

Duurzame energie met thermochemische opslag

Energieonderzoek Centrum Nederland (ECN) ziet voor warmteopslag een belangrijke rol weggelegd in het duurzaam bouwen. Met behulp van zouthydraten kan de overvloedige warmte in de zomer opgeslagen worden om deze in de winter weer vrij te maken. Met deze thermochemische opslag is in de nabije toekomst aardgas overbodig voor de verwarming van kraanwater of woonhuis. Esger Brunner

In de jaren zeventig ontstond de eerste oliecrisis. Doordat Arabische olieproducerende landen de olieproductie afknapten en de prijs met 70% verhoogden, steeg de olieprijs per vat explosief. De wereldeconomie kreeg een flinke opdonder en onderzoek naar alternatieve energie stak de kop op. Sinds een jaar of tien zien we weer een soortgelijke trend, maar nu veroorzaakt door de drang naar duurzaamheid en energiebesparing.

In een woning voorziet aardgas in tweederde van de totale energievraag, voor de resterende eenderde wordt elektriciteit gebruikt. Een gemiddeld huishouden verbruikt 1608 m³ aardgas per jaar (cijfers van SenterNovem). Gronings aardgas levert bij verbranding gemiddeld netto 35,17 MJ/m³ aan energie (cijfers van GasTerra), wat overeenkomt met een verbruik van 56,6 GJ per jaar. Als het aan Marco Bakker ligt, onderzoekscoördinator bij ECN, is dit over tien jaar verleden tijd. Bakker is verantwoordelijk voor het onderdeel thermische systemen binnen het onderzoeksprogramma Energie in de Gebouwde Omgeving. Hij zet in op thermochemische opslag, liefst in combinatie met energiebesparende maatregelen.

Seizoensopslag

Uit een inventarisatie van technologieën voor duurzaam bouwen in 2004

bleek dat warmteopslag een techniek is waarmee nog veel winst te behalen valt. Met name seizoensopslag is zeer interessant. Hierbij wordt het overschot aan warmte in de zomer opgeslagen, zodat het in de winter ingezet kan worden. Warmteopslag is niet nieuw: in de meest gebruikelijke vorm wordt water, verwarmd door zonnecollectoren, opgeslagen in een groot geïsoleerd vat. Dit werkt prima voor een dagelijkse opslag, maar voor opslag op de langere termijn is zeer veel water nodig. Een woonhuis zou een hele verdieping moeten inleveren (50–100 m³). Dit is duidelijk geen haalbare kaart in de gebouwde omgeving.

Magnesiumchloride-hydraat

Bakker onderzoekt thermochemische

opslag. Hierbij hydrateert een zout zoals magnesiumchloride: $\text{MgCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}_{(s)} + 4\text{H}_2\text{O}_{(g)} \rightarrow \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}_{(s)} + \text{warmte}$. De reactie is exo-energetisch en reversibel. In de zomer zorgt zonnewarmte voor dehydratie, waarbij magnesiumchloride-dihydraat ($\text{MgCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) en waterdamp ontstaan. Zo lang deze twee producten van elkaar gescheiden blijven, gebeurt er niets en gaat er ook geen energie verloren. Magnesiumchloride-hydraat als reactant kent verschillende voordelen. Het magnesiumchloride-hydraat wordt uit immense zoutvelden gedolven door het Groningse NedMag Industries en is goedkoop. De voorraad kan nog vele honderden jaar mee en het zout is onschadelijk voor het milieu. Daarnaast heeft het een grote energiedichtheid. "Magnesiumchloride heeft in pure



Vacuümbuiscollectoren op het dak van een huis.

vorm een energieopslagdichtheid van 2 GJ/m^3 , waardoor de installatie tot tien keer zo klein kan worden als een systeem gebaseerd op warmwateropslag.” Het uiteindelijke systeem moet ongeveer 5 m^3 in beslag nemen. “Nog steeds vrij groot,” geeft Bakker toe, “maar het is weg te werken in de kruipruimte of achter de knieschotten op zolder.” Een groter nadeel is het gewicht. Een systeem van 5 m^3 weegt ongeveer 5 ton. Bestaande woningen moeten aangepast worden om dit gewicht te kunnen dragen. Volgens Marco Bakker kan dit tegelijkertijd met renovatie of verregaande isolatiemaatregelen. Bij nieuwbouw kan het systeem tijdens de bouw geplaatst worden.

