

Opslag van energie, warmte en warm water

“De doorbraak van hernieuwbare energie valt of staat met de ontwikkeling van opslagcapaciteiten en met de omzetting van zonne- en windenergie naar warmte. Dat zijn de laatste drempels naar een totale omschakeling” Preben Maegaard in een gesprek met Tine Hens, auteur van “Het klein verzet”, pg 156

1. Huisbatterij

Een autonoom systeem zorgt ervoor dat u onafhankelijk bent van het elektriciteitsnet. Zodra er meer elektriciteit geproduceerd wordt dan verbruikt, wordt deze opgeslagen in een batterij.

De regelaar vormt de kern van uw installatie. Is er een onmiddellijke elektriciteitsvraag, dan stuurt de regelaar de opgewekte elektriciteit meteen naar de verbruikerspost (bijv. een lampje). Is er op het moment van elektriciteitsopwekking geen vraag naar elektriciteit, dan wordt de elektriciteit opgeslagen in de batterij, waar de opslagcapaciteit wordt berekend in functie van het gevraagde verbruik.

Een batterij varieert van 2 kilowattuur tot 5 kWh met een levensduur van 4 à 5 jaar, waarbij hij tussen de 4.000 à 5.000 keer op- en ontlad. De Amerikaanse reus Tesla ontwikkelde een oplaadbare batterij die 10 tot 100 kWh groene energie kan opslaan. Zo kunnen we naar huizen die volledig energie-onafhankelijk zijn.

<http://www.kilowattsolar.eu/off-grid/>

2. Opslag van grote hoeveelheden zonne-energie

Met zijn 624 spiegels maakt de Spaanse centrale PS10 gebruik van zonnestrallen om water tot 285 °C op te warmen in grote reservoirs. Deze energie wordt daarna in een stoomturbine vrijgemaakt in de vorm van elektriciteit.

3. Opslag van warmte in een tafel met een wasachtige substantie.

Raphaël Ménard en Jean Sébastien Lagrange ontwierpen een tafel die overtollige warmte absorbeert en de opgehoopte warmte weer vrij maakt als de omgevingstemperatuur daalt onder de 21,5. Daartoe is tussen het houten tafelblad en een gegolfde laag geanodiseerd aluminium een wasachtige substantie geïntegreerd.

<http://zef-design.tumblr.com>

4. Buffervat

Is net als een boiler een opslagvat voor warm water. Het grote verschil is echter dat op een buffervat verschillende energiebronnen aangesloten kunnen worden om het water op temperatuur te brengen of te houden. Zo kan je als gebruiker op ieder moment voor de goedkoopste brandstof kiezen.

In het vat wordt warmte in verschillende temperatuurlagen opgeslagen. Hoe hoger in het vat, des te hoger de temperatuur van het water. De temperatuur kan in de hoogste laag oplopen tot 95° Celsius. De warmte wordt in functie van de toepassing uit de juiste laag gehaald.

Op een buffervat kunnen alle mogelijke toestellen worden aangesloten: zonnepanelen, warmtepomp, gasketel, stookolieketel, pelletketel, houtgestookte verwarming,... In dit laatste geval is het gebruik van een buffervat zelfs nodig om een goede werking van de verwarmingsinstallatie te krijgen.

Prijs buffervat. De inhoud van een buffervat ligt gevoelig hoger dan die van een traditionele boiler omdat het hier ook echt de bedoeling is warmte te stockeren. Denk daarbij aan volumes van 300 tot 2000 liter en zelfs meer.

Onderhoud buffervat. Een buffervat heeft geen specifiek onderhoud nodig

Premies buffervat. Geen premies beschikbaar



Elektriciteit in water bewaren

Het feit dat je ook de warmtepomp kunt koppelen aan een buffervat maakt het mogelijk om elektriciteit in de vorm van warmte te stockeren. Op dagen dat je veel energie op het openbare elektriciteitsnet zet, kan het interessant zijn deze elektriciteit via de warmtepomp om te zetten in warmte en te stockeren in het buffervat. Via een koppeling tussen de omvormer en de warmtepomp weet deze laatste wanneer er een overschot aan elektriciteit is en de warmtepomp dus warm water kan produceren. Die productie is niet alleen gratis, je verlaagt zo ook de heffing die je moet betalen om de groene elektriciteit op het net te plaatsen.

<http://www.habitos.be/nl/duurzaam-wonen/opslag-van-zonne-energie-9176/>

5. Opslag van windenergie

Greenpeace en Gasunie maken opslag windenergie mogelijk

17.04.2012

Gasunie en Greenpeace Energy gaan samenwerken op het gebied van 'Windgas'. Met deze innovatieve technologie maakt Greenpeace uit duurzame windenergie waterstofgas, dat vervolgens in de gasinfrastructuur van Gasunie in Noord-Duitsland kan worden geïnjecteerd. Op die manier kunnen de overschotten van windenergie worden opgeslagen voor later gebruik en wordt overbelasting van elektriciteitsnetten voorkomen. Hiermee komt aardgasinfrastructuur in een nieuwe rol: als opslagmedium voor duurzame energie. Vandaag hebben Gasunie en Greenpeace daartoe een samenwerkingsovereenkomst getekend. Door de toevoeging van dit door wind geproduceerde gas wordt de energievoorziening in zijn geheel duurzamer.

