

Naar intensief gebruik van de bodem voor warmte koude opslag

Opslag van thermische energie in de bodem, ook wel bekend als warmte koude opslag (WKO), wordt wereldwijd toegepast om, afhankelijk van het seizoen, gebouwen te koelen of te verwarmen. In Nederland zijn er op dit moment meer dan 3000 systemen actief en met name in stedelijk gebied neemt dit aantal snel toe. Om WKO efficiënt op grote schaal toe te kunnen passen is meer kennis nodig over de verspreiding van warmte in de bodem en de mogelijke wisselwerking tussen verschillende systemen. Op 4 juni 2015 is Wijbrand Sommer gepromoveerd op zijn onderzoek naar grootschalige toepassing van WKO dat hij bij Deltares en de Universiteit Wageningen heeft uitgevoerd.

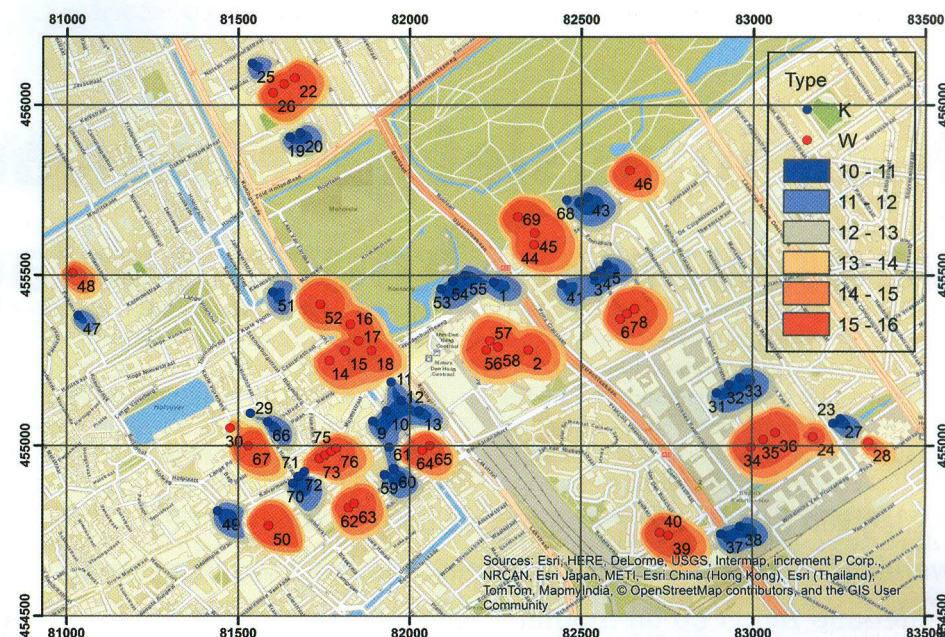


Wijbrand Sommer bij Stord in Noorwegen.

Bij warmte koude opslag wordt in de zomer grondwater onttrokken en gebruikt om gebouwen te koelen. Het opgewarmde grondwater wordt terug in de bodem gebracht waardoor er een warme 'bel' ontstaat. Deze warmte kan in de winter worden teruggewonnen voor verwarming; het afgekoelde grondwater wordt weer in de bodem opgeslagen voor koeling in de zomer. Toepassing van WKO in plaats van traditionele verwarmings- en koelinstallaties, kan het gebruik van primaire energie, en de daaraan gerelateerde kosten, en CO₂-uitstoot verminderen. Op een aantal locaties in Nederland wordt inmiddels intensief gebruik gemaakt van WKO voor warmte- en koudelevering. Hier kan het zijn dat er geen nieuwe vergunningen meer worden verleend om beïnvloeding tussen verschillende systemen te voorkomen. Deze studie heeft de effecten van onderlinge beïnvloeding onderzocht en gekeken hoe de bodem in gebieden met veel WKO-systemen beter kan worden benut.

