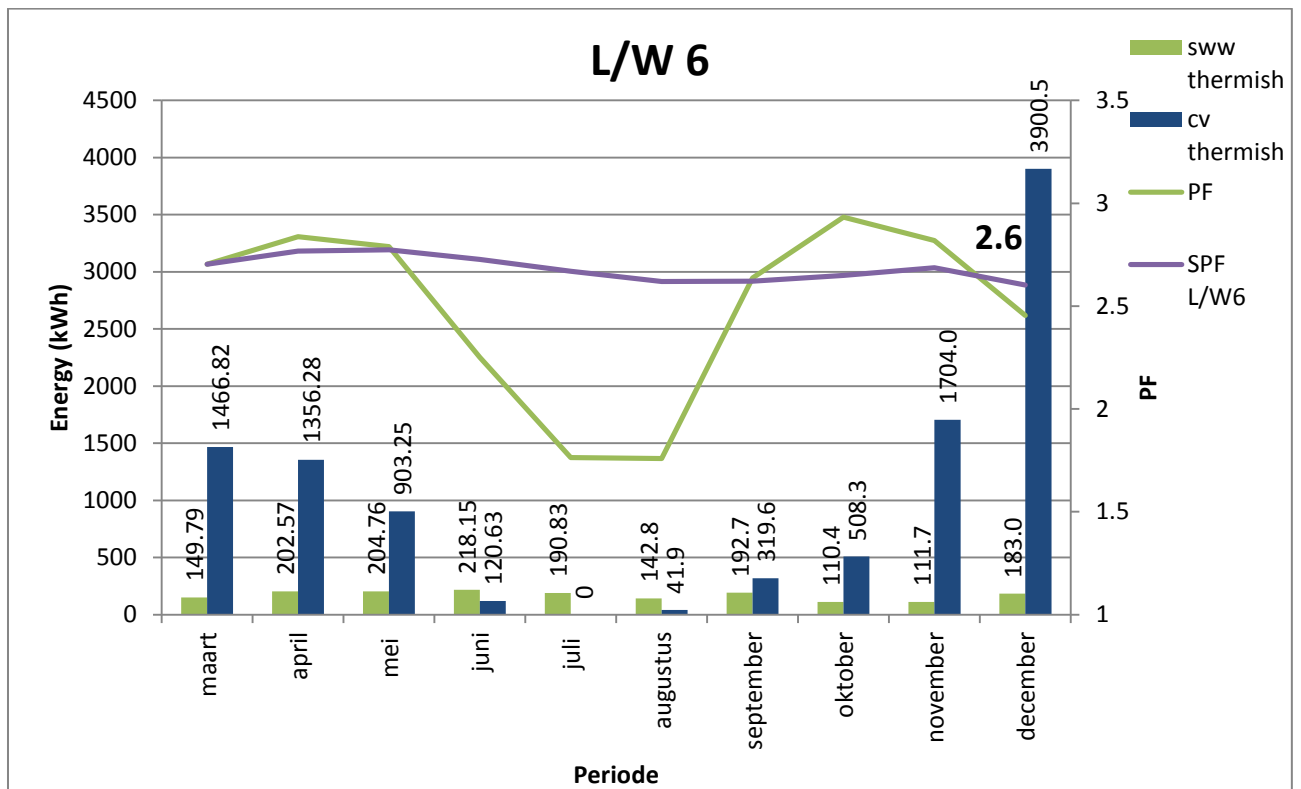
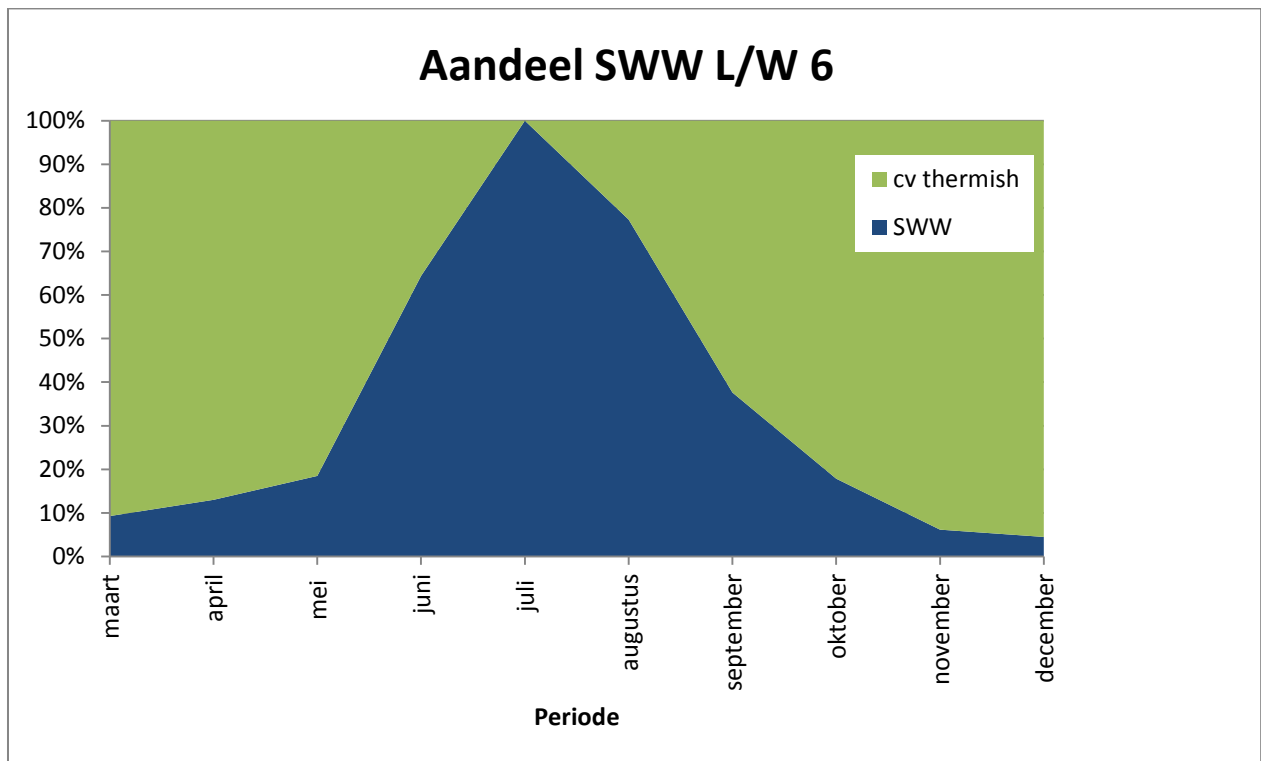
Regeling: stooklijn, nachtverlaging, SWW-productie binnen bepaalde tijdslots, geen legionella-programma

Maximum SWW-temperatuur (juli):/

Opmerkingen:

- Start metingen: 10/03/2010

## Resultaten



# Lucht/Water 7

## Dossier

Type warmtepomp: Lucht/Water

Type woning:

- Vrijstaand / half open / rijwoning
- K-peil: 35
- Verwarmd oppervlak: /
- Bewoond oppervlak: 115m<sup>2</sup>
- Ventilatiesysteem: C
- Locatie: Schiermonnikoog

Meetopstelling:

- Aantal warmtemeters: 1
  - o Na condensor
- Aantal elektrisch tellers: 2
  - o WP-unit
  - o Elektrische bijstook CV
- Exclusief: /

Dimensionering bron: /

Warmtepomp: 7 kW (-7-35)

Afgiftesysteem: vloerverwarming

Boilerinhoud: /                      Geen buffervat

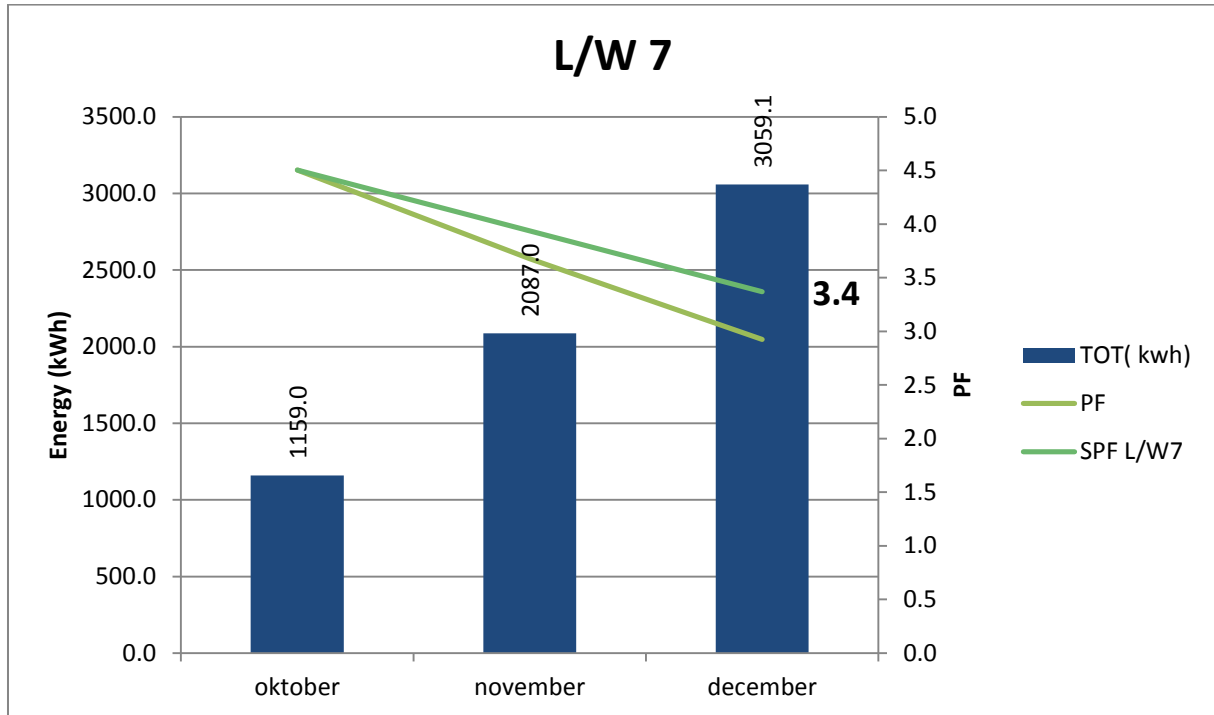
Regeling: stooklijn

Maximum SWW-temperatuur (juli):/

Opmerkingen:

- Start metingen: 02/10/2010
- Geen SWW-productie door de WP-unit

## Resultaten



# Lucht/Water 8

## Dossier

Type warmtepomp: Lucht/Water

Type woning:

- Vrijstaand / ~~half open~~ / rijwoning
- K-peil: 37
- Verwarmd oppervlak: /
- Bewoond oppervlak: 181m<sup>2</sup>
- Ventilatiesysteem: C
- Locatie: Berkelland

Meetopstelling:

- Aantal warmtemeters: 1
  - o Na condensor
- Aantal elektrisch tellers: 3
  - o WP-unit
  - o Elektrische bijstook CV
  - o Elektrische bijstook SWW
- Exclusief:
  - o Warmteverlies SWW-vat

Dimensionering bron: /

Warmtepomp: 11 kW (-7-35)

Afgiftesysteem: vloerverwarming

Boilerinhoud: 300l                      Geen buffervat

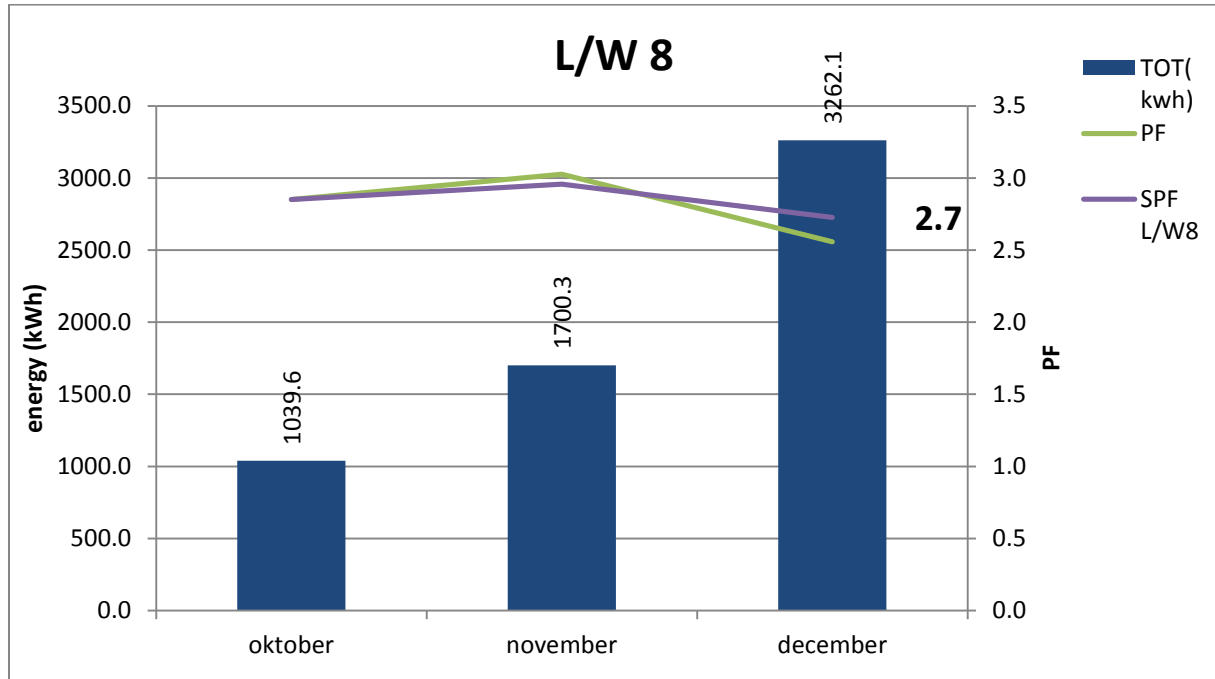
Regeling: stooklijn, legionella-programma

Maximum SWW-temperatuur (juli):/

Opmerkingen:

- Start metingen: 02/10/2010

## Resultaten



# Lucht/Water 9

## Dossier

Type warmtepomp: Lucht/Water

Type woning:

- Vrijstaand / ~~half open~~ / rijwoning
- K-peil: 39
- Verwarmd oppervlak: /
- Bewoond oppervlak: 316m<sup>2</sup>
- Ventilatiesysteem: C
- Locatie: Dikkebus

Meetopstelling:

- Aantal warmtemeters: 1
  - o Na condensor
- Aantal elektrisch tellers: 3
  - o WP-unit
  - o Elektrische bijstook CV
  - o Elektrische bijstook SWW
- Exclusief:
  - o Warmteverlies SWW-vat

Dimensionering bron: /

Warmtepomp: 9.2 kW (-7-35)

Afgiftesysteem: vloerverwarming

Boilerinhoud: 300l                      Geen buffervat

Regeling: stooklijn, legionella-programma

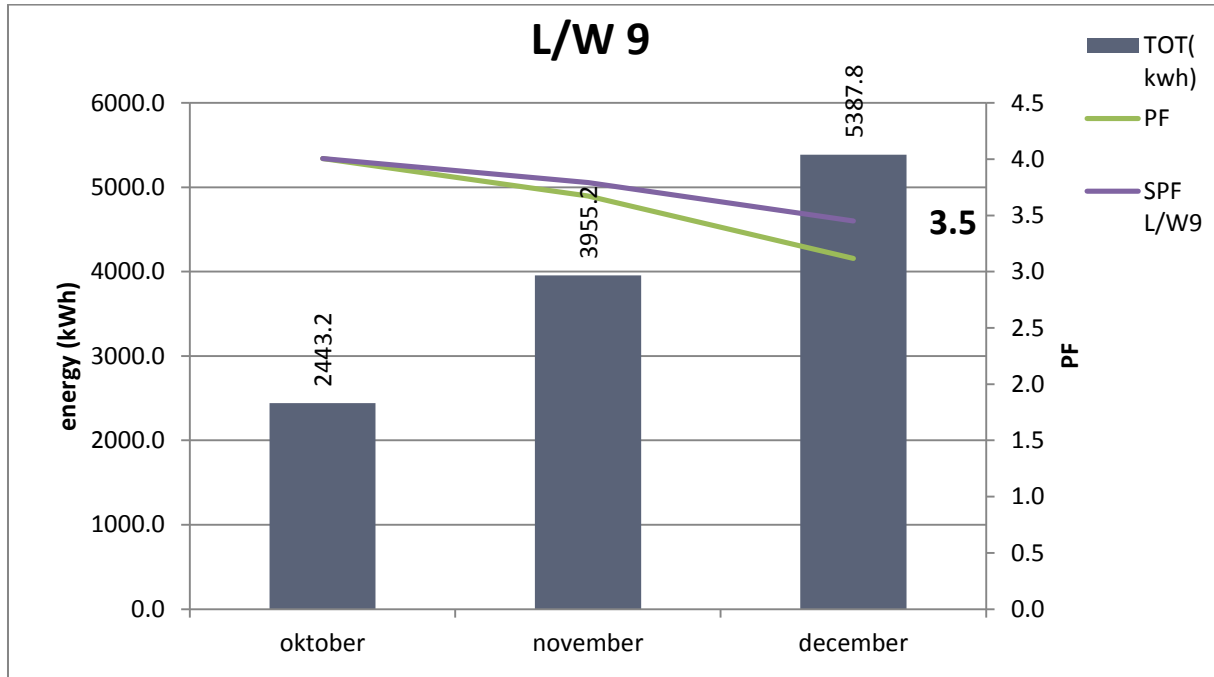
Maximum SWW-temperatuur (juli):/

Opmerkingen:

- Start metingen: 02/10/2010



## Resultaten



# Lucht/Water 10

## Dossier

Type warmtepomp: Lucht/Water

Type woning:

- Vrijstaand / half open / rijwoning
- K-peil: /
- Verwarmd oppervlak: /
- Bewoond oppervlak: 148m<sup>2</sup>
- Ventilatiesysteem: C
- Locatie: Morlanwez

Meetopstelling:

- Aantal warmtemeters: 2
  - o Na condensor
  - o Op circuit zonneboiler
- Aantal elektrisch tellers: 3
  - o WP-unit
  - o Elektrische bijstook CV
  - o Elektrische bijstook SWW
  - o Elektrisch verbruik pomp zonneboiler
- Exclusief:
  - o Warmteverlies SWW-vat

Dimensionering bron: /

Warmtepomp: 5.9 kW (-7-35)

Afgiftesysteem: vloerverwarming

Boilerinhoud: 300l                      Geen buffervat

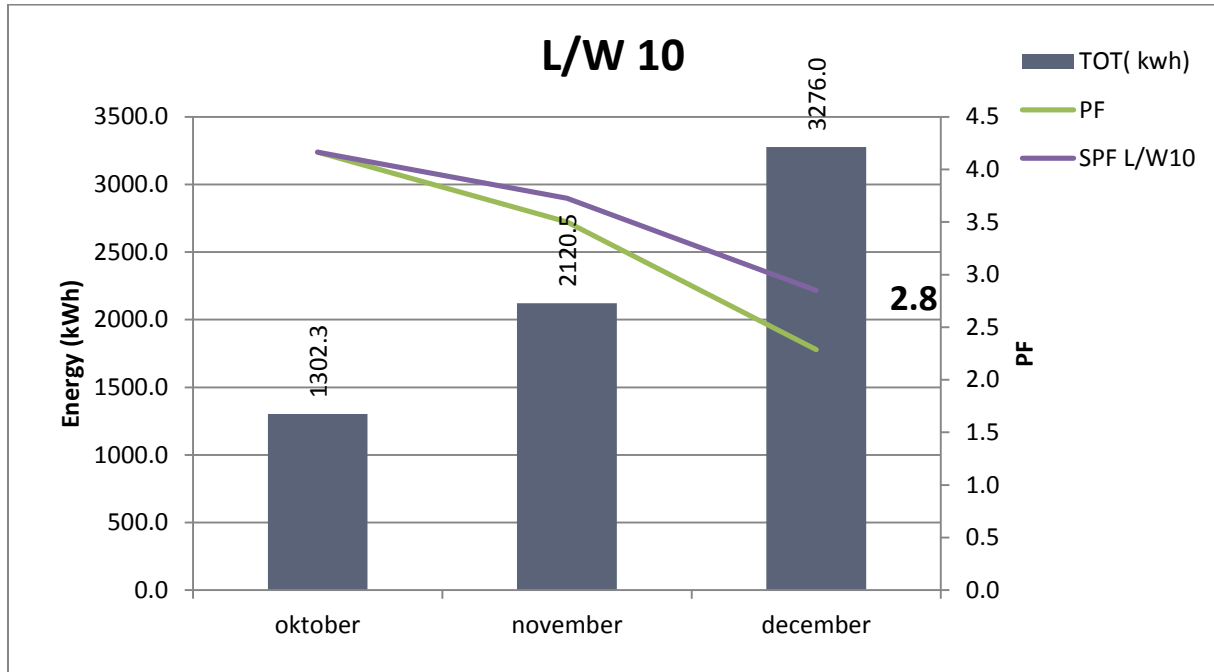
Regeling: stooklijn, legionella-programma

Maximum SWW-temperatuur (juli): /

Opmerkingen:

- Start metingen: 02/10/2010

## Resultaten



# Lucht/Water 11

## Dossier

Type warmtepomp: Lucht/Water

Type woning:

- Vrijstaand / half open / rijwoning
- K-peil:33
- Verwarmd oppervlak: /
- Bewoond oppervlak: 127m<sup>2</sup>
- Ventilatiesysteem: C
- Locatie: Mormont

Meetopstelling:

- Aantal warmtemeters:1
  - o Na condensor
- Aantal elektrisch tellers: 3
  - o WP-unit
  - o Elektrische bijstook CV
  - o Elektrische bijstook SWW
- Exclusief:
  - o Warmteverlies SWW-vat

Dimensionering bron: /

Warmtepomp: 5.1 kW (-7-35)

Afgiftesysteem: vloerverwarming

Boilerinhoud: 400l                      Geen buffervat

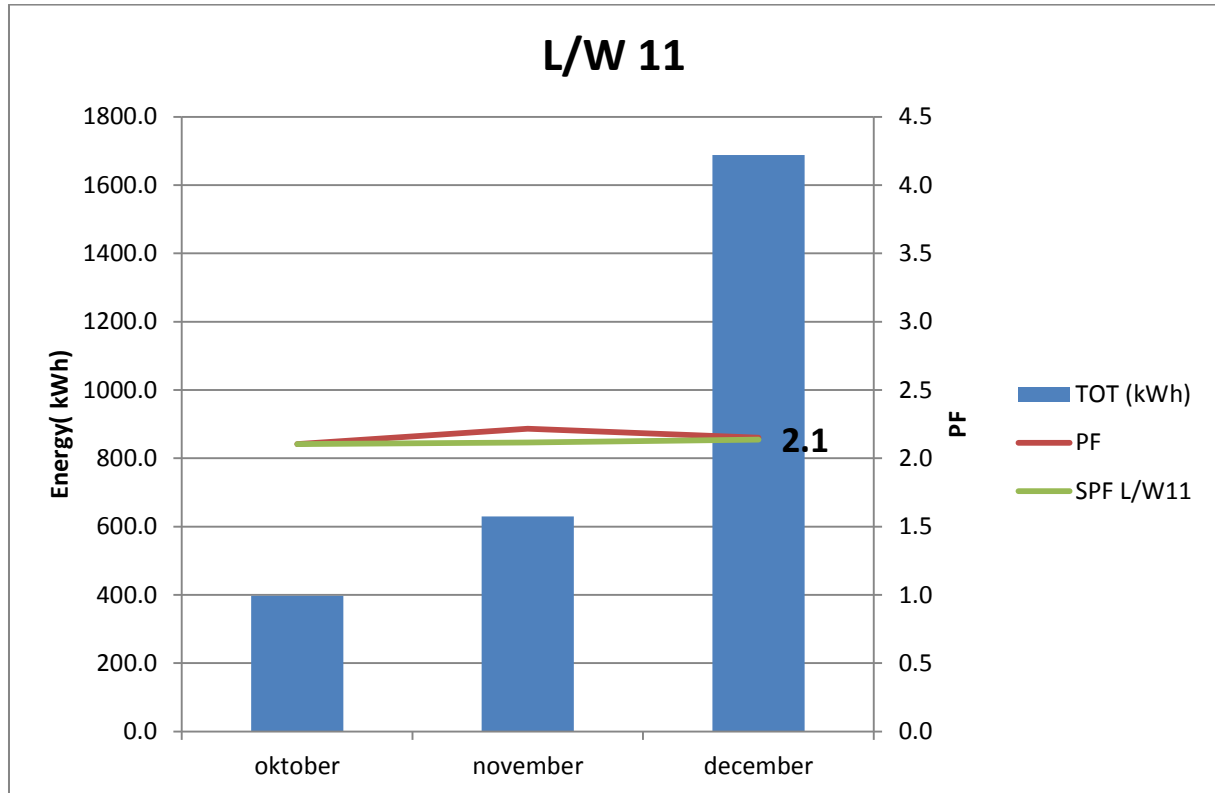
Regeling: stooklijn, legionella-programma

Maximum SWW-temperatuur (juli):/

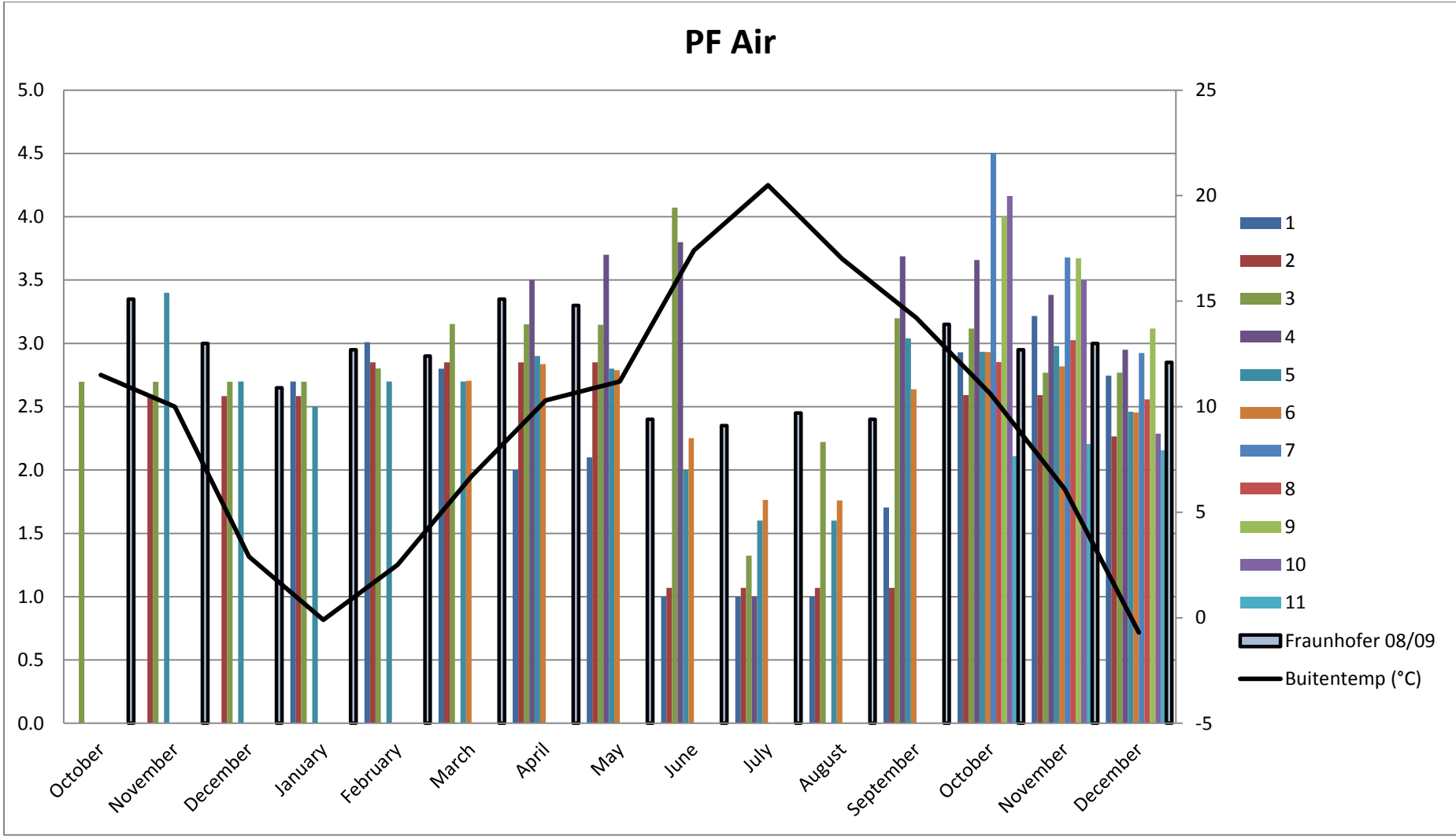
Opmerkingen:

