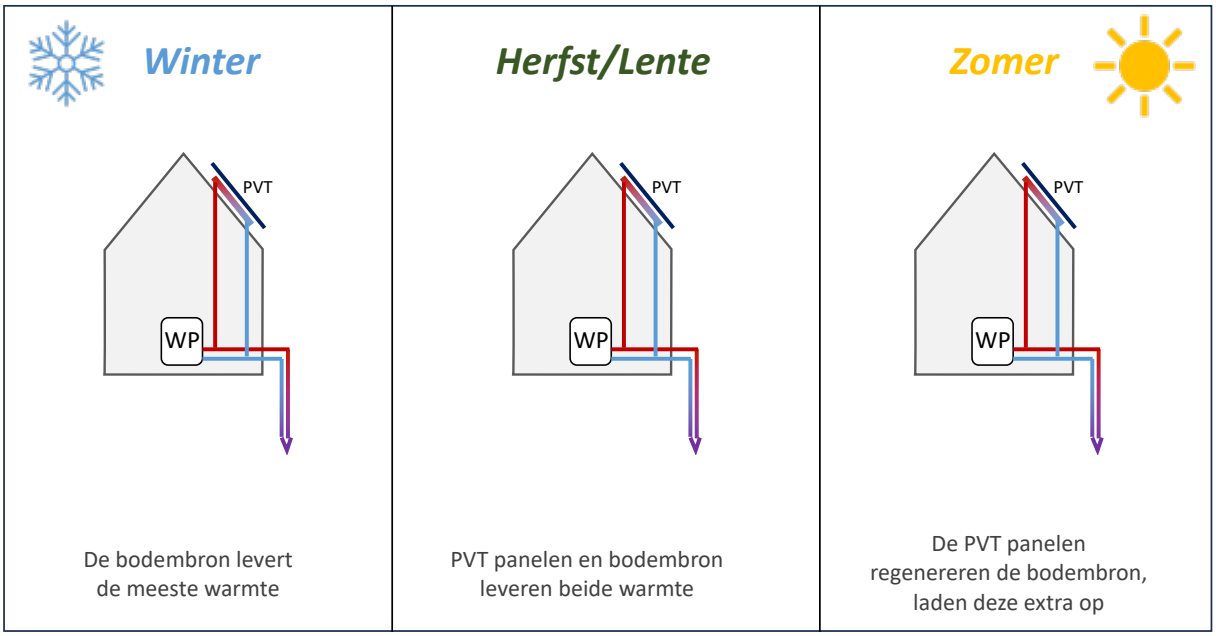
ZOBO – Zonnewarmte met Bodemopslag

Eindrapportage

Openbare versie



Het project is uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat en het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, Nationale regelingen EZK- en LNV-subsidies, Topsector Energie uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.

28 September 2023

Michiel Mensink
michiel@energist.nl

Inhoudsopgave

INHOUDSOPGAVE	**2**
SAMENVATTING	**3**
1 INLEIDING	**4**
2 DOELSTELLING	**6**
3 WERKWIJZE	**7**
4 RESULTATEN VAN HET PROJECT ZELF	**11**
5 MOGELIJKHEDEN VOOR SPIN-OFF EN VERVOLGACTIVITEITEN	**21**
6 DISCUSSIE	**23**
7 CONCLUSIE EN AANBEVELINGEN	**24**

Samenvatting

De centrale hypothese van dit project is dat veel woningen met een hoog gasverbruik het best aardgasvrij kunnen worden gemaakt met een warmtepomp op basis van twee bronnen: zonnewarmte en bodemwarmte.

Door de combinatie is de hoogste COP mogelijk en volstaat een relatief kleine bodembron. De extra kosten voor de PVT panelen worden terugverdiend door de kostenbesparing bij de bodembron.

Uitdagingen zitten in een goede regeling voor de twee bronnen en hoe de kosten te reduceren die worden veroorzaakt door de extra componenten en de extra installatie-arbeid.

Het pilotproject is ondanks enige vertraging toch vrijwel helemaal gerealiseerd binnen 1 jaar.
Veel doelstellingen zijn bereikt, waaronder:

- Een matig geïsoleerde woning met traditionele verwarmingen is aardgasvrij gemaakt met het ZOBO systeem, zonder enige verdere isolatie
- Het ontwikkelen en demonstreren van een nieuwe generatie PVT modules is geslaagd
- Een rekenmodel voor de dimensionering van ZOBO systemen is sterk verbeterd
- Een bronregeling is ontworpen en uitgebreid getest
- Diverse verbeteringen en vereenvoudigingen van het hydraulische systeem zijn ontwikkeld
- Er zijn concrete lijsten met stappen om de kosten verder te kunnen verlagen

Het onderzoek heeft vier belangrijke nieuwe inzichten opgeleverd:

i. de PVT panelen leveren meer en vaker warmte dan tevoren gedacht en gemodelleerd;
ii. de bodembron hoeft nooit worden afgeschakeld;
iii. een thermostatische mengkraan is niet nodig;
iv. beveiliging tegen ijsvorming is een must.

Achteraf was het een zeer ambitieus project - veel ontwikkeling met een klein team in een korte tijd. Er waren ook vele tegenslagen: van de vertraagde levering van componenten tot problemen bij de uitvoering en componenten die kapot gingen.

Het ZOBO concept is theoretisch ideaal - de hoogste COP en de laagste TCO (total cost of ownership). Helaas is het concept met de huidige warmtepompen nog te complex en te duur voor woningen.

Zelfs bij grotere woningen met een gasverbruik van 3.000- 5.000 m3 per jaar weegt de combinatie van extra installatietijd, de extra kosten voor de PVT panelen en de bronregeling, de extra complexiteit niet op tegen de besparingen door een kleinere bodembron. Als de bronregeling in een warmtepomp wordt geïntegreerd kan het wel financieel aantrekkelijk worden.

Voor grote gasverbruikers (>20.000 m^3), zoals zwembaden, sportverenigingen en bedrijven is ZOBO wel direct voordeliger in aanschaf. De besparing van bijna 2/3e van de kosten van de bodembron is hoger dan de extra uitgaven aan bronregeling, PVT panelen en extra installatie-arbeid.

De belangrijkste vervolgstappen:

1) Komende jaren focussen op ZOBO installaties bij grote gasverbruikers (>20.000 m^3/jr)
2) Samenwerken met een warmtepomp-producent voor integratie van oa de bronregeling

1 Inleiding

In Nederland zijn er circa 820.000 woningen die meer dan 2.000 m3 gas verbruiken (bron:CBS). Relatief oude of grote huizen, ongeveer 10% van de woningvoorraad.

Deze 10% woningen verbruikt **bijna 30%** van al het aardgas dat door woningen wordt gebruikt.

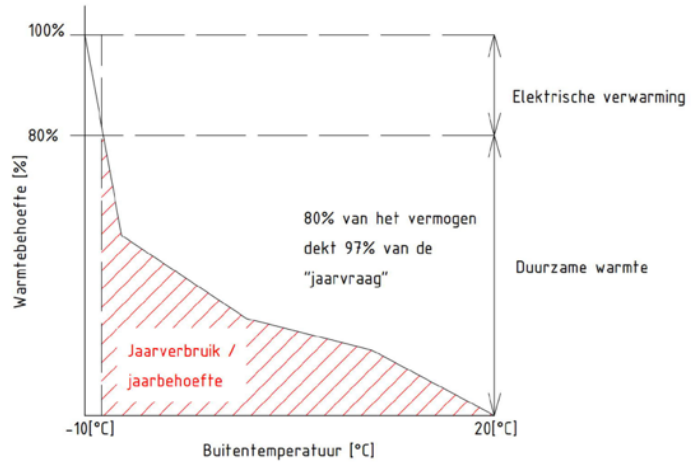
De warmtetransitie voor dit segment komt nauwelijks van de grond. Deze woningen hebben een hoge warmtevraag door matige isolatie (o.a. enkelsteens gevels). 'Eerst isoleren, dan een warmtepomp' is de oplossing die door beleidsmakers, adviseurs en politici wordt gepropageerd.