Opslagrendement en warmtetransport

Gezien het grote aantal systemen is het opvallend hoe weinig er gerapporteerd wordt over het daadwerkelijk functioneren van bodemenergiesystemen, zowel wat betreft het opslagrendement als het gedrag en de verspreiding van warmte rondom de bronnen. Daarom is bij de start van dit onderzoek een monitoringssysteem aangelegd bij een bestaande WKO-installatie van een aantal kantoor- en universiteitsgebouwen. Het systeem bestaat uit acht grondwaterputten (vier voor koude opslag en vier voor warmte opslag) en onttrekt ruim 500 000 m³ grondwater per jaar aan een watervoerend pakket op een diepte tussen de 15 en 50 m onder maaiveld. Zoals bij de meeste systemen varieert de opslagtemperatuur in de winter tussen de 6 en 9°C en in de zomer tussen de 11 en 18°C. Het pompdebiet en de opslagtemperatuur zijn afhankelijk van de energievraag in het gebouw en kunnen van uur tot uur verschillen. Uit operationele gegevens blijkt dat van 2005 tot 2012



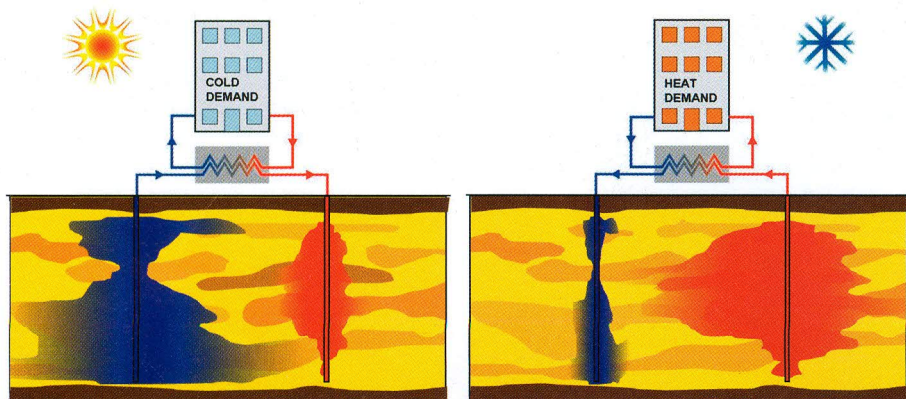
Posities van warme (rood) en koude (blauw) WKO bronnen in Den Haag met bijbehorende koude en warme (°C) bellen aan het einde van de zomer. Clustering van bronnen zorgt voor een hoger rendement.

gemiddeld 82% van de opgeslagen koude en 68% van de opgeslagen warmte is teruggewonnen. Dit soort analyses zijn nuttig voor validatie van modellen en ook om de effecten van bijvoorbeeld thermische interferentie tegen elkaar af te wegen. De verspreiding van warmte en koude in de bodem is gemeten door middel van Distributed Temperature Sensing (DTS) in glasvezelkabels. Temperatuurmonitoring met glasvezelkabels is een bestaande technologie, maar in deze studie wel voor het eerst toegepast op bodemenergiesystemen. De glasvezelkabels zijn op verschillende afstanden van de WKO-bronnen in de bodem gebracht tot een diepte van 50 meter in speciaal voor dit doel geboorde gaten. Gedurende bijna 1,5 jaar zijn temperatuurprofielen verzameld over de gehele lengte van de kabel, met metingen met tussenposen van maximaal 1 uur. Daarmee is dit een

dataset geworden van ongekend detail in ruimte en tijd. De metingen onthullen onder andere dat niet alle delen van het bronfilter (het 'open' gedeelte van het boorgat waar water wordt geproduceerd) evenveel bijdragen aan het totale debiet. Deels kan dit komen door de manier waarop de filters zijn aangelegd en ontwikkeld. Maar een vergelijking tussen boorbeschrijvingen en boorgatmetingen doet vermoeden dat er hier ook een voorkeursstroming optreedt door heterogeniteit in het watervoerend pakket.