Greenpeace en Gasunie zien dit als een belangrijke stap naar de energievoorziening van de toekomst. Om de overgang naar een duurzame energievoorziening mogelijk te maken zijn nieuwe oplossingen voor de opslag en transport van energie nodig. Het aanbod van elektriciteit opgewekt uit wind en zon schommelt namelijk sterk, al naar gelang de weersomstandigheden. Soms is er teveel en soms weer te weinig. Windgas (ook wel aangeduid als 'power-to-gas') brengt hier samen met bestaande gasinfrastructuur uitkomst. Bij tekorten springen aardgascentrales bij om de energievoorziening op peil te houden. Nieuw is dat de overschotten kunnen worden omgezet in gasvorm. Gas is makkelijk op te slaan en bovendien de goedkoopste vorm van energietransport. In een elektrolyse-installatie wordt elektriciteit gebruikt om water te splitsen in zuurstof en waterstof. Dit is een schoon en duurzaam proces dat in de praktijk al bewezen heeft goed te werken. Het waterstof kan in het gasnet goed worden gemengd met het aanwezige aardgas.

Greenpeace zorgt voor de waterstofproductie en Gasunie voor de invoeding in het transportnet. De bedoeling is om de benodigde installaties in 2013 in bedrijf stellen. "Door de samenwerking met Gasunie kunnen we ons doel een flinke stap naderbij brengen – namelijk om onze klanten nog in 2013 zelf-geproduceerd Windgas aan te kunnen bieden", zegt Dr. Steffen Welzmler, directeur van Greenpeace Energy. "Windgas is essentieel voor de Energiewende, omdat het bestaande opslagfaciliteiten opent voor hernieuwbare energiebronnen."

Paul van Gelder, CEO van Gasunie, is enthousiast. "Zo helpen we ervoor te zorgen dat duurzame energie uit wind en zon een veel grotere plaats kan gaan innemen in een energievoorziening die tegelijk stabiel blijft. Twee werelden komen hier bij elkaar: die van het gas en die van de duurzame elektriciteit. Inspirerend dat we hier in Duitsland nu al concreet aan de slag gaan met een partner als Greenpeace. Ook voor Nederland biedt deze technologie kansen als hier het aandeel van duurzame energie verder toeneemt. Windgas is een van de speerpunten in de energie-innovatie."

“Voor Gasunie is de samenwerking met Greenpeace Energy een mijlpaal op weg naar een duurzame energievoorziening”, zegt Jens Schumann, managing director van Gasunie Deutschland. “We waren al bezig met de invoeding van groen gas in ons systeem. Aardgasinfrastructuur biedt ideale kansen aan de Duitse ‘Energiewende’, op een haalbare en betaalbare manier. Met Greenpeace hebben we een professionele en geloofwaardige partner aan onze zijde.”

Greenpeace Energy is Duitslands grootste onafhankelijke energiecoöperatie met windparken, productielocaties voor zonne-energie en meer dan 110.000 klanten. Gasunie is een van de grootste gasinfrastructuurbedrijven in Europa met een netwerk van meer dan 15.000 kilometer lengte, waarvan 3.000 kilometer in Noord-Duitsland.

<http://www.gasunie.nl/nieuws/greenpeace-en-gasunie-maken-opslag-windenergie-mogelijk>

6. De mechanische batterij: duurzame energie opslaan met de zwaartekracht 05/05/2013



de mechanische batterij van Energy Cache

Zonnepanelen en windturbines leveren elektriciteit op die veel duurzamer is dan de elektriciteit van fossiele brandstoffen of van kernenergie. Maar we hebben nog geen duurzame manier gevonden om die energie ook op te slaan. Dat is nochtans essentieel, want in tegenstelling tot fossiele brandstoffen en atoomenergie zijn hernieuwbare energiebronnen niet op afroep beschikbaar.

In dit artikel verkennen we een eerste mogelijkheid van energieopslag: de mechanische batterij. Energie opslaan als zwaartekracht werkt met bestaande technologie en is geheel onschadelijk voor mens en milieu. Een aantal recente innovaties opent nieuwe mogelijkheden. Maar de nabijheid van een bergketen is wel handig, zoniet komen er grote bouwwerken aan te pas.

Het kan in principe ook thuis, bijvoorbeeld in combinatie met de zonnepanelen op het dak. Maar zelfs als we 50 keer minder elektriciteit zouden verbruiken dan vandaag, dan nog zou een mechanische batterij een aanzienlijk deel van het huis innemen.

De energiedensiteit van de zwaartekracht is zeer laag in vergelijking met andere vormen van energieopslag. Als we de energie uit een typische AA-batterij (3 watt-uur) willen opslaan door middel van de zwaartekracht, dan zouden we een gewicht van honderd kilogram tien meter hoog moeten optillen. De energie die door de zwaartekracht kan worden opgeslagen, kan als volgt worden berekend:

massa x hoogte x zwaartekracht (10 m/s²) = energie in Joule.

Een massa van 1 ton (één kubieke meter water) op een hoogte van 10 meter geeft een potentiële energie van 100.000 Joule, of 27 watt-uur. Daar kan je ongeveer een uur lang een laptop of een ouderwetse gloeilamp mee laten werken. Dat is veel moeite voor weinig energie, maar toch wordt de zwaartekracht succesvol gebruikt om energie op te slaan, zowel op kleine als op grote schaal.

Pompcentrales

Eerst de grote schaal. Een pompcentrale is al meer dan honderd jaar de meest efficiënte en economische methode voor het opslaan van elektriciteit. Het werkingsprincipe is gebaseerd op de zwaartekracht. Als er veel wind of zon is, dan kan het overschot aan hernieuwbare energie worden gebruikt om water van een lager naar een hoger gelegen spaarbekken te pompen. Volgt er een periode van windstilte of duisternis, dan worden de sluizen opengezet en drijft het vallende water generatoren aan.

De eerste pompcentrales werd gebouwd aan het einde van de negentiende eeuw en vandaag zijn ze goed voor zowat 99 procent van de opslag van elektriciteit wereldwijd (in totaal ongeveer 127 gigawatt-uur).



waterreservoir van een pompcentrale in Duitsland

Het probleem is dat pompcentrales niet overal kunnen worden gebouwd. Omdat de energiedensiteit van water beperkt is, kan de methode alleen maar werken met twee grote plassen water en een groot verschil in hoogte. Pompcentrales hebben dus veel plaats nodig en kunnen alleen maar rendabel gebouwd worden in de bergen. Bovendien zijn zelfs daar zowat alle geschikte locaties al ingenomen.