Maar dit gebeurt zelden. Omdat het isoleren van zo'n huis vaak zeer kostbaar is (> €100.000) en ingrijpend (3 maanden het huis uit). Het is in de praktijk alleen mogelijk als het huis is verkocht - en dan alleen als de nieuwe kopers nog geld over hebben na biedingsstrijd en must-do renovaties.

Het consortium wil twee hypotheses via dit pilotproject toetsen:

1) Eerst isoleren is niet nodig: direct aardgasvrij kan bij veel matig geïsoleerde woningen
2) Een ZOBO systeem is de beste oplossing voor veel woningen met een hoog gasverbruik

Een groot punt van zorg bij mensen die een warmtepomp overwegen is of het huis voldoende warm wordt. Maar zelfs als de warmtepomp te weinig vermogen zou leveren bij strenge vorst is er meestal geen man overboord: met een houtkachel of elektrisch straalkacheltje kan worden bijgestookt als de warmtepomp te klein blijkt.



Figuur 1: Een warmtepomp die niet op 100% is gedimensioneerd maar op 80% van het thermisch vermogen dat nodig is bij strenge vorst (-10 graden Celcius), kan 97% van de jaarvraag aan warmte dekken. Bij een lagere buitentemperatuur kan een back-up worden bijgeschakeld (zoals houtkachel, gashaard, elektrische verwarming). In de praktijk is 100% van het benodigde thermisch vermogen wel raadzaam om het huis voldoende snel op te kunnen warmen.

Het ZOBO systeem bestaat uit een water-water warmtepomp met twee warmtebronnen:
PVT panelen en een bodemwarmtewisselaar (bodembron).

Met thermische absorbers wordt de zonnewarmte (T) van de zonnepanelen(PV) geoogst. Met deze zonnewarmte wordt de bodembron in de zomer opgeladen van bijvoorbeeld 10 naar 16 graden. Deze extra warmte wordt er in de winter weer uitgehaald.

Uit literatuur en het rekenmodel kwam de prognose dat een ZOBO systeem:

- het hele jaar door een hogere brontemperatuur heeft waardoor het rendement 5-15% hoger is dan *alleen* een bodemwarmtebron;
- toe kan met een 3 keer kleinere bodembron die daardoor minstens de helft goedkoper is.

De bodembron kan zoveel kleiner vanwege de 100%+ regeneratie en omdat de benodigde warmte deels direkt door de PVT panelen wordt geleverd.

Een ZOBO systeem heeft voordelen ten opzichte van andere oplossingen*:*

- Rendement (sCOP) 40-50% hoger dan een lucht-warmtepomp
- Rendement (sCOP) 20-30% hoger dan een warmtepomp met alléén PVT panelen als bron
- Rendement (sCOP) 10-15% hoger dan PV met een bodemgekoppelde warmtepomp
- Stil - geen lawaaierige buitenunit
- In de zomer is passief koelen mogelijk - via de koele bodembron en het cv systeem
- Maatschappelijk voordelen: minder belasting van het elektriciteitsnet[a]

Cruciaal inzicht is dat zonnepanelen ongeveer 20% van het zonlicht omzetten in elektriciteit en dat 80% normaal wordt omgezet in warmte (en een paar procent gaat verloren via reflectie).
Als je deze warmte kan oogsten kan een zonnepaneel met 500 Wp electrisch vermogen in volle zon maar liefst 2 kWp, dus **vier keer zoveel** thermisch vermogen leveren.

Om een gevoel te krijgen hoeveel je er in de praktijk aan hebt maakten we inschattingen gemaakt voor een voorbeeldwoning:

- Jaren'30 woning, 200 m^2, matige isolatie/geen spouw, hoekhuis, gezin met 2 kinderen
- Op het dak aan de achterzijde passen 16 zonnepanelen van 375 Wp; PV vermogen 6 kWp_{el}
- Gasverbruik per jaar: 3.600 m^3 ofwel 32 MWh_{th}[b]
- Aanname: sCOP van 4.0 met het ZOBO systeem. Dit geeft de volgende inschattingen:
    - De warmtepomp verbruikt 8 MWh elektriciteit (= 8 MWh_thermisch vermogen)
    - De bodembron en PVT panelen leveren de bronwarmte: 24 MWh_{th} (32-8)

Als de zonnewarmte efficiënt kan worden 'geoogst' leveren 6 kWp_{el} aan PVT panelen in volle zon circa 24 kWp aan warmte[c]. In Nederland, met typisch 900 vollasturen, komt dit neer op 21 MWh_{th} aan warmte via de zoninstraling.

Daarnaast kan warmte aan de buitenlucht worden onttrokken op de momenten dat de PVT panelen kouder zijn dan de buitenlucht. Dat is het geval wanneer de retourtemperatuur van het medium lager is dan de buitentemperatuur. Dit is zeer vaak het geval, en zo kan met gemak 10 MWh_{th} worden gewonnen. Zo leveren de PVT panelen circa 31 MWh_{th}, dus meer dan er nodig is. De bodembron is hierdoor puur een thermische opslag die netto wordt 'opgeladen' en die zo een hogere bron-temperatuur krijgt.

[a] Ca 50% lager vermogen en lager verbruik bij vorst
[b] Op basis van 8,8 kWh_{th} per m^3 aardgas, de onderste verbrandingswaarde zonder condensatiewarmte. Omdat een HR ketel ingesteld op CV temperatuur 60-80C nauwelijks condensatiewarmte terug wint.
[c] Aanname: de zonnepanelen hebben door de warmteonttrekking dezelfde temperatuur als de buitenlucht.

2 Doelstelling

Verduurzaming voor woningen met een hoog gasverbruik moet aantrekkelijk worden gemaakt. Daarvoor is een terugverdientijd onder de 10 jaar nodig.

In theorie is een ZOBO systeem ideaal. Er zijn drie grote belemmeringen die in het project worden onderzocht:

1. Een ZOBO systeem is duur en complex om te installeren:
    a. er zijn geen goedkope PVT panelen, ontworpen om zonnewarmte te oogsten;
    b. bepaalde componenten (bronregeling) zijn niet *of-the-shelf* beschikbaar
    c. het installeren van twee bronnen vergt meer installatietijd
2. Het is onbekend hoe het systeem moet worden gedimensioneerd en wat het kost
3. Het is onbekend of een huis zonder verdere isolatie van het gas kan worden gehaald

Het consortium wil met dit project de werking valideren en de kosten verlagen van ZOBO systemen.

Het consortium wil deze problemen oplossen door:

- de systeemkosten met 25-35% te verlagen via:
    - ontwikkeling van *lower-cost* PVT panelen
    - ontwikkeling van nieuwe werkprocessen en andere materiaalkeuzes
- de berekeningen in het rekenmodel te valideren
- het systeem als pilot-installatie te testen in een typische doelgroep-woning

3 Werkwijze

Deelnemers en penvoerder

Het project wordt uitgevoerd door drie innovatieve bedrijven:

- **Dimark Solar** - een ontwikkel- en productiebedrijf dat al eerder succesvol indak-PVT modules heeft ontwikkeld en getest in de TKI projecten 'Inshape' en 'Wensdak', en daarnaast ruime ervaring heeft opgedaan met verschillende projecten en installaties van deze indak-PVT's;
- **Energy Guards -** een snelgroeiend installatiebedrijf dat zich richt op de verduurzaming van woningen. Het heeft in honderden woningen warmtepompen geplaatst en zonnepanelen in nog veel meer woningen; het heeft eigen software ontwikkeld voor o.a. monitoring van gas- en stroomverbruik en storingen bij haar klanten;
- **Energist - penvoerder.** Een engineering- en adviesburo dat een gedetailleerd rekenmodel heeft ontwikkeld waarmee opties om gasverbruik te reduceren of elimineren in korte tijd kunnen worden gedimensioneerd (vermogen warmtepomp, diepte bodembron etc) en vergeleken m.b.t. investering en terugverdientijd.

