

Woningen als energieleverend systeem

Marco Bakker, Martijn van Essen,
Wim van Helden, Herbert Zondag,
Chris Geurts en Camilo Rindt

De huidige energievoorziening is gebaseerd op het gebruik van fossiele energiebronnen, zoals olie, gas en kolen. Door uitputting stijgen de prijzen en wordt de levering onzekerder. Verder veroorzaakt grootschalig gebruik van fossiele brandstoffen grote hoeveelheden CO₂. ECN en TNO hebben het samenwerkingsverband 'Building Future' opgericht om zo het energiegebruik en CO₂-uitstoot in de gebouwde omgeving te verlagen.

Building Future heeft als ambitie in 2030 de CO₂-emissie in de gebouwde omgeving te halveren, maar wil uiteindelijk bereiken dat in 2050 de gebouwde omgeving energieneutraal zal zijn. Hiervoor zal een deel van de nieuwbouw energieproducerend moeten zijn en zullen bestaande woningen energie-efficiënter moeten worden. Het uitgangspunt hierbij is dat het wooncomfort niet wordt aangetast en de oplossingen betaalbaar en acceptabel zijn voor een breed publiek, voor wat betreft aspecten als comfort, gebruiksgemak en esthetica. Dit betekent dat nieuwe technieken zo goed mogelijk in woningen zullen moeten worden ingepast en dat bij de keuzen voor bouwproducten en systemen de prestaties op gebied van energie en comfort voorop moeten staan. Een vorm van duurzame energie die in grote hoeveelheden beschikbaar is in de gebouwde omgeving, is zonne-energie. De hoeveelheid beschikbare zonne-energie is ruim voldoende om aan lokale energievraag voor wonen en transport te voldoen. Het gevel- en dakoppervlak kan worden gebruikt om zonne-energie om te zetten in elektriciteit of warmte. Overschotten aan elektriciteit of warmte kunnen compact worden opgeslagen tot het moment waarop deze nodig zijn of worden uitgewisseld met andere woningen via een lokaal warmtenet.

OPZET Waels-PROJECT

Binnen het Building Future consortium wordt aan deze langetermijndoelen gewerkt langs diverse paden van onderzoek, ontwikkeling en demonstratie. Deze paden zijn gekoppeld aan een bepaald woning- of wijkconcept. Twee jaar geleden is de ontwikkeling van de toekomstige, energieleverende nieuwbouwwoning gestart met het WAELS-project. Waels staat hierbij voor 'woningen als Energie leverend systeem'. Het Waels-project is een tweejarig EOS-It-project, dat wordt gesteund door Senternovem. ECN, TNO en de TU/e zijn de drie uitvoerende projectpartners. Het project kent drie pijlers, waarbinnen de eerste stappen worden gezet naar een nieuwbouwwoning die gemiddeld genomen over een jaar duurzame energie levert aan het net (afbeelding 1).

De drie pijlers zijn ontwikkeling bouwsystematiek, efficiënte omzetting van zonlicht en compacte warmteopslag.

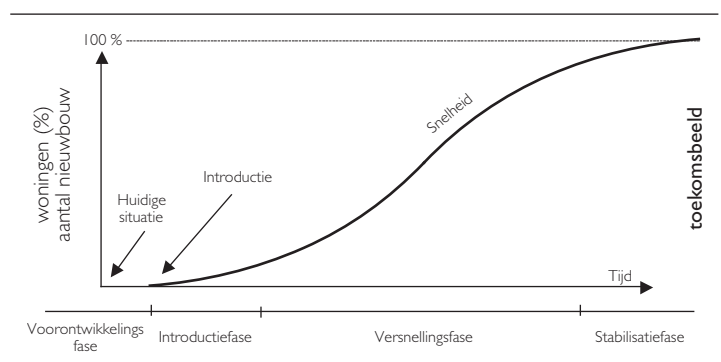
ONTWIKKELING BOUWSYSTEMATIEK (Wael A)

De bouw van energieleverende woningen vereist aanpassingen aan zowel de woning als de energie-infrastructuur. Hierbij staat de kwaliteit van de woning centraal, dat wil zeggen de bouwtechnische kwaliteit, het comfort en uiteraard hoe goed de energiesystemen presteren.