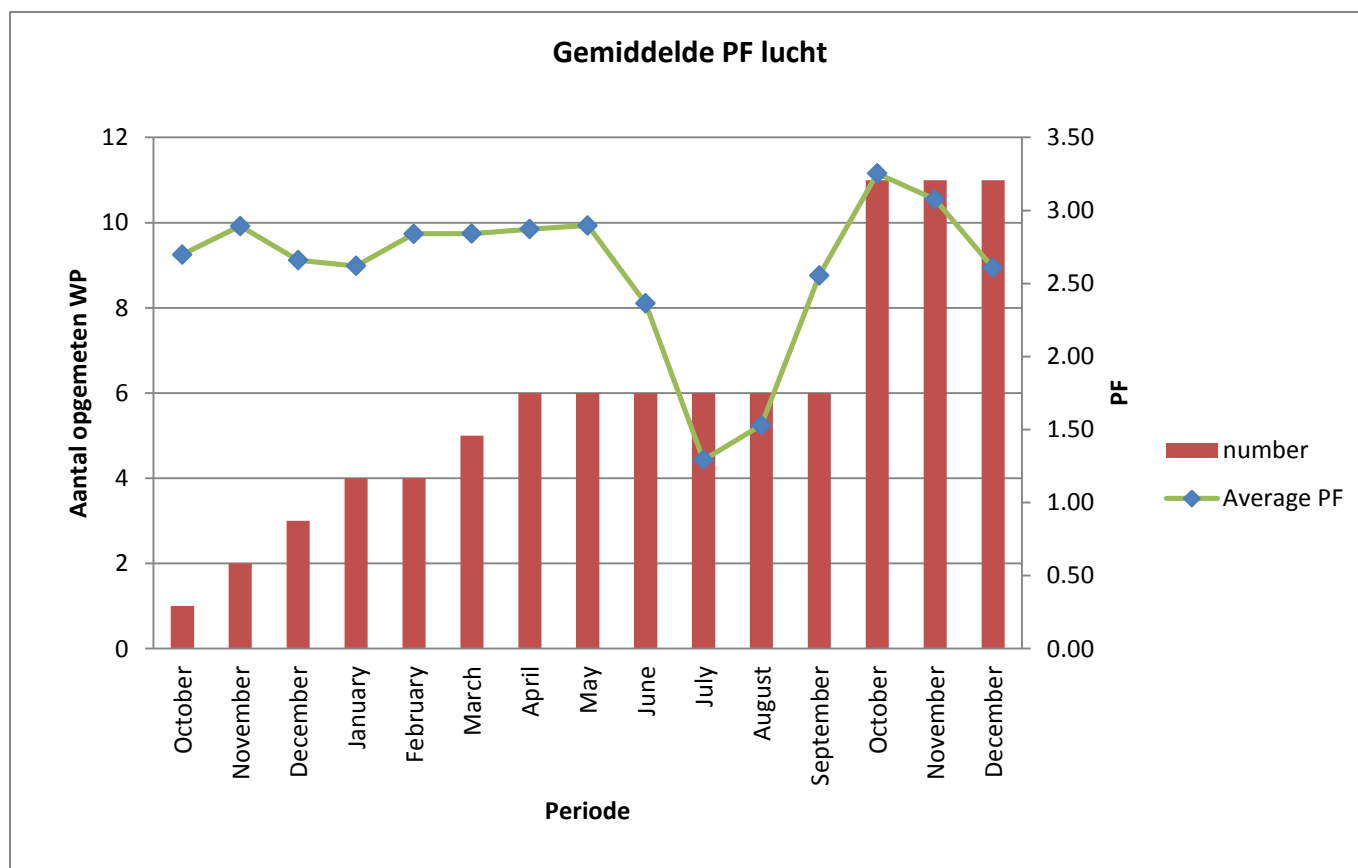
- Start metingen: 02/10/2010
- Hoge SWW-vraag

## Resultaten



# Onderlinge vergelijking & buitenlandse meetcampagne (Lucht)





**Tabel 28: Default minimum and target values for SPF for heat pump systems employed for space heating and domestic hot water production in new buildings (typical for Central Europe)**

| energy source / sink | minimum value for SPF | target value for SPF |
|----------------------|-----------------------|----------------------|
| air / water          | 2,7                   | 3,0                  |
| ground / water       | 3,5                   | 4,0                  |
| water / water        | 3,8                   | 4,5                  |

Tabel 29: Samenvattende tabel Lucht warmtepompen

| WP-systeem | meetperiode       | SPF | Q totaal (kWh) OF<br>Q CV (kWh)/ Q SWW (kWh)<br>okt-dec 2010 |
|------------|-------------------|-----|--------------------------------------------------------------|
| L/W 1      | Dec 2009-Dec 2010 | 2,7 | 7235 / 386                                                   |
| L/W 2      | Nov 2009-Dec 2010 | 2,5 | 13265 / 292                                                  |
| L/W 3      | Okt 2009-Dec 2010 | 2,8 | 8298                                                         |
| L/W 4      | Apr 2009-Dec 2010 | 3,3 | 5836                                                         |
| L/W 5      | Nov 2009-Dec 2010 | 2,7 | 7894 / 686                                                   |
| L/W 6      | Ma2010-Dec 2010   | 2,6 | 6112 / 405                                                   |
| L/W 7      | Okt 2010-Dec 2010 | 3,4 | 6305                                                         |
| L/W 8      | Okt 2010-Dec 2010 | 2,7 | 5716 / 230                                                   |
| L/W 9      | Okt 2010-Dec 2010 | 3,5 | 11158 / 536                                                  |
| L/W 10     | Okt 2010-Dec 2010 | 2,8 | 6241 / 441                                                   |
| L/W 11     | Okt 2010-Dec 2010 | 2,2 | 1589 / 1124                                                  |



## **Belangrijkste conclusies luchtgekoppelde warmtepompen:**

Ook bij de luchtgekoppelde warmtepompen is dezelfde terugval in PF waar te nemen in de zomerperiode. Deze heeft ook hier dezelfde verklaring als de terugval bij de grondgekoppelde warmtepompen.

Bij de meeste luchtgekoppelde warmtepompen wordt de minimum SPF volgens de Europese norm EN 14540 net wel of net niet gehaald. De SPF waarden van meetlocaties 7-11 moeten met het nodige voorbehoud geïnterpreteerd worden, aangezien de metingen hiervan pas opstartten begin oktober 2010 en dus pas lopen over 3 maanden.

In de laatste kolom wordt de hoeveelheid geproduceerde warmte door de warmtepompunit weergegeven. Indien er twee sensoren geïnstalleerd werden, is de opsplitsing gemaakt tussen warmte voor RV en SWW. Er werd gefocust op de periode van oktober 2010-december 2010, omdat ook de laatste 5 luchtinstallaties mee konden genomen worden in de vergelijking. We zien duidelijk dat indien het aandeel SWW stijgt, dit ten koste gaat van de SPF.

Indien de warmtepomp slechts warmte voor RV dient te voorzien (installatie 4) wordt de hoogste SPF behaald.

## WP 7: Computersimulaties en modelvalidatie

Dit werkpakket bestond uit de volgende 4 taken:

*W7-Taak 1 : Modelopbouw*

*W7-Taak 2 : Modelvalidatie*

*W7-Taak 3 : Parameteranalyse van warmtepompinstallaties d.m.v. simulaties*

*W7-Taak 4 : Vermindering van energieverbruik, milieuhinder en CO<sub>2</sub>-uitstoot*

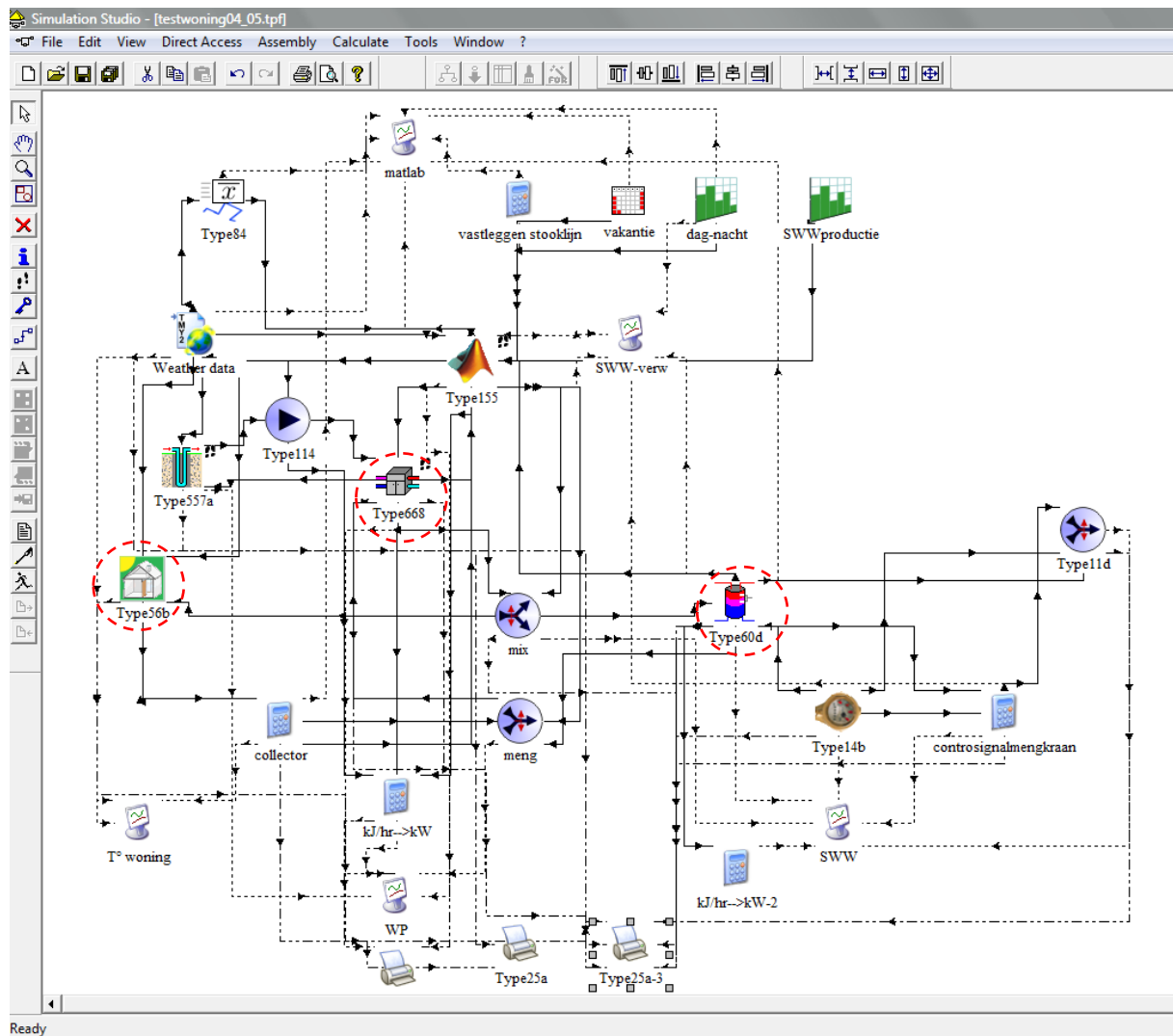
Op het tweede werkpakket na zijn deze taken succesvol uitgevoerd. Er is geen modelvalidatie kunnen gebeuren omdat er bewust gekozen is om een generisch model op te stellen en om van daaruit de invloed van verschillende parameters te bestuderen. Wel werd er van 3 on-field cases een thesis opgesteld. Per thesis werd 1 case volledig ingevoerd in de simulatiesoftware TRNSYS en werd er aan de hand van de metingen een verificatie van het model gedaan. Een echte validatie was niet mogelijk omdat de meetdata daarvoor te beperkt waren. Na deze verificatie werden verschillende parameters (vooral op vlak van regeling) aangepast om tot betere performanties te komen. Ten slotte werd ook de vergelijking gemaakt met een condenserende gasketel, dit zowel op primair energieverbruik als CO<sub>2</sub>-uitstoot. Er werd een thesis uitgewerkt rond een woning met een Lucht-water installatie, uitgevoerd door Michael Casier. Een tweede uitgewerkte case was een woning met een Bodem-water warmtepomp, uitgevoerd door Joris Van Steenwinkel. Een laatste case was een woning met een Water-water warmtepomp, uitgevoerd door Thomas Minten. Deze drie thesissen zijn terug te vinden in de bibliotheek van de K.U.Leuven.

Om de invloed van verschillende parameters te onderzoeken op de SPF, totale werkingskost, CO<sub>2</sub>-uitstoot van het systeem was het nodig om eerst een referentiemodel op te stellen. Nadat dit op een gepaste manier werkte werden parameters gewijzigd, zowel op vlak van dimensionering als op vlak van regeling.

Voor deze simulaties is er gebruik gemaakt van TRNSYS-software (woning en koppeling tussen verschillende systeemcomponenten) en MATLAB (regeling)

# Opstellen van het referentiemodel (Bodemgekoppelde warmtepomp)

Het referentiemodel bestaat uit 3 grote basiscomponenten: een woning, een warmtepomp en een sanitair warm water (SWW) vat. Deze componenten zijn omcirkeld in Figuur 35.



**Figuur 35: Opbouw referentiemodel**

Vooreerst de details van de opbouw van de **woning**.

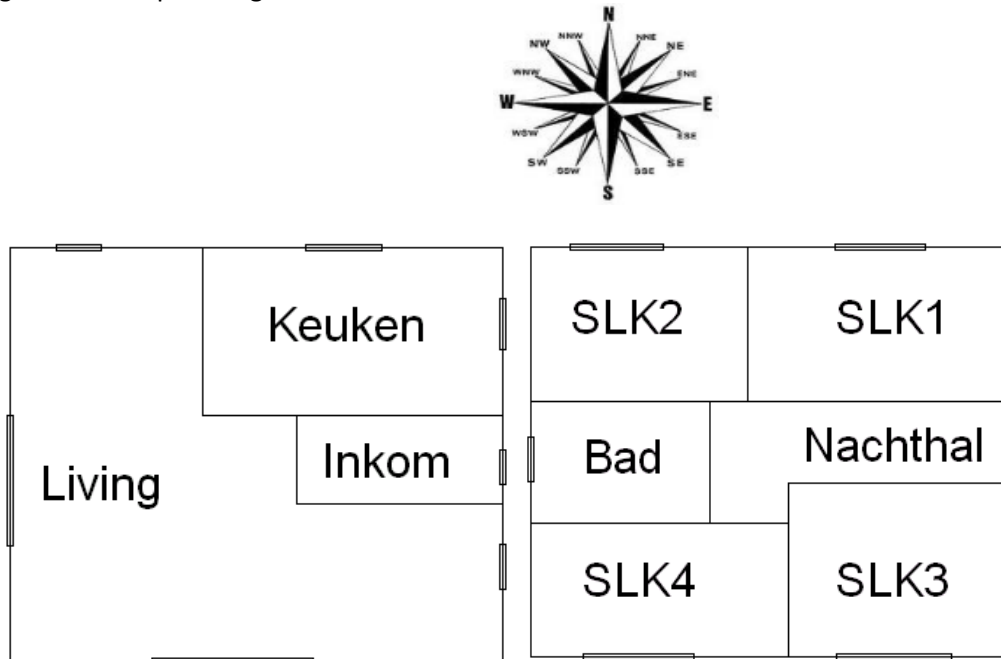
- Het isolatiepeil van de woning is K40
- Er zijn 7 verwarmde ruimtes met elk een gewenste setpunttemperatuur: Tabel 30, Figuur 36
  - Living, 21°C
  - Keuken, 21°C
  - Badkamer, 24°C
  - 4 slaapkamers, 18°C

Tabel 30: detailgegevens referentiewoning

| -          | Opp. (m²) | Verw. Vol. | Interne warmtebron                                              | Glasopp. (m²)<br>Oriëntatie            | WV (-8°C) (W) |
|------------|-----------|------------|-----------------------------------------------------------------|----------------------------------------|---------------|
| Leefruimte | 56.5      | V          | 100W verl.<br><br>185W pers.                                    | 1.5 N<br><br>3 W<br><br>6 Z<br><br>1 O | 5278          |
| Keuken     | 11.2      | V          | 100W verl.<br><br>185W pers.<br><br>60W frigo<br><br>700W koken | 1N<br><br>1,5 O                        | 1014          |
| Badkamer   | 8.5       | V          | 50W verl.<br><br>185 W pers.<br><br>190W douche                 | 1.5 W                                  | 1598          |
| SLK 1      | 11.2      | V          | 80W verl.<br><br>100W pers.                                     | 0.75 O                                 | 1105          |
| SLK 2      | 13.5      | V          | 80W verl.<br><br>100W pers.                                     | 1 W                                    | 1307          |
| SLK 3      | 16.1      | V          | 80W verl.<br><br>100W pers.                                     | 0.75 O                                 | 1525          |
| SLK 4      | 13.3      | V          | 80W verl.<br><br>100W pers.                                     | 1 W                                    | 1302          |
| Inkomhal   | 6.6       | -          | -                                                               | 1 O                                    | -             |
| nachthal   | 10.2      | -          | -                                                               | 0.75 O                                 | -             |
| zolder     | 50.3      | -          | -                                                               | -                                      | -             |
| kelder     | 74.3      | -          | -                                                               | -                                      | -             |

- In de verschillende kamers zijn ook “klokgestuurde” interne winsten toegevoegd: Tabel 30
  - Elektrische apparatuur en menselijke activiteiten in Living
  - Koelkast, kookplaten en menselijke activiteit in keuken
  - Douche, menselijke activiteiten in badkamer
  - Menselijke activiteiten in slaapkamer

Figuur 36 toont een schets van de opbouw van de verwarmde zones van de woning. In elk van de verwarmde zones werd de vloerverwarming zo gedimensioneerd dat bij  $-8^{\circ}\text{C}$  buitentemperaturen de gewenste setpunten gehaald werden in de verschillende zones.



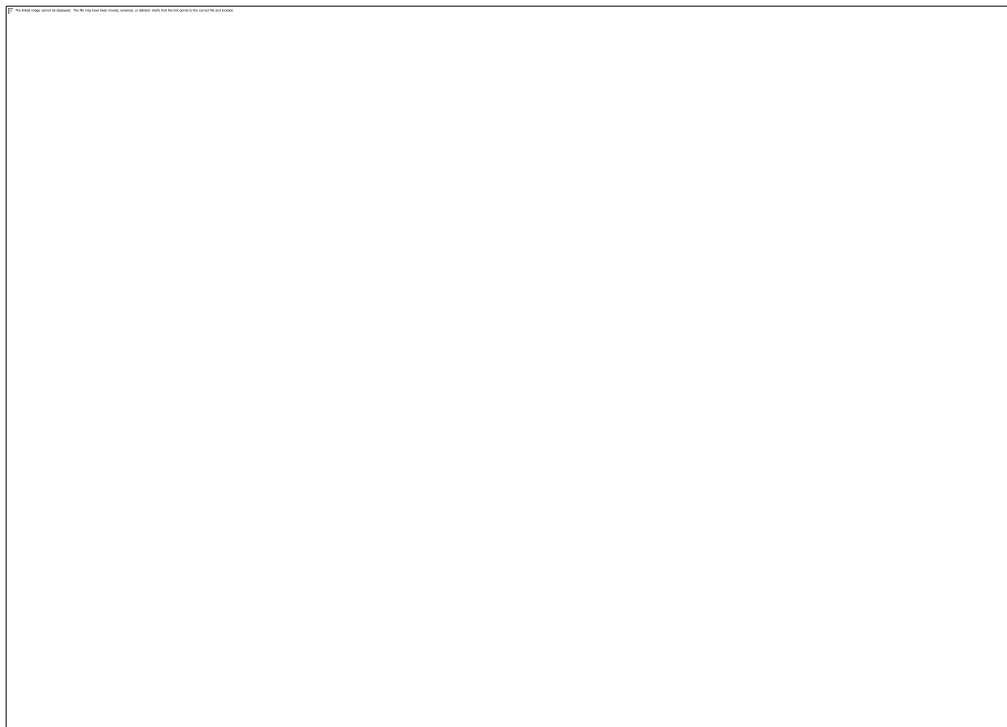
**Figuur 36: Schets van woningopbouw K40**

De zolder bevindt zich onder een schuin dak.

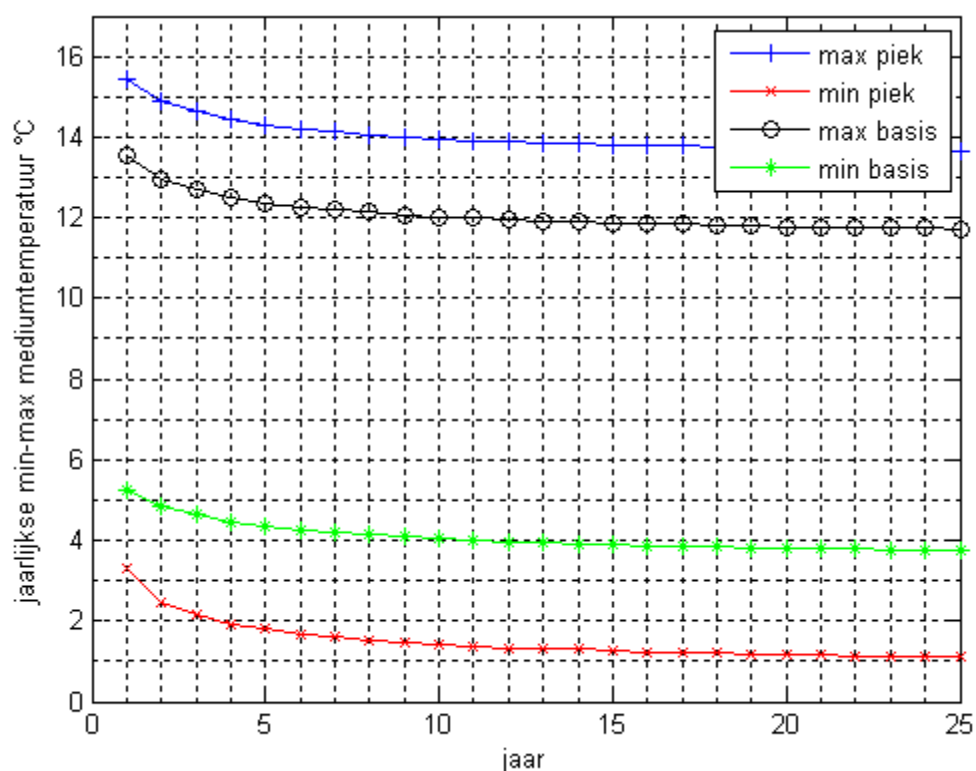
Verder is de **warmtepomp** een belangrijk onderdeel van de simulaties. In eerste instantie werd, bij gebrek aan data van invertorgestuurde lucht-warmtepompen, gefocust op geothermische aan-uit warmtepompen. Dergelijk type warmtepomp heeft in de TRNSYS software volgende inputs:

- Controle signaal verwarmen/(~~koelen~~)
- Brontemperatuur
- Debiet bron
- teruglooptemperatuur belasting
- terugloopdebiet belasting

Het controlesignaal om het verwarmen te starten wordt gestuurd vanuit de regeling. De warmtepomp wordt niet gebruikt om actief te koelen. De brontemperatuur wordt bepaald door een 2<sup>e</sup> component in TRNSYS: het bodemmodel. Om de ingegeven parameters in deze component te controleren werden deze voor een sterk vereenvoudigde case vergeleken met de output van de EED-software (een vaak gebruikte software bij putboorders). Figuur 37, Figuur 38



Figuur 37: Output EED-software

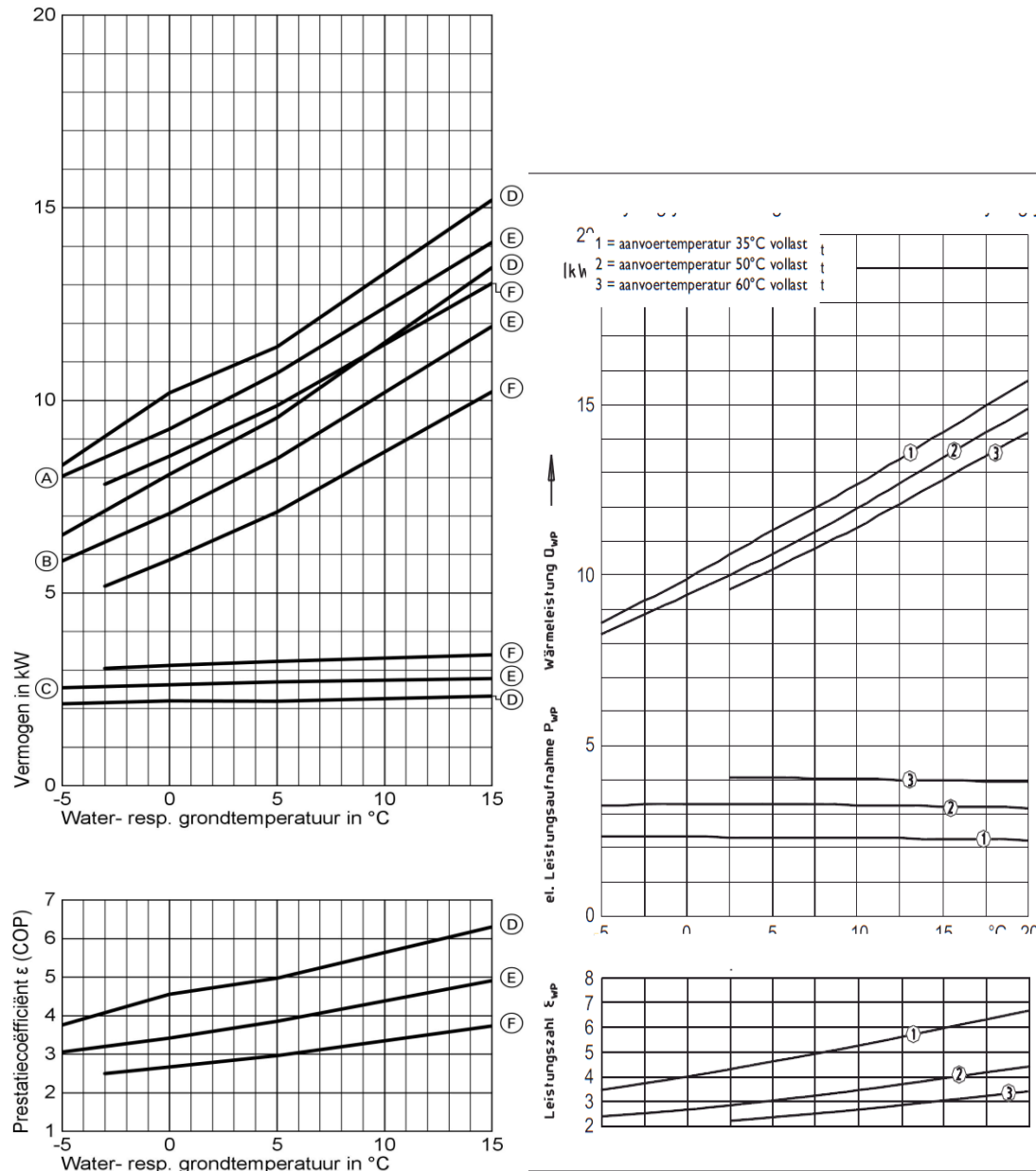


Figuur 38: Output TRNSYS bodemcomponent

Op basis van deze vergelijking werd besloten dat de ingestelde parameters uit de TRNSYS-component voldoende correct geïntegreerd werden. Het debiet langs bron- en afgiftezijde wordt ook bepaald door de regeling van de warmtepompunit, die de desbetreffende pompen aan- en uitschakeld.. De teruglooptemperatuur langs afgiftezijde wordt bepaald door de woningbelasting voor verwarming of de teruglooptemperatuur van de warmtewisselaar in het SWW-vat. Naast deze inputs heeft de

warmtepompunit ook enkele parameters nodig. Deze blijven gedurende de gehele simulatietijd constant:

- Soortelijke warmte bronzijde
- Soortelijke warmte afgiftezijde
- Prestatiecurve o.b.v. catalogidata: vb. Figuur 39



**Figuur 39: Prestatiecurve uit catalogi**

Op deze schema's staan het condensor-, verdamper- en compressorvermogen weergegeven in functie van de aanvoertemperatuur van het cv-systeem en de brontemperatuur. Aangezien de warmtepompcomponent uit TRNSYS als input de retourtemperatuur van het cv-systeem nodig heeft, is er een herberekening nodig van de curves. Dit kan eenvoudig gebeuren aangezien het vermogen, aanvoertemperatuur en debiet gekend langs condensorzijde gekend zijn.

Bij deze simulaties werd een warmtepomp met thermisch vermogen van 10.2 kW geïnstalleerd. De COP volgens EN 14511-norm (0-35, delta T 5K) bedraagt 4,6.

