

## Mogelijkheden voor efficiënt gebruik van bodemwarmte in kaart gebracht

# ONDERZOEK NAAR SMART GRIDS

**Het gebruikmaken van bodemwarmte en -koude met wko-installaties voor het verwarmen en koelen van gebouwen wordt steeds vaker toegepast. De groeiende populariteit betekent dat intensivering en optimalisatie van bodemgebruik in drukke stedelijke gebieden nodig is om aan alle vraag te kunnen voldoen. De eerste resultaten van het onderzoek 'Bodemenergie smart grids' tonen aan dat dit te realiseren is door het volwaardig meenemen van de bodem in het operationele beheer van bodemenergiesystemen. Een oplossing waarin verschillende bodemenergiesystemen informatie uitwisselen en zelf het gebruik van de ondergrond regelen.**

Tekst: ing. M. de Wit-Blok, freelance journaliste.

Fotografie: Industrie

De Nederlandse bodem is een waardevolle energiebron en -buffer waarmee beleidsmatig en technisch zorgvuldig moet worden omgegaan. Hij biedt immers duurzame mogelijkheden om gebouwen te koelen en te verwarmen zonder de noodzaak hiervoor fossiele brandstoffen te gebruiken. Een eigenschap die zeker in het kader van het Energieakkoord belangrijk is. Toch beperken zowel de stand der techniek als de wettelijke kaders op dit moment de mogelijkheden om de potentie van deze duurzame energiebron bestendig en optimaal te gebruiken [1].

### Grotere behoefte aan warmte en koude

Martin Bloemendal is afgestudeerd als hydroloog aan de faculteit Civiele Techniek van de TU Delft. Naast zijn werk bij onderzoeksinstituut KWR, werkt hij als (deeltijd)promovendus bij de TU Delft aan het onderzoek 'Bodemenergie smart grids'. 'Op dit moment is het zo dat bedrijven of mensen die een vergunning aanvragen voor een wko-installatie, hun behoeftes relatief ruim definiëren. Dit met het oog op de toekomst waarin groei wordt verwacht en er alvast rekening wordt gehouden met een grotere behoefte aan warmte en koude. Wanneer het verzoek wordt ingewilligd, betekent dit dus dat er een overschot aan ruimte in de bodem beschikbaar wordt gesteld die de gebruiker kan claimen. Wanneer hij de capaciteit uiteindelijk toch niet nodig heeft, blijft een deel van de bodem ongebruikt, wat de toepassing van bodemenergie beperkt en nieuwe initiatiefnemers frustreert.'

Verder speelt het een rol dat er regels zijn die een minimale

afstand tussen twee installaties aangeven. Deze afstand is relatief groot en wordt gezien als een veiligheidsfactor waarmee een optimaal rendement van de afzonderlijke bronnen is te realiseren. Wanneer de bronnen te dicht bij elkaar zijn gelegen, kan interferentie optreden waardoor het rendement van de afzonderlijke bronnen daalt.

Bloemendal: 'Het is de vraag of deze veiligheidsfactor wellicht niet te groot is gekozen en of het dus niet mogelijk is de bronnen dichter bij elkaar te plaatsen zonder dat de rendementen hiermee in het gevaar komen. Hiermee wordt de bodem efficiënter benut en kunnen we gezamenlijk maximaal profiteren van de capaciteit van onze bodem. Recent Nederlands onderzoek heeft aangetoond dat bodemenergiesystemen dicht bij elkaar zijn te plaatsen. Een gecontroleerde of beperkte mate van interactie komt de totale energiebesparing in een gebied ten goede. Met andere woorden: de efficiëntieverliezen van alle bronnen bij elkaar opgeteld is kleiner dan de winst die je behaalt door meer bronnen te plaatsen.'