In de huidige bouwpraktijk wordt meestal ontworpen op basis van de minimumvoorwaarden die zijn vastgelegd in de



1. Schematische weergave van de onderdelen van het WAELS-project.



2. De diverse fasen in het maatschappelijk inbeddingsproces van een nieuwe techniek. Ook de WAELS-woning moet deze fasen doorlopen.

regelgeving, het Bouwbesluit. Een verandering in deze regelgeving wordt vaak als een bedreiging ervaren, want deze vragen hebben wezenlijke veranderingen in processen en producten, en meestal een kostenstijging tot gevolg. De sprong van een huidige woning naar een energieleverende woning vereist daarom verandering op de volgende aspecten:

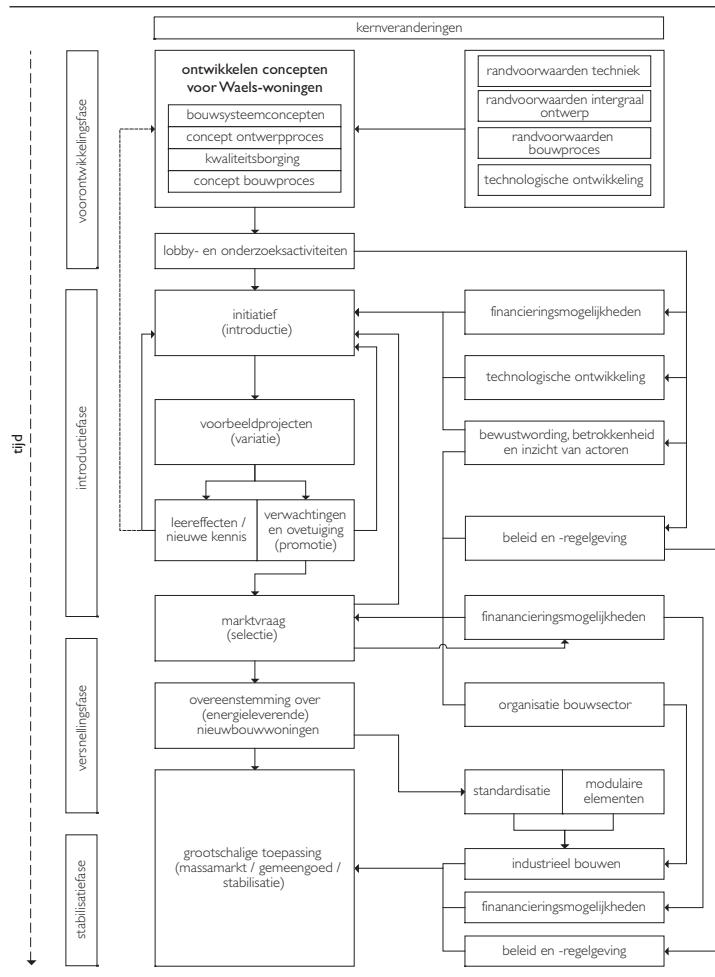
- In het ontwerp moeten comfort en energie in samenhang worden opgepakt.
- Hoe hoger de eisen die aan energiehuishouding worden gesteld, des te gevoeliger is de uiteindelijke prestatie voor onvolkomenheden in het bouwproces. Dit betekent dat binnen het bouwproces, vooral bij de realisatie van de woning, controlemechanismen moeten worden ingebouwd om ervoor te zorgen dat wat op papier is beloofd, ook daadwerkelijk wordt opgeleverd.
- Technieken die het mogelijk maken duurzame energieproducten op eenvoudige wijze toe te voegen aan de woning, moeten worden (door)ontwikkeld. Verder moet ervoor worden gezorgd dat bestaande oplossingen om het energiegebruik te reduceren standaard worden meegenomen in het ontwerp en uitvoering.

Een belangrijk aandachtspunt is verder dat nog niet duidelijk is welke partij de belangrijkste beslisser zal zijn bij de ontwikkeling van deze toekomstige woningen. Wordt dat een projectontwikkelaar, woningcorporatie, energiebedrijf, een consortium of een nieuwe partij die beslist over het wel of niet realiseren van een WAELS-woning?

Andere infrastructuur

In interviews met betrokken partijen (energiesector; bouwkolom en potentiële opdrachtgevers) zijn bovenstaande aspecten aan de orde gesteld. Vervolgens is gekeken naar de fasen, waarin de marktintroductie van een nieuwe techniek doorgaans verloopt (afbeelding 2). Uitgaande van deze fasering zijn de resultaten van de interviews vervolgens in het kader van een afstudeerproject uitgewerkt tot een scenario voor de activiteiten die nodig zijn om de WAELS-woning tot grootschalige toepassing te brengen (afbeelding 3). Dit scenario geeft aan welke ontwikkelingen gewenst en nodig zijn om een energieleverende (nieuwbouw)woning op grote schaal mogelijk te maken.