Als **sanitair warm watervat** werd gekozen voor een vat met inhoud van 390l waarvan het mantelverlies, bij een delta T van 45°C, 2 kWh per dag is. De inwendige warmtewisselaar heeft een warmtewisselend oppervlak van 4,1m<sup>2</sup>. De configuratie van dit SWW-vat is gebaseerd op een reëel bestaand type vat. Bij de parametervariatie later zal gekozen worden voor een virtueel kleiner vat.

In TRNSYS was een **bodemmodel** beschikbaar, de verschillende parameters die hierbij dienden ingevuld te worden werden aangeleverd door verschillende putboorders en gecontroleerd aan de hand van de EED-software. De dimensionering voor dit type woning, met de gekozen ondergrond gaf als resultaat dat er 4 boringen van 60 m diep noodzakelijk waren. Als nominaal debiet door de bodemlussen werd het minimaal vereist debiet volgens de gegevens van de warmtepomp gekozen, 2500 kg/h.

De **regeling** van de verschillende componenten gebeurt in Matlab. Bovenaan de regeling staan 2 parameters die de gehele installatie uitschakelen:

- Als het stookseizoen gedaan is: Deze parameter wordt bepaald door de gemiddelde buitentemperatuur van 2 opeenvolgende dagen bij te houden. Indien deze 2 dagen na mekaar hoger ligt dan 15°C, is het stookseizoen gedaan. De installatie werkt dan niet meer voor RV-doeleinden.
- Vakantieregeling: Er worden 2 vakantieweken per jaar ingegeven. Één week in juli en één week in november. Deze weken zijn later ook duidelijk terug te zien op de grafische outputs. De warmtepomp schakelt volledig uit.

Indien de warmtepomp aan mag staan, wordt er in eerste instantie gekeken of het dag of nacht is. Afhankelijk hiervan wordt er met een andere stooklijn geregeld en is de setpunttemperatuur voor het boilervat anders.

#### 1. NACHT:

1. De warmtepomp gaat in eerste instantie kijken of er SWW nodig is.
  - Is de temperatuur onderaan in het vat (40cm hoogte) < 53°C, dient er bijverwarmd te worden. Indien dit in orde is, ...
2. Is de 4u-gemiddelde buitentemperatuur kouder dan 18°C én is er verwarming nodig met verlaagde (nacht)stooklijn? → Ligt de retourtemperatuur van vloerverwarming (VWV) lager dan de gewenste teruglooptemperatuur van de verlaagde stooklijn -2°C?  
Figuur 40
  - Ja, bijverwarmen. Er wordt met een dode band van ± 2K geregeld met een minimale looptijd van 21 minuten. (Omdat de simulatiestap 3 minuten is, moest er voor een veelvoud van 3 gekozen worden).
  - Nee, de warmtepomp schakelt uit.

#### 2. DAG:

1. Er wordt weer eerst gekeken naar SWW- behoefte. Al is het criterium om bij te verwarmen nu wel gezakt naar 43°C. Indien de toptemperatuur van het SWW-vat hieronder zakt, wordt er bijverwarmd tot de temperatuur aan de top van het sanitair warm watervat 46°C is, of tot de warmtepomp al 1 uur aan het bijstoken is. Dit om

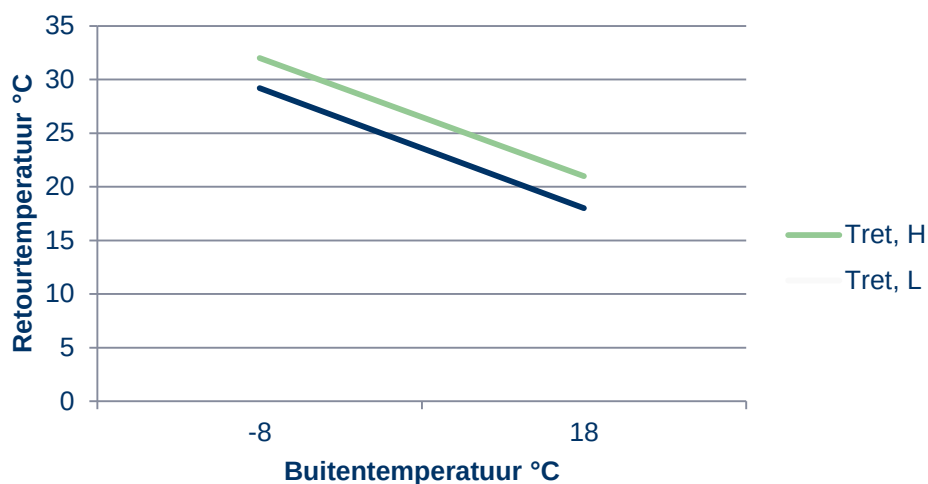


overdag de verwarming van het huis niet te verwaarlozen waardoor de binnentemperatuur te hard zou dalen.

2. Is de 4u-gemiddelde buitentemperatuur kouder dan 18°C én is er verwarming nodig met de hogere (dag)stooklijn? Figuur 40

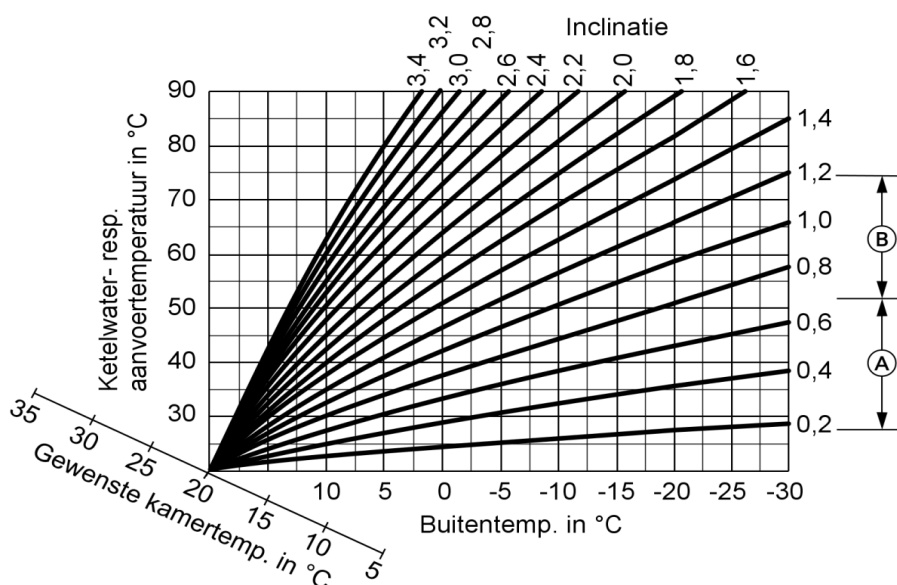
- Ja, bijverwarmen. Er wordt met een dode band van  $\pm 2\text{K}$  geregeld met een minimale looptijd van 21 minuten. (Omdat de simulatiestap 3 minuten is, moest er voor een veelvoud van 3 gekozen worden).
- Nee, de warmtepomp schakelt uit.

Beide stooklijnen zijn in onderstaande grafiek weergegeven:



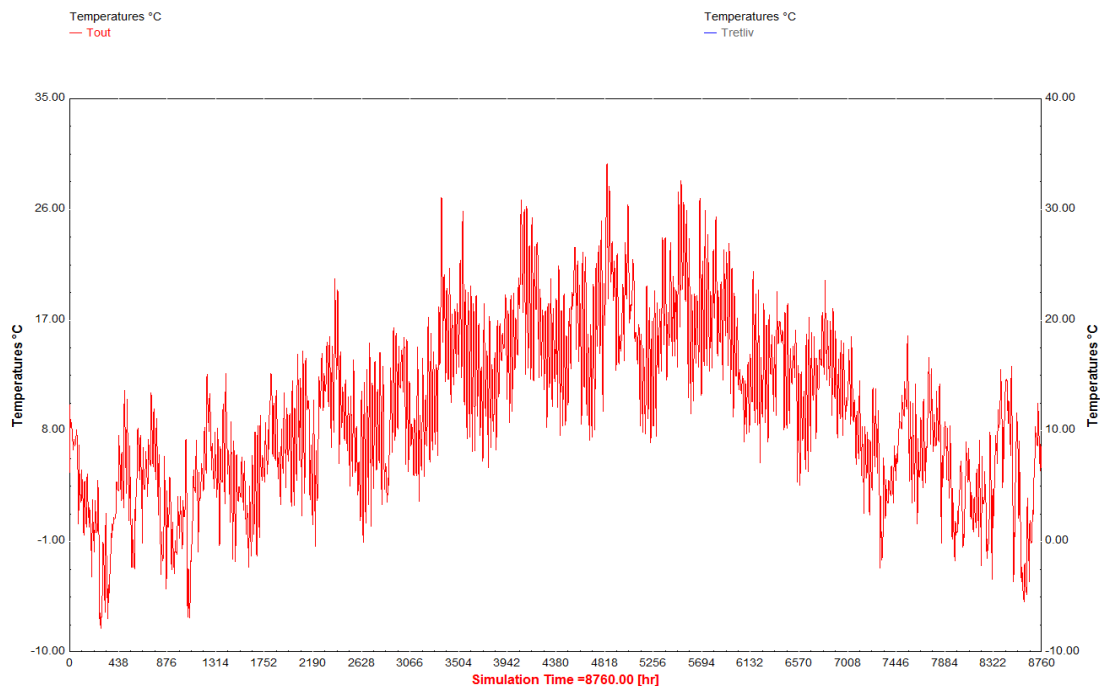
**Figuur 40: stooklijn referentiemodel**

Bij het verschuiven van deze stooklijnen als parameter variatie werd de methode van stooklijnverschuiving uit de handleiding van verbrandingsketels van Viessmann overgenomen. Voor een lagere gewenste binnentemperatuur dient de stooklijn volgens de schuine lijn verschoven te worden. Er wordt dus geen parallelle verschuiving volgens de y-as toegepast. Figuur 41



**Figuur 41: verschuiven stooklijn**

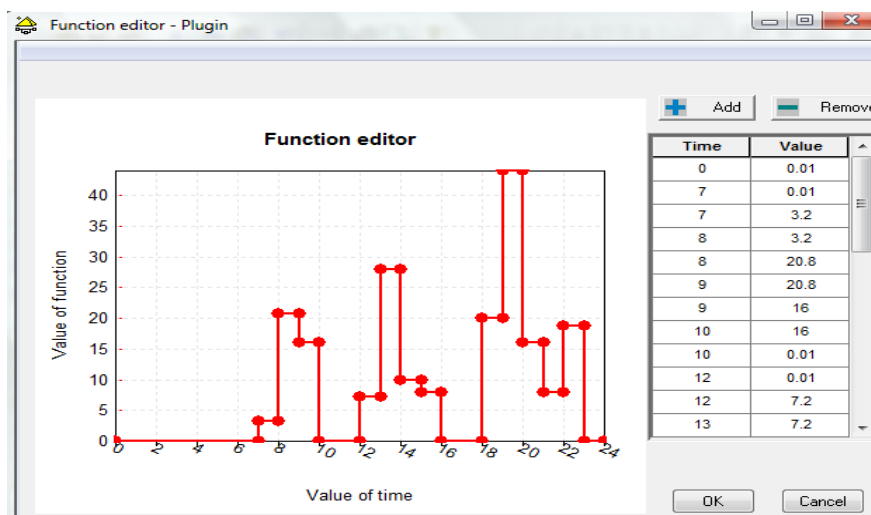
De gebruikte referentie **weerfile** is deze van Ukkel. De gebruikte temperaturen, instralingen, luchtvochtigheid, ... zijn de gemiddelde waarden over 30 jaar (1961-1990). De buitentemperatuur over 1 jaar wordt op volgende grafiek getoond. Figuur 42



**Figuur 42: Weerfile referentiemodel Ukkel, 1 jaar**

Als koudste buitentemperatuur geldt -8°C, als warmste 30°C.

Uit het SWW-vat wordt op dagbasis een bepaalde hoeveelheid warm water getapt. Er werd voor een 4-persoonsgezin gekozen voor een totale aftaphoeveelheid van 200l per dag. Om de temperatuur van het afgetapte water op 43°C te regelen wordt een menging van het warme water uit het SWW-vat met koud leidingwater (11°C) toegepast. Op dagbasis geldt volgend **tapprofiel**. Figuur 43.



**Figuur 43: Tapprofiel referentiemodel**

Op de x-as lezen we de verschillende uren van de dag af. Op de y-as worden aftaphoeveelheden (liter) weergegeven.

Verder worden in het model volgende zaken gebruikt:

- Plotters: Resultaten worden naar het scherm geplot. Deze gegevens kunnen niet opgeslagen worden.
- Printers: Resultaten worden naar .txt bestand geprint.
- Mengkraan
- 3-wegkraan
- Rekenmachine: Dit wordt gebruikt om eenheden om te rekenen (vb. kJ/hr  $\rightarrow$  kW) of of constante waarden uit te sturen.
- Lopend gemiddelde: dit lopend gemiddelde van de laatste 4u wordt gebruikt als buitentemperatuur voor de stooklijngestuurde regeling.

De simulaties werden vervolgens voor 2 jaar uitgevoerd. De start van de simulaties werd op 1 januari 0.00u vastgelegd, het einde werd bepaald op 31 december 24.00u van het jaar erna. Er werd met simulatietijdstappen van 3 minuten gerekend. Hier diende een compromis gezocht te worden tussen de simulatietijd en de nauwkeurigheid van de regeling. De evaluatie van de verschillende modellen werd gedaan op basis van het tweede simulatiejaar om “onjuiste” initialisatiewaarden niet mee nemen in de evaluatie. Indien er om een bepaalde reden niet werd geëvalueerd werd over het tweede simulatiejaar, wordt dit duidelijk vermeld in de bestandsnaam en de beschrijving van de case.

# Parameterstudie

Ten opzichte van het Referentiemodel worden enkele parametervariëaties toegepast. Van deze variëaties wordt in eerste instantie de belangrijkste grafische output weergegeven. Als besluit worden ook de belangrijkste cijfers in tabelvorm weergegeven. Tabel 33. Achtereenvolgens werden volgende simulaties uitgevoerd.

1. [Referentie woning](#)
2. [Grondwater 10°C, 10,2 kW, \(0-35, 5K\) → overgedimensioneerd](#)
3. [Grondwater 11°C, 10,2 kW, \(0-35, 5K\) → overgedimensioneerd](#)
4. [Grondwater 11°C met tussenwarmtewisselaar, 10,2 kW, \(0-35, 5K\) → overgedimensioneerd](#)
2. [Grondwater 10°C, 8,4 kW, \(0-35, 5K\)](#)
3. [Grondwater 11°C, 8,4 kW, \(0-35, 5K\)](#)
4. [Grondwater 11°C met tussenwarmtewisselaar, 8,4 kW, \(0-35, 5K\)](#)
5. [Meer boormeters](#)
6. [Minder boormeters](#)
7. [Verhoogd debiet bron](#)
8. [Verlaagd debiet bron](#)
9. [Horizontaal gesloten warmtewisselaar 1m](#)
10. [Horizontaal gesloten warmtewisselaar 1,2m](#)
11. [Ondergedimensioneerde warmtepomp, 8,4 kW, \(0-35, 5K\)](#)
12. [Mono-energetisch ondergedimensioneerde warmtepomp, 8,4 kW, \(0-35, 5K\)](#)
13. [Debiet vloerverwarming hoog](#)
14. [Debiet vloerverwarming laag](#)
15. [Passieve koeling Ukkel \(1<sup>e</sup> jaar\)](#)
16. [Passieve koeling Madrid \(1<sup>e</sup> jaar\)](#)
17. [Zonneboiler 10m<sup>2</sup>](#)
19. [Verkleinde boiler SWW](#)
20. [Verdikte chape VVW](#)
21. [Verdunde chape VVW](#)
22. [Stooklijn Hoger](#)
23. [Stooklijn Lager](#)
24. [Thermostaatregeling](#)
25. [Thermostaatregeling + stooklijn](#)
26. [Thermostaatregeling + stooklijn + ruimtecompensatie](#)
28. [Constance ruimtetemperatuur](#)
29. [Nachtverhoging](#)
30. [Warm jaar 2003 \(1<sup>e</sup> jaar\)](#)
31. [Koud jaar 1985 \(1<sup>e</sup> jaar\)](#)
32. [SWW tapprofiel hoger](#)
33. [SWW tapprofiel lager](#)
34. [Setpunt SWW-productie hoger](#)
36. [Vergroten van dode band stooklijn](#)
37. [Verlaagde verwarmingsgrens](#)
38. [Legionellaprogramma SWW-productie](#)
39. [Slimmer regeling CV-pomp](#)
40. [Weerfile Madrid](#)
41. [Weerfile Noorwegen](#)
42. [Referentie woning \(1<sup>e</sup> jaar\)](#)

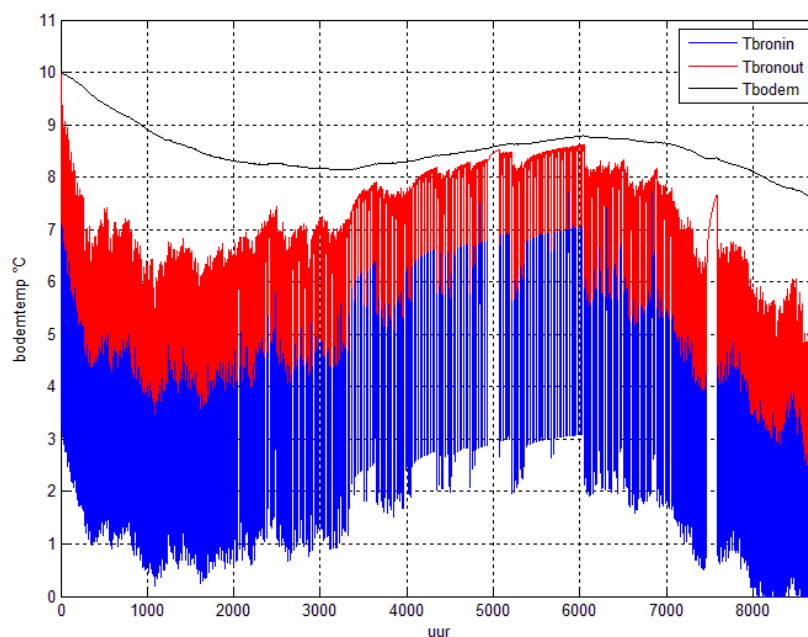
Op de x-as van de weergegeven figuren vindt u de uren gedurende het jaar. Om u een idee te geven waar de verschillende maanden van het jaar zich situeren in de 8760 uur, worden de bijhorende uren per maand weergegeven.

|   |       |     |         |         |
|---|-------|-----|---------|---------|
| • | Maand | dag | van uur | tot uur |
| • | JAN   | 1   | 8760    | 9504    |
| • | FEB   | 32  | 9504    | 10176   |
| • | MAR   | 60  | 10176   | 10920   |
| • | APR   | 91  | 10920   | 11640   |
| • | MAY   | 121 | 11640   | 12384   |
| • | JUN   | 152 | 12384   | 13104   |
| • | JUL   | 182 | 13104   | 13848   |
| • | AUG   | 213 | 13848   | 14592   |
| • | SEP   | 244 | 14592   | 15312   |
| • | OCT   | 274 | 15312   | 16056   |
| • | NOV   | 305 | 16056   | 16779   |
| • | DEC   | 335 | 16679   | 17520   |

Van de verschillende parameterstudies worden verschillende toetsingscriteria bepaald. Deze worden hier overlopen. Dit zijn resultaten op jaarbasis van het 2<sup>e</sup> simulatiejaar:

- PWPtot (kWh): Som van het elektrisch verbruik van alle elektrische componenten die in SPF-bepaling dienen meegenomen te worden
- PSWWtot (kWh): Deelverzameling PWPtot. Som van het verbruik van alle elektrische componenten die in SPF-bepaling van SWW-productie dienen meegenomen te worden
- PVVWtot (kWh): Deelverzameling PWPtot. Som van het verbruik van alle elektrische componenten die in SPF-bepaling van RV-productie dienen meegenomen te worden
- Pcompr (kWh): Het totaal elektrisch verbruik van de compressor
- Pbronzpomp(kWh): Het totaal elektrisch verbruik van de bronpomp
- PpompSWW (kWh): Het totaal elektrisch verbruik van de pomp tussen de warmtepomp en het SWW-vat
- Pregeling (kWh): Het totaal elektrisch verbruik van de regeling. Het geconsumeerd vermogen werd aan de hand van testen in het labo bepaald op 10 W.
- PpompVVW (kWh): Het totaal verbruik van de circulatiepomp voor VVW. Dit verbruik wordt niet meegerekend voor de SPF-bepaling, maar is wel nodig voor het bepalen van de jaarlijkse werkingskosten van het systeem en de jaarlijkse CO<sub>2</sub>-uittoot die hiermee gepaard gaat.
- Pelektrische bijstook (kWh): Het totaal elektrisch verbruik van de elektrische bijstook. In de meeste cases is deze uitgeschakeld, enkel bij de cases 'Legionellaprogramma SWW' en 'mono-energetische ondergedimensioneerde warmtepomp' kan deze werken
- Qctot (kWh): totale geproduceerde warmte door WP-unit
- QcSWW (kWh): Deelverzameling van Qctot. Totaal geproduceerde warmte voor SWW
- QcVVW (kWh): Deelverzameling van Qctot. Totaal geproduceerde warmte voor RV
- Qvtot (kWh): Totale warmte onttrokken uit de bron (=Som Qc- Som P compr)
- uurSWW: Totaal aantal werkingsuren van de warmtepomp voor SWW-productie
- uurVVW: Totaal aantal werkingsuren van de warmtepomp voor productie van RV
- uurWP: Totaal aantal werkingsuren van de warmtepomp
- COPgem: Gemiddelde van COP-waarden van de warmtepompunit indien deze werkt
- SPFSWW: SPF-waarde voor SWW-productie

- SPFverw: SPF-waarde voor RV
- SPF: totaal SPF voor het gehele systeem (incl. mantelverliezen boiler)
- Eurotot (€):
  - 21-7u + weekend: daltarief 13c€/kWh
  - 7-21u: piektarief 19c€/kWh
  - Inclusief het verbruik van de circulatiepomp voor VVW
- CO2-tot (kg): Aan de hand van onderstaande thesis werd een totale CO2 uitstoot bepaald op een dynamische manier
  - Voorspools, K., 2004. The modelling of large electricity generation systems with applications in emission-reduction scenarios and electricity trade.
  - Per uur van het jaar werd een CO2-uitstoot bepaald (kg/kWh) per geproduceerde kWh elektrische energie in het Belgisch elektriciteitspark
- Qoutboiler (kWh): Netto energie aan aftapzijde van SWW-vat
- QinVVWtot (kWh): De hoeveelheid energie door VVW afgegeven aan de ruimte
- QuitVVWtot (kWh): De hoeveelheid energie door VVW onttrokken aan de ruimte. Deze parameter is vooral interessant bij de casestudies 'passieve koeling'
- Tgem bodem (°C): Gemiddelde bodemtemperatuur. Zwarte lijn in Figuur 44
- Tmax bodem (°C): Maximale bodemtemperatuur. Zwarte lijn in Figuur 44
- Tmin bodem (°C): Minimale bodemtemperatuur. Zwarte lijn in Figuur 44



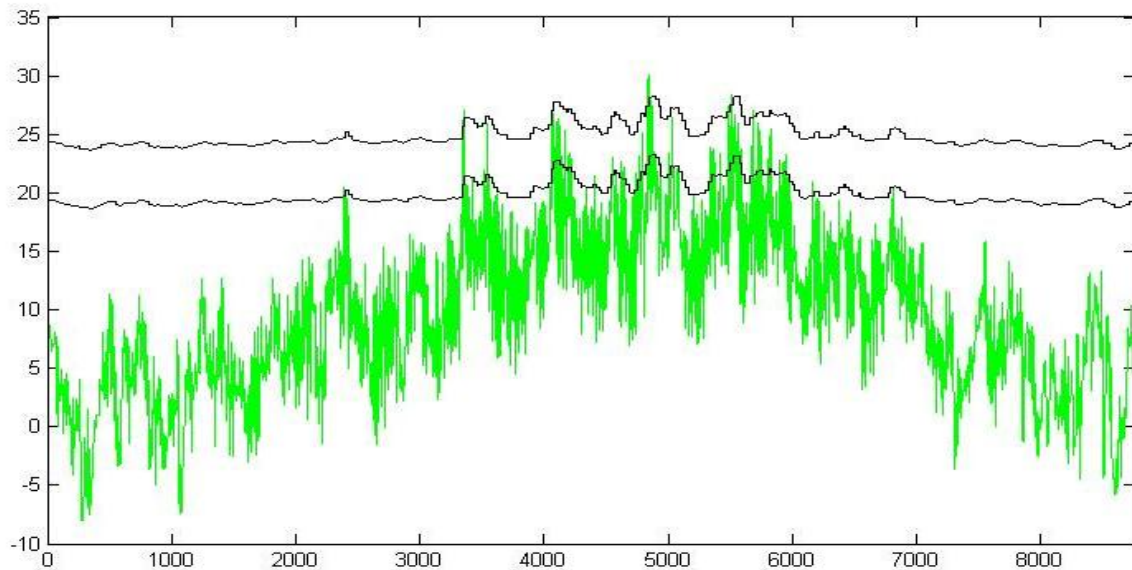
Figuur 44: Bodemtemperatuur (zwart), glycoltemp uit bodem (rood), glycoltemp in bodem (blauw)

- Tgem ruimte (°C): Gemiddelde ruimtetemperatuur per ruimte per 1 jaar
- Uur oververhitting (h): Aantal uur oververhitting per ruimte per jaar
- Kh oververhitting: Aantal Kh oververhitting per ruimte per jaar
- Uur onderkoeling (h): Aantal uur onderkoeling per ruimte per jaar
- Kh onderkoeling: Aantal Kh onderkoeling per ruimte per jaar

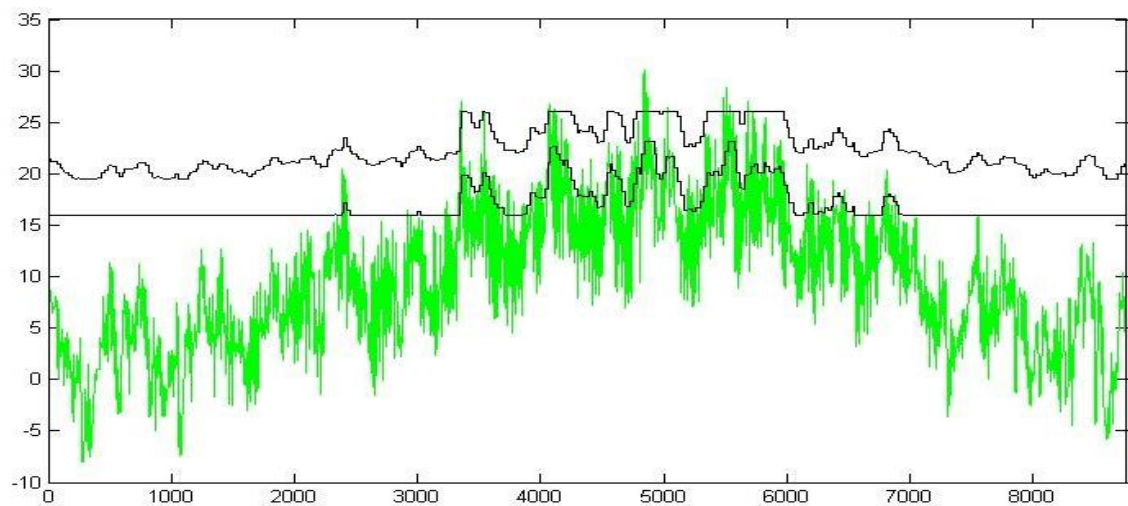
Comfort werd in deze studie bepaald aan de hand van ISO 7730. Vooreerst werd er per type ruimte een neutrale temperatuur bepaald aan de hand van de gemiddelde buitentemperatuur over de laatste 4 dagen ( $T_{e,ref}$ ) waarrond de tolerantieband dient te liggen. Deze referentie buitentemperatuur wordt bepaald aan de hand van onderstaande formule:

$$T_{e,ref} = \frac{(T_{today} + 0.8T_{today-1} + 0.4T_{today-2} + 0.2T_{today-3})}{2.4}$$

De dode band waarbinnen de ruimtetemperatuur dient te blijven voor een PPD van 10% wordt voor de living en keuken in Figuur 45 weergegeven en voor de slaapkamers in Figuur 46



Figuur 45: 10% PPD grenzen voor Living en Keuken (zwart), buitentemp (groen)

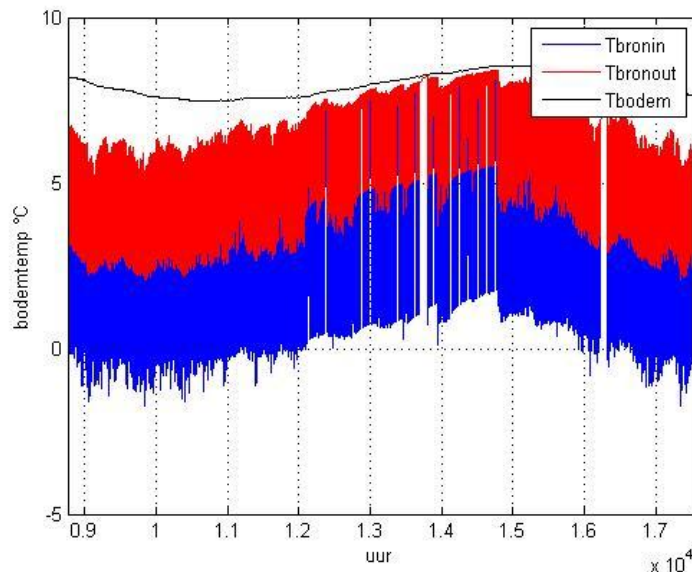


Figuur 46: 10% PPD grenzen voor Slaapkamers (zwart), buitentemp (groen)

### Referentie woning

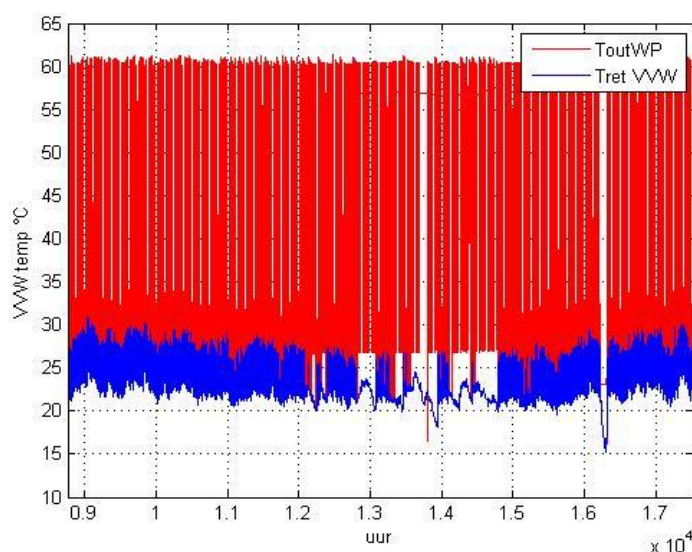
Van elk scenario worden bij de dataverwerking enkele figuren geplot. Deze worden voor het referentiescenario allemaal getoond. Bij de volgende cases worden enkel de relevante figuren weergegeven.

