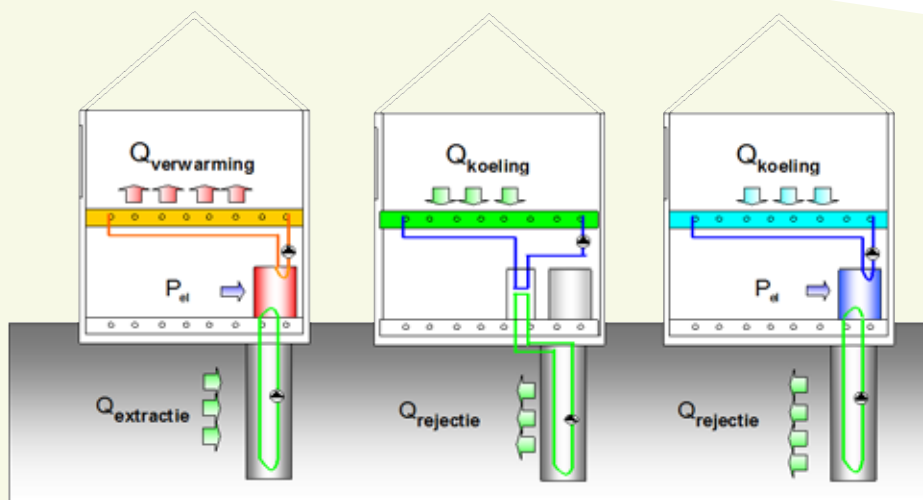


Geothermische warmtepompen én betonkernactivering

De combinatie van geothermische warmtepompen (GEO-WP) en betonkernactivering (BKA) in kantoorgebouwen heeft een energiebesparingspotentieel van 20 tot 70% vergeleken met conventionele verwarmings- en koelinstallaties [4,5,10,20]. Beide kunnen beschouwd worden als state-of-the-art technologieën. Toch worden deze potentiële energiebesparingen in de praktijk zelden gehaald omwille van niet optimale integratie van componenten in het globale systeem, evenals inefficiënte regeling [5,7,13,14,15,16,17].

Prof.dr.ir. L.M.L. (Lieve) Helsen^{1,3}, ing. J. (Jan) Hoogmartens^{1,4}, dr.ir. M. (Maarten) Sourbron¹, dr.ir. C. (Clara) Verhelst¹, dr.ir. J.L.M. (Jan) Hensen²

¹ Katholieke Universiteit Leuven (KU Leuven), Departement Werktuigkunde, Afdeling Toegepaste Mechanica en Energieconversie, België; ² Technische Universiteit Eindhoven, Faculteit Bouwkunde, unit Building Physics & Services; ³ Geotabs Project Coördinator; ⁴ Geotabs Project Manager