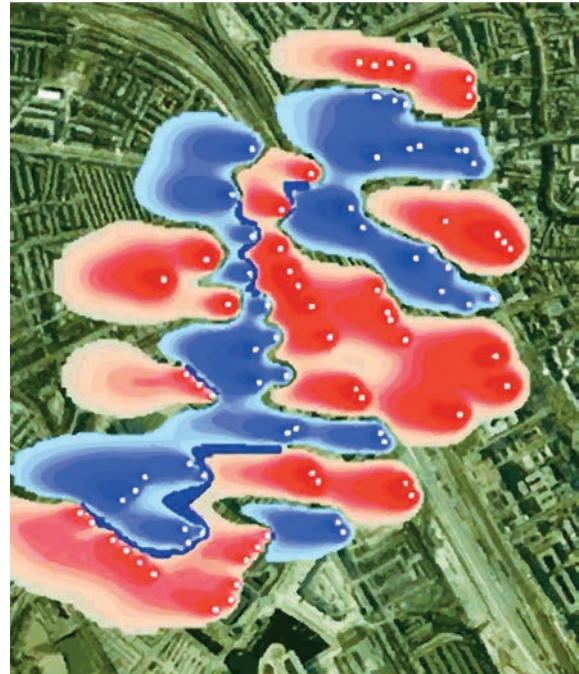
Op het technische vlak is er tot slot nog behoefte om te weten wat er met de ondergronds opgeslagen energie gebeurt. Bloemendal: 'In drukke stedelijke gebieden waar de bodemenergiesystemen dicht bij elkaar zijn gesitueerd, kan de onderlinge hydrologische en thermische beïnvloeding voor ongewenste of onverwachte effecten zorgen.'

### Focus op operationele fase

Op basis van onderzoek is duidelijk dat wko-systemen dicht bij elkaar kunnen worden geplaatst, maar wat de

→> 'HET IS DE VRAAG OF DEZE VEILIGHEIDSFAC-  
TOR WELLICHT NIET TE GROOT IS GEKOZEN'

# VOOR BODEMENERGIE



1. Thermische beïnvloeding van wko-systemen rondom Utrecht centraal. Links: masterplan op basis van analytische berekening [2]. Rechts: na 75 jaar simulatie met grondwater model [3].

meest ideale situatie is blijft moeilijk te bepalen. Dit heeft te maken met het feit dat vele factoren uiteindelijk een rol spelen bij het koelen en verwarmen van een gebouw; zowel op korte als lange termijn. Hierbij valt te denken aan het weer en het veranderende klimaat, maar daarnaast is het ook aannemelijk dat de functie van een gebouw gedurende de tijd verandert en hiermee de warmte- en koudevraag. Daarnaast staan de ontwikkelingen in de bouwkunde ook niet stil en hebben bijvoorbeeld verbeterde isolatie en innovatieve verwarmingsconcepten eveneens invloed op de warmte- en koudevraag.

Bloemendal: 'Door al deze onzekerheden is het logischer om de regie van de planningsfase te verleggen naar de operationele fase. Alleen in de bedrijfsfase is het immers mogelijk om bij te sturen en invloed uit te oefenen op de ruimtelijke verspreiding en prestaties van de systemen. In de operationele fase worden vervolgens de besparingen gerealiseerd en de klimaatdoelstellingen behaald.'

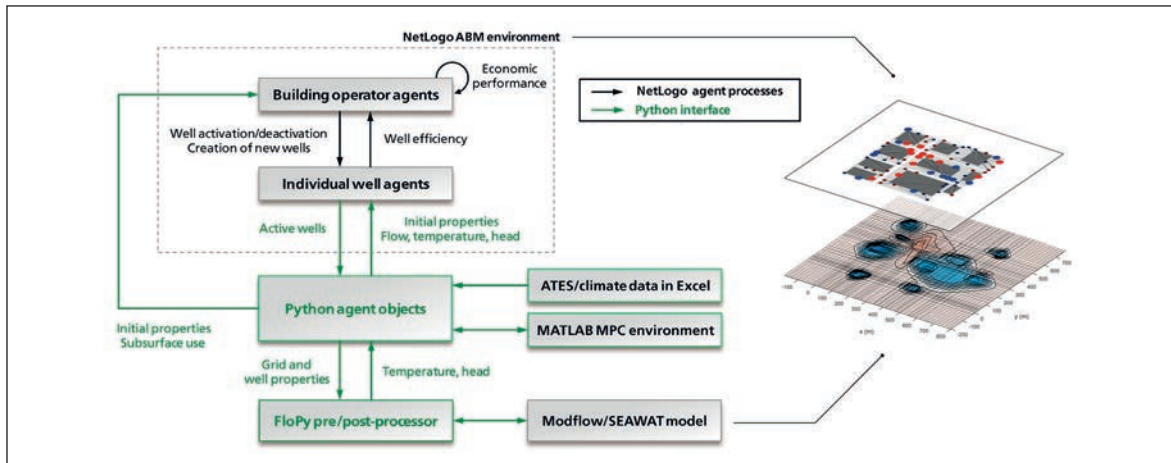
Als mogelijke oplossing is het idee gelanceerd om de toepassing en het gebruik van bodemenergie bij te sturen op basis van de actuele toestand van de ondergrond. Om deze te kennen, is het noodzakelijk om in alle systemen metingen te verrichten waarbij de systemen onderling de benodigde informatie uitwisselen binnen smart grids. Wanneer dit op de juiste manier gebeurt, is iedere gebruiker in staat zijn