Grind in plaats van water

Recent doken een aantal innovaties op die minder hoge eisen stellen aan de geografie voor het benutten van de zwaartekracht. De Amerikaanse start-up **Energy Cache** heeft een methode

uitgedacht die geïnspireerd is door de werking van een pompcentrale, maar het water vervangt door grind. Dat materiaal heeft een hogere specifieke zwaartekracht dan water: een kubieke meter grind weegt 1500 tot 1700 kg, terwijl een kubieke meter water duizend kilogram weegt. Dat betekent dat er minder ruimte nodig is voor energieopslag, zodat deze installaties kunnen worden gebouwd op plaatsen waar een pompcentrale niet haalbaar is.

Uiteraard kan grind niet omhoog worden gepompt zoals water, en kan het geen turbine aandrijven als het naar beneden stort. Maar Energy Cache ontwikkelde een aangepast systeem. Als er een overaanbod is van wind- of zonne-energie, dan wordt die energie gebruikt om een motor aan te drijven die het grind via een **kabelspoorbaan** naar een hoger niveau transporteert. Daar wordt het in een reservoir gekiept. Is er te weinig aanbod van wind- of zonne-energie, dan wordt het grind via dezelfde weg naar beneden getransporteerd, aangedreven door de zwaartekracht. De staalkabel, die verbonden is met een generator, wekt dan elektriciteit op.



De kabelspoorbaan van Energy Cache.

Het laden en lossen van de wagentjes gebeurt volautomatisch en is gebaseerd op technologie uit de mijnindustrie. In **deze video** is te zien hoe het systeem werkt. Energy Cache heeft een prototype van 50 kilowatt-uur gebouwd in Californië, dat momenteel wordt getest. De volgende stap is de bouw van een groter demonstratieproject dat tussen de 0,5 en 1 megawatt-uur energie kan opslaan. Het is een modulair systeem, dat geleidelijk kan worden opgebouwd. Ook dat is een belangrijk voordeel tegenover een pompcentrale, waar een enorme investering pas vele jaren later een eerste return oplevert.

Een mechanische batterij voor vlak land

Net zoals een pompcentrale heeft het systeem van Energy Cache natuurlijk wel een hoogteverschil nodig. Maar de zwaartekracht kan ook in vlakke regio's gebruikt worden, zoals Vlaanderen of Nederland. Eén manier is het benutten van het hoogteverschil met een *ondergronds* waterreservoir, bijvoorbeeld een leeg gasveld of een uitgeputte mijn. Het principe is verder gelijk aan dat van een gewone pompcentrale. Maar daarmee wordt het systeem opnieuw afhankelijk van welbepaalde geografische omstandigheden, en zijn we terug bij af.



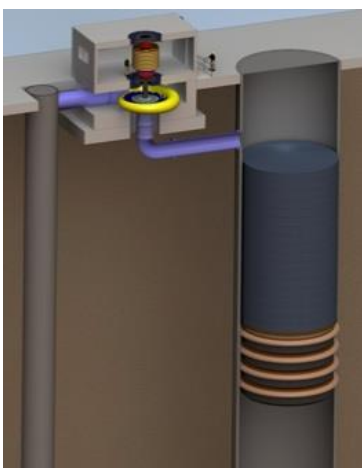
Illustratie: Rudolf Das.

De zogenaamde "**energie-eilanden**" (of "valmeercentrales"), die zowel in **Nederland** als in **België** werden voorgesteld, zouden volgens een gelijkaardig principe werken en kennen dit probleem niet. Er wordt een eiland gebouwd in de zee, met daarin een groot meer. Bij een overschot aan elektriciteit wordt zeewater uit het meer in de omringende zee gepompt, bij een tekort stroomt zeewater het meer in terwijl een generator wordt aangedreven. Dit idee gaat uiteraard goed samen met windturbines op zee.

Cylinder uit de rotsen houwen

Het Amerikaanse bedrijf **Gravity Power** en het Engelse bedrijf **EscoVale Consultancy** bedachten een compacter concept voor een vlakke geografie. Het bestaat uit een diepe ondergrondse schacht die wordt gevuld met water. Daar wordt een nauw aansluitende, zware cylinder in geplaatst. Omdat water niet samengedrukt kan worden, en omdat er geen ruimte is tussen de cylinder en de wand van de schacht, "drijft" de cylinder op het water.

Bij een overaanbod van hernieuwbare energie wordt er water onderin de schacht gepompt, waardoor het gewicht naar boven wordt gestuwd. Is er een tekort aan hernieuwbare energie, dan wordt er water uit de schacht -- onder hoge druk -- gelaten om er een generator mee aan te drijven. Het gewicht zakt dan naar beneden. Het circuit wordt eenmalig gevuld met water, daarna wordt het water steeds opnieuw gebruikt.



De mechanische batterij van Gravity Power.

De technologie bestaat voorlopig enkel op papier, er is nog geen prototype gebouwd. De methode bestaat uit veel minder bewegende onderdelen dan de kabelspoorbaan van Energy Cache, waardoor ze wellicht efficiënter kan werken. Ook neemt het systeem bovengronds

nauwelijks plaats in en maakt het net als Energy Cache gebruik van bestaande technologie: de machines om dit soort schachten te boren worden al decennia gebruikt in de mijnindustrie.