Heterogeniteit

In het ontwerp van WKO-systemen wordt heterogeniteit vrijwel nooit expliciet meegenomen. In plaats daarvan wordt de ondergrond vereenvoudigd tot homogene watervoerende pakketten en waterscheidende lagen. Het was niet bekend wat het effect van deze heterogeniteit is op de mate waarin opgeslagen energie teruggewonnen kan worden, of op de mate van interferentie tussen de warme en koude bron. In dit onderzoek is een serie warmtetransportberekeningen gedaan aan een WKO-systeem in een heterogeen watervoerend pakket. Uit modellering blijkt dat, gemiddeld gezien, het opslagrendement afneemt met toenemende heterogeniteit. Daarnaast resulteert heterogeniteit in een onzekerheid in de verwachte thermische interferentie tussen de bronnen. De onzekerheid in het opslagrendement neemt toe bij toenemende heterogeniteit en af bij toenemende afstand tussen de bronnen. Heterogeniteit kan expliciet meegenomen worden in warmtetransportmodellering,



Schematisch weergave van de werking van een WKO systeem in de zomer (links) en winter (rechts).

maar hierdoor worden modellen wel complexer en trager. Bovendien is de heterogeniteit in de praktijk vaak niet goed gekarakteriseerd. In dit geval kon de onzekerheid ten gevolge van heterogeniteit worden meegenomen door meerdere realisaties te simuleren waardoor de modellen nog complexer werden. Daarom is getracht het effect van heterogeniteit uit te drukken in de parameter effectieve macro-dispersiviteit. Zoals verwacht, neemt de effectieve macro-dispersiviteit toe bij toenemende heterogeniteit. De bandbreedte in waarden blijkt echter niet alleen afhankelijk van de statistische eigenschappen van het heterogene watervoerend pakket (korrelatielengtes en standaarddeviaties), maar ook van de regionale grondwaterstroomsnelheid en de afstand tussen de bronnen. Hierdoor is een representatieve waarde voor macro-dispersiviteit in een praktijksituatie moeilijk in te schatten.

Interferentie en grootschalige toepassing

Zoals gezegd beïnvloeden een warme en een koude bel elkaar als de bronnen te dicht bij elkaar liggen. Dit kan een negatieve invloed hebben op de terugwinning van energie, ongeacht of de bronnen bij hetzelfde systeem horen of van een naburig systeem zijn. Voor een individueel systeem is het wenselijk om alle negatieve interferentie te vermijden. Dit beperkt echter het aantal mogelijke WKO-systemen in een bepaald gebied. Bovendien worden systemen gemiddeld genomen overgedimensioneerd zodat in de praktijk maar 50 tot 60% van het vergunde debiet gebruikt wordt. Hier-

door wordt maar een beperkt deel van de bodem daadwerkelijk voor energieopslag benut.

Bij grootschalige toepassing van WKO kan echter ook worden gekeken naar de totale kosten en baten in een bepaald gebied. Hiervoor is een methode ontwikkeld die voor verschillende bronpatronen en afstanden tussen bronnen bepaalt welke mate van thermische interferentie acceptabel is vanuit economisch en milieutechnisch perspectief. Ter illustratie is de methode toegepast op de hydrogeologische condities van Amsterdam. De resultaten laten zien dat het in dit geval kosteneffectief is om een bepaalde mate van thermische interferentie toe te staan waardoor 30 tot 40% meer energie kan worden geleverd vergeleken met een situatie zonder interferentie.

Conclusies

De ondergrondse temperatuurmonitoring met glasvezeltechnologie laat zien dat de verspreiding van warmte en koude in de bodem complexer kan zijn dan veelal wordt aangenomen. Met name bij interferentie tussen systemen kan het van belang zijn om de vaak sterk vereenvoudigde modellen die nu nog worden gebruikt bij het ontwerp te valideren met metingen. Daarmee kan het systeem en de plaatsing van toekomstige WKO-systemen worden geoptimaliseerd. Om thermische interferentie te voorkomen worden in de praktijk systemen vaak overgedimensioneerd. De consequentie hiervan is dat maar een beperkt deel van de bodem daadwerkelijk gebruikt wordt voor energieopslag. Inmiddels is het beschikbare



Installatie van glasvezelkabels aan de buitenzijde van een peilbuis voor temperatuurmonitoring.