Het project is opgedeeld in vier werkpakketten om de verschillende doelstellingen te bereiken. De werkpakketten worden hieronder kort toegelicht.

Werkpakket 1 - Ontwikkel en test nieuwe low-cost PVT-module

Achtergrond

Naast Dimark Solar hebben enkele andere Nederlandse bedrijven (Triple Solar, R&R projects, Escom, UAE) PVT panelen ontwikkeld. Het probleem is echter dat deze bestaande PVT panelen niet gericht zijn op het efficiënt oogsten van zonnewarmte; zij willen vooral warmte uit de lucht oogsten, ook in de winter. Deze PVT panelen bestaan daarom uit veel 'lamellen' voor een groot contactoppervlak met de lucht. Een tweede probleem is de hoge prijs: één PVT module op basis van een 400 Wp zonnepaneel kost €700-900 terwijl het zonnepaneel zelf slechts € 100 kost.

Een PVT-paneel is bij zonnig weer het meest nuttig:

- De buitentemperatuur is hoger dan in de nacht waardoor de COP hoger wordt.
  Immers hoe hoger de brontemperatuur hoe beter het rendement van de warmtepomp.
- Doordat overdag energie wordt onttrokken koelen de zonnepanelen af;
  dit geeft een licht gunstiger rendement voor de PV panelen.

Bij lage temperatuur (<2℃) en zonder zon gaat de COP van een PVT systeem snel onderuit.
Een PVT-systeem paneel moet dan warmte onttrekken aan de (koude) buitenlucht, terwijl de warmtebehoefte op die momenten juist groot is.

Vergroten en oplossing bedenken voor de half-cell module

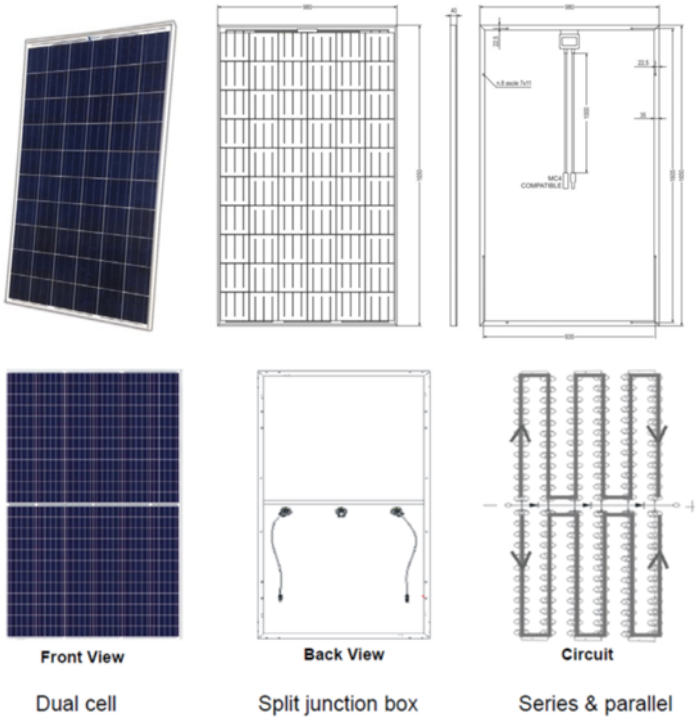
Voor het gewenste low-cost PVT paneel zijn thermische componenten nodig die passen bij een standaard zonnepaneel, 6 keer zo groot als het indak-PVT paneel dat Dimark ontwikkelde.
Dit betekent ook koppelingen en hydraulische aansluitingen die een groter debiet aan kunnen.

Ten tweede is het ontwerp van standaard zonnepanelen is drastisch veranderd (zie figuur 2). Tot 2020 was het 60-cels paneel de universele standaard. Vrijwel alle panelen hadden afmetingen van ca 163 x 92 cm en bestonden uit 6 strings van 10 cellen, met 1 junction box midden bovenin.

Vanaf 2020 werd de 'half-cell' module geleidelijk de standaard, waarbij cellen (vaak met iets grotere afmetingen) door het midden waren gesneden en als 120 halve cellen werden geassembleerd. Groot

verschil is dat de module in twee helften van elk 60 halve cellen werd opgedeeld, waarbij de helften parallel aan elkaar werden verbonden. Niet via 1 grote j-box midden bovenin maar via 3 kleine j-boxen in het midden van de module.

Dit betekent dat er nu niet meer één grote absorberplaat kan worden gebruikt.



Figuur 2: Oude 60-cells panelen (zie boven) hebben vooral het kenemerk van hele PV-cellen, verbonden aan één Junctionbox, bovenaan in het midden. De nieuwe generatie heeft een grotere afmeting, groter vermogen en kenmerkt zich door zgn. half-cell techniek met meestal drie separate J-boxen in het midden.

Dimark heeft in dit werkpakket een low-cost PVT module ontwikkeld op basis van deze nieuwe generatie standaard PV panelen, via een universeel systeem met thermische absorbers die op een ruime keuze aan standaard PV modules passen.

Het is daarbij de uitdaging te komen tot een ontwerp dat:

- betrouwbaar en robuust is (lange levensduur, onderhoudsvrij, geen lekkages)
- efficiënt is (veel warmte absorberen van het zonnepaneel en van de buitenlucht)
- lage materiaal- en productiekosten heeft
- gemakkelijk en snel kan worden geïnstalleerd op het dak

Activiteiten

1. *Ontwerp*- eisen vaststellen, ontwerpopties genereren, evaluatie, uitwerken beste opties
2. *Produceer prototypes* - ontwerpen en nulserie absorbers, bevestiging, koppelingen
3. *Test assemblageprocessen* - kwaliteitscontroles, assemblagetijd en -kosten
4. *In-house tests* - elimineer technische risico's (klimaatkamer, mechanische tests)
5. *In-house tests* - test installties op een schuin en een plat dak; procedure
6. *Test installatieproces in het pilot project*
7. *Meet en analyseer de prestaties in het pilot project*

Werkpakket 2 - Ontwikkel en test een bronregeling met datalogging en storingsmonitoring

Toelichting bronregeling

Bronkeuze

Als de zon schijnt kan de benodigde warmte van de PVT panelen komen en hoeft de bodembron niet te worden belast. Als de PVT panelen te weinig warmte kunnen leveren moet de bodembron worden ingeschakeld.

Regeneratie of opladen van de bodembron

Als de zon schijnt maar er is geen warmtevraag vanuit de woning (voor de verwarming of voor het boilervat), dan kunnen de PVT panelen de bodembron 'opladen' door de circulatiepomp van het broncircuit aan te zetten. Het water-glycol mengsel van het broncircuit wordt dan eerst door de PVT panelen geleid om op te warmen en vervolgens stroomt het door de bodembron om de opgenomen warmte weer af te staan. De compressor van de warmtepomp en de CV-circulatiepomp blijven uit.