Zwaartekrachtlamp

De zwaartekracht kan ook op veel kleinere schaal benut worden. Thuis bijvoorbeeld. Een mooi voorbeeld is het "**Gravity Light**", of de "zwaartekrachtlamp". Veel ngo's hebben de jongste jaren **verlichting op zonne-energie in ontwikkelingslanden geïntroduceerd**, als alternatief voor de ongezonde kerosine-lampen. Hoewel dat op zich zonder twijfel een lovenswaardig initiatief is, levert het slechts een tijdelijke oplossing op. Als na twee of drie jaar de herlaadbare batterijen aan vervanging toe zijn, is er ook geen licht meer. Nieuwe batterijen zijn duur en lang niet altijd makkelijk te vinden. Na gebruik komen ze meestal in de natuur terecht.

De zwaartekrachtlamp lost deze problemen grotendeels op. De LED-lamp heeft geen batterij, maar een opslagsysteem dat werkt dankzij de zwaartekracht. Een bijgeleverde, sterke zak wordt gevuld met ongeveer tien kilogram zand of stenen, en dan omhoog getrokken, tot aan het plafond. Het gewicht zakt vervolgens langzaam naar beneden en drijft daarmee een dynamo aan, die elektriciteit produceert en de lamp doet werken. Na 15 tot 30 minuten heeft het gewicht het laagste punt bereikt en hijst de een mens de zak terug omhoog.



De "zwaartekrachtlamp".

De zwaartekrachtlamp is niet afhankelijk van batterijen, en alle nadelen die daarbij horen. Alleen de LED-lamp zelf maakt dat de levensduur van de lamp beperkt is, tot minstens tien jaar als we de fabrikanten van LED-verlichting mogen geloven.

Zwaartekracht thuis

Is de zwaartekracht een realistisch alternatief voor het opslaan van hernieuwbare energie op grote schaal? Dat hangt af van het energieverbruik. De zwaartekrachtlamp werkt, maar er zit een LED-lampje in van 0,1 watt. Voor een gloeilamp van 25 watt zou een gewicht van 1 ton elke 15 tot 30 minuten naar een hoogte van tien meter moeten worden getrokken.

Het elektriciteitsverbruik in een Belgisch of Nederlands huishouden bedraagt ongeveer 9.000 watt-uur per dag. Kunnen we dat opslaan met een micro-pompcentrale? Als we drie zonloze (of windloze) dagen willen kunnen overbruggen, een typisch uitgangspunt bij de berekening

van de batterijcapaciteit voor een "off-grid" huis, dan hebben we een capaciteit nodig van 27.000 watt-uur.

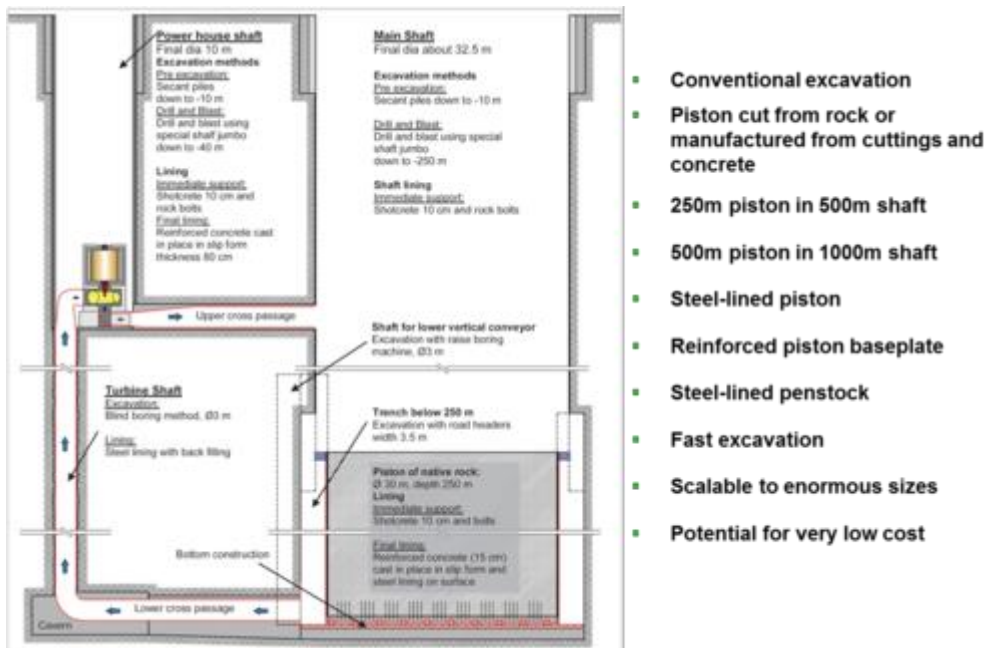
Als we de hoogte beperkt willen houden tot een min of meer praktische tien meter, dan is er een gewicht nodig van bijna 1.000 ton (duizend kubieke meter water, of een zwembad van 10 meter lang, 10 meter breed en 10 meter diep). Er is ook een even groot tweede reservoir nodig om dat water op te vangen.

Kleinschalige versies van energieopslag met behulp van kabelspoorbanen of betonnen cilindervormen, als ze mogelijk zouden zijn, kunnen het volume wat beperken -- maar niet het gewicht.

Energieopslag op grote schaal

Het nadeel van de zwaartekracht als opslagmedium is ook duidelijk op grote schaal. Volgens Gravity Power is er voor een opslagcapaciteit van 40 megawatt-uur (de capaciteit van een kleine pompcentrale) een cylinder nodig met een diameter van 30 meter en een lengte van 250 meter, terwijl de schacht 500 meter diep zou moeten zijn.

Het bedrijf stelt voor de cylinder te vervaardigen uit beton en ijzererts, om een zo hoog mogelijke densiteit te bereiken voor een zo laag mogelijke kost. Gravity Power geeft geen informatie over het gewicht ervan, maar als we uitgaan van de specifieke zwaartekracht van beton, dan weegt een cylinder van 250 meter lang en een diameter van 30 meter (= volume van 176,714 m³) maar liefst 424.000 ton.