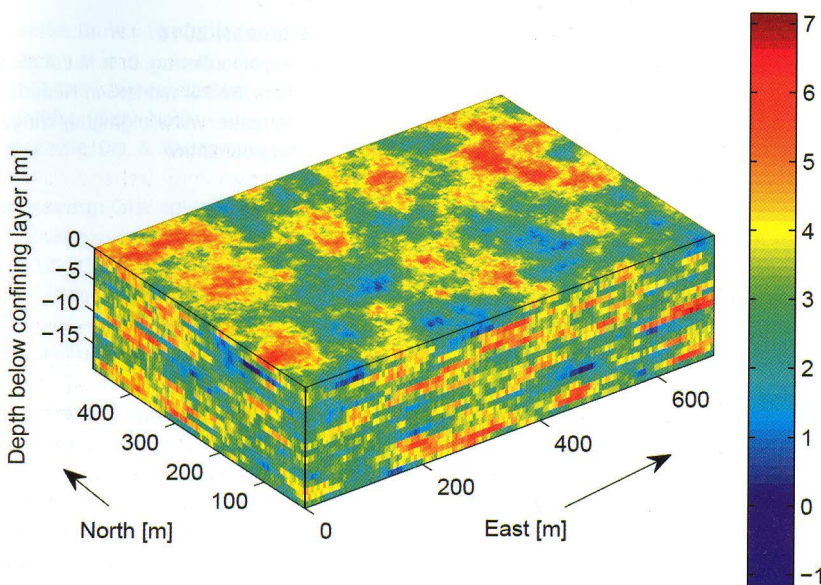
bodemvolume op diverse locaties een beperkende factor voor verdere groei in het gebruik van bodemenergie. Door het warmtetransport rond WKO-bronnen beter te beheersen en te voorspellen, kan efficiënter gebruik worden gemaakt van het beschikbare bodemvolume. In de toekomst zou het gebruik van bodemenergie verder kunnen worden geoptimaliseerd door systemen te koppelen, zodat een bronnenveld optimaal kan worden gebruikt en verschillende gebruikers onderling energie uit kunnen wisselen.

Wijbrand Sommer

Modelling and monitoring of Aquifer Thermal Energy Storage - Impacts of heterogeneity, thermal interference and bioremediation. Het proefschrift is te downloaden via: <http://edepot.wur.nl/342495>
Promotor: Huub Rijnaarts (WUR)
Co-promotoren: Johan Valstar (Deltares) en Tim Grotenhuis (WUR).
Dit onderzoek is uitgevoerd binnen het programma 'Meer Met Bodemenergie'. Met dank aan de deelnemende instituten voor hun bijdrage: Deltares, Essent, WMD en IF-Technology.

Referenties

- Sommer, W.T. et al. (2013). *Combining shallow geothermal energy and groundwater remediation*. In Proceedings of the European Geothermal Congress 2013, 03-07 June 2013, Pisa, Italy.
- Sommer, W.T. et al. (2013). *The impact of aquifer heterogeneity on the performance of aquifer thermal energy storage*. *Water Resources Research* 49(12), 8128-8138.
- Bakr, M. et al. (2013). *Efficiency of and interference among multiple aquifer thermal energy storage systems; A Dutch case study*. *Renewable Energy* 60, 53-62.
- Sommer, W.T. et al. (2014). *Thermal performance and heat transport in aquifer thermal energy storage*. *Hydrogeology Journal*, 22(1), 263-279.
- Sommer, W.T. et al. (2015). *Optimization and spatial pattern of large-scale aquifer thermal energy storage*. *Applied Energy*, 137, 322-337.



Voorbeeld van een heterogene bodem met meer (rood) en minder (blauw) doorlatende delen. Door WKO systemen te simuleren in een ensemble van synthetische heterogene bodems hebben we inzicht verkregen onder welke condities dit invloed heeft op het opslagrendement en op interferentie tussen systemen.