gebruik aan te passen afhankelijk van het daadwerkelijke bodemgebruik. Dit gebeurt uiteindelijk via een controller en compensatiemaatregelen.

## Model

Om het idee te onderzoeken is een model ontwikkeld waarbij gebruik is gemaakt van expertise en modellen uit verschillende vakgebieden, zoals bestuurskunde, systems & control en geohydrologie. Bloemendal: 'We hebben onderzoek gedaan binnen verschillende vakgebieden naar de bruikbaarheid van de beschikbare modellen en kennis. Dit is onder andere gebeurd bij verschillende universiteiten, maar tevens is er een bijeenkomst bij Priva georganiseerd waarin verschillende opties en ideeën zijn uitgewisseld met ruim veertig stakeholders, zoals overheden en bedrijven. Uiteindelijk hebben we een keuze gemaakt dat binnen het kader van het onderzoek past.'

'Er is ook veel informatie niet gebruikt. Zo zijn er ideeën om onze smart grids te koppelen aan de smart grids uit de elektrotechniek waarbij beschikbare elektrische energie op een slimme manier wordt verdeeld tussen de verschillende gebruikers. Dat dit niet zomaar een-op-een kan, heeft onder meer te maken met het feit dat binnen thermische processen een duidelijke vertraging aanwezig is in overdracht; iets wat de E-sector niet kent. Maar er zijn ook overeen-



2. Modelling van het raamwerk voor bodemenergie smart grids. Links: conceptuele opzet. Rechts: visuele representatie van ABM (agent based model) en hydrologische modellagen [3].

komsten waarmee beide groepen te maken hebben, zoals de opslag en het transport van energie.'