Uitdaging - WP's niet ontwikkeld voor twee bronnen

Regeneratie lijkt technisch eenvoudig. Maar de grote uitdaging bij een ZOBO systeem is dat bestaande water-water warmtepompen zijn ontwikkeld en ontworpen op basis van slechts één warmtebron en niet voor twee warmtebronnen.

Bronregeling

Daarom moet een 'bronregeling' worden ontwikkeld. De bronregeling werkt samen met de besturing van de warmtepomp. Deze regeling heeft diverse temperatuursensors als input en stuurt een aantal driewegkleppen en de broncirculatiepomp aan, zodat steeds de optimale warmtebron wordt gekozen en zodat de bodembron wordt geregenereerd. De bronregeling vereist daarom een goed ontwerp van hardware inclusief controller unit, sensors, interactie met warmtepomp, schakelkleppen en ontwikkeling van software. De controller voor de bronregeling wordt ook voor monitoring gebruikt.

Toelichting datalogging

Om in een later stadium de prestaties te kunnen meten, analyseren en kwantificeren van zowel de PVT panelen als het gehele ZOBO-systeem, moeten metingen van vele sensors steeds worden opgeslagen over een lange periode:

- temperatuursensors op vele locaties
- debietmeters (welk volume per minuut stroomt door het broncircuit en het CV-circuit)
- weergegevens

Belangrijkste functionele eisen zijn hierbij: de gegevens worden continu, met voldoende frequentie (elke 1/5/15 minuten) opgeslagen en kunnen gemakkelijk worden uitgelezen, ook op afstand via internet. Er is zowel een data-download functie als een visueel 'dashboard'.

Activiteiten

1. *Bronregeling*
    a. Functionele analyse en specificaties
    b. Selecteer en installeer de hardware
    c. Software ontwikkeling
    d. Test de bronregeling
2. *Monitoring*
    a. Functionele analyse en specificaties
    b. Selecteer / installeer hardware
    c. Software ontwikkeling
    d. Testen

WP 3 - Realiseer de pilot-installatie en analyseer de prestaties

Ontwerp en realiseer de pilotinstallatie in een bestaande woning.
Test en analyseer de prestaties van zowel de PVT panelen als van het gehele ZOBO systeem.

Doelen

- Test de werking en prestaties van de PVT panelen
- Test de werking van de bronregeling
- Test het sonisch boren
- Analyseer de prestaties (is het - snel genoeg- warm; COP)
- Analyseer het installatieproces en ontwikkel een sneller proces

Activiteiten

1. Ontwerp de pilotinstallatie
    - systeem architectuur
    - dimensionering van de componenten
    - selecteer componenten op basis van specificaties en prijs
2. Realiseer de pilot installatie
    - realiseer een functionerend systeem
    - analyseer alle werkprocessen
3. Ontwikkel een korter en sneller werkproces
4. Analyseer met behulp van alle meetgegevens de prestaties van:
    a. de PVT panelen
    b. het systeem (COP, warmte, opwarming, geluid, ontwikkeling brontemperatuur en -capaciteit)

WP 4 - Gevalideerd 'Rekenmodel' voor dimensionering

Penvoerder Energist heeft een uitgebreid rekenmodel ontwikkeld op basis van literatuur en eigen analyses.

Doel van dit model is het bepalen van het warmtepompvermogen, het aantal PVT panelen en de diepte van de bodembron. Vervolgens worden deze gegevens gebruikt om de benodigde investering te berekenen en de terugverdientijd via drie scenario's voor gas- en stroomprijzen.

Doelen binnen het ZOBO project

- De deelsimulaties van het rekenmodel (PVT, bodembron, benodigde warmte) worden getoetst aan de pilotinstallatie en verbeterd
- De rekenregels in het model voor oa bronkeuze en dimensionering worden getoetst aan de pilotinstallatie en verbeterd

Activiteiten

1 - Als het pilotproject 6 maanden draait: download en analyseer alle gegevens via de cloud-interface.
2 - Controleer of verbeter het rekenmodel.
3 - Analyseer de COP van he systeem en de benodigde diepte van de bodembron
4 - Trek conclusies over de commerciële perspectieven voor ZOBO

4 Resultaten van het project

Samenvatting

Resultaten per hoofdoelstelling

Doelstellingen ***"Het ZOBO systeem biedt een oplossing die:***	**Evaluatie**	**Toelichting evaluatie**
1 - de woning aardgasvrij of 'aardgasvrij-ready' maakt	✓	Ja, gerealiseerd en bewezen met pilot installatie
2 - het hoogste comfort geeft	✓	Passieve koeling werkt (al geldt dit ook voor een grote bodembron)
3 - een terugverdientijd heeft van 10 jaar of minder	✓	Voor grote gasverbruikers grote kans, daaronder kleinere kans.
4 - het milieuvriendelijkst is door laagste stroomverbruik	?	Grote kans maar het COP voordeel kon nog niet worden gemeten binnen de looptijd
5 - binnen 5 werkdagen, met minimale overlast, vrijwel overal kan worden gerealiseerd	✗	Vergt helaas nog meer dan 5 dagen installatietijd

Resultaten per sub-doelstelling

Subdoelstellingen van het project	**Evaluatie**	**Korte toelichting evaluatie**
1. Betrouwbare en goedkopere PVT panelen	✓	De DIMARK PVT panelen absorberen warmte van de PV panelen met hoge efficiency en hebben een ca. 30% lagere prijs tov bekende PVT panelen
2. Het systeem kan het huis voldoende warm houden	✓	De installatie werd aangezet op 1-12-22, de gasketel werd toen afgeschakeld. Ondanks tegenslagen in het project werd het huis voldoende warm en is er sindsdien geen gas meer gebruikt.
3. Monitoring van gegevens en storingen	✓	Gegevens van 16 temperatuursensors en 2 debietmeters worden continu uitgelezen en in de cloud opgeslagen; toegankelijk via een dashboard en als download. Storingen kunnen leiden tot een foutmelding per email.
4. Goed regeling tussen PVT, bodembron en warmtepomp	✓	Er is een goede bronregeling ontwikkeld. Werkt redelijk op basis van 'passieve koeling'. Helaas niet optimaal door ontbrekende communicatie met de warmtepomp. Wordt nog verbeterd.
5. Rekenmodel voor dimensionering en prestaties (COP) is gevalideerd	✓	Het rekenmodel bleek te moeten worden aangepast. Validatie is nog niet gereed omdat er meetgegevens nodig zijn van een winterperiode. Hier wordt nog verder aan gewerkt.
6 - Vermindering installatie-arbeid	✓	Het project vergde meer arbeid dan tevoren ingeschat. Er is wel een nieuw werkproces met aangepaste materialen bedacht om te komen tot deze reductie van installatie-uren.
7 - Validatie van een goedkopere boortechniek	✗	Sonisch boren bleek wel te werken maar het blijkt een aanzienlijk duurder proces tov spoelboren; veel duurdere machine en aanzienlijk langer proces.