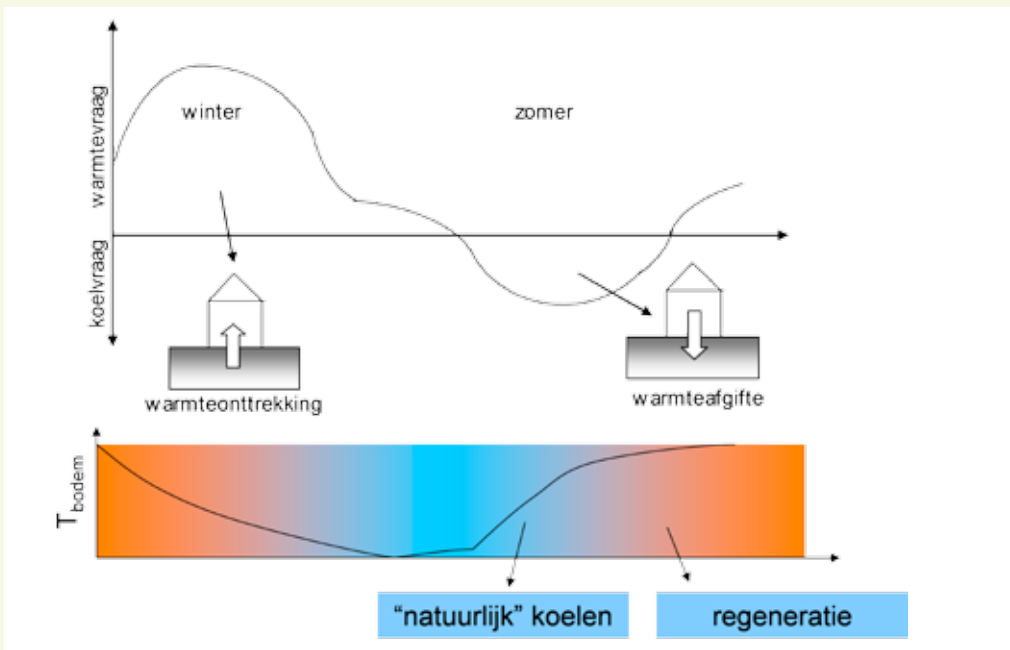


-Figuur 1- Geothermisch warmtepomp voor verwarming, natuurlijke koeling en actieve koeling

GEO-WP danken hun energiebesparingspotentieel aan de grondkoppeling en de combinatie met lage temperatuur warmteafgiftesystemen of hoge temperatuur koelssystemen (zoals vloerverwarming en BKA). Hierdoor kan het temperatuurverschil tussen bron en afgifte laag gehouden worden, wat een positief effect heeft op de prestatie van de warmtepomp. Bovendien kan de koude, die tijdens het stookseizoen in de bodem wordt opgeslagen, tijdens de zomer gebruikt worden voor directe koeling (via eenvoudige warmtewisselaar, zie figuur 1). Voldoende aandacht moet hierbij uitgaan naar de thermische balans in de bodem, zodat ook het gebruik hiervan op lange termijn aan de duurzaamheidseisen voldoet. Daarom is het belangrijk dat het gebouw gekarakteriseerd wordt door zowel een koel- als een warmtevraag (zie figuur 2).

ACTIEF BETON

Door het gebruik van BKA wordt de betonstructuur van het gebouw geactiveerd (warm of koud water wordt door leidingen



-Figuur 2- Bodembalans via verwarmen en koelen met een geothermisch warmtepomp

in het beton gestuurd), wat op zijn beurt het thermisch comfort in het gebouw moet garanderen. De functie van beton verschuift dus van een louter structureel element naar een cruciale component in het globale energiesysteem. Beton doet dienst als energieopslagsysteem voor koude en warmte, waardoor thermische vermogenspieken kunnen worden uitgevlakt, wat op zijn beurt kan resulteren in kleinere geïnstalleerde vermogens, en dus lagere investeringskosten [3,9]. Watertoevoertemperaturen zijn relatief laag voor verwarming ($< 30^{\circ}\text{C}$), en relatief hoog voor koeling ($> 15^{\circ}\text{C}$), wat aanleiding geeft tot ideale werkingsvoorwaarden voor GEO-WP. Gebouwen met BKA worden wel gekarakteriseerd door licht schommelende binnenluchttemperaturen omwille van de trage warmteoverdracht tussen beton en lucht. Kennis van het dynamisch gedrag is cruciaal in de ontwikkeling van efficiënte regelstrategieën, die vereist zijn voor een succesvolle implementatie [13,16]. De watertoevoertemperatuur beïnvloedt de warmteoverdracht naar en van het beton met een tijdsconstante in de orde van grootte van 10 uren. Dit terwijl de luchttemperatuur mee bepaald wordt door interne warmtewinsten (zoals aanwezigheid van mensen, elektrische toestellen, verlichting) en zonnewinsten, gekenmerkt door veel kleinere tijdsconstanten [19]. Bovendien leidt de vereiste thermische balans in de bodem tot een extra beperking met een nog grotere tijdschaal (orde van grootte van meerdere jaren). Deze complexe interactie van proces-