Vooreerst wordt een figuur het verloop van de bodemtemperatuur weergegeven, dit geeft weer in welke mate de bodem uitgeput wordt. De mate van bodemuitputting is ook in de Excel-file terug te vinden bij de gemiddelde, maximale en minimale bodemtemperatuur.



**Figuur 47: Bodemtemperatuur referentiemodel**

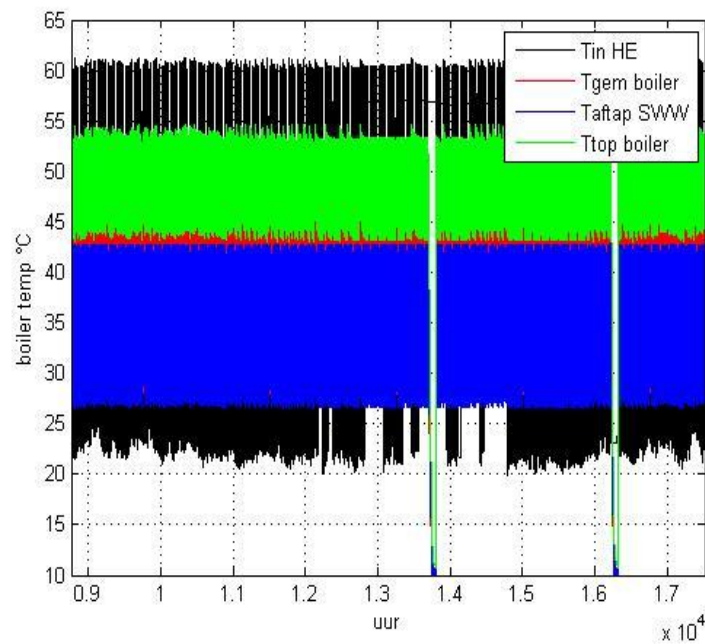
Vervolgens wordt een grafiek geplot waarop de teruglooptemperatuur van de VVW en de aanvoertemperatuur van de warmtepomp te zien zijn. Hierop is duidelijk te zien dat de warmtepomp beveiligd is voor aanvoertemperaturen boven 60°C.



**Figuur 48: Teruglooptemperatuur VVW (blauw), aanvoertemperatuur WP (rood)**

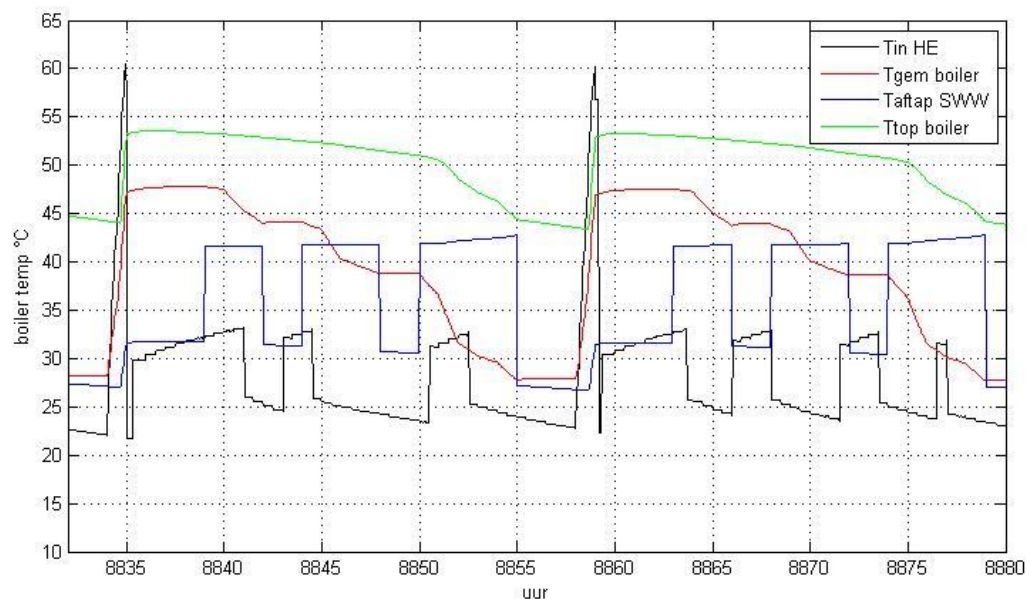
Vervolgens wordt er een plot gemaakt rond SWW-productie. Op jaarbasis ziet deze er als volgt uit:





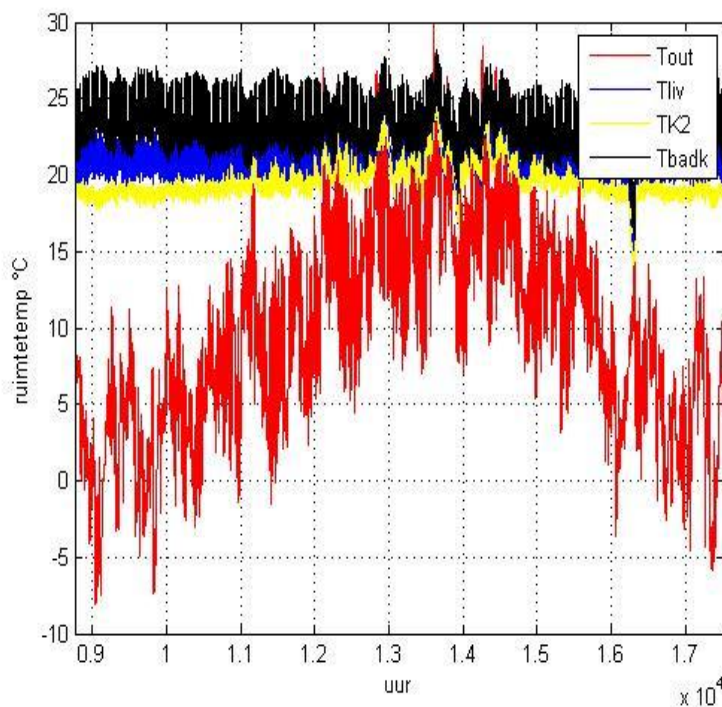
**Figuur 49: SWW-productie**

Ingezoomd op 2 weekdagen in januari ziet men duidelijk dat door het opstoken van het SWW-vat 's nachts er geen warmtepompwerking voor SWW-productie overdag nodig is.



**Figuur 50: Detailweergave SWW-productie**

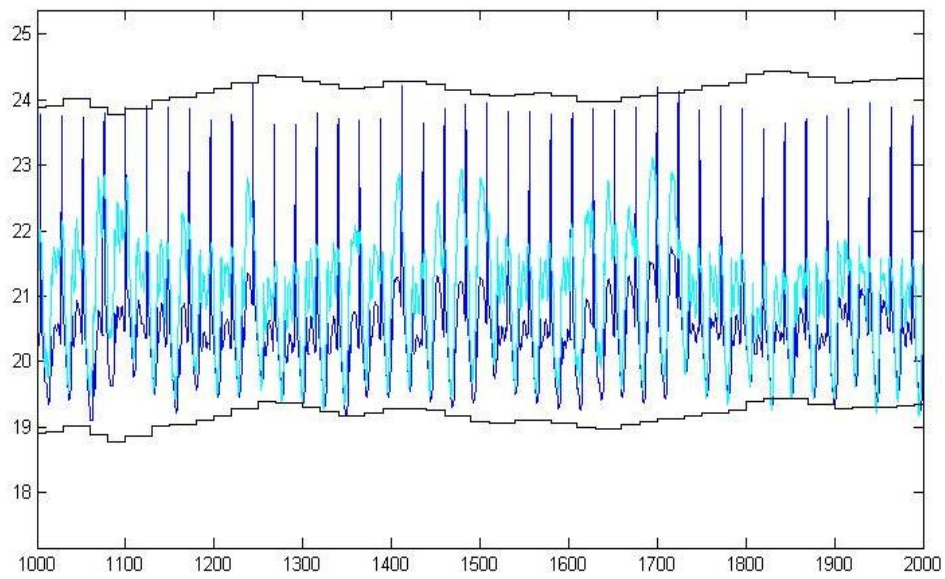
Ten slotte wordt er nog een figuur gemaakt waarin de ruimtetemperaturen van 1 slaapkamer, de living en de badkamer worden geplot, tesamen met de buitentemperatuur in Ukkel.



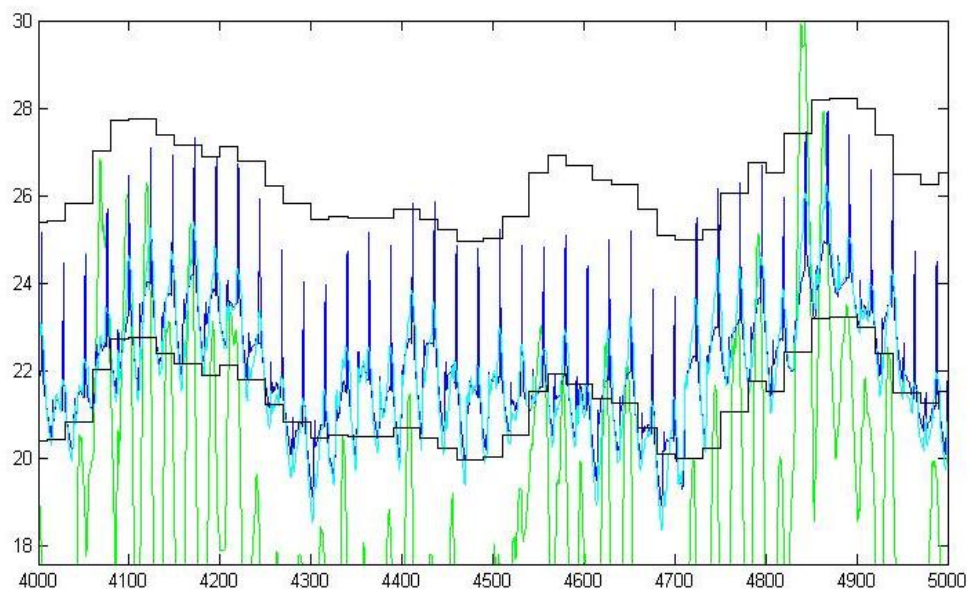
**Figuur 51: Ruimtetemperaturen (badk, zwart; living, blauw; slaapkamer, geel) en buitentemp (rood)**

Enkele belangrijke kengetallen voor dit referentiescenario zijn:

- Totaal elektrisch energieverbruik: 5073 kWh
- SPF: 4.34
- Aantal aan/Uit schakelingen: 970
- Beperkt discomfort. In totaal wordt er slechts in 3% van het aantal uren in een jaar in de verschillende ruimten buiten de tolerantiegrens van PPD 10% getreden. Uit een gedetailleerde analyse blijkt dat het discomfort, vooral onderkoeling, plaats vindt in de zomer. De voorwaarde tot opnieuw stoken ligt blijkbaar iets te hoog, waardoor de woning te veel afkoelt. Dit is duidelijk te zien in Figuur 52 waar de ruimtetemperaturen van de keuken en living voor een dikke maand in de winter worden weergegeven en Figuur 53 waar dezelfde ruimtetemperaturen voor een dikke maand in volle zomer worden weergegeven.



Figuur 52: Ruimtetemp living (lichtblauw), keuken (donkerblauw) met comforttolerantie volgens ISSO 7730 in winter



Figuur 53: Ruimtetemp living (lichtblauw), keuken (donkerblauw) met comforttolerantie volgens ISSO 7730 in zomer

## Grondwater/Water

Bij de eerste 3 simulaties werd de warmtepompunit uit het referentiegeval één op één overgenomen en werden er enkel langs bronzijde aanpassingen gedaan. Dit had tot gevolg dat de warmtepomp sterk overgedimensioneerd was. Terwijl de warmtepomp in het referentiegeval 10,2 kW thermisch vermogen leverde bij 0-35 omstandigheden, levert deze bij 10-35 omstandigheden 13,2 kW thermisch vermogen. De warmtepomp is dus bij constante brontemperaturen van 10 à 11°C sterk overgedimensioneerd. Hierdoor schakelt de warmtepomp zeer vaak aan en uit.

Bijgevolg werden dezelfde parameters bestudeerd met een kleinere warmtepomp. Deze levert slechts 10,8kW bij 10-35 omstandigheden. Vooreerst werd de warmtepomp langs bronzijde gekoppeld aan een bron die gedurende het gehele jaar 10°C en 11°C levert. Een derde parameterwijziging was het extra toevoegen van een tussenliggende warmtewisselaar langs bronzijde. Het is op deze manier dat dit type warmtepompen in de code van goede praktijk wordt voorgeschreven.

Bij elk van deze simulaties werd het vermogen van de bronpomp aangepast naar 800W.

De warmtepomp werkt bij elk van de simulaties met een slechtere SPF. Het toevoegen van de tussenwarmtewisselaar verlaagt deze SPF met 0,25. Deze extra daling vertaalt zich naar een extra kost van 50€ op jaarbasis ten opzichte van een installatie zonder warmtewisselaar. In vergelijking met het referentiescenario stijgen de kosten met 140€/jaar. Deze extra kosten zijn voornamelijk te verklaren door het extra verbruik van de bronpomp.

Op vlak van comfort zijn er geen grote verschillen te noteren.

## Dimensionering bron

In dit gedeelte van de simulaties worden variaties aangelegd aan de dimensionering van de bron. In eerste instantie wordt het aantal boormeters verhoogd van 4\*60m naar 4\*70m (een overdimensionering van 18%) waarna het aantal boormeters ook eens verlaagd werd van 4\*60m naar 4\*50m (een onderdimensionering van 18%)

De overdimensionering van de bron vertaalt zich in een economische winst van 1,8% op de werkingskosten, de SPF stijgt met 2,6% tot 4.42.

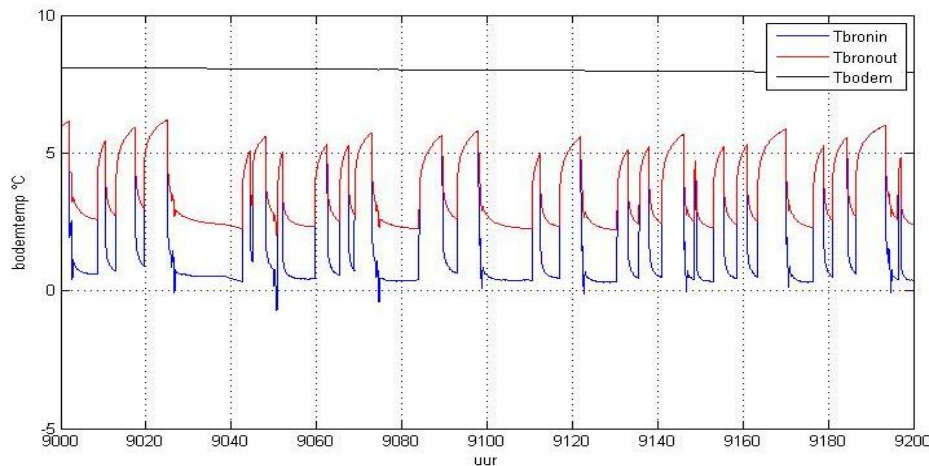
Een onderdimensionering van de bron geeft een omgekeerd beeld. De werkingskosten stijgen met 2,9%, terwijl de SPF daalt met 2.6% tot 4.23. Een onderdimensionering weegt dus economisch zwaarder door dan de besparingen die mogelijk zijn met een overdimensionering.

Een tweede vaststelling is dat het dimensioneren ook een invloed heeft op het pendelgedrag van de warmtepompunit. Een overgedimensioneerde bron levert hogere brontemperaturen en bijgevolg voor dezelfde aanvoertemperaturen een hoger thermisch vermogen, waardoor de gewenste temperaturen vlugger bereikt worden. En omgekeerd.

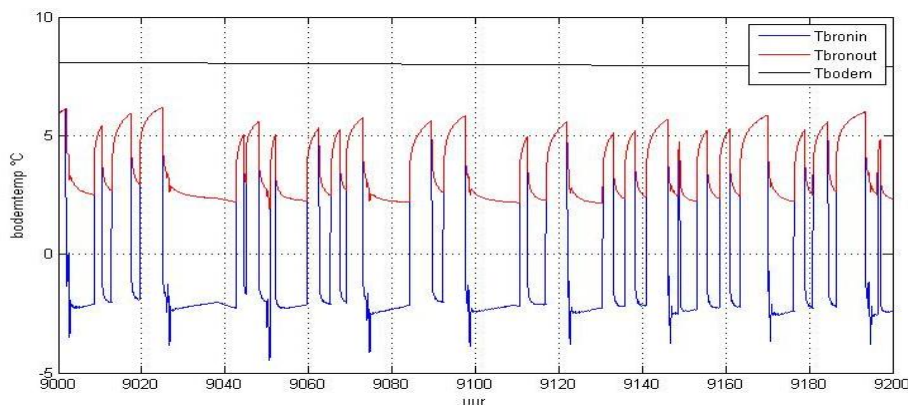
## Brondebiet

In dit onderdeel van de simulaties wordt het brondebiet gewijzigd. Er wordt dus opnieuw met een gesloten B/W warmtepomp gewerkt met 4 bodemlussen van 60m. In eerste instantie wordt het brondebiet verhoogd van 2500 kg/h naar 3500 kg/h. Erna werd dit debiet verlaagd van 2500 kg/h naar 1500 kg/h.

Deze wijzigingen hadden zeer weinig invloed op de algemene beoordelingscriteria. De stijging en daling van het brondebiet zorgde respectievelijk voor een stijgende en dalende werkingskost/CO<sub>2</sub> uitstoot en voor een dalende en stijgende SPF van het verwarmingssysteem.



Figuur 54: Bodemtemperaturen bij stijgend debiet glycol

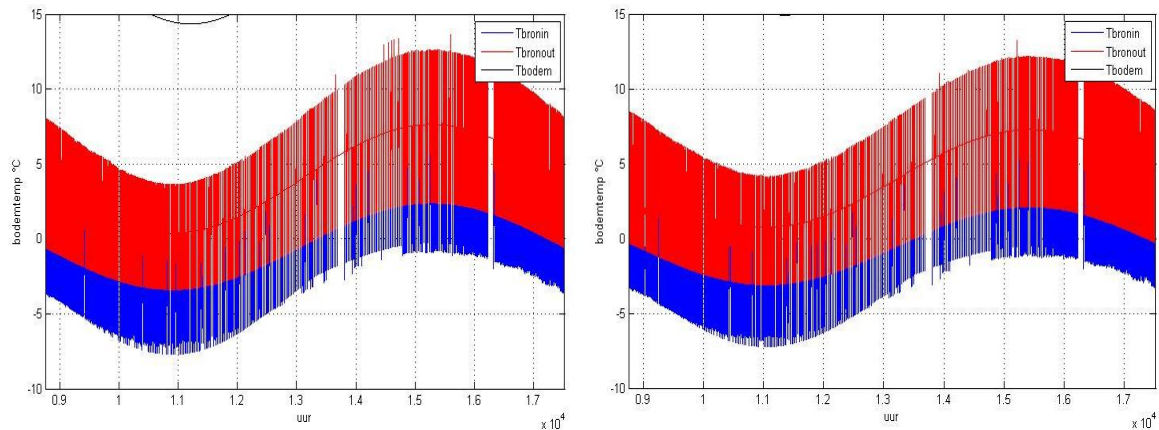


Figuur 55: Bodemtemperaturen bij dalend debiet glycol

Deze minieme afwijkingen zijn te verklaren door de modelering van de warmtepompunit. Deze gaat het condensor- verdamper- en compressorvermogen volledig bepalen aan de hand van de inkomende brontemperatuur. De glycoltemperatuur die in de bodem wordt geïnjecteerd wordt vervolgens bepaald aan de hand van het verdampervermogen (uit de prestatiecurve), het brondebiet en de temperatuur van de glycol aan de ingang van de warmtepomp. Er wordt dus niet met een gemiddelde verdampertemperatuur gerekend.

## Horizontaal Bodem/Water

Aan de hand van de code van goede praktijk voor warmtepompen werd een dimensionering voor een horizontaal captatienet uitgevoerd. Voor de gekozen ondergrond werden 7 lussen van 100m op een diepte van 1 m ontworpen. Deze werden in parallel geschakeld langs de bronzijde van de warmtepomp. Als variatie op dit systeem werden de lussen ook een keer op 1,2 m diepte geplaatst. De invloed hiervan op de verschillende criteria was miniem. Er was wel een iets minder sterk oscillerend temperatuursverloop over het jaar waarneembaar. Dit is te zien in Figuur 56: Bodemtemperatuur HB/W 1m diepte (links), 1,2m diepte (rechts) Figuur 56



**Figuur 56: Bodemtemperatuur HB/W 1m diepte (links), 1,2m diepte (rechts)**

Dit temperatuursverloop langs bronzijde heeft tot gevolg dat de SPF voor SWW-productie stijgt. In de zomer kan er immers in beter omstandigheden warmte geproduceerd worden dan dit het geval is bij een verticale gesloten bron (waar de brontemperaturen constanter is over een jaar, Figuur 44). De dalende SPF voor RV compenseert deze winst op vlak van SWW volledig, waardoor de totale SPF voor het gehele systeem gelijk blijft.

Voor de rest zijn er geen grote wijzigingen bij de andere parameters waar te nemen.



### Ondergedimensioneerde warmtepomp

In deze case werd de warmtepomp met een nominaal thermisch vermogen van 10,2 kW (0-35) vervangen door een kleinere warmtepomp met een nominaal thermisch vermogen van 8,4 kW (0-35). Het warmteverlies van de woning bij een buitentemperatuur van -8°C bedraagt 10 kW. Er werd in deze case dus gewerkt met een warmtepomp met een bèta-factor van 0,8. In eerste instantie werd deze monovalent ontworpen, er kon dus op geen enkel moment elektrische bijstook bijschakelen. In een tweede simulatie werd deze mono-energetisch ontworpen met een elektrische bijstook van 9 kW die inschakelde als de warmtepomp moest werken bij buitentemperaturen lager dan -5°C.

Iets dat onmiddellijk opviel bij het implementeren van de kleinere warmtepompunit was dat de COP-waarden bij de werkingscondities waarbinnen het meest gewerkt dient te worden sterk verschillen van deze van de grotere warmtepompunit. Tabel 31 geeft hiervan een overzicht. Dit fenomeen kwam ook terug bij de water/water warmtepompen, waar er in tweede instantie voor een kleinere warmtepomp gekozen werd.

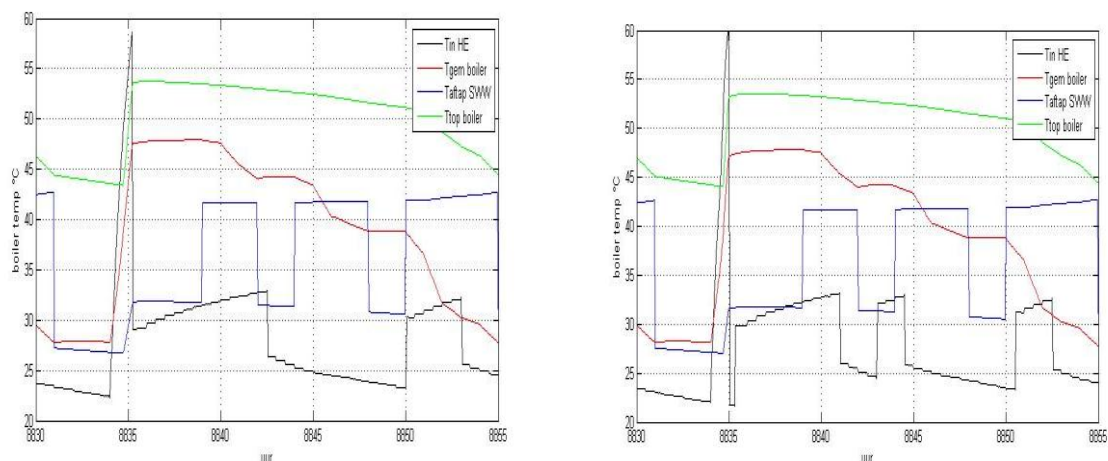
Tabel 31: verhouding COP(8kW)/COP(10kW)

| Werkings-condities<br>(Taanvoer/Tbodem) | Verhouding<br>COP(8kW)/COP(10kW) |
|-----------------------------------------|----------------------------------|
| 30.00/5.00                              | 94.01%                           |
| 30.00/10.00                             | 90.63%                           |
| 30.00/15.00                             | 96.57%                           |
| 40.00/0.00                              | 96.82%                           |
| 40.00/5.00                              | 97.64%                           |
| 40.00/10.00                             | 97.60%                           |
| 40.00/15.00                             | 96.19%                           |
| 50.00/0.00                              | 100.04%                          |
| 50.00/5.00                              | 98.04%                           |
| 50.00/10.00                             | 99.91%                           |
| 50.00/15.00                             | 98.76%                           |
| 60.00/0.00                              | 106.68%                          |
| 60.00/5.00                              | 98.64%                           |
| 60.00/10.00                             | 100.54%                          |
| 60.00/15.00                             | 107.02%                          |

Hieruit valt af te leiden dat de kleinere warmtepomp meerstal slechter zal presteren bij warm waterproductie voor RV dan de grotere warmtepomp en dat deze ongeveer even goed of iets beter zal werken bij warm waterproductie voor SWW.

Bij de eerste simulaties met de kleinere warmtepompunit valt op dat de verwachte stijging in discomfort niet tot uiting komt. Dit valt te verklaren dat de koudste temperaturen vooral 's nachts bereikt worden. Voor verwarming stelt de regeling dan standaard nachtverlaging in zodat er minder warmteverliezen gedekt dienen te worden. Het onderdimensioneren van de warmtepomp komt bij deze simulatie niet volledig tot uiting. Verder zien we een sterke stijging in het aantal werkingsuren van de warmtepompunit. Dit is een logisch gevolg van het te klein dimensioneren. De warmtepomp dient langer te werken om een gelijke hoeveelheid energie voor de woning te produceren. Hiermee gaat ook gepaard dat het aantal aan/uit schakelingen sterk daalt.

Hoewel uit de COP-waarden besloten kon worden dat de warmtepomp in slechtere condities warmte voor RV maakt en in betere condities warmte voor SWW maakt, blijkt uit de SPF-waarden het omgekeerde. Figuur 57 geeft hiervoor een verklaring. We zien dat de warmtepomp er langer over doet om het boilervat op de gewenste temperatuur te brengen, maar ook dat de maximale temperatuur in de warmtewisselaar van het boilervat gevoelig lager ligt.