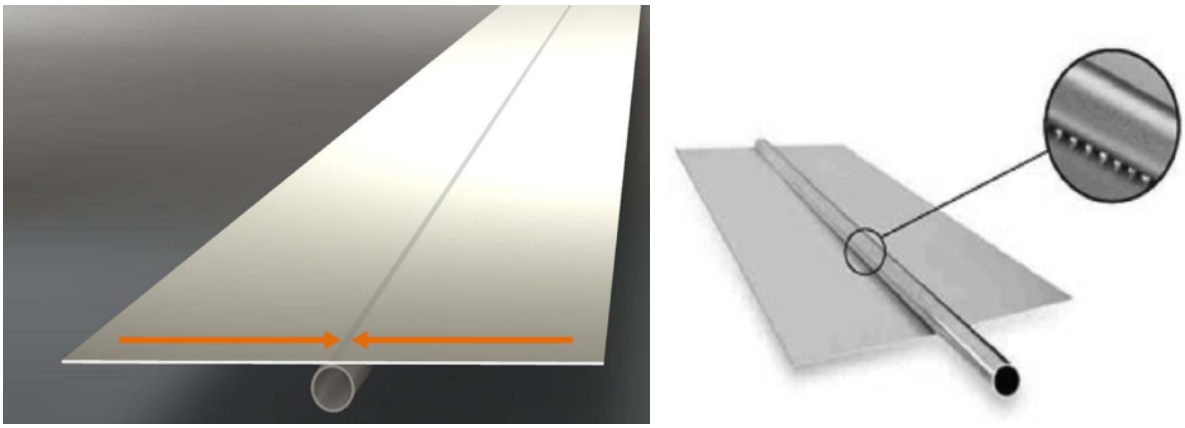
Hieronder worden de resultaten in meer detail besproken per werkpakket.

4.1 Resultaten werkpakket 1: PVT panelen

Dimark Solar koos voor een thermische aluminium absorber als een ‘Direct Flow’ warmteabsorber.

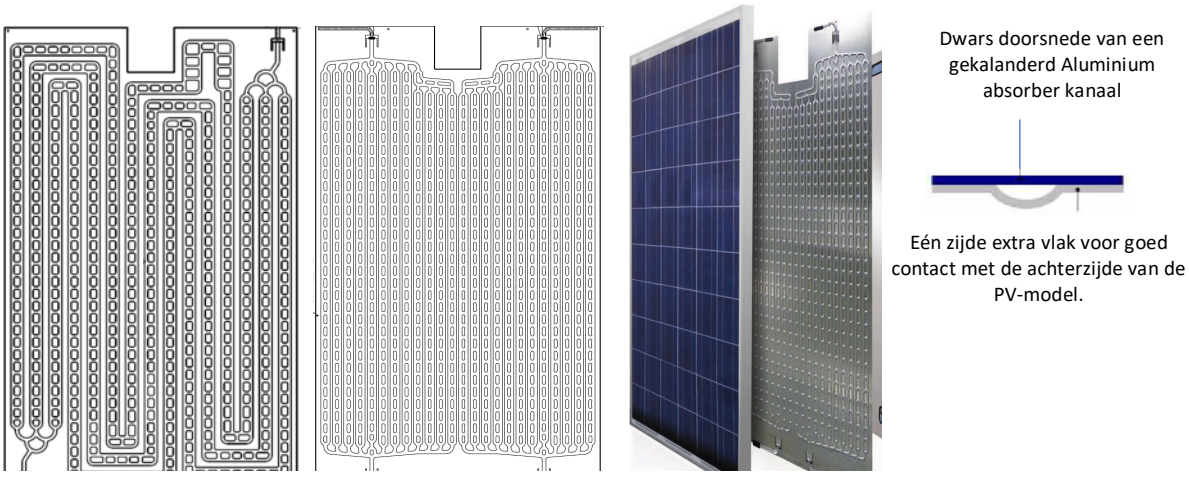
De door Dimark gekozen technologie voor de warmte-absorbers heeft als voordelen:

- De absorber wordt van aluminium gemaakt, lagere materiaalkosten in vergelijking met Cu/Cu- en Cu/Al-absorbers.
- *Proven technology* waarbij het kanaalontwerp en afmeting kan worden aangepast.
- De gekalanderde ‘direct flow’ aluminium absorbers leveren de beste prestaties (zie toelichting fig. 4 en fig. 5).
- De gekozen aluminiumlegering kan goed beschermd worden tegen corrosie.



Figuur 4: Het traditionele ontwerp van een Alu/Alu vlakke plaat warmte absorber. Warmte geleiding gebeurt in de meeste gevallen over een lengte van 50(mm), vanuit de Alu-plaat in een Alumium buis door een smalle lasnaad. Vanuit het buisoppervlak wordt de warmte overgedragen aan de vloeistof (meestal een glycol mengsel).

Het ontwikkelen van een generieke PVT-module voor de nieuwe generatie standaard zonnepanelen, op basis van aluminium warmte absorbers was daarom een logische keuze.



Figuur 5: Het ‘direct flow’ ontwerp van de eerder door Dimark Solar geteste Aluminium warmte absorbers. Warmte geleiding gebeurt over het volledige vlak van de Alu-plaat vanuit goed geventileerd contact met de achterzijde van de PV-plaat en de buitenlucht, direct in het absorber kanaal.

Resultaat
Alle doelstellingen voor dit werkpakket zijn behaald.

4.2 Werkpakket 2: Bronregeling en meetsysteem

Dit werkpakket was uitdagend maar is tot een goed einde gebracht waarbij vrijwel alle doelstellingen zijn behaald. De bronregeling en het meetsysteem maken gebruik van dezelfde controller, dezelfde sensors en andere componenten. Hieronder worden de doelstellingen en resultaten nader toegelicht.

Bronregeling

Functionele eisen
De belangrijkste eisen aan de bronregeling zijn:

- Bronkeuze: De PVT en/of de bodembron worden op de juiste momenten in- of uitgeschakeld
- Regeneratie: de bodembron wordt geregenereerd als dit mogelijk en zinvol is
- Regeneratie: de circulatiepomp levert het debiet dat past bij de omstandigheden

Resultaten bronregeling

Functionele eisen	Resultaat	Toelichting
1. Bronkeuze: De PVT en/of de bodembron worden op de juiste momenten in- of uitgeschakeld.		Na het bekijken van meetgegevens bij verschillende soorten weer en verschillende hoeveelheden warmtevraag, blijkt dat het bronsysteem systeem op de juiste momenten schakelt.
2. Regeneratie: de bodembron wordt geregenereerd als dit mogelijk en zinvol is.		Niet optimaal vanwege ontbrekende communicatie met warmtepomp. Hierdoor nu alleen mogelijk via passieve koeling; de warmste momenten worden daardoor wel meegenomen.

Evaluatie per onderdeel / component	Resultaat	Toelichting
Hardware		Alle componenten functioneren naar behoren: de controller, de sensors, de drie-wegkleppen. Er zijn wel verbeteringen.
Interactie met warmtepomp		Helaas nog niet gelukt; hiervoor is medewerking en actie van de warmtepomp-producent nodig.
Software		Functioneert prima voor de bronkeuze, zou ook moeten functioneren bij de regeneratie.
Logica en parameters		Het lijkt erop dat de logica compleet is en dat de juiste settings voor de parameters zijn gevonden.

Monitoring- /meetsysteem

Specificaties
In het projectplan werd dit systeem het *monitoringssysteem* genoemd. Een betere naam was geweest *meetsysteem*. Want het primaire doel is het doorlopend meten en vastleggen van de meetgegevens voor een goed begrip van het systeem en ten behoeve van analyses van de prestaties.