Uit de interviews komt verder naar voren dat een verandering van de energie-infrastructuur nodig is bij grootschalige levering van lokale energie. Grote hoeveelheden energie (elektriciteit of eventueel warmte) worden op het net aangeboden, op een wijze die niet door de energiedistributeur kan worden geregeld. De distributeur zal deze energie moe-



3. Eerste model voor de veranderingen die moeten worden bewerkstelligd in het ontwikkelproces van de WAELS-woning. De fasering in de tijd loopt van boven naar beneden.

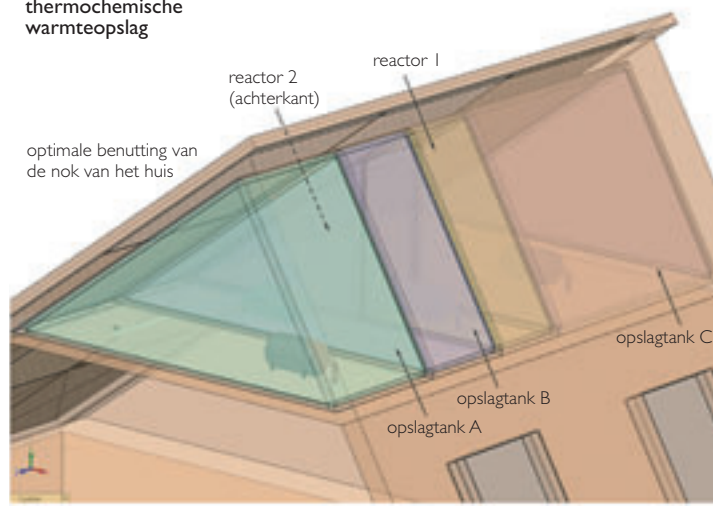
ten regelen en eventueel bufferen. Een oplossing hiervoor kan zijn om kleinschalige netten te realiseren, bijvoorbeeld op wijkniveau, zodat de in de energieleverende woningen opgewekte energie direct kan worden gebruikt om de vraag van nabijgelegen energievragende woningen te dekken. Dit zou tot nieuwe manieren van samenwerking tussen energie- en bouwpartijen kunnen leiden.

ROL OVERHEID

Een ander belangrijk aspect betreft de rol van de overheid op verschillende niveaus. Deze rol zal een veranderende rol zijn, die mede afhankelijk is van de prijsontwikkeling van zowel fossiele als duurzame energie. Op lokaal niveau kan de gemeentelijke overheid stimulerend werken door eisen te stellen aan bouwlocaties en de welstandseisen aan te passen aan duurzame energieoplossingen. Verder kunnen gemeentelijke en nationale overheden stimuleren via subsidies. De nationale en Europese overheden zullen bovendien een belangrijke rol spelen bij het opstellen van een ambitieuze regelgeving op energiegebied. Dit zal verder gaan dan de nu ingevoerde energielabels. Energielabels zeggen alleen iets over het energiegebruik, maar bij energielevering zullen wellicht nieuwe instrumenten moeten worden ontwikkeld. Regelgeving is hier een wezenlijk onderdeel van.



thermochemische warmteopslag



4. Voorbeeld van compacte warmteopslag geplaatst in de nok van het dak (2015).

De ontwikkeling van de bouwsystematiek (A) leidt tot eisen en randvoorwaarden bij de ontwikkeling van nieuwe energietechnieken (B+C), zoals aangegeven in afbeelding 1. Op hun beurt stellen de energietechnieken eisen aan de bouwsystematiek. Er wordt gestreefd naar de ontwikkeling van een open bouwsystematiek die ook kan worden gebruikt bij de inpassing van andere, ook nog niet bestaande, energietechnieken. Naar aanleiding van de uitkomsten van dit projectonderdeel zal een aantal concepten worden ontwikkeld, die kansrijk zijn om te worden uitgewerkt met geïnteresseerde marktpartijen.

EFFICIËNTE OMZETTING VAN ZONLICHT (Waels B)

Om te komen tot een energieleverende woning is het van belang dat het zonlicht dat op de woning valt, zo efficiënt mogelijk wordt omgezet in bruikbare energie. In het WAELS-project wordt hierbij gewerkt aan twee trajecten. Binnen het traject voor de middellange termijn wordt gewerkt aan verbetering van de bestaande technieken, terwijl binnen het traject voor de lange termijn wordt gekeken naar nieuwe concepten.