sen, gekarakteriseerd door een breed bereik van tijdsconstanten, vraagt om een volledig nieuwe aanpak in regeling [1,15]. Verschillende studies (b.v. [7,14,15]) tonen immers aan dat het gebruik van conventionele regelstrategieën resulteert in suboptimale werking. De integratie van het dynamisch gedrag van alle componenten binnen het globale systeem is cruciaal voor het verzekeren van goede systeemprestaties én thermisch comfort in het gebouw. Deze integratie is grensverleggend en tilt de kennis voorbij de huidige state-of-the-art.

■ GEOTABS-PROJECT

Het Europese EraSME project Geotabs (2011-2013) wil via de combinatie van metingen in reële gebouwen, modelsimulaties, comfortenquêtes en een kritische evaluatie van huidige praktijken wetenschappelijk gefundeerde richtlijnen formuleren voor een verbeterd ontwerp en een efficiënte regeling van kantoorgebouwen uitgerust met geothermische warmtepompen gekoppeld aan betonkeractivering. Verbeterd ontwerp moet hierbij leiden tot hogere energieprestaties, terwijl thermisch comfort gegarandeerd blijft, waarbij continue opvolging een belangrijk aandachtspunt is. Het meten van gebouwprestaties is uitermate belangrijk voor evaluatie en detectie van problemen of fouten. Meten is weten! Bovendien is het terugkoppelen van de inzichten die men uit deze metingen haalt naar de ontwerpfase nog steeds innovatief, zeker voor GEO-WP-BKA systemen. Meetdata vormen, samen met

modelsimulaties, een uitgebreide bron aan informatie die nog niet volledig geëxploiteerd wordt om het systeemontwerp en haar regeling te verbeteren. Bovendien is er nog maar bitter weinig bekend over de comfortervaring van gebruikers in gebouwen uitgerust met BKA, die tussen twee comforttheorieën (actief geconditioneerd versus natuurlijk geventileerd) invallen [11,18]. De ontwikkeling van een generische internationale comfortenquête (Comfortmeter) biedt dan ook een grote meerwaarde.

De voornaamste drijfveren voor het Geotabs-project waren volgende vaststellingen:

- wereldwijd vertegenwoordigen gebouwen 38% van het totale energiegebruik, waarvan 45% toekomt aan de OESO-landen [6];
- de koelvraag stijgt, wat resulteert in een jaarlijkse marktgroei van 14% voor airco-installaties. Verwacht wordt dat de Europese markt tegen 2018 verzadigd zal zijn, waarbij 60% van de tertiaire sector één of andere vorm van koeling toepast [2];
- de interesse in GEO-WP-BKA systemen stijgt, maar de leercurve is nog niet helemaal doorlopen;
- het gebrek aan kennis en ervaring (bij ingenieurs, bouwbedrijven, installateurs, uitvoerders en opdrachtgevers) leidt dikwijls tot lagere prestaties dan verwacht. Kennisverspreiding en technologieoverdracht zijn nodig op grote schaal [12];
- voorafgaand onderzoek heeft aangetoond dat kwaliteitscontrole heel belangrijk is voor de werking van GEO-WP-BKA systemen

[8,13,15];