De volgende eisen zijn opgesteld:

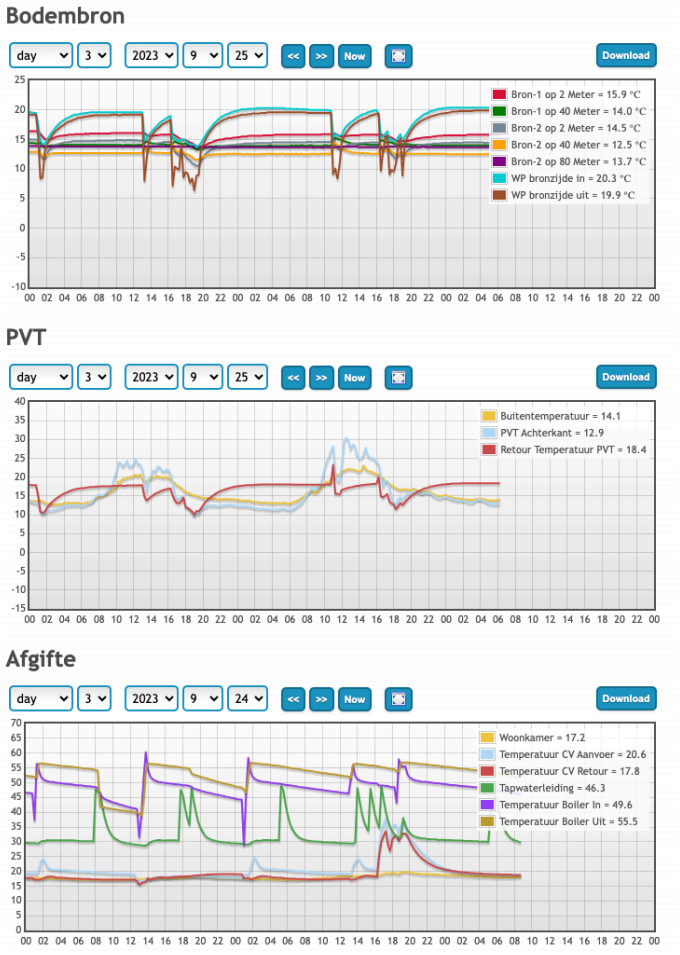
- *Overmaat aan temperatuursensors* (voor analyse en goed begrip)

- *Flowmeters (debietmeters) in het broncircuit en het cv-circuit*
  -> Met het temperatuurverschil over de ingang en de uitgang kan de getransporteerde warmte worden berekend; dit is nodig voor een kwantitatieve analyse
- *Eén controller voor meetsysteem en bronregeling*
  -> Voldoende I/O's aanwezig zijn en voldoende rekencapaciteit
- *Datalogging in de cloud*
  - > zodat gegevens veilig worden bewaard en op afstand kunnen worden uitgelezen

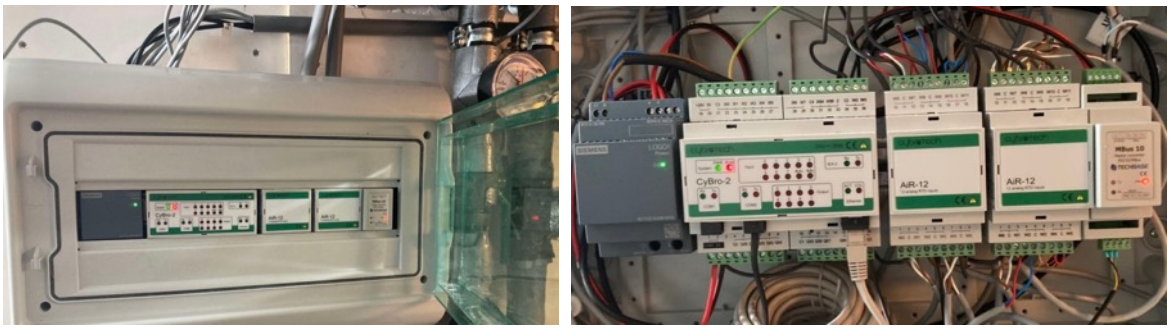
Vertraging in de realisatie
Door diverse oorzaken ontstond een flinke vertraging in dit project. Vanaf half maart 2023 konden alle temperatuursensors correct worden uitgelezen. De flowsensors konden pas later worden uitgelezen. Figuur 9 en 10 tonen de resultaten van dit werkpakket.

Resultaten
Alle gestelde doelen zijn gerealiseerd:

- alle temperatuursensors en de twee debietmeters kunnen worden uitgelezen
- uitleesfrequentie is instelbaar: elke 1, 5 of 10 minuten
- de controller unit van het meetsysteem kan ook voor de bronregeling worden gebruikt
- de gegevens worden opgeslagen in de cloud
- gegevens zijn toegankelijk via een webinterface; via een browser kunnen de sensors realtime worden aflezen of over lange periode worden gedownload (zie figuur 9)



Figuur 9: Weergave van het dashboard met alle sensors via een internetbrowser op 27-9-23.



Figuur 10*:* Controller unit voor de bronregeling en het meetsysteem.

4.3 Werkpakket 3: Pilot-installatie

Doelen pilotinstallatie

A. Realiseer de pilotinstallatie in een typische doelgroep-woning
B. Test de werking en prestaties van de PVT panelen
C. Test de werking van de bronregeling
D. Test het sonisch boren
E. Analyseer de prestaties van het systeem - kwalitatief en kwantitatief
F. Analyseer het installatieproces en ontwikkel een sneller proces

Hieronder wordt elke doelstelling geëvalueerd.

A. Ontwerp, dimensionering en realisatie van de pilotinstallatie

Woning typisch voor de doelgroep
De woning voor de pilotinstallatie is typisch voor de doelgroep (10% hoogste gasverbruikers), en bevindt zich in een jaren dertig wijk in Den Haag. De woning kan als volgt worden beschreven:

- Bewoners: gezin met twee schoolgaande kinderen.
- Gasverbruik gemiddeld 3600 m3/jr afgelopen jaren.
- Elektrisch verbruik 4,5 MWh / jr.
- Hoekwoning met matige isolatie: enkelsteens muren en voorzetramen op de BG.
- Aan de achterkant op een schuin dak plaats voor PV panelen.
- CV: Gasketel bij vorst op 75C, op zolder.
- Verwarmingssysteem:
    - BG: convectorputten
    - 1e verdieping: convectors
    - 2e verdieping: plaatradiatoren

Grote vraag en zorg van de bewoners: als de CV ketel op 75C staat terwijl de warmtepomp maximaal 55C kan leveren, wordt het dan niet te koud in de winter? Is de gasketel nog nodig als backup?

Andere vragen van de bewoners: hoeveel geluid maakt de warmtepomp; werkt de passieve koeling en hoe snel wordt het warm in huis?

Dimensionering van het systeem
Het ZOBO systeem is gedimensioneerd om de woning van het aardgas af te kunnen halen.
De gasketel bleef in de winter aangesloten als backup maar werd in April verwijderd.

Berekeningen door het rekenmodel van Energist gaven de volgende dimensionering:

- *Warmtepomp - 12 kW_{th}*
  Uit het rekenmodel bleek dat bij -10C buiten ca 11.5kW verwarmingsvermogen nodig is. Een warmtepomp van 12 kW was beschikbaar en werd daarom gekozen.
- *PVT panelen – 16 stuks*
  - Oppervlak van de PV panelen 30 m^2, PV vermogen 6.0 kW
  - Thermisch vermogen van de thermische absorbers: ca 24 kW in volle zon
  - De zonnepanelen leveren ca 5 MWh_elektrisch
- *Bodembron*: *3 keer kleiner dan normaal*
  In overleg met Groundresearch werd gekozen voor 2 boorgaten met elk een lengte van 80 meter; in totaal 160 meter. Dit is een *factor 3* kleiner ten opzichte van de boorgatlengte als alleen een bodembron zou worden toegepast; normaal gesproken zou ca 500 m nodig zijn. Dit bleek zowel uit het rekenmodel van Energist als uit de veelgebruikte software 'Earth Energy Design'.

Realisatie
Er ontstond veel vertraging door talloze oorzaken, onder andere de lange levertijden van het boilervat en driewegkleppen. Officiële startdatum van het project was 1 April 2022. We hadden gehoopt om de pilotinstallatie te realiseren in September – zodat de bodembron nog kon worden ‘opgeladen’.