Verbetering van conventionele techniek

Het zonlicht dat op een gevel- of een dakoppervlak valt kan door een zonnecollector in warmte of door een zonnepaneel in elektriciteit worden omgezet. Om het beschikbare oppervlak zo efficiënt mogelijk te benutten, kunnen deze omzettingstechnieken voor zonne-energie worden geïnte-

greerd. In de afgelopen jaren is bij ECN een combinatie van beide technieken ontwikkeld: de PVT-collector. Met deze collector kan tegelijkertijd warmte en elektriciteit uit zonlicht worden gewonnen, waardoor de totale energieopbrengst van dak- en geveloppervlak aanzienlijk kan worden verhoogd. De nu bestaande PVT-collector kan echter nog verder worden verbeterd. Een belangrijke parameter in het bereiken van een zo hoog mogelijke opbrengst is het verhogen van het optische rendement: zoveel mogelijk zonlicht invangen en nuttig gebruiken. Door het gebruik van anti-reflectiecoatings en een optimale oppervlaktebehandeling van zonnecellen kan het optische rendement worden verhoogd, terwijl de verliezen kunnen worden gereduceerd door toepassing van materialen met een lage emissie van warmtestraling. Verder is het nodig materialen te gebruiken met zowel een goede warmteoverdracht als goede constructieve eigenschappen.

Zonnecollector 2030

Voor de lange termijn is het noodzakelijk schetsen te maken van fundamenteel nieuwe manieren om zonne-energie om te zetten in warmte: de zonnecollector 2030. Door nieuwe, intelligente materialen en nieuwe productietechnieken moet deze collector een substantieel betere prijs/prestatieverhouding krijgen.

Om richting te geven aan de ontwikkeling van de zonnecollector op de lange termijn is in WAELS een visie geschetst van de zonnecollector 2030. Hiertoe zijn in 2006 drie workshops georganiseerd, waar enkele Nederlandse experts zijn uitgenodigd om hun visie te geven op het gebied van zonne-energie en de omringende vakgebieden, zoals bouw- en installatietechniek, materiaalkunde en ICT.

De ideeën die tijdens de workshops naar voren zijn gekomen, zijn in grote lijnen onder te verdelen in vijf trends: flexibiliteit, modulariteit, intelligentie, integratie en zelfstandigheid. Deze trends en ideeën zijn uitgewerkt tot een visie op zonne-energiesystemen voor 2015 en een visie voor 2030. Net als in de rest van dit project, zijn deze visies gericht op nieuwbouwwoningen en hebben een passiefhuis als uitgangspunt voor het ontwerp.

In de visie voor 2015 zijn zonnecollectoren en efficiënte zonnepanelen geïntegreerd in de gevels of daken. Eerste demonstratieprojecten worden gerealiseerd met een compacte warmteopslag van 5 m³ die in de nok van het dak of in de kruipruimte kan worden geplaatst, zodat de zonnewarmte van de zomer kan worden opgeslagen voor gebruik in de winter (afbeelding 4). De visie voor 2030 gaat uit van een



flexibel systeem dat bestaat uit in de gevel geïntegreerde modules, waarin zonne-energie en/of zonnewarmte worden opgewekt. De warmteopslag is ook modulair opgebouwd en in de gevelmodules geïntegreerd (afbeelding 5). Door de juiste keuze van modules kan de woning geheel aan de wensen en eisen van de gebruiker worden aangepast.

COMPACTE WARMTEOPSLAG (WaelS C)