- de efficiënte regeling van GEO-WP-BKA systemen vormt een extreme uitdaging. Deze systemen verschillen o.a. in de thermische inertie van de BKA, de temperatuurafhankelijkheid van de systeemprestatie, en de interactie met snel reagerende back-up systemen (zoals het ventilatiesysteem). Bovendien moet er geanticipeerd worden op een lange termijn thermische balans in de bodem. Modelgebaseerde voorspellende regeling (Engels: Model Predictive Control (MPC)) is een mogelijke kandidaat om deze uitdaging aan te gaan;
- huidige regelaars voorzien geen interfaces om regelparameters te checken;
- het GEO-WP-BKA systeem is heel gevoelig voor fouten en falen door de thermische inertie en kleine temperatuurverschillen tussen bodem koude/warmteopslag en koel/verwarmingssysteem in het gebouw [8];
- de huidige ontwerpmethodieken hebben de neiging het back-up systeem te overdimensioneren, waarbij de investeringskosten de hoogte ingaan, wat deze technologie minder aantrekkelijk maakt. Bovendien kunnen de snel reagerende systemen de overhand nemen (en dus de BKA wegduwen) bij het gebruik van onvoldoende aangepaste regelaars;
- ontwerpers, installateurs en gebruikers willen vertrouwen opbouwen in het gebruik van GEO-WP-BKA systemen. Er zijn nog meer vragen dan antwoorden, vooral met betrekking tot het type, het aantal en de locatie van sensoren, en de regeling;
- slechts weinig ingenieursbureaus installeren meetapparatuur in nieuwe gebouwen met de intentie de bouwprestaties op te volgen. Zelfs indien er gemeten wordt, vinden de nieuwe inzichten nog maar zelden hun weg terug naar verbeterde ontwerpen;
- voor gebouwen uitgerust met een GEO-WP-BKA systeem gaan de metingen verder dan de klassieke uitlezingen van verwarming- en koelinstallaties. Ook voorspelling van toekomstige vragen, beton- en bodemtemperaturen zijn belangrijk en vragen om integratie van meerdere expertisedomeinen;
- opvolging van bouwprestaties is een aspect dat reeds in de ontwerpfase de nodige aandacht krijgt. Een verbeterd ontwerp zal de opvolging ook vergemakkelijken;
- er is een gebrek aan inzicht in de werkelijke comfortervaring van gebruikers in gebouwen uitgerust met GEO-WP-BKA systemen;
- elke stakeholder, over de volledige ketting gaande van putboorders, over ingenieursbureaus, tot WP-, BKA- en regelexperten, kan met zijn/haar expertise en activiteiten een grote toegevoegde waarde hebben in

verbeterd ontwerp en regeling.

De richtlijnen die resulteren uit het Geotabs-project geven aanbevelingen voor ontwerp, regeling en gebouwopvolging (via metingen en simulaties), samen met de beschrijving van een aantal gerealiseerde GEO-WP-BKA kantoorgebouwen en resultaten van comfortenquêtes. Dit wordt gebundeld in een nieuw Rehva-handboek dat een grote meerwaarde biedt voor architecten, bouwheren, putboorders, ingenieursbureaus, consultants, installateurs, WP-leveranciers, BKA-leveranciers, regelbedrijven, energieagentschappen, onderzoekers, docenten en studenten actief in duurzaam bouwen.

Deze en andere resultaten van het Geotabs-project zijn ook beschikbaar op: <http://www.geotabs.eu>.

■ DANKWOORD

Het Geotabs-consortium bestaat uit acht universiteiten/hogeschole uit België, Nederland, Duitsland, Denemarken en Tjechië (KU Leuven (coördinator), Thomas More - Campus De Nayer, Université Liège, Technische Universiteit Eindhoven, Georg Simon Ohm University of Applied Sciences Nuremberg, Technische Universität Braunschweig, Technische Universiteit Praag) en 18 bedrijven.

De auteurs bedanken het Instituut voor de Aanmoediging van Innovatie door Wetenschap en Technologie in Vlaanderen (IWT-Vlaanderen) voor de financiële steun in het kader van het EraSME – Geotabs-project (100403), en Agentschap-NL van het Ministerie van Economische Zaken voor de financiële steun door middel van Innovatie Vouchers in 2010.