De warmtepomp arriveerde in Juli en het aanleggen van de bodemlussen was afgerond in Augustus'22. De PVT panelen werden geïnstalleerd in Oktober. Helaas liep het verdere installeren van de pilotinstallatie uit tot November. De installatie was gereed en ging aan op 1 December 2022.



Figuur 11*:* a) het installeren van de PVT panelen b) de warmtepomp.

B. Test de werking en prestaties van de PVT panelen
Installatieproces van de PVT panelen ging verrassend snel, weinig extra nodig ten opzichte van het installeren van reguliere zonnepanelen. Aansluiten van de hydraulische leiding en verdeler naar de PVT panelen kostte wel meer uren dan voorzien. De PVT panelen werken goed en efficiënt - veel warmte wordt onttrokken aan de zonnepanelen als de zon schijnt.

Voor meer informatie en details: zie paragraaf 2.5.a.1 Werkpakket 1: PVT panelen.

C. Test de werking van de bronregeling

Dankzij de pilotinstallatie kon de bronregeling en het gehele systeem worden getest – de bronkeuze en de regeneratie. Het testen is geslaagd en leverde nieuwe inzichten op in de bronregeling waaronder extra uitschakelcondities en extra inschakelcondities. Deze worden in § 5 hieronder nader toegelicht.

D. Test het sonisch boren

Achtergrond

Voor een verticale bodemwarmtewisselaar zijn gaten van 50-200 meter diepte nodig met een diameter van 10 cm. Daarin komt een bodemlus of 'aardsonde' die bestaat uit 2 kunststofleidingen die onderin met een U bocht zijn verbonden, elk met een diameter van ca 4 cm. De standaard boortechnologie hiervoor is spoelboren. Een grote boorinstallatie, vaak zeer zwaar op rupsbanden, machine draait en drukt holle buizen van ca 4 meter lang in de grond. Op de onderste buis is een boorkop bevestigt met een iets grotere diameter dan de buis. De boorinstallatie pers water door de binnenkant van de buis onder hoge druk naar beneden. Het water spoelt bij de boorkop het boorgruis (zand/grint/klei) weg, dit komt in de ruimte tussen de buitenkant van de boorbuis en de wand van het boorgat omhoog. Bovengronds wordt het opgevangen in bezinkbakken en deels hergebruikt. Uit een voorraadbak wordt door de installatie halfautomatisch steeds een nieuwe buis gepakt. Met schroefdraad wordt deze in de buis eronder gedraaid en zo gaat het proces door.
Een nadeel van spoelboren is dat elke 100 meter boorgat ongeveer 1 m^3 boorgruis oplevert die naderhand moet worden afgevoerd. Bovendien zijn er evenveel kubieke meters grout, cement en zwelklei nodig om het boorgat na het plaatsen van de bodemlus weer op te vullen. Dit is onhandig en duur.

Werking sonisch boren

Bij sonisch boren heeft de boorkop een even grote diameter als de boorbuizen. Hierdoor is vrijwel de hele lengte van de buis in contact met de wand van het boorgat. Door de wrijving tussen wand en buis is het normaal gesproken zeer moeilijk om de buis te laten draaien. Daar is een truc voor bedacht: de buis wordt met een frequentie van een paar honderd keer per seconde (vandaar de naam sonisch boren) een millimeter op en neer bewogen. Hierdoor gaan daalt de wrijving zeer sterk. Hierdoor ontstaat een boorgat met een kleinere diameter. Bovendien wordt het water onder veel hogere druk naar beneden geperst. Omdat het niet of nauwelijks omhoog kan komen zoekt dit water samen met het boorgruis ruimte in de poreuzere lagen in de bodem. Het resultaat is geen of veel minder boorgruis, en een kleiner boorgat waardoor ook minder cement en grout nodig is. Dit bespaart kosten. Deze techniek wordt soms ingezet bij bodemonderzoek. Dan hoeft niet heel diep te worden geboord en kan een boorgat met kleine diameter volstaan.

Resultaat sonisch boren

Als één van de weinigen bezit het Noord-Hollandse bedrijf Groundresearch een sonische boorinstallatie. De twee gaten van 80 meter diep werden geboord en de aardlussen werden prima geïnstalleerd. Er kwam weinig boorgruis naar boven (een paar honderd kilo), en er was weinig cement en zwelklei nodig.



Figuur 12*:* 3 foto's van het sonisch boren. Rechts is de bodemlus te zien vlak voordat deze wordt geplaatst.

Evaluatie sonisch boren
Helaas duurde het boren zelf twee dagen door problemen met de boorinstallatie. Het bleek moeilijk om door een bepaalde kleilaag te boren. Met spoelboren zouden deze 2 gaten gemakkelijk in 1 dag zijn geboord. Het is betrouwbaarder en aanzienlijk sneller. Bovendien bleek de installatie fors meer diesel te gebruiken per meter boorgat. Tenslotte bleek dat deze boorinstallatie door de ingewikkelde sonische techniek ruim 2 keer zo duur is in aanschaf ten opzichte van een spoelboorinstallatie, en slijten de buizen sneller.
-> De voordelen van een iets kleiner boorgat en minder boorgruis wegen niet op tegen de nadelen.

E. Analyseer de prestaties van het systeem - kwalitatief en kwantitatief

De tests met de pilotinstallatie leverde de volgende resultaten en inzichten op:
Positief

i. Huis voldoende warm
ii. Van het aardgas af
iii. Meer warmte uit PVT dan verwacht
iv. Bodembron hoeft niet afgeschakeld
v. Geen thermostatische beveiliging nodig

Negatief

vi. IJsaangroei
vii. Te lage temperaturen bodembron
viii. Kwantitatieve analyse nog niet mogelijk

F. Analyseer het installatieproces en ontwikkel een sneller proces

Analyse

Het installatieproces werd geplaagd door vele problemen, het leek Murphy's law zoveel ging er mis. Wel zeer leerzaam en goed voor een reality check.

Een deel van de problemen werd veroorzaakt door ziekte en andere uitval van personeel met de juiste kennis en werkervaring. Het ontbrak soms aan de juiste materialen, de juiste gereedschappen of aan kennis voor een effectieve oplossing.

Hierdoor koste alles veel meer tijd dan gepland, bijvoorbeeld:

- het herstellen van de tuin en betegeling na het aanleggen van de bodemlussen
- het plaatsen van de warmtepompen in de kelder
- het boren van gaten in de gevel
- het bevestigen van leidingen
- na-isolatie van leidingen
- het fitten van de leidingen aan 3-wegkleppen en andere appendages
- het oplossen van een lekkage door een losse koppeling

Ontwikkeling sneller en goedkoper werkproces

De totale installatietijd kan via drie dimensies sterk worden verkort:

i. *het inschakelen van specialisten*
ii. *een aangepaste warmtepomp waarin diverse appendages en functies zijn geïntegreerd*
iii. *het standaardiseren van ontwerp, materialen, gereedschappen, processen*

Hiervoor is wel een minimale schaalgrootte nodig: tenminste 10 tot 20 ZOBO installaties per maand. Dan kunnen bepaalde activiteiten achter elkaar worden ingepland en loont de specialisatie en de aanschaf van bepaalde speciale apparatuur.

4.4 Werkpakket 4: Rekenmodel

Doelen binnen het ZOBO project

1. Toets en verbeter de rekenregels voor de bronkeuze
2. Toets en verbeter de deelsimulaties
   (benodigde warmte woning; PVT warmte opwek; bodembron-temperatuur).
3. Toets de COP prognose van het rekenmodel
4. Conclusies over commerciële perspectieven ZOBO

Algemeen

Vanaf half Maart kwamen er uit het meetsysteem correcte metingen van de temperatuursensors (de flowmeters pas veel later). De gegevens van al deze sensors kwam zeer goed van pas voor dit werkpakket. Er is veel inzicht verkregen en het rekenmodel is sterk verbeterd.