Om een idee te geven: dat is ruim twee keer zoveel als het tonnage dat de grootste containerschepen kunnen vervoeren. Het verbaast dan ook niet dat Escovale Consultancy voorstelt de cilinder dan maar gelijk ter plaatse uit de rotsen te houwen. Als we 30 gigawatt-uur elektriciteit willen opslaan (genoeg voor drie dagen elektriciteitsverbruik in België), dan hebben we 750 van deze cilindervormen nodig.

Technisch mogelijk? Zeker. Realistisch? Niet echt. Er is te veel plaats en vooral te veel staal en beton nodig. Het voordeel van pompcentrales is dat we de bergen zelf niet hebben moeten bouwen. De systemen die mogelijk zijn in vlakke regio's vragen allemaal een grote input van bouwmaterialen, en dus ook veel geld, tijd en energie.

Energieverbruik delen door vijftig

Een micro-pompcentrale thuis is bij het huidige energieverbruik dus geen realistische oplossing voor duurzame energieopslag. Pas als we 50 keer minder elektriciteit zouden gebruiken als vandaag -- 180 watt-uur elektriciteit per huishouden per dag -- dan komen we aan een min of meer haalbaar concept dat met wat goede wil in een eengezinswoning kan worden ingebouwd.

Om drie donkere of windstille dagen te overbruggen, hebben we in dat geval een capaciteit nodig van 540 watt-uur. Dat kunnen we bereiken met een gewicht van 20 ton op een hoogte van 10 meter, of met een gewicht van 40 ton op een hoogte van 5 meter. In dat laatste geval gaat het om een opslagreservoir van 40 kubieke meter, of een zwembad van ongeveer 3,5 meter lang, 3,5 meter breed en 3,5 meter diep. Of, zeg maar, een volledige slaapkamer gevuld met water, en een even groot reservoir vijf meter lager.

Dezelfde hoeveelheid elektrische energie zou ook in twee laptopbatterijen kunnen worden opgeslagen.

Wat doe je met 180 watt-uur elektriciteit per dag voor het hele gezin? Alleen al het opladen van vier smartphones vraagt zo'n 40 watt-uur per dag. Een miniatuur laptop die 15 watt verbruikt, kan er twaalf uur mee werken -- maar als vier personen zo'n laptop hebben, kunnen ze er elk maar vier uur op werken, en blijft er niets over voor verlichting. Met 180 watt-uur kunnen vier spaarlampen van 10 watt elk iets meer dan vier uur per dag werken. Voor koelkast, wasmachine, strijkijzer en stofzuiger is er niet genoeg elektriciteit. Zelfs een centrale verwarming past niet, want de pomp ervan verbruikt meer energie dan er beschikbaar is.

Hoewel er voor al deze technologie wel degelijk goede lowtech alternatieven bestaan, inclusief de centrale verwarming en de koelkast, zullen weinig mensen in België en Nederland bereid zijn hun elektriciteitsverbruik zo ver terug te schroeven. En zij die dat toch doen, zullen eerder naar de twee laptopbatterijen grijpen.

Kris De Decker

<http://www.lowtechmagazine.be/2013/05/de-mechanische-batterij.html>

7. Onderzoek naar opslagmogelijkheden bij VITO

De nood aan hernieuwbare energie neemt elke dag toe. VITO en EnergyVille voeren onderzoek naar 2 cruciale technologische doorbraken in die materie: de opslag van elektriciteit en de optimalisatie van thermische energiesystemen.

Opslag van elektriciteit

Het VITO en Energy-ville-onderzoek focust zich op de interface tussen batterij- en energievoorziening. Onze systemen verhogen de maximale laadcapaciteit en de veiligheid van batterijen, terwijl ze ook de totale kosten van opslag drukken. We integreren eveneens batterijen in andere energiesystemen. Dat onderzoek gaat concreet naar het laden van elektrische voertuigen en daarnaast de recuperatie in stations van energie van remmende treinen.

VITO plant ook onderzoek naar lange-termijnoplossingen voor de opslag van hernieuwbare elektriciteit in combinatie met hergebruik van CO₂ in chemische processen.

Optimalisatie van thermische energiesystemen

Slimme warmtenetten combineren korte- en langetermijnopslag van energie én reageren met andere energienetwerken (elektriciteit en gas) en hernieuwbare energiebronnen, waaronder ook geothermische energie.

VITO zoomt in op de opslagconcepten voor thermische energie en conversietechnologieën. In het bijzonder ontwikkelen we:

- intelligente substations die de brug slaan tussen het netwerk en de consument;
- controlesystemen en softwareoplossingen die de kostenefficiëntie van de thermische energievoorzieningen vergroten;
- systemen voor het gebruik van restwarmte.

EnergyVille

VITO onderzoekt die domeinen niet alleen. We maken deel uit van EnergyVille, een Europees onderzoekscentrum waarbinnen we onze krachten bundelen met die van de KULeuven en Imec. Samen ontwikkelen we innovaties voor de energievoorziening van de toekomst en ondersteunen we beleidsmakers en bedrijven, die met deze innovaties aan de slag gaan.

Onze onderzoeksdomeinen:

- Opslag van elektriciteit.
- Optimalisatie van thermische energiesystemen.
- Analyse van energiesystemen – Welke transities vinden plaats in de energievoorziening, welke technologische innovaties zijn nodig en via welke weg kunnen ze geïmplementeerd worden?
- Interoperabiliteit – Hoe werken onze technologieën samen met andere onderdelen van de energievoorziening? Hoe kunnen zogenaamde virtuele elektriciteitscentrales gebruikt worden om de balans te vinden tussen de vraag en het aanbod van elektriciteit?
- Living Labs – Prototypes van de bovenvermelde technologieën worden getest in real life situaties. Wat is de rol van de consument en andere betrokken partijen? Hoe doeltreffend zijn deze technologieën in een reële context, zoals een stadswijk en hoe performant zijn ze?