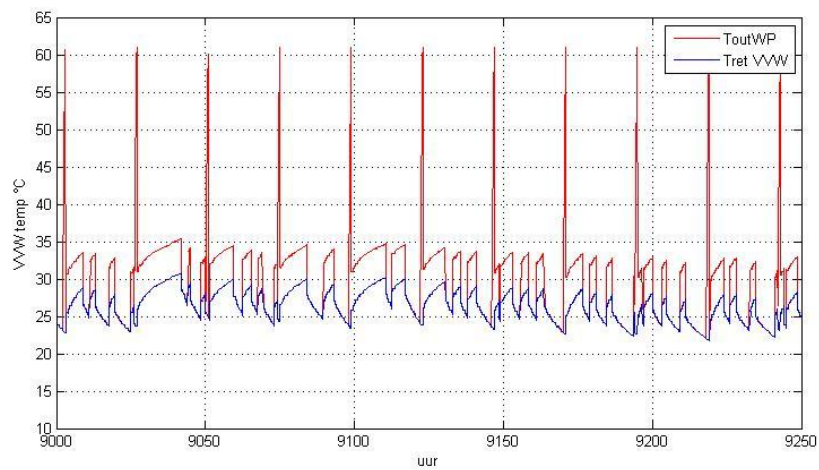


**Figuur 57: Boilertemperatuur WP 8kW (links), 10kW (rechts)**

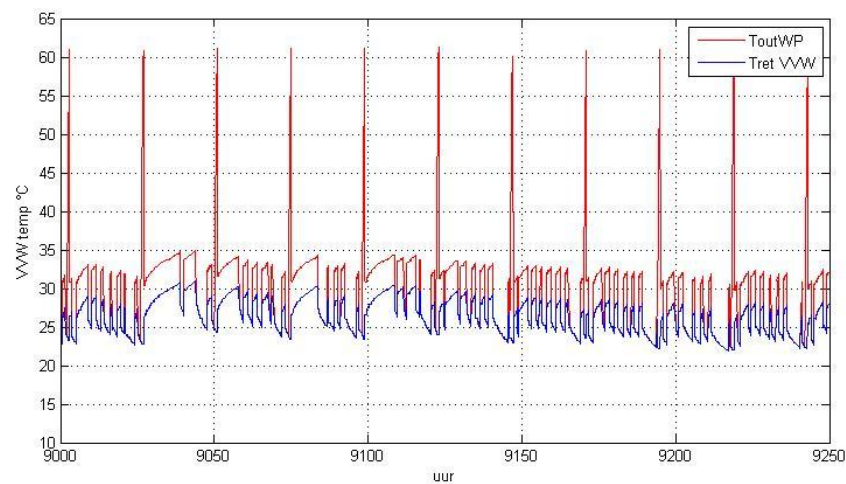
Wanneer de elektrische bijstook toegelaten wordt, zien we dat het pendelgedrag gevoelig stijgt, dit komt omdat het vermogen van de weerstand te groot gekozen is. Indien deze bijschakelt neemt deze het verwarmen volledig over van de warmtepomp. Nieuwe simulaties met een kleinere elektrische weerstand zijn bijgevolg nuttig. De daling in de SPF en stijging van werkingskosten is volledig te wijten aan het extra verbruik van de elektrische weerstand.



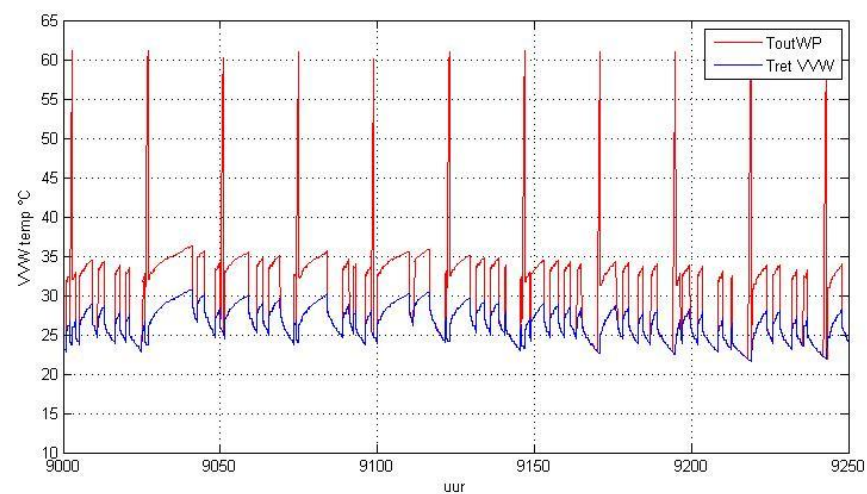
## Debiet vloerverwarming



**Figuur 58: Temperatuursregime nominaal debiet VVW**



**Figuur 59: Temperatuursregime groot debiet VVW**



**Figuur 60: Temperatuursregime klein debiet VVW**

Het wijzigen van de vloerverwarming verandert het temperatuursverschil van het vloerverwarmingssysteem. Deze parameterwijziging heeft echter geen grote invloed op de SPF van

het systeem aangezien het verbruik van de circulatiepomp niet mee in de SPF –berekenningsmethode zit. De kleine stijging en daling van het verbruik van de circulatiepomp laat zich ook maar beperkt merken in de jaarlijkse werkingskosten.

Bij het verhogen van het debiet van de vloerverwarming werd het vermogen van de pomp verhoogd van 90W naar 95W (1750kg/h → 2030kg/h). Bij het verlagen van het debiet werd het pompvermogen gereduceerd tot 85W (1750kg/h → 1460kg/h).

Het verhogen van het debiet, verlaagt het aantal werkingsuren van de warmtepomp. Het verlagen van het debiet geeft een lichte stijging in het aantal werkingsuren. Tevens zorgt het verhogen van het debiet ook voor een sterke stijging in het aantal aan/uitschakelingen. Dit is te zien in Figuur 59: Temperatuursregime groot debiet VVW. Figuur 59, door het verhoogde debiet wordt de ondergrens van de dode band rond de stooklijn vlugger bereikt en dient de warmtepomp opnieuw op te starten.

Het discomfort wijzigt in beide gevallen niet sterk. Bij verhoging van het debiet in de vloerverwarming wordt een stijging van het discomfort waargenomen. Dit is te wijten aan het feit dat in de zomermaanden wanneer er gependeld wordt tussen wel en geen stookseizoen, de woning met dit verhoogde debiet nog iets sneller afkoelt dan in de referentiecasse. In de winter blijven de comforttemperaturen makkelijk behaald.

## Allerlei

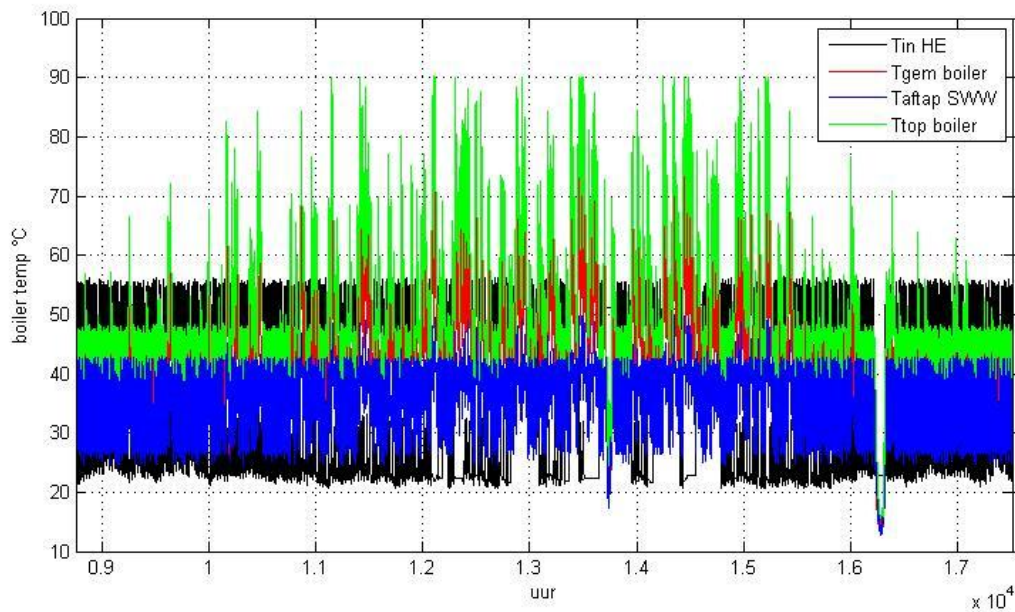
### Zonneboiler

Er werd bij deze simulaties een thermisch zonnepaneel geplaatst van 10m<sup>2</sup>, zuidelijk gericht, in een hellingshoek van 30°. De regeling van de circulatiepomp limiteert de maximum boilertemperatuur tot op 90°C. Figuur 61 geeft het verloop van de boilertemperaturen weer, hierop is deze limiet duidelijk te zien. In de zomer wordt deze meermaals bereikt.

Het discomfort in de woning daalt doordat de regeling van de warmtepomp minder aandacht dient te besteden aan SWW-productie en dus vlugger verwarming kan voorzien indien er vraag is.

Op vlak van energieverbruik zien we dat het totaal energieverbruik voor SWW-productie sterk daalt, hierbij zit het verbruik van de circulatiepomp van de zonnecollector inbegrepen. Door deze sterke daling van het elektrisch verbruik stijgt de SPF zeer drastisch van 3.48 tot 5.28. Dit vertaalt zich ook in een sterke daling van jaarlijkse werkingskosten voor het gehele verwarmingssysteem.

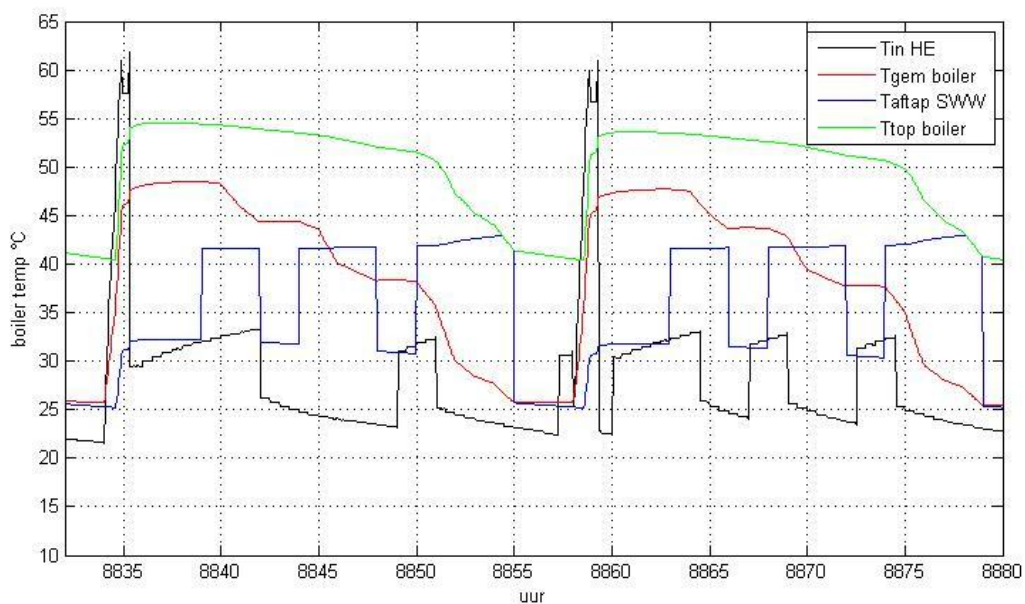
Een laatste opvallend feit is dat de bodem veel minder wordt uitgeput. Op lange termijn zal de SPF voor verwarming hierdoor ook stijgen.



Figuur 61: Jaartemperatuur in boiler

## Verkleinde boiler

De boilerinhoud werd verkleind van 390l tot 300l. De gehele regeling van de warmtepompunit blijft gelijk, hierdoor zien we dat de warmtepomp bij SWW-productie niet in 1 keer het gewenste setpunt (Figuur 62) bereikt door de hogedrukbeveiliging op 60°C. Na het uitschakelen, blijft de warmtepompunit 21 minuten uitgeschakeld en bij de volgende opstart wordt de gewenste boiler temperatuur behaald. Dit gedrag vertaalt zich in het totaal aantal aan/uitschakelingen van de warmtepomp. Voor alle andere parameters zijn er geen grote wijzigingen waar te nemen.



Figuur 62: Pendelgedrag bij kleiner boiler vat

## Dikte Chape

Bij deze simulaties werd de invloed van de vloeropbouw onderzocht. In het referentiemodel is de gehele vloerhoogte gelijk aan 20cm. Dit werd bij een eerste simulatie verlaagd tot 17 cm en vervolgens verhoogd tot 23 cm. Aan de draagstructuur van de vloer werd niet veranderd, alleen de dikte van de chape waarin de vloerverwarmingslussen geplaatst waren, werd gewijzigd.

Deze parameterwijziging had enkel invloed op het aan/uitgedrag van de warmtepomp. Een dikkere chape heeft meer warmtebuffering en gaat de warmtepomp minder doen pendelen. Deze grotere buffering van warmte zorgt er ook voor dat er in de zomer minder onderkoeling plaatsvindt en zodus een kleiner discomfort.

Voor een dunner chape geldt dezelfde redenering, maar met als resultaat dat het pendelgedrag stijgt en het discomfort in de zomerperiode ook lichtjes stijgt.

## Regeling

### Stooklijn

Bij deze simulaties werd onderzocht wat de invloed is van het verlagen en verhogen van de stooklijn ten opzichte van de dag- en nachtstooklijn uit het referentiescenario. (Tabel 32)

Tabel 32: Verhoogde stooklijn (links), verlaagde stooklijn (rechts)

| Tout | Tret, H | Tret, L | Tout | Tret, H | Tret, L |
|------|---------|---------|------|---------|---------|
| -8   | 34      | 31,2    | -8   | 30      | 27,2    |
| 18   | 23      | 20      | 18   | 19      | 16      |

Deze wijzigingen in stooklijn vertaalde zich in een stijging en daling van de gemiddelde ruimtetemperaturen in alle ruimtes met 1°C. Er werd dus onderzocht wat de invloed is van de verwarming een graadje hoger of lager te zetten. Bijgevolg heeft het evalueren van discomfort geen enkele betekenis omdat er in deze cases bewust gekozen werd voor een hogere of lagere binnentemperatuur.

De verschuiving van de stooklijn heeft een belangrijke invloed op de totale warmtevraag voor ruimteverwarming, waardoor ook een hoger/lager elektrisch verbruik nodig is en bijgevolg een hogere/lagere jaarlijkse werkingskost/CO<sub>2</sub>-uitstoot.

De variatie in totale warmtevraag vertaalt zich ook naar de werkingstijden en pendelgedrag van de warmtepomp. Een grotere warmtevraag zorgt voor langere werkingstijden (met een WP met even groot vermogen), waardoor deze minder aan en uit schakelt.

Voor de verminderde vraag kan een gelijklopende redenering opgesteld worden.

Deze wijziging in totale jaarlijkse warmtevraag vertaalt zich ook naar de bodemtemperaturen. De bodem wordt bij een grotere warmtevraag sterker uitgeput, waardoor de SPF voor RV sterker zal dalen voor deze case, dan voor eenzelfde woning met een kleinere warmtevraag (lagere stooklijn)

## Thermostaat

De zuivere thermostaatregeling zoals deze wordt toegepast bij condenserende ketels (nr 24 in de bijgevoegde Excel-tabel, Tabel 33) wordt verder niet besproken, omdat dit geen gangbare regeltechniek is bij warmtepompsystemen. Wel worden uitbreidingen op deze zuivere thermostaatregeling besproken. In eerste instantie werd deze uitgebreid met een stooklijnregeling. Indien de warmtepomp vanuit de binnenvoeler in de woonkamer een Aan-signaal kreeg werd er eerst een controle op de teruglooptemperatuur van het vloerverwarmingcircuit uitgevoerd. Aan de hand daarvan werd dan beslist de warmtepomp al dan niet aan te schakelen aan de hand van de zelfde controleparameters als in het referentiegeval besproken.

In tweede instantie werd hierbij nog een ruimtecompensatie aan toegevoegd. Deze verhoogt of verlaagt de stooklijn afhankelijk de afstand van de werkelijke binnentemperatuur tot de gewenste binnentemperatuur. Indien er een grote afwijking tussen beide is wordt er sneller gereageerd tot deze afwijking kleiner wordt.

De gewenste binnentemperatuur in de woonkamer wordt gedurende een heel jaar overdag op 21°C en 's nachts op 19°C geregeld. Er wordt een dode band van  $\pm 1^\circ\text{C}$  toegelaten.

Doordat de warmtepomp sneller inspeelt op de ruimtetemperatuur daalt de jaarlijkse warmtebehoefte van de woning. Hierdoor dient de warmtepomp minder uren te werken en dalen ook de werkingskosten en de CO<sub>2</sub>-uitstoot op jaarbasis. De verminderde warmtevraag vertaalt zich ook in de minder sterke daling van de bodemtemperaturen. Op lange termijn zullen de winsten ten opzichte van het referentiescenario dus nog vergroten.

Bij de ruimtecompensatieregeling wordt de stooklijn omhoog of omlaag geschoven afhankelijk van de afstand tot het gewenste setpunt voor de ruimtetemperatuur. Hoe verder de werkelijke binnentemperatuur afwijkt van de gewenste binnentemperatuur, des te hoger wordt de stooklijn gelegd om sneller tot dit gewenste setpunt te komen. Doordat de warmtepomp bij de regeling met ruimtecompensatie vaker aan/uit schakelt dan bij de thermostaatregeling zonder ruimtecompensatie kan men besluiten dat de ruimtecompensatie te sterk is ingesteld waardoor er een meer zenuwachtige regeling bekomen wordt.

De daling in jaarlijkse elektrische energievraag uit zich het sterkst in het verbruik van de pomp voor de vloerverwarming. Deze wordt immers mee aan en uit geschakeld met de warmtepompunit.

Op vlak van discomfort valt een lichte stijging waar te nemen. Deze wordt veroorzaakt omdat ook in de zomer dezelfde setpunten werden ingesteld als in de winter, nl. 21°C overdag en 19°C 's nachts. Op basis van de eerder bekomen comfortgrenzen liggen deze setpunten nogal laag in de zomerperiode (Figuur 45)

## Temperatuurscontrole

Hierbij werd gekeken naar de invloed van nachtverhoging en de invloed van noch nachtverhoging, noch nachtverlaging, bijgevolg de woning op een constante temperatuur houden (een mythe die nogal vaak terugkeert bij vloerverwarming)

### Constante temperatuur

Bij deze simulaties wordt zowel overdag als 's nachts de hoge stooklijn gebruikt om de warmtepomp aan en uit te schakelen. Doordat deze regeltechniek wordt toegepast zal de warmtepomp vaker aan moet schakelen, omdat de overgang van hoge naar lage stooklijn wegvalt (typisch een periode waarin de warmtepomp een langere tijd uit staat). Doordat er ook 's nachts gebruik gemaakt wordt van de hoogste stooklijn stijgt het discomfort op vlak van oververhitting. Toch blijft deze beperkt, het aantal uren onderkoeling daalt een beetje.

Door constant te regelen op basis van de hoogste stooklijn (Figuur 40) zal de totale warmtevraag op jaarbasis stijgen, hierdoor is er een grotere vraag naar elektrische energie waardoor de jaarlijkse werkingskosten en CO<sub>2</sub>-uitstoot stijgen. Zoals al eerder aangehaald heeft deze hogere warmtevraag ook een belangrijke invloed op de bodem, deze wordt meer uitgeput, waardoor de gemiddelde, de maximale en de minimale bodemtemperatuur op jaarbasis daalt.

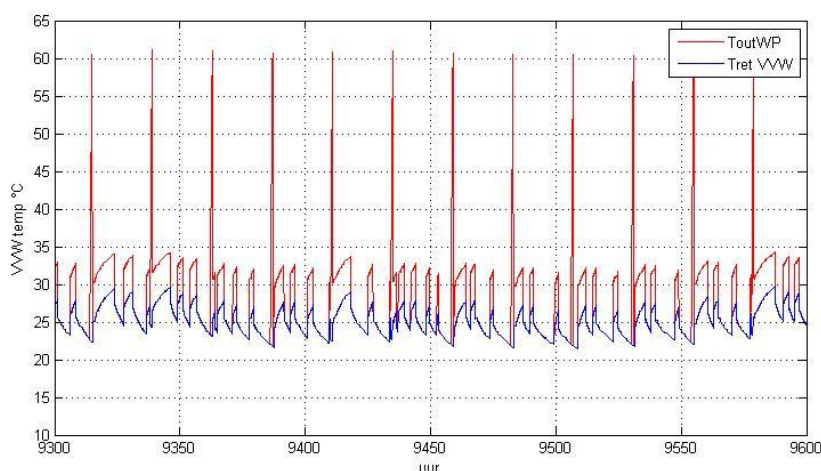
### Nachtverhoging

Deze nachtverhoging gebeurde met identiek dezelfde stooklijnen als in de referentiecase, alleen werd 's nachts de hogere stooklijn gebruikt om te verwarmen en overdag de lagere.

Op basis van de twee onderstaande figuren (Figuur 63, Figuur 64) is het verschil in beide regeltechnieken duidelijk te zien. In het referentiegeval wordt na de SWW-productie onmiddellijk overgeschakeld op warmteproductie voor RV. Terwijl bij nachtverhoging de warmtepomp vooral werkt in de periode vlak voor SWW-productie, waardoor er soms overdag geen warmtepompwerking nodig zal zijn (vb. uur 9500).

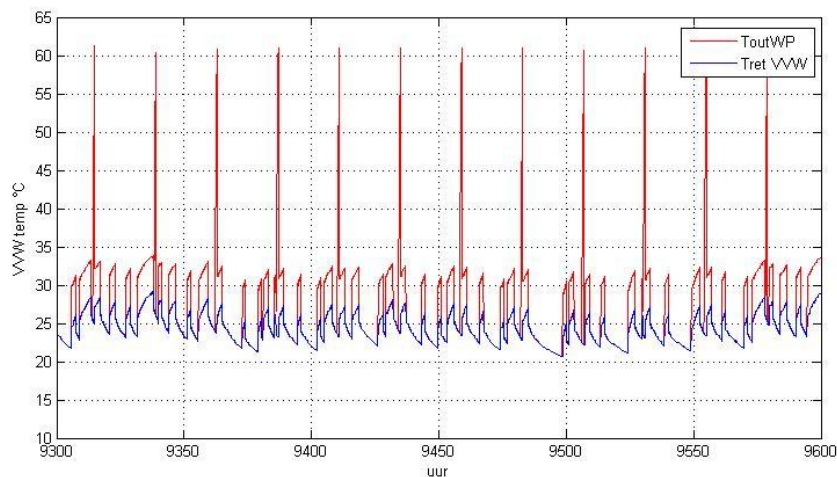
Algemeen kan op beide figuren ook gezien worden dat de temperatuursregimes bij nachtverhoging iets lager liggen dan bij het referentiemodel. (vb vlak voor en na de SWW-piek van uur 9575). Dit vertaalt zich in een hogere SPF voor RV van het warmtepompsysteem.

Op jaarbasis wordt er (voor een gelijk discomfort, kleine stijging op vlak van onderkoeling) minder warmte geproduceerd voor RV. In combinatie met de hogere SPF voor RV zorgt dit voor een lagere werkingskost.



Figuur 63: Temperatuursregime referentie

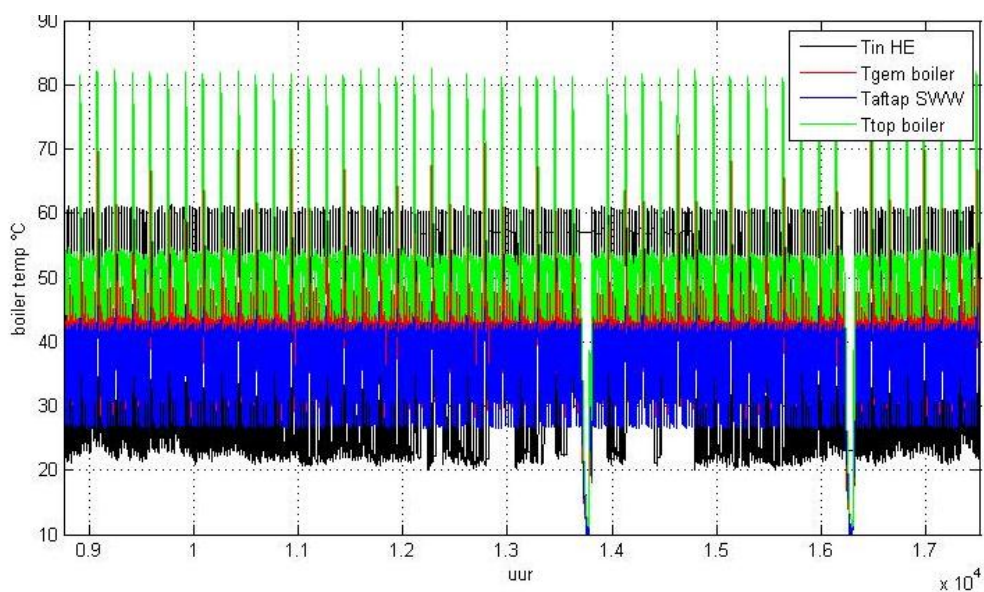




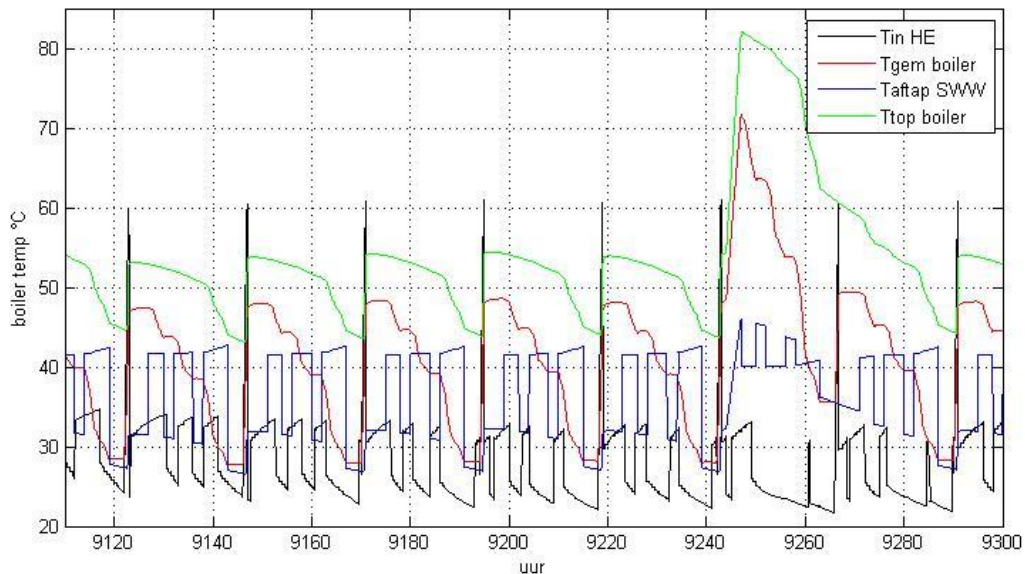
Figuur 64: Temperatuursregime nachtverhoging

## Legionella

Er werd een wekelijks legionellaprogramma voor het SWW-vat ingevoerd. Om deze opstook te realiseren werd de warmtepompwerking zo goed mogelijk benut, tot boilertemperaturen van 53°C. De opstook van de laatste 7°C werd verwezenlijkt door een elektrische weerstand (3kW) in het boilervat. Deze wekelijkse opstook is duidelijk waar te nemen op Figuur 65 en Figuur 66.



Figuur 65: Legionella programma (1 jaar)



**Figuur 66: Legionella programma (1 week)**

De voornaamste wijzigingen zijn waar te nemen bij de SWW-productie. Het extra verbruik van de elektrische weerstand zorgt voor een aanzienlijke daling in de SPF voor SWW-productie en een aanzienlijke stijging van de jaarlijkse werkingskosten. (+€55).

Op vlak van discomfort wijzigt er niets.

## Regeling CV-pomp

Bij deze simulaties werd de CV-pomp op een andere manier gestuurd. In het referentiescenario bleef de CV-pomp gedurende het hele stookseizoen draaien, terwijl deze nu mee aan en uit schakelt met de warmtepompunit. Om toch op een accurate manier te testen wanneer de warmtepomp moet beginnen werken, wordt er indien de warmtepompunit uitgeschakeld is per uur 1 kwartier circulatiepompwerking opgelegd om op deze manier na te kijken of de werkelijke teruglooptemperatuur zich nog steeds binnen de dode band rond de gewenste teruglooptemperatuur bevindt. Indien dit niet het geval is, schakelt de warmtepomp in.