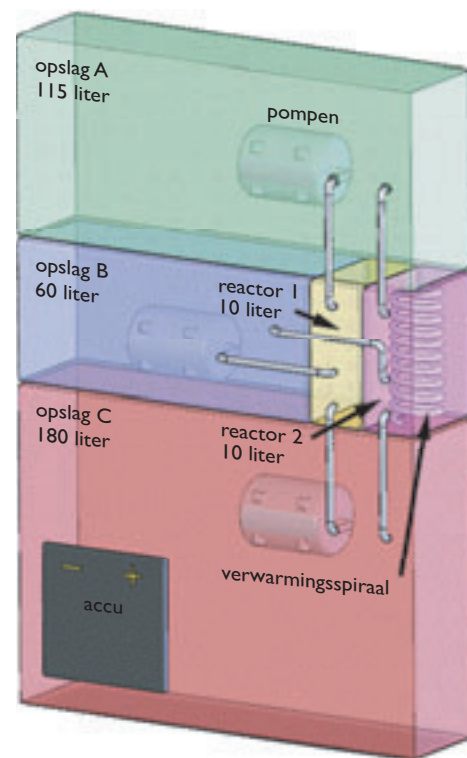
In de zomermaanden kunnen zonnecollectoren een belangrijk deel van de huishoudelijke warmtevraag dekken, maar in de wintermaanden is er te weinig zon om een grote bijdrage aan de warmtevraag te kunnen leveren, terwijl juist dan de vraag naar warmte groot is (afbeelding 6). Door het overschot aan zonne-energie in de zomer op te slaan en in de winter te gebruiken kan het gehele jaar zonne-energie worden toegepast. Hiervoor is echter een grote opslagcapaciteit nodig. De meest voor de hand liggende oplossing is om zonnewarmte op te slaan in water, maar hiervoor zijn watertanks nodig die te groot zijn om in een woning te plaatsen. Een alternatieve manier om zonne-energie op te slaan is door gebruik te maken van opslag in een chemische verbinding met thermochemische materialen (TCM). Dit zijn materialen die warmte op kunnen slaan via een omkeerbare reactie ($AB + \text{warmte} \rightleftharpoons A + B$).

Onder invloed van warmte valt een thermochemisch materiaal AB uiteen in componenten A en B, die afzonderlijk worden opgeslagen. Wanneer componenten A en B weer worden samengevoegd, zal de oorspronkelijke verbinding weer worden teruggevormd én de oorspronkelijk toegevoerde warmte vrijkomen. Zolang de twee componenten niet bij elkaar komen, zal geen reactie plaatshebben, waardoor thermochemische opslag uitermate geschikt is voor verliesarme en lange-termijn warmteopslag. Met name enkele zouthydraten zijn uitermate interessant als TCM vanwege hun lage kosten en hoge energiedichtheden. Per volume eenheid kunnen deze materialen ongeveer 10 keer meer warmte opslaan dan water, wat mogelijkheden biedt tot zeer compacte warmteopslag. Het onderzoek naar geschikte zouthydraten voor warmteopslag bevindt zich nationaal en internationaal echter nog in de beginfase.

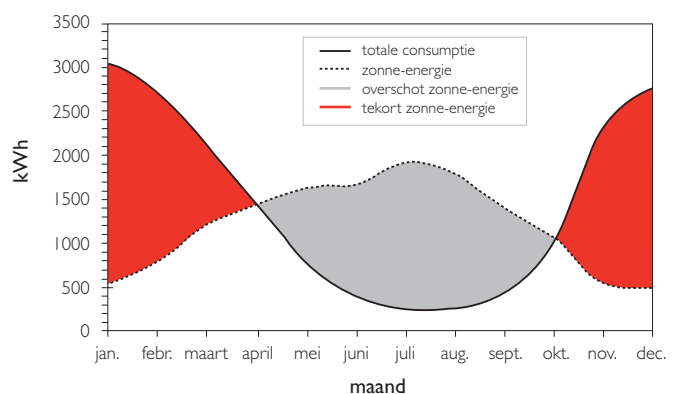
In het WAELS-project wordt compacte warmteopslag onderzocht in twee parallele trajecten: onderzoek naar een systeem met TCM in poedervorm en naar een systeem met TCM in vloeibare vorm (als suspensie). Hierbij is het doel van beide trajecten een structurele verhoging van de bijdrage van zonne-energie in de huishoudelijke warmtevraag mogelijk te maken.

TCM in poedervorm

In een haalbaarheidstudie van ECN (2004) zijn enkele potentieel geschikte kandidaat TCM's geselecteerd op grond van theoretisch, maximaal haalbare opslagcapaciteit, beschikbaarheid en milieuaspecten. Deze studie wees magnesiumsulfaat aan als interessantste kandidaat voor thermochemische