- Smart energy stadsplanning – We helpen lokale overheden en projectontwikkelaars met deskundig advies om verschillende aspecten van energie (efficiëntie, implementatie van hernieuwbare energie, opslag) te integreren in hun plannen voor stadsontwikkeling, van een enkel gebouw tot de hele stad. Hoe kan de kwaliteit van deze projecten gegarandeerd en het technologische risico beperkt worden?
- Energiebeleid en -strategie – Beleidsmakers hebben nood aan de evaluatie van de impact van bestaande en van nieuwe beleidsmaatregelen. Bedrijven en hun federaties willen begrijpen hoe de energiemarkt evolueert en hoe hun concurrentiepositie wordt beïnvloed.
- Geothermische oplossingen – VITO levert diensten die bijdragen tot de beperking van risico's voor geothermische projectontwikkelaars: geofysische verkenning, reservoirmodellering, ontwerp van boorputten en projectmanagement.

Interfaces voor opslag van elektriciteit

Onze maatschappij is op weg naar een koolstofarme energievoorziening, met continuïteitsgaranties, stabiele prijzen en minimale impact op het leefmilieu. Flexibiliteit op het vlak van energie is cruciaal om die omslag waar te maken.

EnergyVille werkt aan opslagmogelijkheden voor elektriciteit voor korte en lange termijn.

Elektriciteit flexibeler maken

EnergyVille is een expert op het gebied van de interface tussen opslageenheden voor elektriciteit en hun verbonden systemen. Die hard- en softwarecomponenten moeten energieverbruik in die systemen efficiënter, flexibeler en kostenefficiënter maken.

EnergyVille zoomt vooral in op 2 innovatiedomeinen:

- Batterijmanagement – Gespecialiseerde batterijbeheersystemen maken batterijen betrouwbaarder, voorspelbaarder én kostenefficiënter.
- Integratie van opslageenheden – EnergyVille ontwikkelt flexibele systemen die gebruik maken van verschillende soorten opslageenheden voor elektriciteit (batterijen, ultracapacitatoren, ...)

Maatwerk

EnergyVille heeft heel wat kennis en IP in huis over technologieën voor batterijmanagement. Dat maakt van ons een geschikte partner inzake:

- **Ontwikkeling van batterijmanagementsystemen op maat.** Die zijn veel performanter dan de huidige commercieel beschikbare producten.
- **Ontwerp en implementatie van gemengde opslagsystemen.** Daarvoor kunnen we rekenen op ons expertteam op het vlak van elektriciteitsmarkten, controle-algoritmen en elektrische systemen.

- **Batterijlabo en evaluatie van opslagsystemen.** Dat doen we op basis van onze uitgebreide expertise in het testen van batterijen en ons onderzoek rond de veiligheid van elektriciteitsopslag.

U vindt bij ons geen afgewerkte marktproducten, wél technologische oplossingen die u helpen bij uw productontwikkeling. Onze industriële partners gebruiken onze technologieën en de kennis en ervaring van onze onderzoekers voor de ontwikkeling van hun eigen producten.

VITO is ook een belangrijke partner voor de integratie van elektriciteitsopslag in specifieke eindapplicaties zoals snel oplaadbare elektrische voertuigen of energie-hubs voor wijken, treinstations of havens.

Optimaliseren van thermische energiesystemen

Verwarming is dé energieslokop van onze samenleving. Liefst 50% van de verbruikte energie in huishoudens en bedrijven gaat naar verwarming. **EnergyVille** grijpt daarop in.

Isolatie-innovaties en flankerende maatregelen zijn belangrijk om het energieverbruik terug te dringen. EnergyVille focust echter op de kernvraag: hoe creëren we een optimaal thermisch energiesysteem waarbij niet alleen de focus op componentniveau ligt, maar ook op de optimale interactie tussen de verschillende onderdelen.

Thermische systemen op grote schaal

Binnen dit thermisch energiesysteem komen verschillende onderdelen aan bod: intelligent omgaan met het huidige (over)aanbod van warmte en koude, geothermie als grootschalig productieproces (bv. cogeneratie van warmte en elektriciteit), inkoppeling van thermische opslag, ...

Om die thermische systemen op grote schaal mogelijk te maken, moeten we energienetwerken creëren die warmte en koude kunnen transporteren. We moeten die energienetwerken ook combineren met opslagtechnologieën en intelligente controle. Ze vormen een kritisch onderdeel van de benodigde infrastructuur om een grootschalige integratie van hernieuwbare energiebronnen mogelijk te maken.

Technologische onderbouw

EnergyVille werkt aan de uitbouw van de noodzakelijke technologie: een thermisch energiesysteem voorzien van intelligente controle, interactie en conversiemogelijkheden creëert niet alleen flexibiliteit, maar benut ook het reeds aanwezige potentieel.

Om de waarde van het totale thermische systeem te maximaliseren, is fundamentele kennis van elke component essentieel. Daar ligt de sterkte van EnergyVille: de toestand van hernieuwbare productiebronnen, opslagsystemen en gebouwen omschrijven en restwarmte

kwantificeren, het maakt allemaal deel uit van de grotere puzzel. De thermische energiesystemen die wij bestuderen omvatten o.a. warmtepompen, nieuwe concepten van energieopslag (PCM, TCM, ...) en bi-directionele onderstations voor de aansluiting met het thermisch net.

Om geothermie als onontgonnen hernieuwbare energiebron aan te boren, heeft EnergyVille de activatie van deze energievorm tot een van haar expertises gemaakt. Daarbij combineert EnergyVille de unieke kennis van de ondergrond in Vlaanderen aan technologische ontwikkelingen voor het inkoppelen en converteren van dit type geothermische warmte.