Deze verandering in regeling heeft alleen een invloed op het totaal jaarlijks elektrisch energieverbruik van de pomp voor VVW. Aangezien deze niet mee is opgenomen in de definitie van SPF, verandert deze niet. Ook op vlak van discomfort zijn er geen verschillen waar te nemen. Zo kunnen we besluiten dat deze relatief eenvoudige regeling alleen voordelen heeft, zowel economisch als ecologisch worden interessante winsten geboekt.

## Dode band

In het referentiegeval werd een dode band van  $\pm 2^\circ\text{C}$  rond de stooklijn toegepast. In deze simulatie werd deze vergroot tot  $\pm 3^\circ\text{C}$ . Dit heeft als belangrijkste gevolg dat het pendelgedrag van de warmtepomp sterk vermindert, maar dat dit wel ten koste gaat van een stijgend discomfort. Er zal zowel meer oververhitting als onderkoeling plaatsvinden.



## Verwarmingsgrens

Terwijl in het referentiemodel vanaf 4u-gemiddelde buitentemperaturen lager dan 18°C gecontroleerd werd of bijverwarmen nodig was, werd deze grens nu verlaagd tot 14°C. De definitie van start en einde van het stookseizoen bleef wel gelijk.

Dé belangrijkste conclusie is dat het discomfort stijgt, er vindt vooral meer onderkoeling plaats. Dit is een logisch gevolg van de parameterwijziging.

Een ander fenomeen is dat het verbruik van de circulatiepomp voor VVW daalt. Dit is te verklaren omwille van het feit dat deze wordt gestopt als de 4u-gemiddelde buitentemperatuur (zelfs in het stookseizoen) boven de 14 graden Celsius komt. Het voornaamste besluit dat we hieruit kunnen trekken is dat de verwarmingsgrens best zo laag mogelijk gelegd wordt om een minimaal verbruik op jaarbasis te bekomen, maar dat een té laag ingestelde verwarmingsgrens zorgt voor het nodige discomfort.

## SWW tapprofiel

Bij deze simulaties werd het tapprofiel uit het SWW-vat eerst verhoogd van 200l/dag naar 250l/dag en erna verlaagd van 200l/dag tot 150l/dag. Er werd steeds water van 43°C afgetapt.

Deze gewijzigde warmtevraag voor SWW-productie, zorgde ook voor een wijziging van het elektrisch verbruik voor SWW-productie. Een hogere warmtevraag zorgt voor een hogere SPF voor SWW-productie. Dit is volledig te verklaren door de stilstandverliezen van de boiler, deze dalen bij een verhoogd tapprofiel van 10,2% tot 8,2%. Bij een verlaagd tapprofiel stijgen deze tot 13%.

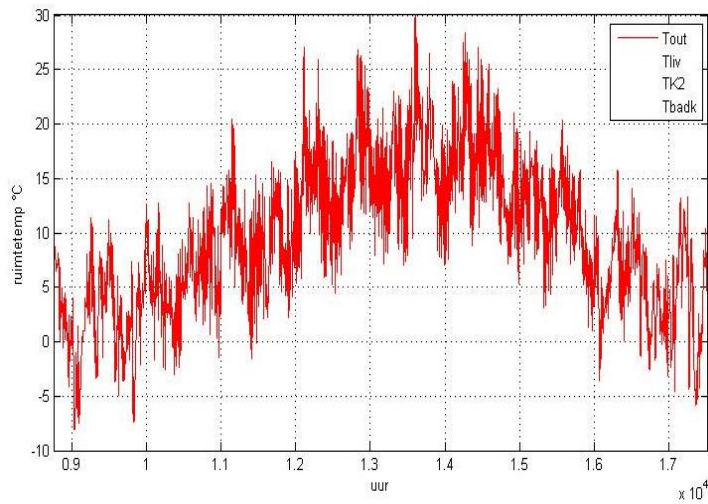
Op vlak van discomfort in de woning blijft alles gelijk.

## Weerfile

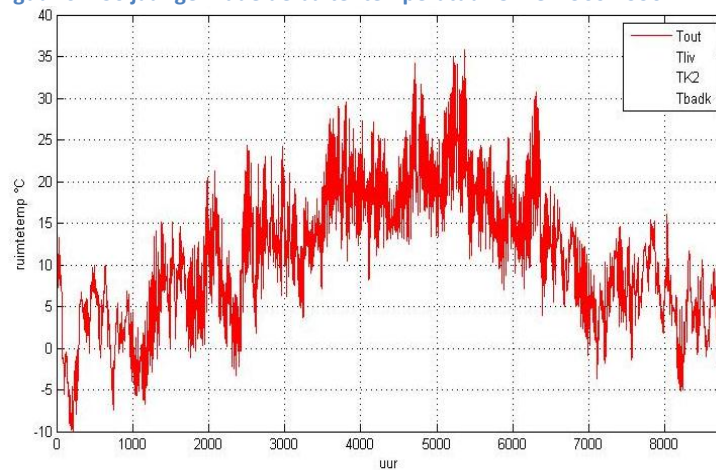
In plaats van de standaard weerfile van ukkel (30 jaar gemiddelde buitentemperatuur van 1961-1990, 2536 graaddagen) werd de weerfile van een warm jaar (2003, 2296 graaddagen) en een koud jaar (1985, 2844 graaddagen) toegepast in de simulaties. Verder werden ook de weerfiles van Madrid en Noorwegen toegepast op het referentiemodel, maar deze worden niet verder besproken.

Doordat de warmtevraag in een koud jaar hoger ligt dan in het referentiejaar en er met een slechtere SPF voor RV gewerkt wordt (er dienen immer hogere verwarmingswatertemperaturen aangemaakt te worden) stijgen de jaarlijkse werkingskosten en CO<sub>2</sub>-uitstoot. Een grotere warmtevraag heeft ook tot gevolg dat met een even grote warmtepomp langere draaitijden nodig zijn om de grotere warmtevraag te dekken. In tegenstelling tot de verwachtingen gaat de trend van discomfort eerder in de richting van oververhitting dan naar onderkoeling. Dit valt te verklaren door de instelling van de stooklijn. In de referentiecasse werd deze ingesteld tussen -8°C en 20°C buitentemperatuur. (Figuur 40). Om aan de koudere buitentemperaturen te voldoen werd deze stooklijn lineair geëxtrapoleerd tot buitentemperaturen van -20°C. Dit zal in praktijk echter niet zo gebeuren, er zal een knippunt ingevoerd worden bij een bepaalde koude buitentemperatuur. Boven deze buitentemperatuur zal de stooklijn een vrij steil verloop kennen omdat de zonnewinsten nog een grote rol spelen. Vanaf een bepaalde buitentemperatuur wordt deze invloed kleiner en gaat de stooklijn over in een minder steil verloop. Deze techniek werd hier echter niet toegepast waardoor er te hoge retourtemperaturen gewenst werden en er oververhitting zal plaatsvinden in de winterperiode.

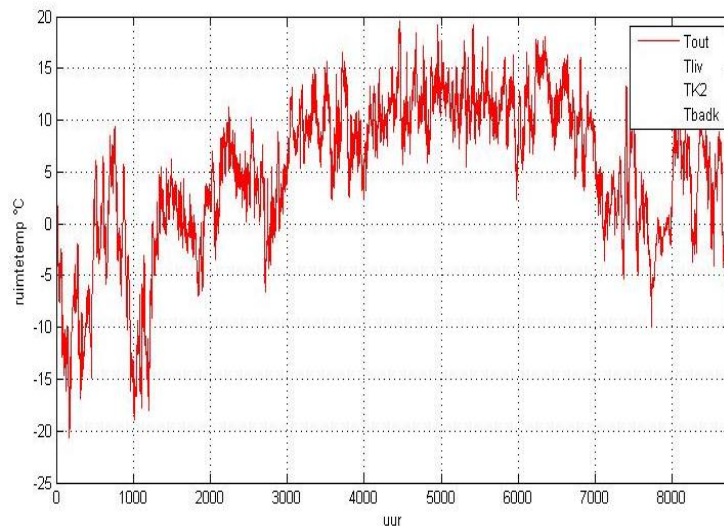
Bij het warm jaar kan op vlak van werkingskosten en CO<sub>2</sub>-uitstoot een gelijkaardige redenering opgesteld worden, met tegengestelde resultaten. Hierbij is er wel een verschuiving van discomfort in een logische richting waar te nemen. Er is minder onderkoeling en meer oververhitting dan in het referentiescenario.



**Figuur 67: 30 jaar gemiddelde buitentemperatuur Ukkel 1960-1990**



**Figuur 68: Weerfile warm jaar 2003**



**Figuur 69: Weerfile koud jaar 1985**

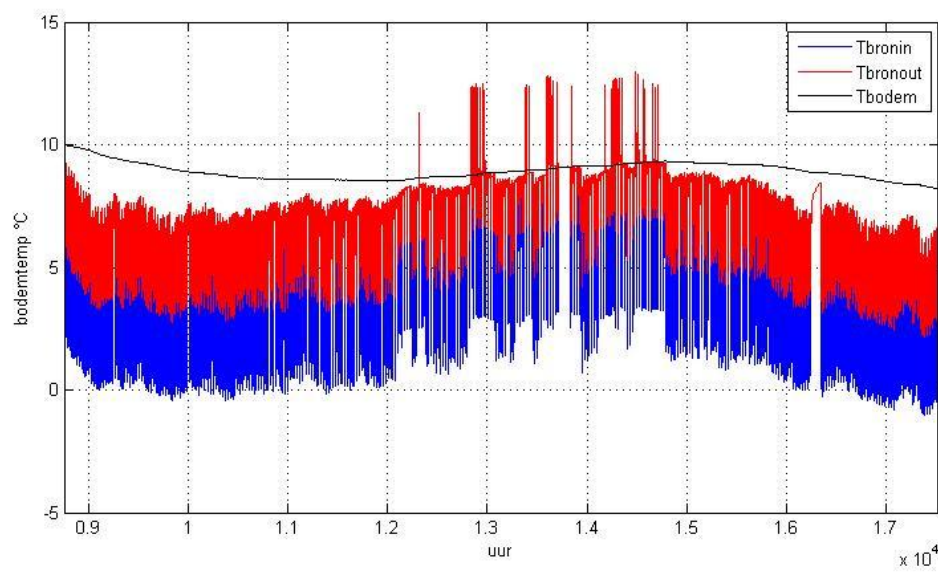
### Passieve koeling

In de regeling werd passieve koeling toegevoegd. Ook hydraulisch werd er een extra warmtewisselaar parallel met de warmtepomp geplaatst om deze passieve koeling te laten gebeuren. In de regeling werd passieve koeling toegelaten van zodra de 4u-gemiddelde buitentemperatuur  $20^{\circ}\text{C}$  overschreed, met als enige begrenzing dat de teruglooptemperatuur van de VVW niet onder de  $17^{\circ}\text{C}$  mocht terugvallen om condensatie te voorkomen.

Zo werd er bij de gebruikte weerfile enkele keren passieve koeling toegelaten (Figuur 70). In totaal werd er op jaarbasis 539 kWh uit de woning onttrokken. Dit had een duidelijk effect op de oververhitting, deze daalde sterk, maar ook de onderkoeling steeg. Dit leert ons dat de grens waarop passieve koeling wordt toegelaten te laag ligt. Deze zou beter verhoogd worden tot een 4u-gemiddelde buitentemperatuur die boven de  $25^{\circ}\text{C}$  dient te liggen.

Deze oefening is ook uitgevoerd voor eenzelfde woning in Madrid. De resultaten hiervan kunnen vergeleken worden met regel 40, waar de referentiewoning voor het eerst aan de weerfile van Madrid gekoppeld werd. Ook hieruit blijkt dat de passieve koeling goed zijn werk doet op vlak van oververhitting tegengaan, maar dat de begingrens voor passieve koeling toe te laten te laag ligt waardoor de onderkoeling ook stijgt.

Het effect van passieve koeling op de bodem is in deze vergelijking niet waar te nemen omdat de simulaties enkel voor het 1 jaar uitgevoerd werden. Al zijn er toch reeds kleine verschillen waar te nemen.



Figuur 70: Passieve koeling (1 jaar)



|                          | PWPtot(kWh) | PSWWtot | PVVWtot | PcomprkW | PbronnopkW | PpompSWWkW | PregelinkW | PpompVWkW | PelbijkW | QctotkW | QcSWWkW | QcVWkW | QvtotkW | uurSWW | uurVW  | uurWP  | COPgem |      | SPFSWW | SPFVW | SPF  | eurotot |      | CO2tot | aanuit | QoutboilerkW |
|--------------------------|-------------|---------|---------|----------|------------|------------|------------|-----------|----------|---------|---------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|------|--------|-------|------|---------|------|--------|--------|--------------|
| 1 ref_1j                 | 5073        | 972     | 4032    | 4562     | 389        | 35         | 88         | 582       | 0        | 22422   | 3765    | 18657  | 17860   | 342.2  | 1816.5 | 2158.7 |        | 4.96 | 3.48   | 4.63  | 4.34 |         | 732  | 3410   | 970    | 3380         |
| 2 grondwater10gr_1j      | 5110        | 1235    | 3803    | 3713     | 1281       | 28         | 88         | 587       | 0        | 21880   | 3815    | 18065  | 18167   | 313.4  | 1287.6 | 1601   |        | 6.10 | 2.77   | 4.75  | 4.21 |         | 738  | 3437   | 1759   | 3425         |
| 3 grondwater11gr_1j      | 5046        | 1206    | 3769    | 3678     | 1253       | 27         | 88         | 587       | 0        | 21869   | 3801    | 18069  | 18191   | 304.5  | 1262.3 | 1567   |        | 6.15 | 2.83   | 4.79  | 4.26 |         | 729  | 3388   | 1871   | 3412         |
| 4 grondwater11grWW_1j    | 5579        | 1301    | 4208    | 3931     | 1531       | 30         | 88         | 586       | 0        | 22105   | 3813    | 18292  | 18174   | 328.4  | 1411.3 | 1740   |        | 5.81 | 2.63   | 4.35  | 3.89 |         | 798  | 3688   | 1385   | 3424         |
| 2 grondwater10gr_1j_8kW  | 5803        | 1295    | 4442    | 4028     | 1654       | 34         | 88         | 580       | 0        | 22416   | 3810    | 18607  | 18388   | 374.7  | 1693.3 | 2068   |        | 5.73 | 2.63   | 4.19  | 3.79 |         | 826  | 3838   | 1039   | 3411         |
| 3 grondwater11gr_1j_8kW  | 5672        | 1269    | 4335    | 3942     | 1609       | 33         | 88         | 581       | 0        | 22380   | 3810    | 18570  | 18438   | 365.4  | 1645.7 | 2011   |        | 5.85 | 2.69   | 4.28  | 3.88 |         | 809  | 3748   | 1109   | 3412         |
| 4 grondwater11grWW_1j_8k | 6171        | 1344    | 4760    | 4152     | 1897       | 35         | 88         | 579       | 0        | 22468   | 3786    | 18682  | 18317   | 383.6  | 1772.1 | 2156   |        | 5.57 | 2.52   | 3.92  | 3.58 |         | 874  | 4039   | 936    | 3390         |
| 5 meerBM_1j              | 4971        | 988     | 3911    | 4466     | 380        | 37         | 88         | 580       | 0        | 22361   | 3771    | 18591  | 17895   | 346.0  | 1766.6 | 2113   |        | 5.06 | 3.43   | 4.75  | 4.42 |         | 719  | 3344   | 1047   | 3384         |
| 6 minderBM_1j            | 5229        | 959     | 4201    | 4707     | 400        | 33         | 88         | 583       | 0        | 22512   | 3779    | 18733  | 17805   | 339.1  | 1884.3 | 2223   |        | 4.82 | 3.54   | 4.46  | 4.23 |         | 753  | 3494   | 900    | 3392         |
| 7 brondebhoog_1j         | 5172        | 984     | 4118    | 4574     | 476        | 34         | 88         | 582       | 0        | 22442   | 3767    | 18675  | 17869   | 342.1  | 1821.8 | 2164   |        | 4.95 | 3.43   | 4.54  | 4.26 |         | 745  | 3462   | 955    | 3381         |
| 8 brondeb laag_1j        | 5045        | 962     | 4014    | 4577     | 347        | 34         | 88         | 582       | 0        | 22434   | 3765    | 18669  | 17857   | 341.6  | 1824.3 | 2166   |        | 4.95 | 3.51   | 4.65  | 4.37 |         | 729  | 3395   | 946    | 3380         |
| 9 hor100_1j              | 5001        | 942     | 3990    | 4499     | 382        | 32         | 88         | 584       | 0        | 21936   | 3812    | 18124  | 17437   | 333.6  | 1788.1 | 2122   |        | 4.91 | 3.63   | 4.54  | 4.31 |         | 723  | 3347   | 995    | 3422         |
| 10 hor150_1j             | 5032        | 937     | 4028    | 4528     | 384        | 32         | 88         | 584       | 0        | 21953   | 3809    | 18145  | 17425   | 331.9  | 1803.8 | 2136   |        | 4.88 | 3.65   | 4.51  | 4.29 |         | 727  | 3366   | 979    | 3419         |
| 11 8kw_1j                | 5214        | 1174    | 3977    | 4640     | 448        | 39         | 88         | 578       | 0        | 22686   | 3792    | 18894  | 18047   | 428.9  | 2059.6 | 2489   |        | 5.02 | 2.89   | 4.75  | 4.28 |         | 749  | 3494   | 687    | 3398         |
| 12 8kw_biv_1j            | 5409        | 1430    | 3916    | 4579     | 442        | 38         | 88         | 578       | 261      | 22415   | 3776    | 18638  | 17835   | 426.8  | 2027.3 | 2454   |        | 5.03 | 2.38   | 4.76  | 4.07 |         | 775  | 3629   | 810    | 3399         |
| 13 VVWhoogdeb_1j         | 4983        | 971     | 3941    | 4481     | 380        | 35         | 88         | 584       | 0        | 21927   | 3767    | 18160  | 17446   | 342.1  | 1766.3 | 2108   |        | 4.94 | 3.48   | 4.61  | 4.32 |         | 725  | 3361   | 1747   | 3381         |
| 14 VVWlaagdeb_1j         | 5100        | 969     | 4061    | 4587     | 391        | 34         | 88         | 550       | 0        | 22562   | 3765    | 18796  | 17975   | 341.6  | 1829.1 | 2171   |        | 4.96 | 3.49   | 4.63  | 4.35 |         | 731  | 3402   | 1126   | 3380         |
| 17 zon_1j                | 4909        | 693     | 4046    | 4318     | 371        | 133        | 88         | 564       | 0        | 21410   | 2643    | 18767  | 17093   | 241.2  | 1820.7 | 2062   |        | 4.99 | 5.28   | 4.64  | 4.57 |         | 708  | 3304   | 975    | 3658         |
| 19 kboiler_1j            | 5057        | 960     | 4019    | 4541     | 386        | 42         | 88         | 576       | 0        | 22322   | 3690    | 18632  | 17781   | 334.8  | 1811.9 | 2147   |        | 4.97 | 3.48   | 4.64  | 4.35 |         | 729  | 3391   | 1212   | 3344         |
| 20 chape_1j              | 5101        | 972     | 4059    | 4587     | 391        | 35         | 88         | 582       | 0        | 22570   | 3761    | 18808  | 17983   | 342.5  | 1832.1 | 2175   |        | 4.97 | 3.47   | 4.63  | 4.35 |         | 736  | 3450   | 801    | 3376         |
| 21 dunnechape_1j         | 5118        | 970     | 4079    | 4604     | 392        | 34         | 88         | 582       | 0        | 22657   | 3766    | 18891  | 18054   | 341.6  | 1838.6 | 2180   |        | 4.97 | 3.49   | 4.63  | 4.35 |         | 738  | 3420   | 1070   | 3381         |
| 22 stklH_1j              | 5844        | 967     | 4812    | 5281     | 442        | 34         | 88         | 582       | 0        | 24790   | 3770    | 21020  | 19509   | 341.0  | 2115.5 | 2456   |        | 4.72 | 3.50   | 4.37  | 4.18 |         | 832  | 3868   | 885    | 3384         |
| 23 stklnt_1j             | 4369        | 978     | 3318    | 3907     | 338        | 36         | 88         | 581       | 0        | 20099   | 3765    | 16335  | 16192   | 343.8  | 1536.2 | 1880   |        | 5.21 | 3.46   | 4.92  | 4.51 |         | 641  | 2987   | 1040   | 3379         |
| 24 thermos_1j            | 5488        | 972     | 4448    | 4948     | 417        | 35         | 88         | 585       | 178      | 23618   | 3760    | 19859  | 18670   | 342.5  | 1976.7 | 2319   |        | 4.81 | 3.47   | 4.46  | 4.23 |         | 733  | 3430   | 660    | 3375         |
| 25 thermosstklH_1j       | 4969        | 972     | 3926    | 4465     | 381        | 35         | 88         | 581       | 0        | 22088   | 3757    | 18331  | 17623   | 342.5  | 1775.8 | 2118   |        | 5.00 | 3.47   | 4.67  | 4.37 |         | 695  | 3236   | 951    | 3373         |
| 26 thermosstklH_RC_1j    | 4783        | 972     | 3740    | 4292     | 368        | 35         | 88         | 428       | 0        | 21493   | 3756    | 17738  | 17201   | 342.4  | 1703.8 | 2046   |        | 5.06 | 3.47   | 4.74  | 4.41 |         | 674  | 3162   | 1041   | 3372         |
| 28 cte_temp_1j           | 5249        | 966     | 4215    | 4727     | 401        | 34         | 88         | 583       | 0        | 23072   | 3777    | 19295  | 18345   | 340.5  | 1888.0 | 2228   |        | 4.92 | 3.51   | 4.58  | 4.32 |         | 755  | 3485   | 1089   | 3390         |
| 29 nachtverh_1j          | 4827        | 968     | 3789    | 4334     | 371        | 34         | 88         | 582       | 0        | 21724   | 3774    | 17949  | 17390   | 341.0  | 1722.8 | 2064   |        | 5.06 | 3.50   | 4.74  | 4.42 |         | 700  | 3183   | 1044   | 3388         |
| 30 warm2003_1j           | 4461        | 995     | 3392    | 3999     | 338        | 36         | 88         | 499       | 0        | 20029   | 3766    | 16263  | 16029   | 346.9  | 1531.9 | 1879   |        | 5.07 | 3.39   | 4.79  | 4.40 |         | 641  | 2941   | 1001   | 3374         |
| 31 koud1985_1j           | 8203        | 953     | 7194    | 7463     | 619        | 33         | 88         | 725       | 0        | 34616   | 3763    | 30853  | 27154   | 337.3  | 3103.3 | 3441   |        | 4.66 | 3.54   | 4.29  | 4.17 |         | 1154 | 5253   | 1200   | 3373         |
| 32 SWWhoog_1j            | 5315        | 1200    | 4047    | 4781     | 405        | 41         | 88         | 577       | 0        | 23323   | 4640    | 18682  | 18542   | 428.7  | 1823.1 | 2252   |        | 4.93 | 3.55   | 4.62  | 4.32 |         | 763  | 3551   | 1260   | 4256         |
| 33 SWWlaag_1j            | 4890        | 800     | 4019    | 4398     | 376        | 29         | 88         | 586       | 0        | 21682   | 3020    | 18662  | 17284   | 275.7  | 1811.5 | 2087   |        | 4.97 | 3.26   | 4.64  | 4.35 |         | 709  | 3300   | 1031   | 2611         |
| 34 SWWsetph_1j           | 5093        | 1037    | 3928    | 4527     | 384        | 94         | 88         | 533       | 0        | 22314   | 3956    | 18357  | 17787   | 357.6  | 1777.4 | 2135   |        | 4.99 | 3.42   | 4.67  | 4.30 |         | 728  | 3382   | 1332   | 3547         |
| 36 dodeband_1j           | 5124        | 973     | 4081    | 4610     | 391        | 35         | 88         | 581       | 0        | 22384   | 3761    | 18622  | 17774   | 342.6  | 1830.5 | 2173   |        | 4.90 | 3.47   | 4.56  | 4.29 |         | 739  | 3475   | 657    | 3376         |
| 37 HGLaag_1j             | 5065        | 972     | 4023    | 4555     | 388        | 35         | 88         | 508       | 0        | 22373   | 3765    | 18607  | 17818   | 342.2  | 1812.3 | 2155   |        | 4.96 | 3.48   | 4.63  | 4.34 |         | 721  | 3358   | 956    | 3380         |
| 38 legionella_1j         | 5511        | 1407    | 4035    | 4536     | 387        | 33         | 88         | 583       | 468      | 22315   | 3633    | 18681  | 17778   | 330.7  | 1818.1 | 2149   |        | 4.96 | 2.62   | 4.63  | 4.06 |         | 789  | 3655   | 953    | 3693         |
| 39 Cv pomp_1j            | 5065        | 972     | 4024    | 4555     | 388        | 35         | 88         | 290       | 0        | 22377   | 3766    | 18611  | 17822   | 342.2  | 1812.3 | 2155   |        | 4.96 | 3.48   | 4.63  | 4.34 |         | 693  | 3222   | 970    | 3380         |
| 40 madrid_1j             | 3398        | 1005    | 2315    | 3024     | 251        | 35         | 88         | 415       | 0        | 14942   | 3776    | 11166  | 11918   | 349.2  | 1047.4 | 1397   |        | 5.02 | 3.37   | 4.82  | 4.28 |         | 493  | 2313   | 747    | 3388         |
| 41 noorw_1j              | 8365        | 935     | 7375    | 7612     | 633        | 32         | 88         | 650       | 0        | 33804   | 3780    | 30024  | 26192   | 332.6  | 3183.8 | 3516   |        | 4.45 | 3.63   | 4.07  | 4.00 |         | 1166 | 5359   | 828    | 3394         |
| 42 ref 1ste jaar         | 4956        | 986     | 3898    | 4452     | 379        | 36         | 88         | 578       | 0        | 22348   | 3756    | 18592  | 17895   | 344.8  | 1760.8 | 2106   |        | 5.08 | 3.41   | 4.77  | 4.43 |         | 716  | 3333   | 1045   | 3365         |
| 15 paskoeling_1stejaar   | 4843        | 1136    | 3630    | 4355     | 368        | 32         | 88         | 588       | 0        | 22439   | 3815    | 18624  | 18084   | 360.2  | 1635.1 | 1995   |        | 5.31 | 3.01   | 5.13  | 4.55 |         | 703  | 3245   | 1134   | 3418         |
| 16 paskoeling_madr_1j    | 3577        | 1009    | 2388    | 3093     | 261        | 36         | 88         | 486       | 0        | 15104   | 3775    | 11330  | 12012   | 351.0  | 1080.2 | 1431   |        | 4.96 | 3.36   | 4.75  | 4.11 |         | 525  | 2476   | 747    | 3387         |