Het is nog wel belangrijk om de volledige metingen tijdens de komende winterperiode te gebruiken.

In de onderstaande paragrafen wordt elke doelstelling geëvalueerd.

1. Toets en verbeter de rekenregels in het model voor de bronkeuze

Al snel werd duidelijk dat de rekenregels in het model niet kloppen. In het rekenmodel werd ofwel de PVT panelen als warmtebron gebruikt òf de bodembron.

In werkelijkheid wordt vaak zowel de PVT panelen als de bodembron als warmtebron gebruikt. Beide leveren een deel van de warmte. Dit is nu wel in het rekenmodel verwerkt.
Daarnaast bleek dat de bodembron nooit hoeft te worden afgeschakeld, ook dit is verwerkt.
Tenslotte bleken er meer afschakelcondities te zijn (voorkom ijsvorming). Ook dit is toegevoegd aan het model.

2. Toets en verbeter de deelsimulaties in het rekenmodel

(benodigde warmte voor de woning; PVT warmte opwek; temperatuur van de bodembron)

Voor het toetsen van de warmtestromen is het cruciaal om zowel de ingaande en uitgaande temperatuur te weten als het debiet over elk systeem-deel. De temperatuurgegevens waren wel beschikbaar vanaf half maart. Helaas gingen de debietmeters kapot en kwamen deze gegevens pas veel later beschikbaar.

De benodigde gegevens zijn wel beschikbaar na de komende winterperiode; dan kunnen deze analyses wel worden gemaakt.

3. Toets de COP prognose van het rekenmodel

Ook hier geldt dat de COP-prognose in het model, zowel voor een specifiek model als het totaal over een jaar, pas goed kan worden gecontroleerd op basis van complete meetgegevens, zoals de warmtestromen van de komende winterperiode.

4. Conclusies over commerciële perspectieven ZOBO

Nu al kunnen er conclusies worden getrokken over de commerciële perspectieven van een ZOBO systeem. Hier wordt in de hoofdstuk 5 uitgebreider op ingegaan.

5 Mogelijkheden voor spin-off en vervolgactiviteiten

Spin-off

Ten eerste: de Dimark Solar Bionicol PVT panelen
De belangrijkste bestaande markt voor deze panelen is het regenereren van grote bodembronnen. Zowel open als gesloten systemen. Bij grote bodembronnen geldt de eis dat deze 1 keer per jaar in balans moeten worden gebracht, en dat betekent meestal dat de bron moet worden geregenereerd.
Hopelijk komt er een nieuwe markt bij: voor ZOBO systemen.

Deze panelen hebben aanzienlijk lagere productiekosten en verkoopprijzen ten opzichte van marktleiders Triple solar en HR solar; bovendien zijn ze veel geschikter voor brongeneratie door de hoge efficiency waarmee zonnewarmte van een PV paneel wordt geabsorbeerd (dankzij direkt contact van de absorber met de hele achterkant van het PV paneel). Tenslotte zijn deze modules een stuk lichter en gaat de installatie sneller.

Ten tweede: het ZOBO systeem
Het ZOBO concept is theoretisch ideaal - de hoogste COP en de laagste energiekosten (Total Cost of Ownership).

Helaas pakt bij woningen de balans in kosten nu niet goed uit:

- Bij een 3 keer zo kleine bodembron dalen de kosten met ongeveer de helft, niet met een factor 3
- De extra kosten voor de Dimark PVT panelen, voor de bronregeling, de sensors, drie-wegklep en extra installatiearbeid zijn hoger dan de besparing op de bodembron

Zelfs bij grotere woningen met een gasverbruik van 3.000- 5.000 m3 per jaar weegt de combinatie van een hogere investering en extra complexiteit niet op tegen de besparing door een kleinere bodembron; er is nu ook nog onzekerheid over de toekomstige besparing door het lagere elektriciteitsverbruik.

Over een aantal jaar kan ZOBO wel financieel aantrekkelijk worden voor woningen. Daarvoor moet de bronregeling en de driewegklep voor de PVT panelen in een betaalbare warmtepomp zijn geïntegreerd. Op dat moment zijn er geen of nauwelijks extra hardwarekosten en is de extra installatiearbeid ook gering ten opzichte van een systeem met alleen een bodembron. Er is dan ook zekerheid over de hogere efficiency.

Ten derde - het rekenmodel
Het rekenmodel is al flink verbeterd en wordt nog nauwkeuriger na het komende winterseizoen.
Er zijn vervolgens twee toepassingen. Allereerst voor het dimensioneren van een ZOBO systeem.

Later kan het model worden uitgebreid zodat een vergelijking kan worden gemaakt tussen verschillende warmtepomp-opties: op basis van een lucht, op basis van alléén een bodembron, van alléén PVT en een ZOBO systeem. Voor een complete vergelijking zijn ook de benodigde investeringen per optie nodig. Met dit rekenmodel kan op termijn een onafhankelijk (betaald) advies worden gemaakt voor vele gebouw- en woningeigenaren. Het model kan worden gelicenseerd aan energieadviseurs, of klanten kunnen rechtstreeks adviezen krijgen via een website.

Vervolgactiviteiten

1) Nieuwe inspanningen om ervoor te zorgen dat Ecoforest de benodigde software-aanpassing maakt. Zodat de bron-circulatiepomp via een extern signaaltje kan worden aangezet voor bronregeneratie. Als alle beschikbare warmte wordt geoogst komt het systeem tot haar volle recht.

2) Alle metingen worden de komende winterperiode gecontinueerd. De COP van deze ZOBO pilotinstallatie kan vervolgens worden bepaald. Aan de hand van deze metingen wordt het rekenmodel verder verbeterd. Bovendien kan via modellering worden bepaald welke efficiency winst en COP voordeel het systeem heeft ten opzichte van alleen een bodembron.

3) Producenten van warmtepompen benaderen om een bronregeling en oa een drieweg-klep te integreren in de water-water warmtepomp.

6 Discussie

In de voorgaande secties zijn vele overwegingen al uitgebreid toegelicht.

Nog één discussie ontbrak, en dat is de afnemende aantrekkelijkheid van zonnepanelen. Dit komt door de aanstaande beëindiging van de salderingsregeling en doordat energieleveranciers (zoals vandebron) delen van energiecontracten duurder maken voor huishoudens met zonnepanelen.

Als de business case en terugverdientijd van zonnepanelen onaantrekkelijk wordt, dan kan Dimark overwegen om in plaats van PVT panelen pure 'T'-panelen te leveren. Dus alleen de thermische absorber. Daarvoor zou wel een herontwerp nodig zijn: op zijn minst moet dan de voorkant van de aluminium absorber een zwarte anodisatielaag krijgen.

7 Conclusie en aanbevelingen

Hoofdconclusies - uit de voorgaande secties:

- Het is mogelijk om veel bestaande woningen van het gas af te halen zonder eerst te isoleren
- ZOBO is nu nog niet voordelig voor woningen
- ZOBO is nu wel geschikt voor grote gasverbruikers
- Als warmtepompproducenten bereid zijn om mee te werken aan de integratie van oa een bronregeling, dan is er een goede kans dat ZOBO ook voor woningen interessant wordt

Aanbevelingen - voor de sector en de overheid

- Er zijn al wel *'plug&play'* lucht-warmtepompen zoals de Quatt en Blackbird, waarin veel appendages zijn geïntegreerd. Dit moet ook bij water-water warmtepompen gebeuren
- Een goedkopere, *mean& lean* boortechnologie is nodig. De boorinstallaties zijn groot, lomp en kostbaar. Het boren van gaten moet goedkoper worden.