Wat bieden wij u?

EnergyVille beschikt over uitgebreide en diepgaande kennis inzake al dan niet zelflerende controle-algoritmes voor de uitbouw van intelligente thermische energiesystemen. Ook de methodologieën voor het bepalen van de laadtoestand van gebouwen en opslagsystemen bespreken we graag met u.

Naast het luik kennisopbouw ontwikkelt EnergyVille ook nieuwe technologieën die een oplossing bieden voor de uitdagingen binnen de toekomstige thermische energiesystemen. Samen met industriële partners wordt daarbij een traject doorlopen dat toelaat nieuwe en innovatieve producten op de markt te brengen.

Betreffende geothermie levert EnergyVille ondersteuning en begeleiding van geothermische projecten in binnen- en buitenland, gaande van haalbaarheidsstudies en targetting, aanvragen van vergunningen, begeleiden van MER tot boorbegeleiding en nazorg.

Fysieke integratie van hernieuwbare energiebronnen

Hernieuwbare energiebronnen duiken steeds vaker en steeds diverser op in het energielandschap. **EnergyVille** onderzoekt hoe onze elektrische netten met die nieuwe componenten kunnen interageren op de meest optimale manier.

Toegepast onderzoek rond hernieuwbare energie

EnergyVille werkt mee aan een betrouwbare, kostenefficiënte en duurzame energievoorziening. Onze onderzoeken spitsen zich toe op vijf topics:

- Technische interactie tussen opwekking en belasting, inclusief opslag: gridflexibiliteit, ondersteunende diensten, de integratie van hernieuwbare energiebronnen, ...
- Operationeel beheer van elektrische energiesystemen door optimale inplanning in verschillende domeinen van de operator.
- Planning van elektrische energiesystemen.
- Controleerbare energienetten (HVDC, FACTS, ...): planning, uitbating en beveiliging.
- Betrouwbare energievoorziening: risicogebaseerde en deterministische analyse van betrouwbaarheid.

Interoperabiliteit voor toekomstige elektriciteitsmarkten

Nu hernieuwbare energiebronnen een sterke opgang kennen in het elektriciteitsnet, groeit de nood aan nieuwe technologieën en processen om die bronnen in te passen in het bestaande model. Interoperabiliteit is een cruciale uitdaging voor de energiemarkt van morgen.

Een veranderende energiemarkt

De energiemarkt verandert volop. Waar vroeger de productie de vraag volgde, keert die dynamiek vandaag helemaal om: de vraag dient de opwekking te volgen. En ook de decentralisatie en verdeling van de controle is een onomkeerbare tendens.

De gevolgen van die evoluties zijn gigantisch: flexibiliteit van consumptie wordt een vermarktbaar product, er ontstaan opportuniteiten voor nieuwe (lokale) energiemarkten, en overall is nood aan nieuwe businessmodellen en marktreguleringen.

EnergyVille onderzoekt hoe in deze veranderende omstandigheden het elektriciteitsnetwerk kostenefficiënt en stabiel te runnen, rekening houdend met de grote aanwezigheid van variabele hernieuwbare energiebronnen allerhande en de verschillende actoren in deze nieuwe omgeving.

Daarvoor zijn intelligente controlemechanismen nodig, gestoeld op stevige ICT, en heel wat afspraken tussen de verschillende stakeholders zoals energiemaatschappijen, netbeheerders, eindgebruikers, ...

Actief in Europese onderzoeksprojecten

EnergyVille is een expertisecentrum dat focust op energie-gerelateerd onderzoek dat de brug slaat tussen het fundamenteel onderzoek en de noden van de industrie. We maken deel uit van de Europese EERA-onderzoeksgroep over Smart Grids waar we de leiding nemen in de subprogramma's *Control Systems and ICT Interoperability* en *Economic, Environmental and Social Impacts*.

Ook in het internationale ETSAP network (Energy Technology Systems Analysis Program of the International Energy Agency) zijn we erg actief. Dat netwerk is verantwoordelijk voor het onderhoud van de MARKAL/TIMES energiemodeleringssoftware.

EnergyVille focust op:

- scenario-analyses van toekomstige energiesystemen
- mechanismen voor nieuwe elektriciteitsmarkten
- businessmodellering met meerdere actoren (value chain)
- optimalisatie van controllers

We bekijken interoperabiliteitsvraagstukken zoveel mogelijk op een holistische wijze, waarbij we zowel op technologische aspecten focussen als op economische en sociale aspecten.

Meerwaarde van EnergyVille

EnergyVille kan bijdragen tot uw strategische energieprojecten met een stabiel framework dat garandeert dat uw nieuwe ontwikkelingen van hoge kwaliteit zijn én wetenschappelijk breed onderbouwd werden.

Via het EnergyVille Business Affiliation Program on Smart Grid Architectures (EBAP-SGA) brengen we industriële partners samen op alle relevante niveaus van het elektriciteits-ecosysteem, om zo samen interoperabiliteitsvraagstukken te bespreken. In dat open programma, dat focust op technologie en marktontwerp, treden we op als een onafhankelijke neutrale expert en mediator.

<http://www.vito.be>

8. warmte-koude-opslag

Ook: WKO, KWO. Bij warmte- en koude opslag wordt grondwater in de dieper liggende bodem benut als energiebuffer. Doel van warmte-koude-opslag is bij te dragen aan een **energiezuinig gebouw**. Waterhoudende grondlagen (*aquifers*) laten zich uitstekend gebruiken om warmte en koude op te slaan. De diepte van de grondlaag voor wko is meestal boven de 100 m onder **maaiveld**; de zogenoemde 2de generatie wko-systemen kunnen dieper gelegen zijn, 500-600 m onder maaiveld.