|                           | QinVWVtotkW | QuitVWVt | Tgembodem | Tmaxbodem | Tminbodem | Tlavgem | Tkeukgem | TK1gem | TK2gem | TK3gem | TK4gem | TSDBgem | uuroververhli | Khtotover | uuronderko | Khtotonderko | uuroververhkeu | Khtotover | uuronderko | Khtotonderko | uuroververhK1 | Khtotover | uuronderko | Khtotonderko | uuroververhK1 | Khtotover | uuronderko | Khtotonderko | uuroververhK1 | Khtotonderko |
|---------------------------|-------------|----------|-----------|-----------|-----------|---------|----------|--------|--------|--------|--------|---------|---------------|-----------|------------|--------------|----------------|-----------|------------|--------------|---------------|-----------|------------|--------------|---------------|-----------|------------|--------------|---------------|--------------|
| 1 ref_1j                  | -18679      | 3        | 7.98      | 8.55      | 7.47      | 21.2    | 20.8     | 19.4   | 19.7   | 19.4   | 19.7   | 22.5    | 0.0           | 0.0       | 391.7      | 290.8        | 20.0           | 7.0       | 389.1      | 215.5        | 0.0           | 0.0       | 38.9       | 0.0          | 43.8          | 0.0       | 0.0        | 0.0          | 0.0           | 0.0          |
| 2 grondwater10gr_1j       | -18078      | 9        | 10.00     | 10.02     | 10.00     | 20.9    | 20.6     | 19.1   | 19.4   | 19.2   | 19.5   | 22.2    | 0.0           | 0.0       | 463.6      | 329.7        | 8.7            | 1.9       | 452.5      | 249.6        | 0.0           | 0.0       | 102.1      | 0.0          | 53.7          | 0.0       | 0.0        | 0.0          | 0.0           | 0.0          |
| 3 grondwater11gr_1j       | -18079      | 12       | 11.00     | 11.02     | 11.00     | 20.9    | 20.6     | 19.1   | 19.4   | 19.2   | 19.5   | 22.2    | 0.0           | 0.0       | 460.0      | 324.7        | 9.3            | 2.2       | 446.1      | 246.8        | 0.0           | 0.0       | 108.7      | 0.0          | 52.9          | 0.0       | 0.0        | 0.0          | 0.0           | 0.0          |
| 4 grondwater11grWW_1j     | -18302      | 8        | 8.12      | 9.15      | 7.69      | 21.0    | 20.7     | 19.2   | 19.5   | 19.3   | 19.6   | 22.3    | 0.0           | 0.0       | 418.6      | 310.6        | 10.7           | 2.5       | 402.5      | 232.8        | 0.0           | 0.0       | 100.6      | 0.0          | 49.5          | 0.0       | 0.0        | 0.0          | 0.0           | 0.0          |
| 2 grondwater10gr_1j_8kW   | -18610      | 7        | 10.00     | 10.02     | 10.00     | 21.1    | 20.8     | 19.3   | 19.6   | 19.4   | 19.7   | 22.4    | 0.0           | 0.0       | 256.7      | 182.7        | 0.0            | 0.0       | 195.3      | 103.0        | 0.0           | 0.0       | 165.1      | 0.0          | 65.7          | 0.0       | 0.0        | 0.0          | 0.0           | 0.0          |
| 3 grondwater11gr_1j_8kW   | -18575      | 6        | 11.00     | 11.02     | 11.00     | 21.1    | 20.8     | 19.3   | 19.6   | 19.4   | 19.7   | 22.4    | 0.0           | 0.0       | 245.4      | 175.3        | 0.0            | 0.0       | 179.4      | 96.6         | 0.0           | 0.0       | 149.4      | 0.0          | 59.8          | 0.0       | 0.0        | 0.0          | 0.0           | 0.0          |
| 4 grondwater11grWW_1j_8kW | -18684      | 4        | 8.65      | 20.00     | 8.32      | 21.2    | 20.8     | 19.3   | 19.7   | 19.4   | 19.7   | 22.5    | 0.0           | 0.0       | 250.8      | 183.2        | 0.0            | 0.0       | 188.0      | 100.5        | 0.0           | 0.0       | 157.1      | 0.0          | 60.4          | 0.0       | 0.0        | 0.0          | 0.0           | 0.0          |
| 5 meerBM_1j               | -18616      | 4        | 8.21      | 8.72      | 7.76      | 21.2    | 20.8     | 19.3   | 19.7   | 19.4   | 19.7   | 22.5    | 0.0           | 0.0       | 393.8      | 295.1        | 17.6           | 5.7       | 391.0      | 218.5        | 0.0           | 0.0       | 89.6       | 0.0          | 44.9          | 0.0       | 0.0        | 0.0          | 0.0           | 0.0          |
| 6 minderBM_1j             | -18755      | 3        | 7.71      | 8.37      | 7.12      | 21.2    | 20.9     | 19.4   | 19.7   | 19.4   | 19.8   | 22.5    | 0.0           | 0.0       | 385.9      | 295.4        | 24.2           | 8.3       | 379.7      | 216.6        | 0.0           | 0.0       | 88.0       | 0.0          | 44.4          | 0.0       | 0.0        | 0.0          | 0.0           | 0.0          |
| 7 brondebhoog_1j          | -18699      | 3        | 7.98      | 8.55      | 7.46      | 21.2    | 20.8     | 19.4   | 19.7   | 19.4   | 19.7   | 22.5    | 0.0           | 0.0       | 388.3      | 294.7        | 20.9           | 7.1       | 387.5      | 217.3        | 0.0           | 0.0       | 89.5       | 0.0          | 44.4          | 0.0       | 0.0        | 0.0          | 0.0           | 0.0          |
| 8 brondeb laag_1j         | -18692      | 3        | 7.97      | 8.55      | 7.46      | 21.2    | 20.8     | 19.4   | 19.7   | 19.4   | 19.7   | 22.5    | 0.0           | 0.0       | 381.2      | 285.7        | 20.6           | 6.9       | 367.5      | 209.8        | 0.0           | 0.0       | 86.3       | 0.0          | 43.6          | 0.0       | 0.0        | 0.0          | 0.0           | 0.0          |
| 9 hor100_1j               | -18695      | 4        |           |           |           | 21.2    | 20.8     | 19.4   | 19.7   | 19.4   | 19.7   | 22.5    | 0.0           | 0.0       | 379.0      | 293.0        | 20.1           | 7.3       | 361.0      | 214.3        | 0.0           | 0.0       | 89.7       | 0.0          | 44.0          | 0.0       | 0.0        | 0.0          | 0.0           | 0.0          |
| 10 hor150_1j              | -18724      | 4        |           |           |           | 21.2    | 20.9     | 19.4   | 19.7   | 19.4   | 19.7   | 22.5    | 0.0           | 0.0       | 376.3      | 277.2        | 20.8           | 7.5       | 359.9      | 203.3        | 0.0           | 0.0       | 84.7       | 0.0          | 41.8          | 0.0       | 0.0        | 0.0          | 0.0           | 0.0          |
| 11 8kw_1j                 | -18906      | 3        | 7.96      | 8.54      | 7.44      | 21.3    | 20.9     | 19.4   | 19.8   | 19.5   | 19.8   | 22.6    | 0.0           | 0.0       | 392.5      | 283.0        | 30.0           | 11.0      | 357.0      | 197.8        | 0.0           | 0.0       | 92.1       | 0.0          | 45.5          | 0.0       | 0.0        | 0.0          | 0.0           | 0.0          |
| 12 8kw biv_1j             | -18898      | 3        | 7.98      | 8.56      | 7.47      | 21.3    | 20.9     | 19.4   | 19.8   | 19.5   | 19.8   | 22.6    | 0.0           | 0.0       | 392.0      | 282.9        | 29.5           | 10.9      | 355.7      | 197.4        | 0.0           | 0.0       | 91.8       | 0.0          | 45.2          | 0.0       | 0.0        | 0.0          | 0.0           | 0.0          |
| 13 VVWVhoogdeb_1j         | -18218      | 7        | 8.02      | 8.59      | 7.50      | 20.9    | 20.6     | 19.2   | 19.5   | 19.3   | 19.5   | 22.2    | 0.0           | 0.0       | 518.2      | 376.1        | 7.9            | 1.8       | 506.7      | 285.7        | 0.0           | 0.0       | 117.7      | 0.0          | 57.9          | 0.0       | 0.0        | 0.0          | 0.0           | 0.0          |
| 14 VVWVlaagdeb_1j         | -18812      | 5        | 7.97      | 8.54      | 7.45      | 21.1    | 20.8     | 19.5   | 19.7   | 19.5   | 19.7   | 22.6    | 0.0           | 0.0       | 422.0      | 325.0        | 15.7           | 4.7       | 399.4      | 234.6        | 0.0           | 0.0       | 89.4       | 0.0          | 45.5          | 0.0       | 0.0        | 0.0          | 0.0           | 0.0          |
| 17 zon_1j                 | -18792      | 6        | 8.06      | 8.68      | 7.51      | 21.2    | 20.9     | 19.4   | 19.7   | 19.5   | 19.8   | 22.6    | 0.0           | 0.0       | 361.6      | 271.4        | 21.0           | 7.1       | 334.5      | 194.5        | 0.0           | 0.0       | 83.6       | 0.0          | 41.8          | 0.0       | 0.0        | 0.0          | 0.0           | 0.0          |
| 19 klboiler_1j            | -18655      | 3        | 7.99      | 8.56      | 7.47      | 21.2    | 20.8     | 19.4   | 19.7   | 19.4   | 19.7   | 22.5    | 0.0           | 0.0       | 399.9      | 300.6        | 20.2           | 6.9       | 386.2      | 218.4        | 0.0           | 0.0       | 86.3       | 0.0          | 43.6          | 0.0       | 0.0        | 0.0          | 0.0           | 0.0          |
| 20 chape_1j               | -18821      | 2        | 7.96      | 8.53      | 7.46      | 21.2    | 21.0     | 19.4   | 19.6   | 19.4   | 19.6   | 22.5    | 0.0           | 0.0       | 336.2      | 239.7        | 37.0           | 14.9      | 298.4      | 166.8        | 0.0           | 0.0       | 84.8       | 0.0          | 43.1          | 0.0       | 0.0        | 0.0          | 0.0           | 0.0          |
| 21 dunnechape_1j          | -18915      | 5        | 7.96      | 8.54      | 7.44      | 21.2    | 20.9     | 19.5   | 19.8   | 19.5   | 19.8   | 22.5    | 0.0           | 0.0       | 412.9      | 319.0        | 21.8           | 6.1       | 381.1      | 221.5        | 0.0           | 0.0       | 86.7       | 0.0          | 43.7          | 0.0       | 0.0        | 0.0          | 0.0           | 0.0          |
| 22 stklNH_1j              | -21038      | 2        | 7.80      | 8.39      | 7.28      | 22.2    | 21.8     | 20.2   | 20.5   | 20.3   | 20.6   | 23.6    | 118.2         | 29.5      | 261.0      | 208.1        | 169.5          | 101.0     | 215.6      | 137.7        | 24.5          | 3.3       | 59.0       | 26.9         |               |           |            |              |               |              |
| 23 stklNH_1j              | -16364      | 4        | 8.16      | 8.71      | 7.65      | 20.2    | 19.9     | 18.5   | 18.8   | 18.6   | 18.9   | 21.4    | 0.0           | 0.0       | 813.2      | 510.9        | 1.2            | 0.1       | 1915.0     | 695.2        | 0.0           | 0.0       | 137.6      | 71.4         |               |           |            |              |               |              |
| 24 thermos_1j             | -18022      | 0        | 8.03      | 8.59      | 7.55      | 21.1    | 20.4     | 18.8   | 19.4   | 19.1   | 19.5   | 22.7    | 0.0           | 0.0       | 346.9      | 256.8        | 16.7           | 5.3       | 785.5      | 381.3        | 0.0           | 0.0       | 161.8      | 23.5         |               |           |            |              |               |              |
| 25 thermosstklNH_1j       | -17857      | 2        | 8.04      | 8.60      | 7.54      | 20.9    | 20.4     | 18.9   | 19.3   | 19.1   | 19.4   | 22.4    | 0.0           | 0.0       | 419.8      | 298.2        | 9.5            | 2.6       | 601.9      | 327.0        | 0.0           | 0.0       | 153.0      | 44.4         |               |           |            |              |               |              |
| 26 thermosstklNH_RC_1j    | -17368      | 2        | 8.05      | 8.65      | 7.51      | 20.7    | 20.3     | 18.8   | 19.2   | 18.9   | 19.2   | 22.1    | 0.0           | 0.0       | 457.1      | 329.1        | 4.7            | 1.0       | 806.2      | 373.7        | 0.0           | 0.0       | 130.2      | 45.8         |               |           |            |              |               |              |
| 28 cte Temp_1j            | -19325      | 4        | 7.93      | 8.51      | 7.40      | 21.5    | 21.1     | 19.6   | 19.9   | 19.7   | 20.0   | 22.8    | 0.0           | 0.0       | 380.3      | 280.2        | 32.8           | 10.2      | 360.8      | 199.8        | 0.0           | 0.0       | 88.9       | 45.4         |               |           |            |              |               |              |
| 29 nachtverh_1j           | -17979      | 5        | 8.03      | 8.60      | 7.52      | 20.9    | 20.6     | 19.1   | 19.4   | 19.2   | 19.5   | 22.2    | 0.0           | 0.0       | 494.7      | 330.9        | 7.6            | 1.9       | 529.7      | 261.1        | 0.0           | 0.0       | 103.2      | 48.7         |               |           |            |              |               |              |
| 30 warm2003_1j            | -16293      | 3        | 9.10      | 10.00     | 8.46      | 21.9    | 21.7     | 20.1   | 20.4   | 20.2   | 20.4   | 23.2    | 5.0           | 1.3       | 92.7       | 49.3         | 9.6            | 1.5       | 39.6       | 21.6         | 208.5         | 272.7     | 30.4       | 6.1          |               |           |            |              |               |              |
| 31 koud1985_1j            | -30858      | 4        | 7.94      | 10.00     | 7.09      | 22.3    | 21.7     | 19.7   | 20.1   | 19.8   | 20.2   | 24.0    | 261.4         | 201.1     | 18.1       | 15.2         | 23.4           | 8.2       | 16.9       | 11.0         | 1260.0        | 315.4     | 4.4        | 0.6          |               |           |            |              |               |              |
| 32 SWWVhoog_1j            | -18708      | 7        | 7.91      | 8.47      | 7.40      | 21.2    | 20.8     | 19.4   | 19.7   | 19.4   | 19.7   | 22.5    | 0.0           | 0.0       | 383.9      | 291.7        | 21.3           | 7.1       | 376.5      | 214.5        | 0.0           | 0.0       | 87.0       | 43.8         |               |           |            |              |               |              |
| 33 SWWVlaag_1j            | -18689      | 3        | 8.04      | 8.62      | 7.52      | 21.2    | 20.8     | 19.4   | 19.7   | 19.4   | 19.7   | 22.5    | 0.0           | 0.0       | 396.7      | 296.2        | 20.1           | 6.7       | 387.6      | 217.9        | 0.0           | 0.0       | 91.4       | 45.9         |               |           |            |              |               |              |
| 34 SWWVsetpH_1j           | -18377      | 3        | 7.99      | 8.55      | 7.48      | 21.1    | 20.7     | 19.2   | 19.6   | 19.3   | 19.6   | 22.4    | 0.0           | 0.0       | 392.1      | 286.3        | 17.8           | 5.8       | 398.6      | 218.2        | 0.0           | 0.0       | 86.9       | 44.3         |               |           |            |              |               |              |
| 36 dodeband_1j            | -18634      | 2        | 7.99      | 8.56      | 7.47      | 21.2    | 20.8     | 19.3   | 19.7   | 19.4   | 19.7   | 22.5    | 0.7           | 0.0       | 515.2      | 374.5        | 37.1           | 16.9      | 483.5      | 279.9        | 0.0           | 0.0       | 119.8      | 66.2         |               |           |            |              |               |              |
| 37 HGLaag_1j              | -18625      | 3        | 7.98      | 8.56      | 7.46      | 21.2    | 20.8     | 19.3   | 19.7   | 19.4   | 19.7   | 22.5    | 0.0           | 0.0       | 422.8      | 331.2        | 18.3           | 5.9       | 445.5      | 255.5        | 0.0           | 0.0       | 98.5       | 54.5         |               |           |            |              |               |              |
| 38 legionella_1j          | -18706      | 3        | 7.99      | 8.56      | 7.47      | 21.2    | 20.8     | 19.4   | 19.7   | 19.4   | 19.7   | 22.5    | 0.0           | 0.0       | 384.3      | 287.9        | 20.5           | 6.8       | 379.2      | 211.8        | 0.0           | 0.0       | 88.6       | 42.9         |               |           |            |              |               |              |
| 39 CVpomp_1j              | -18612      | 24       | 7.98      | 8.55      | 7.47      | 21.3    | 20.7     | 19.2   | 19.6   | 19.3   | 19.7   | 22.7    | 0.0           | 0.0       | 370.3      | 269.7        | 13.9           | 4.3       | 375.4      | 212.1        | 0.0           | 0.0       | 85.9       | 43.4         |               |           |            |              |               |              |
| 42 ref 1ste jaar          | -18621      | 4        | 8.90      | 10.00     | 8.20      | 21.1    | 20.8     | 19.3   | 19.6   | 19.4   | 19.7   | 22.4    | 0.0           | 0.0       | 253.1      | 185.3        | 0.0            | 0.0       | 194.2      | 104.5        | 0.0           | 0.0       | 169.0      | 64.4         |               |           |            |              |               |              |
| 15 paskoeling_1stejaar    | -18665      | 539      | 8.97      | 10.00     | 8.22      | 20.9    | 20.6     | 19.2   | 19.5   | 19.2   | 19.5   | 22.2    | 0.0           | 0.0       | 763.9      | 845.3        | 13.8           | 4.1       | 788.1      | 705.3        | 0.0           | 0.0       | 258.7      | 209.4        |               |           |            |              |               |              |
| 16 paskoeling_madr_1j     | -11355      | 4179     | 9.61      | 10.53     | 8.87      | 21.4    | 21.3     | 20.1   | 20.4   | 20.1   | 20.3   | 22.3    | 64.0          | 17.1      | 630.0      | 467.4        | 98.1           | 61.2      | 258.4      | 121.6        | 0.0           | 0.0       | 54.1       | 25.8         |               |           |            |              |               |              |





## Opstellen referentiemodel (lucht)

In de tweede fase van dit werkpakket werden simulaties uitgevoerd met een luchtwarmtepomp. Alle componenten, behalve de WP met de regeling, blijven gelijk aan het referentiemodel als besproken in het vorige hoofdstuk.

Voor het opstellen van een warmtepompmodel werd ook hier vertrokken vanuit prestatiecurven, deze werden al in tabelvorm geleverd (Tabel 34). Deze data zijn ons door een fabrikant van lucht/water warmtepompen aangeleverd. Het gaat hier over een invertorgestuurde warmtepomp met een nominaal verwarmingsvermogen van 9.5 kW (-7/35). In deze tabel werden voor buitentemperaturen kleiner of gelijk aan 2°C geïntegreerde waarden met ontdooiing weergegeven. Hierdoor moet er in het warmtepompmodel geen complexe algoritmes rond ontdooiing uitgeschreven worden.

Tabel 34: Datatable L/W warmtepomp

|           |               | HEATING CAPACITY |     |     |     |     | Power input |     |     |     |     |
|-----------|---------------|------------------|-----|-----|-----|-----|-------------|-----|-----|-----|-----|
|           |               | 30               | 35  | 40  | 45  | 50  | 30          | 35  | 40  | 45  | 50  |
| Part Load | LWC T Ambient |                  |     |     |     |     |             |     |     |     |     |
| 100       | -15           | SSS              | SSS | SSS | SSS | SSS | SSS         | SSS | SSS | SSS | SSS |
| 90        | -15           | SSS              | SSS | SSS | SSS | SSS | SSS         | SSS | SSS | SSS | SSS |
| 50        | -15           | SSS              | SSS | SSS | SSS | SSS | SSS         | SSS | SSS | SSS | SSS |
| 30        | -15           | SSS              | SSS | SSS | SSS | SSS | SSS         | SSS | SSS | SSS | SSS |
| 100       | -10           | SSS              | SSS | SSS | SSS | SSS | SSS         | SSS | SSS | SSS | SSS |
| 90        | -10           | SSS              | SSS | SSS | SSS | SSS | SSS         | SSS | SSS | SSS | SSS |
| 50        | -10           | SSS              | SSS | SSS | SSS | SSS | SSS         | SSS | SSS | SSS | SSS |
| 30        | -10           | SSS              | SSS | SSS | SSS | SSS | SSS         | SSS | SSS | SSS | SSS |
| 100       | -7            | SSS              | SSS | SSS | SSS | SSS | SSS         | SSS | SSS | SSS | SSS |
| 90        | -7            | SSS              | SSS | SSS | SSS | SSS | SSS         | SSS | SSS | SSS | SSS |
| 50        | -7            | SSS              | SSS | SSS | SSS | SSS | SSS         | SSS | SSS | SSS | SSS |
| 30        | -7            | SSS              | SSS | SSS | SSS | SSS | SSS         | SSS | SSS | SSS | SSS |
| 100       | -2            | SSS              | SSS | SSS | SSS | SSS | SSS         | SSS | SSS | SSS | SSS |
| 90        | -2            | SSS              | SSS | SSS | SSS | SSS | SSS         | SSS | SSS | SSS | SSS |
| 50        | -2            | SSS              | SSS | SSS | SSS | SSS | SSS         | SSS | SSS | SSS | SSS |
| 30        | -2            | SSS              | SSS | SSS | SSS | SSS | SSS         | SSS | SSS | SSS | SSS |
| 100       | 2             | SSS              | SSS | SSS | SSS | SSS | SSS         | SSS | SSS | SSS | SSS |
| 90        | 2             | SSS              | SSS | SSS | SSS | SSS | SSS         | SSS | SSS | SSS | SSS |
| 50        | 2             | SSS              | SSS | SSS | SSS | SSS | SSS         | SSS | SSS | SSS | SSS |
| 30        | 2             | SSS              | SSS | SSS | SSS | SSS | SSS         | SSS | SSS | SSS | SSS |
| 100       | 7             | SSS              | SSS | SSS | SSS | SSS | SSS         | SSS | SSS | SSS | SSS |
| 90        | 7             | SSS              | SSS | SSS | SSS | SSS | SSS         | SSS | SSS | SSS | SSS |
| 50        | 7             | SSS              | SSS | SSS | SSS | SSS | SSS         | SSS | SSS | SSS | SSS |
| 30        | 7             | SSS              | SSS | SSS | SSS | SSS | SSS         | SSS | SSS | SSS | SSS |
| 100       | 12            | SSS              | SSS | SSS | SSS | SSS | SSS         | SSS | SSS | SSS | SSS |
| 90        | 12            | SSS              | SSS | SSS | SSS | SSS | SSS         | SSS | SSS | SSS | SSS |
| 50        | 12            | SSS              | SSS | SSS | SSS | SSS | SSS         | SSS | SSS | SSS | SSS |
| 30        | 12            | SSS              | SSS | SSS | SSS | SSS | SSS         | SSS | SSS | SSS | SSS |
| 100       | 18            | SSS              | SSS | SSS | SSS | SSS | SSS         | SSS | SSS | SSS | SSS |
| 90        | 18            | SSS              | SSS | SSS | SSS | SSS | SSS         | SSS | SSS | SSS | SSS |
| 50        | 18            | SSS              | SSS | SSS | SSS | SSS | SSS         | SSS | SSS | SSS | SSS |
| 30        | 18            | SSS              | SSS | SSS | SSS | SSS | SSS         | SSS | SSS | SSS | SSS |

In de tabel kan het thermisch- én opgenomen elektrisch vermogen van de warmtepomp afgelezen worden in functie van de buitentemperatuur, de aanvoertemperatuur en het percentage deellast waarmee de warmtepomp werkt.

De tabel werd uitgebreid met enkele kolommen en rijen. Uit vergaderingen van de gebruikerscommissie bleek dat de nieuwste invertor luchtwarmtepompen ook werken bij buitentemperaturen tot 25°C. Er werd een lineaire interpolatie toegepast om de tabel uit te breiden.

Ook voor de afgiftetemperaturen werd de tabel uitgebreid met een kolom van 25°C en een van 55°C. (ook op aanraden van de gebruikerscommissie).

## Werking van de warmtepomp

De warmtepomp schakelt uit als:

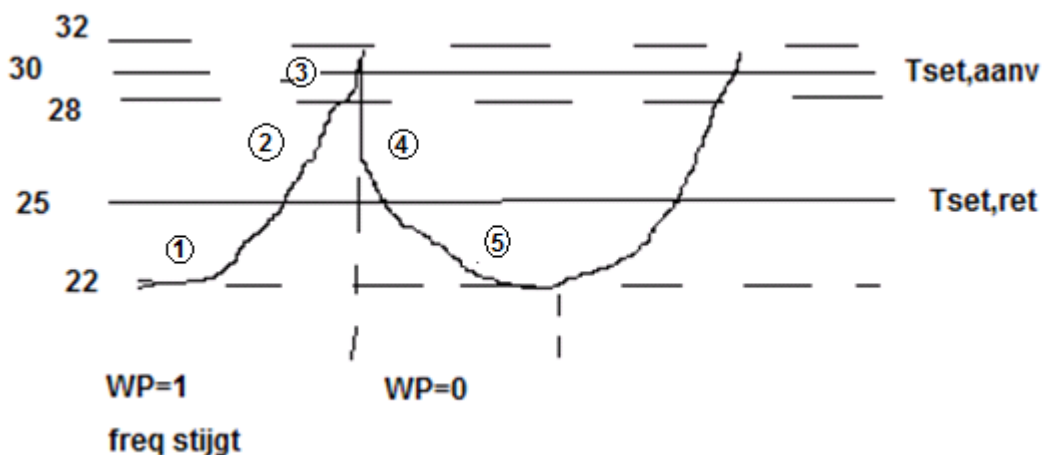
- De gewenste aanvoertemperatuur groter is dan de maximum aanvoertemperatuur uit Tabel 34, 55°C
- De gewenste aanvoertemperatuur kouder is dan de minimum aanvoertemperatuur uit Tabel 34, 25°C (Dit komt niet voor tijdens de simulaties, maar is ingebouwd als extra veiligheid indien dit model in de toekomst elders gebruikt wordt.)
- De buitentemperatuur warmer is dan de maximum buitentemperatuur uit Tabel 34, 25°C.
- De buitentemperatuur kouder is dan de minimum buitentemperatuur uit Tabel 34, -18°C (Dit komt niet voor tijdens de simulaties, maar is ingebouwd als extra veiligheid indien dit model in de toekomst elders gebruikt wordt.)

De warmtepomp wordt geregeld op basis van de aanvoertemperatuur. In het referentiemodel wordt nachtverlaging toegepast. (gelijkaardig als bij referentiemodel grondgekoppelde warmtepomp).

Bovenop de dag- en nachtstooklijn wordt een dode band toegepast van  $\pm 2K$ .

Het setpunt voor SWW-productie werd 's nachts op 50°C geplaatst en overdag op 45°C, dit om ook overdag zeker te zijn van voldoende warm water indien het opladen van de boiler 's nachts onvoldoende blijkt.

De bepaling van het stookseizoen en de verwarmingsgrens van 4u-gemiddelde buitentemperatuur zijn ook hier geldig.



Figuur 71: Werking L/W WP

Bij de opstart wordt de reële aanvoertemperatuur vergeleken met het setpunt voor de aanvoertemperatuur. Zolang dit verschil groter is dan 3°C (voorbeeld: 1) start de WP op in deellast 30% en wordt er elke tijdstap van 3 minuten 5% extra thermisch vermogen geleverd. Als binnen de 60 minuten nog steeds een groter verschil dan 3°C bestaat wordt er beslist om op vollast te gaan werken (100%), zelfs al is er de warmtepomp bij het optoeren nog niet aan die percentage geraakt. Indien dan 30 minuten later nog steeds dit groot verschil tussen gewenste en werkelijke aanvoertemperatuur bestaat, schakelt een elektrische weerstand van 3kW bij.



Indien de warmtepomp tijdens het opstarten binnen de 60 minuten er wel voor zorgt dat de werkelijke aanvoertemperatuur dichterbij dan  $3^{\circ}\text{C}$  van de gewenste aanvoertemperatuur ligt, wordt er gewoon verder opgetoerd (voorbeeld: 2) tot:

- De warmtepomp het in vollast regime werkt. De warmtepomp blijft dan verder in vollast werken tot:
- De werkelijke aanvoertemperatuur hoger is dan de gewenste aanvoertemperatuur  $+2^{\circ}\text{C}$  (voorbeeld: 3)

Indien de warmtepomp tijdens het werken ervoor zorgt dat de werkelijke aanvoertemperatuur hoger is dan de gewenste aanvoertemperatuur  $+2^{\circ}\text{C}$ , schakelt deze uit. De aanvoertemperatuur valt dan terug tot de teruglooptemperatuur van het verwarmingssysteem (voorbeeld: 4).

De circulatiepomp van VVW blijft werken, waardoor de teruglooptemperatuur van het VVW-systeem verder blijft dalen. Indien de temperatuur van de VVW daalt tot onder de gewenste teruglooptemperatuur  $-3^{\circ}\text{C}$  schakelt de warmtepomp terug aan. De gewenste teruglooptemperatuur wordt bepaald als de gewenste aanvoertemperatuur (bepaald via stooklijn) verminderd met  $5^{\circ}\text{C}$ .

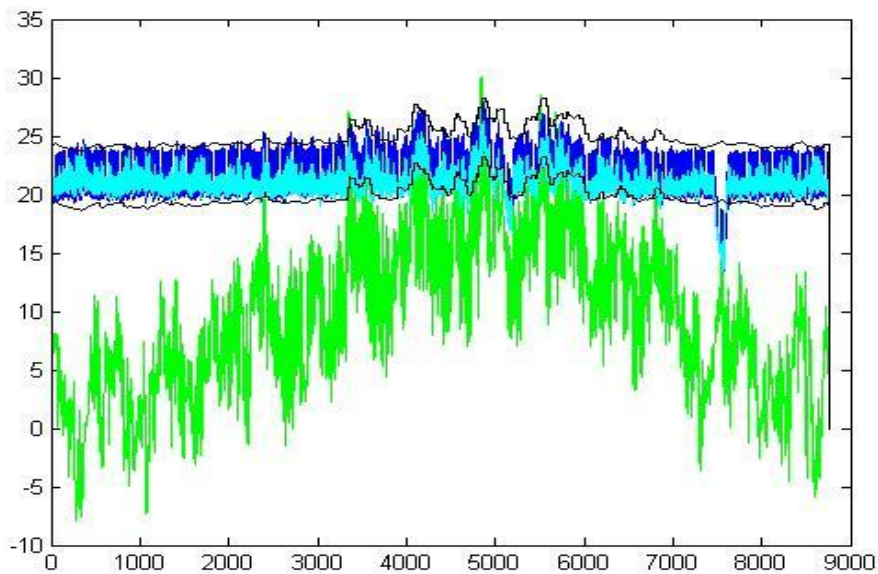
De simulaties van lucht warmtepompen zijn, zoals de simulaties van grondgekoppelde warmtepompsystemen, uitgevoerd met een tijdsstap van 3 minuten. Een belangrijk verschil is dat ze slechts gesimuleerd werden voor 1 simulatiejaar. Indien deze resultaten dus willen vergeleken worden met de grondgekoppelde warmtepompen, dient dit te gebeuren met regel 42 uit Tabel 33.