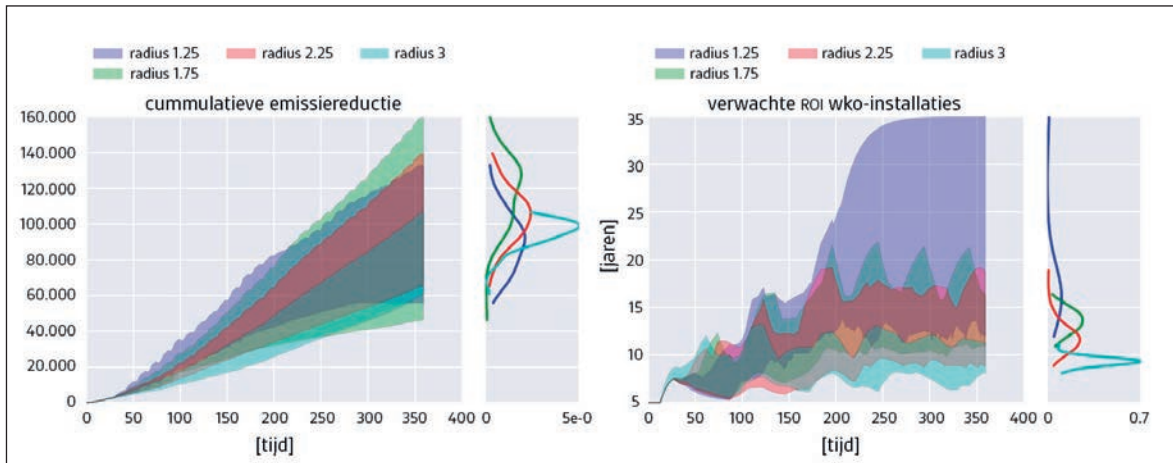
### Agent based

Het model (figuur 2) biedt een conceptuele opzet voor de bodemenergie-smart grids. Centraal hierbij staat het 'agent based model' (ABM). Elk bodemenergiesysteem wordt hierbij beschouwd als een 'agent' die op basis van een opgegeven set van gedragsregels autonoom kan functioneren. Elke agent beschikt daarnaast over een controller die voor deze specifieke agent bepaalt hoe het bodemenergiesysteem het beste aan de energievraag van het bijbehorende gebouw moet voldoen. In deze controller zijn dus zowel de gebouws- als de systeemeigenschappen ondergebracht. Het voldoen aan de energievraag en het optimaliseren van het ondergrondse ruimtegebruik gebeurt vervolgens met het 'model predictive control' (MPC). Hierbij bepaalt de controller wat het bodemsysteem moet doen op basis van de verwachte energievraag in de toekomst. Tevens houdt hij in de gaten op welke manier deze controlestrategie het rendement van zijn eigen bronnen beïnvloedt. De uiteindelijke uitgevoerde controleactie wordt gemodelleerd met een grondwatermodel van het gebied met alle bodemenergiesystemen. Een grondwatermodel geeft onder meer aan wat de temperatuurverdeling in de bodem is. Het gaat hierbij om een dynamisch model van de systemen waarmee water wordt opgepompt, de warmte of koude overgedragen en het water vervolgens weer teruggepompt. Daarbij is rekening te houden met het feit dat de grondwatersystemen logischerwijs relatief traag reageren op temperatuurveranderingen terwijl het binnen gebouwen om minutenwerk gaat. Bloemendal: 'Bij dit onderzoek is het eigenlijk een continue strijd om op de juiste manier om te gaan met onzekerheden die van invloed zijn op het leveren van koude of warmte aan de gebouwen. Je probeert het model daar zo goed mogelijk op af te stemmen zonder daarbij te gedetailleerd te kijken. We regelen hier niet op 'klepjesniveau', maar kijken naar

historische gegevens op basis waarvan we het gebruik voor een bepaalde periode willen vaststellen.'

### Proof-of-concept

De afgelopen maanden is het concept in drie stappen uitgewerkt en verder geoptimaliseerd naar de schaal van een gemiddelde Nederlandse stad. Dit heeft geleid tot een proof-of-concept dat is gebaseerd op een fictief academisch model dat is opgeschaald naar het centrumgebied van Utrecht. In een later stadium volgt Amsterdam. Bloemendal: 'Het probleem is dat we nog steeds vastzitten aan de huidige wettelijke kaders. Via dit proof-of-concept, waarmee we met simulaties aannemelijk willen maken wat er met smart grids mogelijk is, hopen we dat uiteindelijk de wet- en regelgeving kan worden aangepast en wko-installaties dichter bij elkaar mogen worden geplaatst.' De eerste simulaties zijn uitgevoerd met het centrumgebied van Utrecht (figuur 3). Volgens Bloemendal heeft dat positieve resultaten opgeleverd. 'Veelbelovend is het feit dat er een soort optimum in de efficiëntie ontstaat wanneer de afstand tussen de bronnen steeds verder wordt verkleind. De situatie waarin de bronnen het verst uit elkaar liggen leidt tot een maximaal rendement van de individuele bronnen. Dat is logisch omdat de bronnen geen invloed op elkaar uitoefenen. Ga je de bronnen dicht bij elkaar brengen dan zal het rendement per bron weliswaar afnemen, maar de totale hoeveelheid tonnen aan bespaarde CO<sub>2</sub>-uitstoot toenemen. Dit effect is niet tot in het oneindige door te voeren waardoor een bepaald optimum ontstaat: een situatie waarin de thermische straal 1,75 bedraagt. Wanneer de afstand nog kleiner wordt, neemt het rendement zover af dat de gebouw-agents besluiten om te stoppen met bodemenergie en daarmee dus ook het aantal tonnen bespaarde CO<sub>2</sub>-uitstoot lager uitvalt.' Wanneer deze modellen beschikbaar zijn voor de gebieden van Nederland waar wko-installaties zijn toegepast (of waar dit wenselijk is), bieden ze de benodigde informatie op basis waarvan de bodem is toe te kennen aan de verschillende gebruikers. Bloemendal: 'Uiteraard zit je hier met



3. Resultaten van academische 'sandbox'. Links: het verband tussen de bronnen die op verschillende afstanden (radius) van elkaar zijn gepositioneerd en de hoeveelheid emissiereductie. Rechts: het verband tussen de bronnen en de efficiëntie (en hiermee terugverdientijd) van de systemen [3].

het feit dat de oplossing waarbij de bronnen dicht bij elkaar liggen, een situatie oplevert waarin ieder individu te maken heeft met een lager rendement van zijn specifieke wko-installatie.'