Installatie

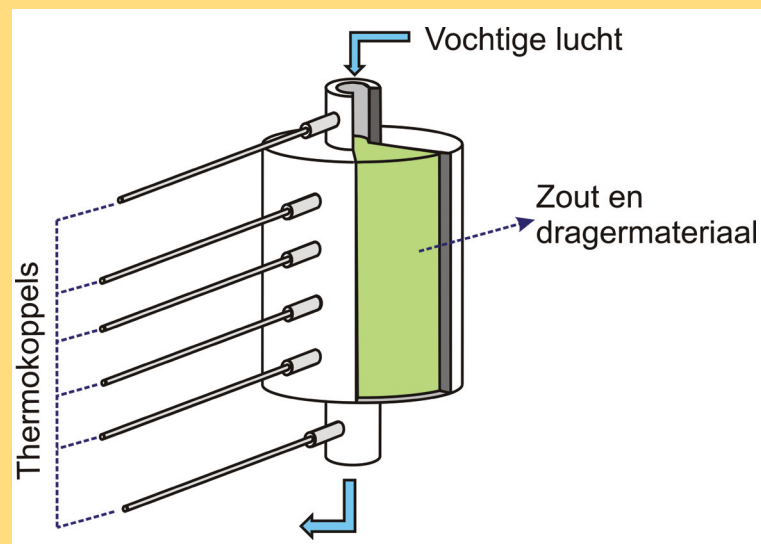
Hoe ziet een thermochemische installatie er uit? De belangrijkste onderdelen zijn: een zonnecollector om energie te verzamelen voor de reactie; opslag voor het zout en eventueel water; een reactor waarin de reactie verloopt en een warmtewisselaar om de vrijkomende warmte functioneel te maken. Voor de energiewinning gebruikt Bakker vacuümbuiscollectoren. Dit zijn doorzichtige holle buizen met een diameter van tien centimeter, waarin een vacuüm heerst om warmteverlies tegen te gaan. De zon verwarmt binnenin een holle zwarte buis. Hierin zit een waterleiding die de warmte afvoert met behulp van een pomp. Een vacuümbuiscollector verzamelt per jaar zo'n $1,2 \text{ GJ/m}^2$. Om het eerder vermelde verbruik van $56,6 \text{ GJ}$ volledig te compenseren is een oppervlakte van 47 m^2 nodig. Bakker realiseert dat veel huidige woningen dan ook ongeschikt zijn om uitgerust te worden met seizoenswarmteopslag. “Het is verstandig om eerst energiebesparende maatregelen te treffen.” In de zomer loopt de temperatuur in de vacuümbuiscollector op tot 100 à 150°C . Een deel hiervan kan voor dagelijks gebruik een klein geïsoleerd vat met zo'n 150 liter water verwarmen, want hoe directer het gebruik, hoe minder energieverlies. De resterende warmte gaat naar de opslagtank waarin het magnesiumchloride zit. Het aan het zout gebonden water verdamppt en verlaat het systeem. Zo kan in de zomer de opslagtank ‘drooggestookt’ worden. In de winter wordt omgevingslucht door de tank geleid

Het experiment

De twee belangrijkste onderdelen van thermochemische warmteopslag zijn de reactor en het opslagvat voor het zout. ECN onderzoekt een geïntegreerde reactor, oftewel opslagvat en reactor in één. Dit betekent dat het zout tijdens het droogstoken en bevochtigen in de reactor blijft en alleen de waterdamp wordt af- of toegevoerd. Om dit principe te testen is gekozen om een kleinschalige reactoropstelling te bouwen en testen.

In het experiment stroomt twintig liter vochtige lucht per minuut via de bovenkant door de reactor. Ook in het toekomstige systeem zal een luchtstroom worden gebruikt om het zout droog te stoken of te bevochtigen. De relatieve luchtvochtigheid van de luchtstroom ($52,5\%$ bij 20°C) komt overeen met de waarde die in de praktijk zal worden gebruikt. In de reactor bevindt zich 300 gram magnesiumchloride-hydraat en een dragermateriaal om te voorkomen dat het hygroscopische magnesiumchloride na de reactie vloeibaar wordt en wegstroomt uit de reactor. De reactor is voorzien van een aantal thermokoppels om tijdens de bevochtiging de temperatuurstijging in het materiaal en in de luchtstroom te meten. Door de luchtstroom op een slimme manier door de reactor te leiden is tijdens de metingen een uitgaande luchttemperatuur van 57°C gemeten. Deze temperatuur is al ruim voldoende voor toepassing in ruimteverwarming, waarvoor een minimale temperatuur van 30 - 35°C nodig is, en is zelfs al bijna geschikt voor verwarming van kraanwater dat tot 65°C verwarmd moet worden. Momenteel wordt het reactorsysteem verder geoptimaliseerd om dit ook mogelijk te maken.