De eerste regel van de resultaten uit de simulaties van lucht warmtepompsystemen uit Tabel 33 geeft de voornaamste kengetallen van de simulatie van het referentiescenario:

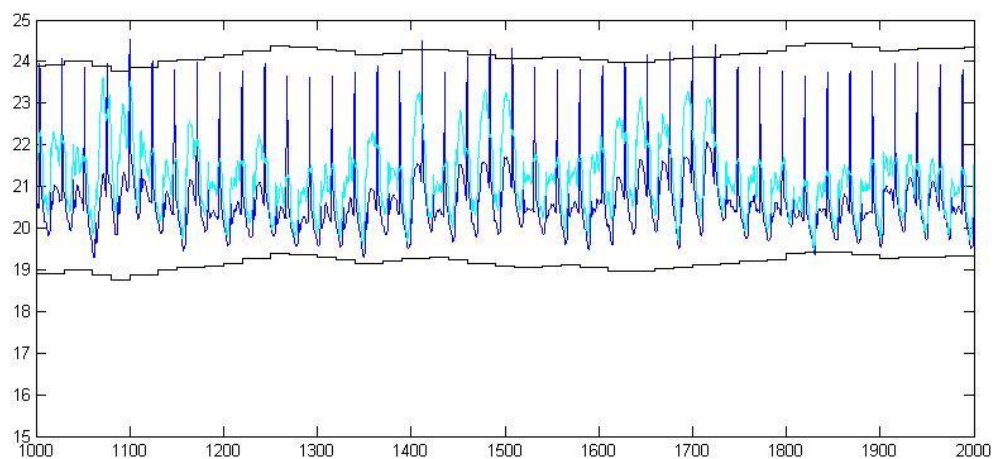
De globale SPF van het systeem is 3,14. Dit getal ligt hoger dan in de field tests bleek. Dit valt te verklaren door de manier van opstart die geïmplementeerd werd. De warmtepomp start steeds op in 30% deellast. Uit de data blijkt dat de COP in deellast gevoelig hoger ligt dan deze in vollast. Dit verschil loopt maximaal op tot 90%. De warmtepomp werkt op jaarbasis 2400 uur en schakelt 1898 keer aan/uit. Dit laatste is te verklaren door het pendelgedrag van de warmtepomp in het tussenseizoen.

Op jaarbasis bedragen de werkingskosten voor RV en SWW-productie 981€.

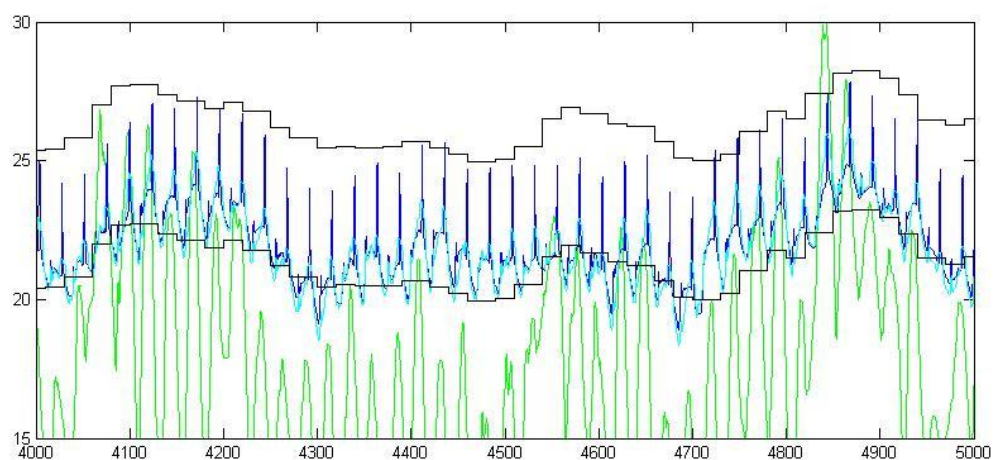
Op vlak van discomfort doet de simulatie met de lucht warmtepomp het iets beter dan de grondgekoppelde warmtepomp. Ook hier valt het discomfort voornamelijk in de zomerperiode (Figuur 73, Figuur 74)



Figuur 72: temperatuur woonkamer (lichtblauw), keuken (donkerblauw) binnen de comfortgrenzen ISSO 7730 in functie van de buitentemperatuur (groen)

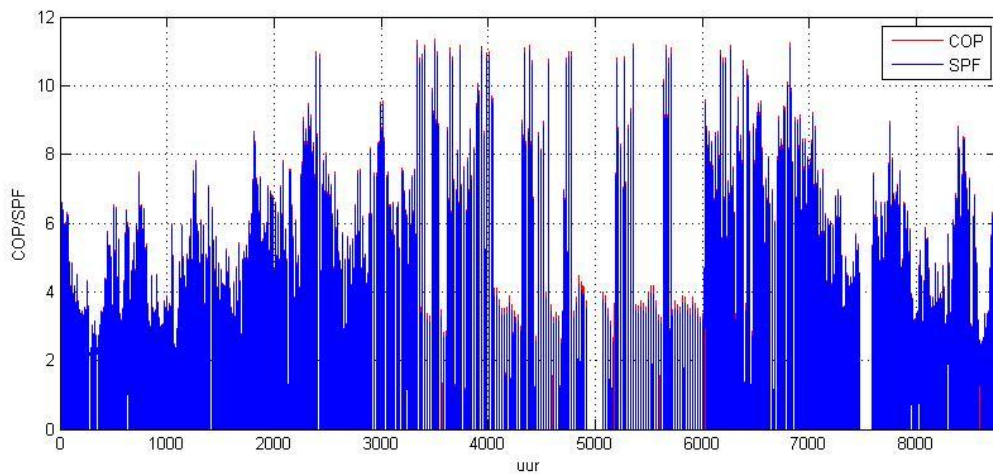


Figuur 73: Ruimtetem living (lichtblauw), keuken (donkerblauw) met comforttolerantie volgens ISSO 7730 in winter



Figuur 74: Ruimtetem living (lichtblauw), keuken (donkerblauw) met comforttolerantie volgens ISSO 7730 in zomer  
Volgende figuur (Figuur 75) geeft een jaarbeeld van de prestaties van de luchtwarmtepomp en het lucht warmtepompsysteem. De rode grafiek geeft de COP-waarde van de warmtepomp als de

verhouding tussen het geleverde condensorvermogen en het compressorvermogen. Iets lager dan deze grafiek ligt de blauwe SPF-grafiek. Hierbij zit het verbruik van de regeling, elektrische bijstook en verbruik van de pomp voor sWW-productie.



**Figuur 75: Prestatiegrafiek lucht warmtepomp**

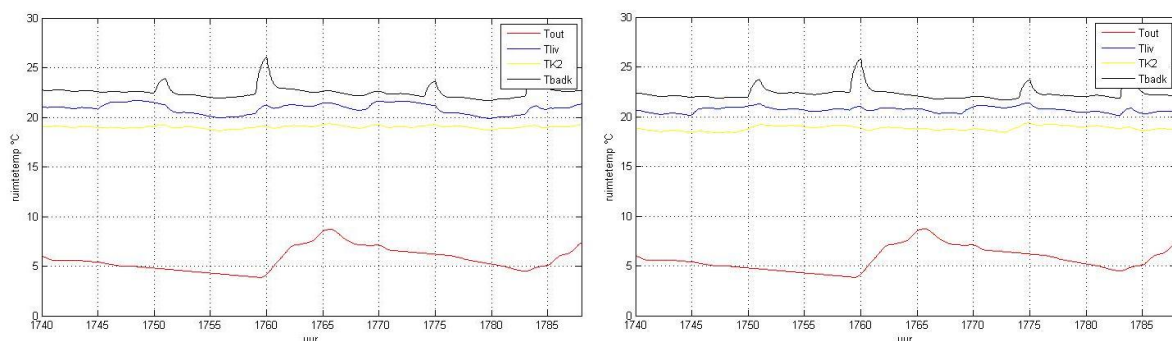
### Nachtverhoging

Deze variatie werd op dezelfde manier geïmplementeerd als bij de grondgekoppelde warmtepompen, namelijk de dagstooklijn en nachtstooklijn wisselen. De tijdsframes waarbinnen elke stooklijn aangesproken wordt blijft gelijk.

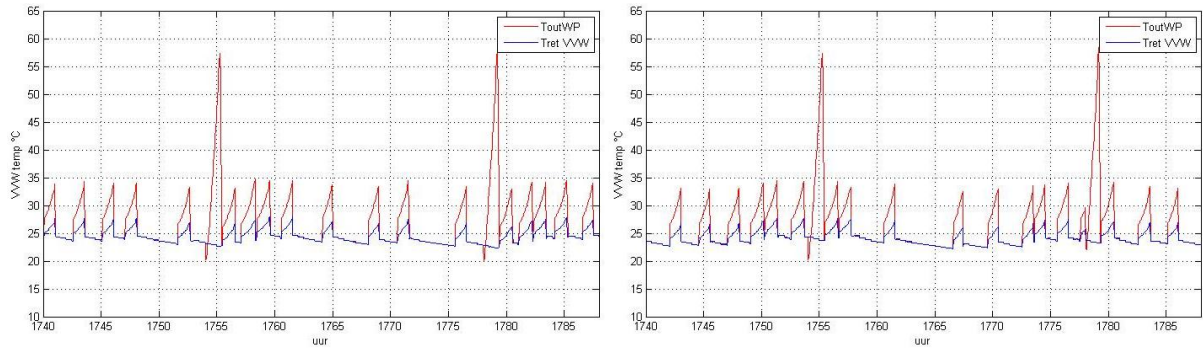
In tegenstelling tot wat we verwachtten stijgt de SPF voor RV, waardoor de totale werkingskosten en CO<sub>2</sub> uitstoot dalen. Het meerverbruik van de elektrische hulpverwarming weegt niet op tegen de besparingen op het elektrisch verbruik van de compressor.

Op vlak van discomfort valt er een lichte stijging waar te nemen.

Om de verklaring voor deze hogere SPF te zoeken werden beide scenario's twee keer met elkaar over 2 dagen met elkaar vergeleken. De eerste keer was er een klein verschil tussen gemiddelde dag- en nachttemperaturen, de tweede keer was dit verschil groter.

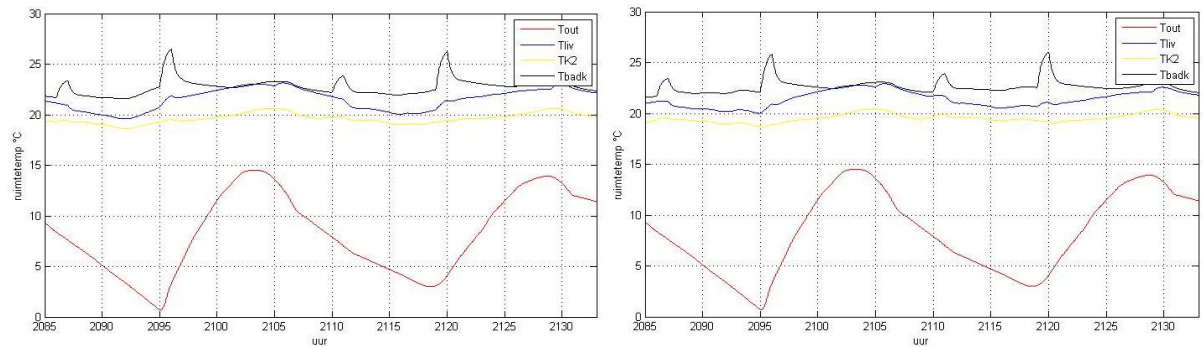


**Figuur 76: ruimtetemperatuur nachtverlaging (links), nachtverhoging (rechts) bij klein temperatuursverschil dag-nacht**

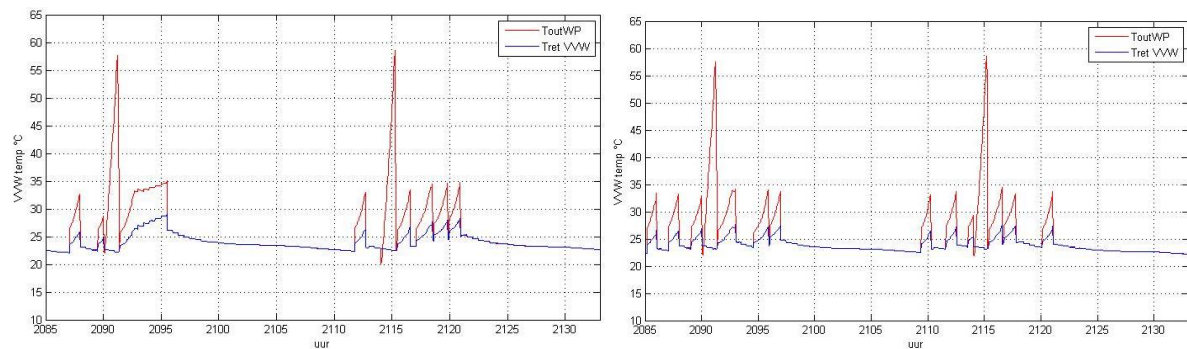


**Figuur 77: werkingstemperaturen nachtverlaging (links), nachtverhoging (rechts) bij klein temperatuursverschil dag-nacht**

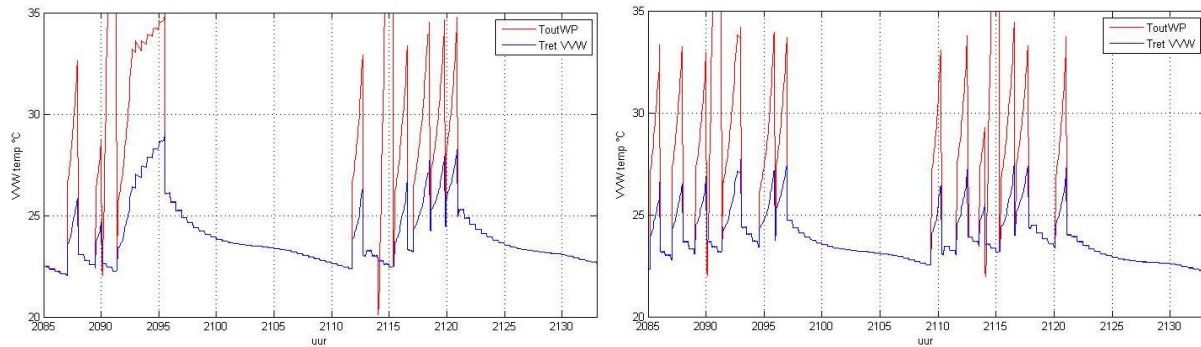
De nachturen in de simulatie werden gedefinieerd tussen 21u 's avonds en 5u 's morgens.. in dit tijdsframe komt dit overeen met nachturen tussen 1749-1757uur en 1773-1781uur



**Figuur 78: nachtverlaging (links), nachtverhoging (rechts) bij groot temperatuursverschil dag-nacht**



**Figuur 79: werkingstemperaturen nachtverlaging (links), nachtverhoging (rechts) bij groot temperatuursverschil dag-nacht**



**Figuur 80: detail werkingstemperaturen nachtverlaging (links), nachtverhoging (rechts) bij groot temperatuursverschil dag-nacht**

De nachturen in de simulatie werden gedefinieerd tussen 21u 's avonds en 5u 's morgens.. in dit tijdsframe komt dit overeen met nachturen tussen 2085-2093uur en 2109-2117uur

Wanneer we het scenario van grote temperatuursverschillen van naderbij bekijken zien we dat de warmtepomp in de nacht (wanneer het koud is) inderdaad lagere temperaturen dient aan te maken dan bij warmtepompwerking met nachtverhoging, maar bij de overgang van nacht naar dag (tijdens het koudste moment) moet de warmtepomp het water opwarmen tot het temperatuursregime met de verhoogde stooklijn. Dit heeft de gekende daling in SPF tot gevolg. We zien bij het temperatuursverloop aan de uitgang van de warmtepomp bij nachtverhoging veel gelijkmatiger verloopt dan dit van nachtverlaging.

Hetzelfde fenomeen is terug te vinden op bij meer gelijkmatige temperatuursverschillen tussen dag en nacht. Deze verschillen zijn dan uiteraard minder uitgesproken.

### SWW-productie

Hierbij werd het tijdsframe waarbinnen het setpunt voor SWW-productie hoger ligt verandert van tussen 2-5u 's nachts naar tussen 12-15u 's middags. Als logisch gevolg stijgt de SPF voor SWW-productie, waardoor ook hier de werkingskosten en CO2 uitstoot dalen.

Deze verschuiving van SWW-productie heeft geen invloed op het discomfort. De woning kan, zelfs in de koudste perioden van het jaar, overdag gemakkelijk (max) 3u zonder ruimteverwarming.

### Setpunt SWW-productie

Hierbij werd het setpunt voor SWW-productie 's nachts verlaagd tot 45°C (i.p.v. 50°C). Hierdoor zal er 's nachts minder warmtepompwerking voor SWW-productie nodig zijn, waardoor er overdag ook nog dient bijverwarmd te worden door de warmtepomp. De SPF voor SWW-productie stijgt hierdoor weer, maar doordat de WP vaker overdag zal moeten werken om het boilervat op temperatuur te houden, kan er onvoldoende gewerkt worden voor RV. Het discomfort neemt dan ook lichtjes toe. We kunnen besluiten dan een buffering tot een hogere temperatuur dus noodzakelijk is om de warmtepomp de nodige tijd te geven om de woning op temperatuur te krijgen en te houden. Indien er te vaak dient geschakeld te worden tussen RV en SWW, stijgt het discomfort.

### **Ondergedimensioneerde warmtepomp**

Er werd een kleiner type warmtepomp geplaatst, waardoor de elektrische bijstook vaker moet bijtreden. Dit is ook duidelijk te zien in de simulaties, hierdoor stijgen ook de werkingskosten en CO<sub>2</sub>-uitstoot op jaarbasis.

Doordat de warmtepomp kleiner gedimensioneerd is, stijgen de werkingstijden van de warmtepompunit en daalt het aantal aan/uitschakelingen.

Het discomfort stijgt lichtjes, er is een verschuiving van onderkoeling naar oververhitting waar te nemen.

## **WP 8: Evaluatie van de SPF-berekeningsmethodiek**

Dit werkpakket bestond uit de volgende taak:

*W8 – Taak 1 : Selectie van referentie-SPF-berekeningsmethodieken*

Dit werkpakket leunt dicht aan bij het werkpakket rond de literatuurstudie. Hierin werd de Europese Norm 15316 als standaard bepaald voor de bepaling van SPF in dit project. Meer details hierover vindt u op de webpagina rond de literatuurstudie of in bijlage 1 van dit verslag. ([Bijlage1: Literatuurstudie](#))



## WP 9: Connectie met EPB

Dit werkpakket bestond uit de volgende taak:

### *W9-Taak 1 : Nieuwe warmtepompsystemen in EPB*

In dit werkpakket werden geen nieuwe warmtepompsystemen in de EPB-software voorgesteld. Er werden wel andere, belangrijkere stappen gezet rond de integratie van warmtepompen in EPB. Gedurende de eerste 3 maanden van 2009 is er een grondige studie gebeurd van huidige warmtepompsystemen in de EPB-software. Om nieuwe warmtepompsystemen aan de EPB-software toe te voegen kan dit project enkel een adviserende functie vervullen. Er werd een rapport opgesteld: “WP in EPB, een kritische evaluatie” dat werd overgedragen aan VEA en het WTCB. Het verkregen antwoord (vanuit WTCB) werd gedeeld met de leden van de gebruikerscommissie. U kan dit rapport terugvinden in de bijlage: [Bijlage2: Warmtepompen in EPB, een kritische evaluatie](#)

Vervolgens werd de nieuwe VDI-richtlijn waarop de EPB-software zich baseert ook bestudeerd. Aan de hand van de hierbij bekomen besluiten werd een rekentool opgesteld voor VEA om de huidige warmtepompsystemen op een correctere manier in de EPB software te integreren. De aangeboden rekentool werd tevens vergeleken met de bekomen fieldmetingen binnen het project. Het rapport van dit werk vindt u ook in bijlage: [Bijlage 3: Warmtepompen in EPB, Voorstel tot aanpassingen](#)

Ten slotte werd er een tweede rekentool opgesteld voor de distributienetbeheerders om subsidies toe te kennen aan warmtepompsystemen in de renovatiemarkt op basis van een globale systeembenadering. Dit voorstel is afgewezen wegens tijdsgebrek om dit in te voeren en te complex. De rekentool kwam evenwel terug ter sprake tijdens het Stakeholderoverleg ‘Vlaams Actieplan Groene Warmte’ op 15 september 2009.



## WP 10: Uitbreiding van de Code van Goede Praktijk

De resultaten van WP-DIRECT vormen de rechtstreekse basis voor de uitbreiding van de huidige Code van Goede Praktijk voor de toepassing van warmtepompsystemen in de woningbouw.

Volgende zaken werden uitgebreid, aangepast of toegevoegd:

- Bronnen [Bijlage 7: Uitbreiding Code van Goede Praktijk \(DX en Lucht als bron\)](#)
- Afgiftesystemen
- Extra warmtepompsystemen
- Richtlijnen opleiding koeltechnieker [Bijlage 6: Uitbreiding Code van Goede Praktijk \(koeltechnieker\)](#)
- Economische analyse werd toegevoegd [Bijlage 7: Uitbreiding Code van Goede Praktijk \(Economische analyse\)](#)
- Quest label [Bijlage 8: Uitbreiding Code van Goede Praktijk \(Kwaliteitslabel in europa: EHPA\)](#)
- Kleiner aanpassingen

### Bronnen:

Hierin zijn enkele bronsystemen toegevoegd. Zo werd het directe expansie en lucht als bron toegevoegd. Voor deze beide systemen werden de belangrijkste aandachtspunten uitgezocht op vlak van dimensionering en implementatie.

### Afgifte:

Bij de afgiftesystemen werd lucht als afgiftesysteem toegevoegd. Dit systeem blijkt een sterke opmars te maken in de passieve woningbouw.

### Extra warmtepompsystemen:

Een systeem dat vandaag zeer veel aan populariteit wint is de warmtepompboiler. Bij een dergelijk systeem kan warmte uit omgevingslucht of ventilatielucht gehaald worden. Naar dimensionering en ontwerp zijn er in de code enkele aandachtspunten en dimensioneer technieken toegevoegd.

### Richtlijnen opleiding koeltechnieker zijn geïntegreerd

Warmtepompen werken steeds met ozonafbrekende stoffen of gefluoreerde broeikasgassen als koelmiddel. Daarom wordt sinds 2009 op verschillende overheidsdomeinen gewerkt aan wetteksten rond de uitbating, onderhoud en installatie van koelinstallaties. Warmtepompen vallen volledig onder deze wetgeving van koelmachines. (zie [bijlage 6](#))

### Economische analyse werd toegevoegd

Tijdens het project bleek er een zeer sterke vraag te zijn naar een objectieve economische analyse. We hebben in het kader van de uitbreidingen van de code voor goede praktijk warmtepompen dan ook ingespeeld op deze vraag. Er is aan de hand van meetdata die in dit project bekomen zijn, getracht een zeer gedetailleerd en duidelijk economische vergelijking te maken voor verschillende Warmtepompsystemen en enkele klassieke verbrandingsystemen.

- Gascondensatieketel
- Condenserende stookolieketel
- Geothermische warmtepompen

- Lucht warmtepompen

Voor het bepalen van de terugverdientijd van deze systemen wordt met volgende zakenrekening gehouden. Als eerste wordt er rekening gehouden met de stijging van de energieprijzen ten opzichte van de inflatie. Hiervoor zijn een 5-tal scenario's selecteerbaar (van -0,5 tot 2%). Vervolgens wordt er zeer gedetailleerd gekeken naar de investeringskosten van de individuele installaties. Er wordt per installatie ook gekeken welke subsidies anno 2011 voor dergelijke installaties van toepassing zijn. Ten slotte is er een extra tool toegevoegd die toelaat aan de hand van de specifieke werkingscondities van de warmtepomp en de COP van de fabrikant een betrouwbare schatting te maken van de SPF van de gehele installatie.

#### Quest label

Er is een tekst toegevoegd die het Quest-label als kwaliteit label in België verduidelijkt. De verschillende onderdelen worden hierin bondig besproken.

## WP 11: Publicatie en artikels

In dit werkpakket werden volgende publicaties verwezenlijkt:

- ODE-nieuwsbrief (01/2009)
- L'entreprise: Les pompes à chaleur dans le software PEB (12/2009)
- De Onderneming : WP in EPB-software (12/2009)
- Kluwer magazine: meten is weten: prestatie van bodemgekoppelde warmtepompen(02/2010)
- Posters:
  - 3<sup>th</sup> Strategic Energy Forum, Brussel (12/2008)
  - 4<sup>th</sup> Strategic Energy Forum, Brussel (12/2009)
  - Projectvoorstelling, De Nayer Instituut
- Toekomstige papers:
  - Influence of control parameters on the system performance of ground coupled heat pump systems: a simulation study
  - Monitoring the system performance factor of domestic heat pump systems in Flanders (Belgium)

Deze publicaties zijn ook terug te vinden op de website:

- <http://www.warmtepomp.info/publicaties.htm>
- [http://www.warmtepomp.info/WP\\_DIRECT\\_posters.htm](http://www.warmtepomp.info/WP_DIRECT_posters.htm)

## WP 12: Studiedagen en workshops

Volgende presentaties, studiedagen en workshops werden in het kader van WP-DIRECT uitgevoerd.

- Presentaties
  - VERA, energie in gebouwen: meten is weten, Kampenhout (10/2009)
  - Milieuraad, Kapellen(10/09)
  - Kamp C Duurzaam bouwen, Westerlo (04/2009) en (05/2010)
  - IEA-SHC-Task 44: Combination solar energy and heat pump (29-30/10)
  - Daikin Konwakai Meeting: Combination solar energy and heat pump (12-13/11)
  - VIBE een studiedag rond technologieën voor ruimteverwarming in Lage-energiewoningen en Passiefhuizen
- Studiedagen
  - Warmtepompsymposium (09/2009):
    - Warmtepompen in EPB
    - Voorstelling WP-DIRECT
  - Warmtepompsymposium (09/2010):
    - De impact van regelparameters op de prestatie van residentiële warmtepompinstallaties aan de hand van simulaties
    - Bespreking van de field-tests: WP DIRECT de Field metingen
- Workshops
  - Workshop WP in EPB (09/2009): Deze workshop was toegankelijk voor installateurs, fabrikanten, studiebureaus, architecten, ... Het ging over een interactieve workshop waarbij elke deelnemer een pc ter beschikking had om samen een oefening te maken rond warmtepompen in de EPB-software. Er waren 33 inschrijvingen.
  - Workshop TRNSYS simulaties (08/2010): Deze workshop was enkel toegankelijk voor de leden van de gebruikerscommissie. Er werd in detail ingegaan op de bekomen simulatieresultaten. Er werd informatie uitgewisseld om de resultaten verder te verfijnen voor de volgende vergaderingen van de gebruikerscommissie. Er waren 12 personen aanwezig.
  - Easy Fairs (09/2010): Op deze HVAC beurs in Brussel werdern 2 presentaties gegeven voor een relatief kleine groep van geïnteresseerden. In een eerste presentatie werd verder in gegaan op het werkingsprincipe van de warmtepomp en welke verschillende systemen er bestaan. Een tweede presentatie handelde over de integratie van warmtepompsystemen in de EPB-sotware. Deze presentatie leunde nauw aan bij de eerste workshop, maar het publiek was totaal verschillend.
    - Warmtepompen in EPB
    - Warmtepompen, De geheimen onthuld

## **WP 13: Website en project CD-ROM**

Gedurende de looptijd van het project werd de website regelmatig ge-update.

[www.warmtepomp.info](http://www.warmtepomp.info). Er was een afgeschermd deel van de website waar enkel de leden van de gebruikers konden inloggen. Hier werden de tussentijdse verslagen en presentaties geplaatst. Dit gedeelte zal ook na het project blijven bestaan. Dit verslag wordt op het publieke gedeelte van de website ter beschikking gesteld.