■ REFERENTIES

1. Armstrong P.R., Leeb S.B., Norford L.K. Control with Building Mass - Part I: Thermal Response Model, *Ashrae Transactions*, 112, Part 1 (2006) CH-06-5-1, 1-13
2. Ecoheatcool, The European Cold Market, 2005-2006, Euroheat & power
3. EN15377-3:2007, Heating systems in buildings - Design of embedded water based surface heating and cooling systems - Part 3: Optimizing for use of renewable energy sources, CEN
4. Ground-Reach, Reaching the Kyoto Targets by Ground Source Heat Pumps, Project Report D7 Technical, environmental and economic feasibility of ground coupled heat pump technologies under defined conditions, Arsenal Research, 2008. Available from <http://www.groundreach.eu/script/tool/forg/doc820/D7%20Feasibility%20of%20GCHP%20technology.pdf>, consulted on March 15, 2010
5. Helsen L., Verhelst C., Sourbron M., Grondgekoppelde

warmtepompen als bron voor betonkernactivering, Kluwer MilieuTechnologie, Tijdschrift Veiligheid en Milieu, november 2008, nr.10-extra, jaargang 15

6. IEA, 2008, Energy Technology Perspectives 2008, Scenarios and strategies to 2050, International Energy Agency
7. IEA-ECBCS-Annex 48: Design Handbook.
8. Kipry H., Bockelmann F., Plesser S., Fisch M.N., Evaluation and optimization ofUTES systems of energy efficient office buildings, Presented at the EFFSTOCK Conference, Stockholm, Sweden, 2009.
9. Lehmann B., Dorer V. and Koschenz M., Application range of thermally activated building systems tabs, *Energy and Buildings*, 2007, 39: p. 593-598
10. Lund J., Sanner B., Rybach L., Curtis R., and Hellström G., Geothermal (ground-source) heat pumps - A world overview *Renewable Energy*, 2003
11. Pfafferoth J.Ü., Herkel S., Kalz D.E., Zeuschner A., Comparison of low-energy office buildings in summer using different thermal comfort criteria, *Energy and Buildings*, 2007, Vol. 39: p. 750-757
12. Rybach L. Geothermal Heating and Cooling of Buildings, Presentation at the IEA Demand Side Workshop, 20 March 2008, Available from <http://www.iea-gia.org/documents/ybachatIEADemandSideWorkshopPPRybach20Mar08.pdf>
13. Sourbron M., De Herdt R., Van Reet T., Van Passel W., Baelmans M., Helsen L., How efficiently produced heat and cold is squandered by inappropriate control strategies: a case study, *Energy and Buildings*, vol. 41, 2009, pp. 1091-1098.
14. Thermac 'Handboek voor het verwarmen en natuurlijk koelen van Thermisch Actieve Gebouwen' resultaat van het IWT-TETRA project Thermac 50108, W&K De Nayer, 2008.
15. Tian Z., Love J.A., Energy performance optimization of radiant slab cooling using building simulation and field measurements, *Energy and Buildings*, 2009, 41 (3): p. 320-330
16. Todtli J., Gwerder M., Lehmann B., Renggli F., Dorer V., TABS Control – Steuerung und Regelung van thermoactiven Bauteilsystemen, Faktor Verlag, Zurich, 2009
17. Verhelst C., Helsen L., Modelgebaseerde regeling van grondgekoppelde warmtepompsystemen in kantoorgebouwen, in Proceedings of the KVIV Symposium "Mooi bedacht, nuttig toegepast", Sessie Energie (Nov. 28, 2007, Brussels, Belgium), 2007
18. Wagner A., Gossauer E., Moosmann C., Gropp Th., Leonhart R., Thermal comfort and workplace occupant satisfaction-Results of field studies in German low energy office buildings, *Energy and Buildings*, 2007, 39(7): p. 758-769
19. Weber T., et al., Validation of a FEM-program (frequency-domain) and a simplified RC-model (time-domain) for thermally activated building component systems (TABS) using measurement data, *Energy and Buildings*, 2005, 37: p. 707-724
20. Zogg M., Gekoppelte Kälte- und Wärmezeugung mit Erdwärmesonden, Bundesamts für Energie, Zwitserland 2001.