Voor toekomstige systemen is ongeveer 5 m^3 materiaal nodig. De verwachting is dat een toekomstige installatie een reactor zal hebben die is opgedeeld in kleine compartimenten, die afzonderlijk kunnen worden drooggestookt of bevochtigd. Hiermee worden grote warmteverliezen door het droogstoken van de gehele reactor voorkomen. De huidige testopstelling kan worden gezien als één compartiment binnen het toekomstige reactorsysteem.



waarbij warmte vrijkomt, doordat de waterdamp zich hecht aan het zout. Met de huidige opstelling op laboratoriumschaal kan een temperatuur van 57°C gehaald worden (zie kader Het Experiment). Door optimalisatie van het materiaal en de reactor moet het uiteindelijke systeem geschikt worden voor verwarming van kraanwater tot

65°C . De warmte kan via een warmtewisselaar worden afgegeven aan de verwarming of het watervat.

Energiebesparing

Marco Bakker is overtuigd van het systeem, maar plaatst wel een kanttekening. “Dit systeem is het meest geschikt voor zuinige gebouwen. Be-

staande gebouwen moeten eerst goed geïsoleerd worden, want daar valt nog veel winst te behalen.” Volgens cijfers van SenterNovem verbruiken de woonhuizen die in de laatste jaren gebouwd zijn gemiddeld 1200 m³ aardgas, dit is al flink minder dan het gemiddelde van bestaande huizen. Daarnaast bestaan de zogenaamde passiehuizen. Deze huizen kennen zo'n goede isolatie en ventilatie, dat in de winter nauwelijks verwarming nodig is en in de zomer nauwelijks verkoeling. Een voorbeeld van een passiehuis staat op een dijk te Dalem en verbruikt slechts 600 m³ (21 GJ) aardgas per jaar in plaats van een gemiddelde voor dat soort huizen van 2300 m³. Deze zou nog maar 17,5 m² aan warmtecollectoren nodig hebben. Warmteopslag en isolatie zorgen bij dit soort huizen voor een reductie van ruim 4 ton CO₂ per jaar.

Kosten

De mogelijke winst van het systeem is duidelijk, maar wat kost het? “Het is nog moeilijk om het precies in te schatten, maar we verwachten inmiddels dat de totale kosten van zo'n systeem over een levensduur van dertig jaar, inclusief fabricage, installatie en onderhoud, vergelijkbaar zijn met de kosten van een referentiesysteem met een warmtepomp en zonnepanelen en met een ander referentiesysteem gebaseerd op een hoogrendementsketel en fossiele brandstoffen.” Daarmee blijft het een flinke investering, met een behoorlijk lange terugverdientijd. “Dat is uiteindelijk echter niet het enige dat telt,” verwacht Bakker, “sinds enkele jaren krijgt een gebouw een



Het grofkorrelige magnesiumchloride-hydraat in de laboratoriumopstelling.

energielabel. De overheid zal steeds striktere regelgeving hanteren wat betreft energieverbruik en duurzaamheid. Een gebouw mag als geheel steeds minder energie verbruiken. Het is aan de aannemer hoe hij in de toekomst voldoet aan de norm, maar thermochemische warmteopslag is een goede kandidaat.” Daarvoor bestaan twee redenen. Warmtepompen hebben alleen opbrengst in de zomer, terwijl thermochemische opslag dat ook heeft in de winter. Bovendien is laatstgenoemde onafhankelijk van externe leveranciers en hun prijsstijgingen (gas/elektra).

Toekomst

Wanneer kunnen we dit systeem verwachten? “We hebben nu in het lab een testsysteem voor 100 tot 200 gram zouthydraat. We willen over een jaar

of twee testen in een van onze proefhuizen op het terrein van ECN. Dit zal met een systeem van ongeveer 1 m³ ofwel 1000 kg zijn. We kunnen dan de moeilijkheden met opschalen onderzoeken, terwijl een systeem van deze omvang toch veel minder complex is om te bemeten dan het uiteindelijke systeem van 5 m³. Met die proeven willen we bedrijven overtuigen van de werking, zodat we in samenwerking verder kunnen met een veldexperiment op een grotere schaal, bijvoorbeeld een hele straat of wijk. En wanneer dat goed gaat, kan er commercieel gebouwd gaan worden. Ik verwacht een eerste commerciële toepassing tussen 2015 en 2020.”

ECN's onderzoek aan thermochemische warmteopslag vindt plaats binnen het kader van Building Future, een samenwerkingsverband van ECN en TNO op het gebied van energieonderzoek in de gebouwde omgeving. Het wordt ondersteund door EOS-LT, een subsidieprogramma van SenterNovem dat de langetermijnontwikkeling van duurzame energie stimuleert. Meer informatie hierover is te vinden op : www.buildingfuture.org en www.ecn.nl/thermalsystems.



De testhuizen van ECN waar binnenkort de werking van thermochemische warmteopslag getest gaat worden.