5. Gemoduleerde warmteopslag (2030).



6. Jaarlijkse zonne-energie en warmtevraag.

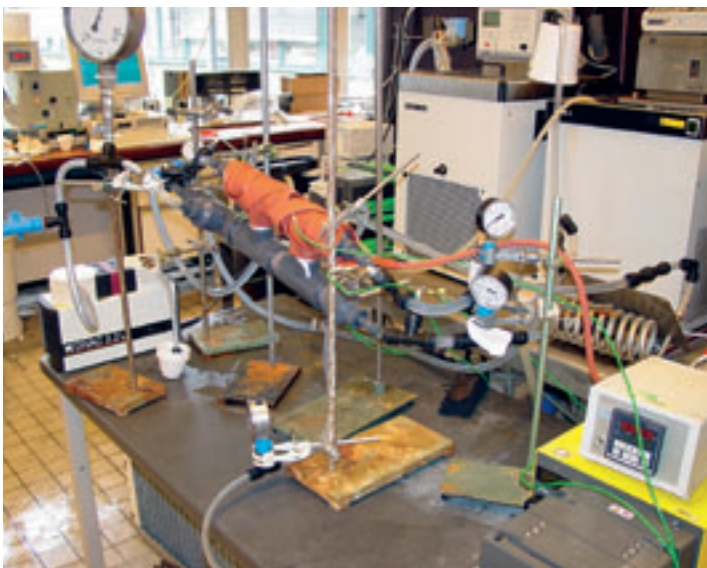


warmteopslag (afbeelding 7). Op dit moment worden bij ECN experimenten uitgevoerd aan dit materiaal, om uit te maken of het materiaal in de praktijk inderdaad zo geschikt is om warmte in op te slaan en weer uit terug te winnen, als op grond van de haalbaarheidsstudie werd verwacht. Hier toe worden experimenten uitgevoerd om te bepalen hoeveel energie het materiaal in praktijk opslaat en hoe het reactieverloop is tijdens laden en ontladen. Ook wordt nagegaan of het materiaal na een aantal laad- en ontladcycli nog steeds even goed presteert.

Op basis van deze gegevens kan een eisenpakket worden samengesteld voor het ontwerp van een thermochemische warmteopslag voor een zonne-energie systeem (opslagvaten, reactor, et cetera).



7. Magnesiumsulfaat.



8. Prototype reactor TNO waarbij TCM is gesuspenderd in een vloeistof.

TCM gesuspenderd in een vloeistof

Een van de knelpunten van TCM is dat het vaste stoffen zijn met een slechte warmtegeleiding. Dit levert problemen op bij de ontwikkeling van technologieën voor warmteopslag. TNO heeft gekozen voor een nieuw (en gepatenteerd) concept om deze problemen op te lossen: warmteopslag waarbij een TCM-zout is gesuspenderd in een vloeistof. Het voordeel van een suspensie is dat het makkelijk verpompbaar is. Daarentegen is de warmteopslagcapaciteit lager: de suspensievloeistof verdunt als het ware het TCM-zout.

Om dit concept te testen is een prototype reactor gebouwd, waarmee experimenten op laboratoriumschaal kunnen worden uitgevoerd (afbeelding 8). Verder wordt gekeken naar de haalbaarheid van lange-termijnwarmteopslag met gesuspenderde zouthydraten in de gebouwde omgeving.

Tot slot

Het is duidelijk dat binnen het WAELS-project op een breed front, zowel bouwsystematiek als energietechnieken, onderzoek wordt verricht naar concepten voor een energieneutrale gebouwde omgeving. Het project staat niet op zichzelf, maar werkt samen met andere projecten (nationaal en internationaal) om tot een energieneutrale gebouwde omgeving in 2050 te komen. Hierbij levert het een belangrijke bijdrage in de ontwikkeling van nieuwe bouwsystematiek om nieuwe energietechnologie in te passen. Op het gebied van gecombineerde warmte- en elektriciteitsopwekking uit zonlicht heeft Nederland een sterke kennispositie die dankzij het WAELS-onderzoek naar nog efficiëntere opwekking wordt versterkt. Het werk aan compacte warmteopslag is nieuw, zowel nationaal als internationaal. Het karakteriseren van magnesiumsulfaat en onderzoek naar gesuspenderde hydraten is daarom ook een belangrijke stap in het TCM-onderzoek. Het Weals-project levert daarmee een belangrijke bijdrage aan de realisatie van de toekomstige energieneutrale gebouwde omgeving.

Verantwoording

Dit project is tot stand gekomen met subsidie van het Ministerie van Economische zaken: regeling EOS.

Auteurs

Marco Bakker, Martijn van Essen, Wim van Helden,

Herbert Zondag van ECN

Chris Geurts van TNO

Camilo Rindt van TUE