'Als het zover is, zal de regeling overigens van cruciaal belang zijn om het model te laten werken. Wanneer je bijvoorbeeld structureel warmte onttrekt aan de bodem, verstoor je in principe je eigen bron. Dit kun je oplossen door extra warmte op te slaan, maar slimmer is het om te kijken hoe het met de warmte- en koudevraag bij de buren staat. Wanneer gebouwen van elkaar 'weten' hoe ze functioneren heb je de mogelijkheid om een echte smart grid te ontwerpen waarbij vraag en aanbod zoveel mogelijk op elkaar kunnen worden afgestemd.'

### Toekomst

Op dit moment is de situatie in Utrecht te simuleren op de computer. Binnen het model wisselen de verschillende systemen continue informatie met elkaar uit over onder meer de lokale weersomstandigheden en de gebouw-eigenschappen en worden verschillende regelstrategieën onderzocht. Bloemendal: 'In een later stadium zal ongetwijfeld ook onderzoek worden gedaan naar de mogelijkheid om de systemen zichzelf te laten inregelen en naar manieren waarop de controller kan communiceren met een gebouwbeheersysteem. Wel zijn we al bezig met de organisatorische aspecten die samenhangen met het realiseren van testen in de praktijk. Hiervoor is niet gekozen voor de gemeente Utrecht – waarop het eerste model betrekking heeft – maar voor Amsterdam. In tegenstelling tot Utrecht is in dit gebied de watervoerend zandlaag – de zogeheten aquifer – die beschikbaar is voor bodemenergie relatief dik, waardoor er meer ruimte is. Omdat de smart grids juist waarde hebben op locaties waar zich veel wko-installaties bevinden, is dit een prima gemeente om de eerste proeven op te zetten.'

Met de veelbelovende simulatieresultaten op zak en praktijkproeven in Amsterdam in het vooruitzicht, loopt

Nederland volgens Bloemendal wereldwijd voorop. 'Dit heeft ook te maken met het feit dat we in Nederland de beste watervoerende zandlagen hebben waarin goede bronnen voor een wko-installatie zijn te maken. Daarnaast hebben we een gunstig klimaat met een duidelijk koud en warm seizoen. Het zijn twee voorwaarden waaraan een omgeving moet voldoen om succesvol wko's te kunnen toepassen. Mogelijkheden zien we daarom ook in Azië en de oostkust van de Verenigde Staten. Want naast de twee natuurlijke voorwaarden is het ook belangrijk dat er voldoende gebouwen staan die behoefte hebben aan koeling en verwarming.' <<

### Bronnen en verwijzingen

1. Bloemendal M., Olsthoorn T., Boons F., 'How to achieve optimal and sustainable use of the subsurface for Aquifer Thermal Energy Storage', Energy Policy 66, 2014.
2. Boerefijn M., Bloemendal M., Winters G., Blonk A., Hoekstra J., 'M.e.r. koude warmte opslag stationsgebied Utrecht', Tauw, Utrecht, 2010.
3. Jaxa-Rozen M., Kwakkel J.H., Bloemendal M., 'The adoption and diffusion of common-pool resource-dependent technologies: the case of aquifer thermal energy storage systems', Picmet, Portland (Oregon, Verenigde Staten), 2015.

### Onderzoek

Het onderzoek 'Bodemenergie smart grids' wordt gefinancierd door NWO en Shell en is onderdeel van het Uncertainty Reduction in Smart Energy Systems (URSES) programma. Bij het onderzoek zijn via ondersteuning door aanleveren van modellen en/of deelname in de klankbordgroep verschillende bedrijven en instanties betrokken: DWA, KWR, Priva, provincie Noord-Holland, Tauw, Waternet.