Met een **warmtewisselaar (warmtepomp)** wordt in de winter het koude water in een koudwaterlaag in de bodem, de "koude bron", geïnjecteerd en in de zomer het opgewarmde koelwater in de warmwaterlaag, de "warme bron". Door het koude water 's zomers naar boven te pompen wordt zo het gebouw gekoeld. Omgekeerd wordt in de winter het warme water opgepompt om voor verwarming te zorgen. Het onttrokken grondwater wordt steeds weer geïnjecteerd, zodat er geen grondwater wordt verbruikt. Er zijn systemen met twee aparte putten voor koud en voor warm water (*doubletsystemen*), maar er zijn ook *monosystemen* die van één put gebruikmaken en waarbij de lagen onder elkaar liggen.

Opslag van thermische energie (warmte- en koudeopslag, WKO, of koude- en warmteopslag KWO) gedurende een seizoen maakt het mogelijk voor een aanzienlijk deel in de vraag naar warmte en koude te voorzien. Met de opslag van koude en warmte in de bodem zijn zeer forse energiebesparingen van 50% tot 80% te bereiken (bron **BodemenergieNL**). De verwarming zal wellicht nooit voldoende zijn, daartoe moet bijverwarming plaatsvinden.

Als bij opslag van warmte en koude in de bodem gebruik gemaakt wordt van het grondwater dan is sprake van een *open bronsysteem* (open systeem voor **bodemenergie**). Een open systeem zal alleen nuttig zijn bij een grotere energiebehoefte i.v.m. de grotere energieopslag, de kosten, vergunningen, procedures e.d. Bij een *gesloten bronsysteem* is het te verwarmen of te koelen medium in "reservoirs" opgenomen die alleen in verbinding staan met de rest van het energiesysteem. Een *specifieke vorm* van een gesloten bronsysteem is een BWW (**bodem-warmtewisselaar**) waarbij buizen door de warme aardlagen lopen, de vloeistof in de buizen de

warmte opnemen en deze bovengronds afgeven. Het BWW-systeem is minder efficiënt dan het WKO-systeem maar er wordt geen grondwater onttrokken en het brengt geen ongewenste waterstromen in de ondergrond op gang.

Aspecten die de problematiek van warmte- en koudeopslag aangeeft bij *open* wko-systemen:

- geen geschikt watervoerend pakket in de bodem
- er mogen geen grote grondwaterstromen zijn; dan verdwijnt het warme of koude water immers
- drinkwaterbescherming in de nabijheid kan opslag in de bodem beletten
- bestaande bodemverontreiniging mag niet verspreid worden door het wko-systeem
- geografische en juridische problemen, zeker wanneer het aantal installaties met warmte-koude-opslag sterk toeneemt: wat doe je als ondergrondse warmte- en koudebronnen te dicht bij elkaar liggen en elkaar door interferentie ongunstig beïnvloeden? wie is verantwoordelijk?

Een ander aspect is dat een grote hoeveelheid water nodig is om de warmte (of koude) in op te slaan. Bij gebruik van een andere stof dan water kan dat volume aanzienlijk worden teruggebracht. Zulke materialen zijn bijvoorbeeld *magnesiumsulfaat*, *zeolieten* of *silicagel*: soms wordt "warmte" opgeslagen door **veranderen van fase van de stof**, soms door adsorptie (het in zeoliet aanwezige water verdampt of slaat juist neer). Het grote voordeel van magnesiumsulfaat is dat het volume nog niet 1/10 kan zijn van dat van water, wat bij een rijtjeshuis opslag in of onder de **kruipruimte** mogelijk maakt. Ook zijn er dus geen waterbuffers diep in de bodem vereist. Er is berekend dat bij een doorsneehuis een volume van 4,5*4,5*4,5 m wateropslag nodig is; bij toepassing van magnesiumsulfaat i.p.v. water kan dat dus 4,5*4,5*0,45 m zijn wat, met goede isolatie, redelijk gemakkelijk onder een normaal huis past (de capaciteit aan warmteopslag van water is 240 MJ/m³ en van magnesiumsulfaat 2,8 GJ/m³, ofwel 2800 MJ/m³). Bij een dergelijke opslag is sprake van een *gesloten bronsysteem*. Vanwege de temperatuur van het medium, de ligging als onderdeel van de woning of dicht bij de woning en de kans op bacteriën e.d. is hier een gesloten reservoir nodig.

Hoewel wko inmiddels een *bewezen techniek* is, blijkt toch dat er regelmatig wko-projecten mislukken (*zie de noten bij het trefwoord warmtepomp*; de grondlaag voor opslag van warmte of koude is niet geschikt, er wordt bijvoorbeeld te weinig water opgepompt, de installateurs zijn niet vakkundig, de warmtepomp is ongeschikt, de filters raken steeds verstopt enz.). Faalfactoren en andere aspecten van wko zijn o.m.:

- er is onvoldoende (voor)onderzoek gedaan naar de bodemlagen (te weinig geïnvesteerd in onderzoek)
- opdrachtgevers denken, door de zucht naar energiebesparing en duurzame energie, te simpel over wko en willen aan onderzoek weinig uitgeven
- adviseurs zijn te positief over de mogelijkheden (bijvoorbeeld de laag voor warmte- of koudeopslag is te dun waardoor geen uitwijk naar diepere, wel geschikte lagen mogelijk is)
- adviseurs zijn te "vergeetachtig" als het om installatie- en onderhoudskosten gaat (het onderhoud van een wko-installatie is aanzienlijk duurder dan van een cv-ketel)
- installateurs zijn niet vakkundig genoeg (op het MBO wordt teveel gewerkt aan **competenties** en te weinig aan vakmanschap; vakmanschap lijkt soms wel een vies woord gewor-

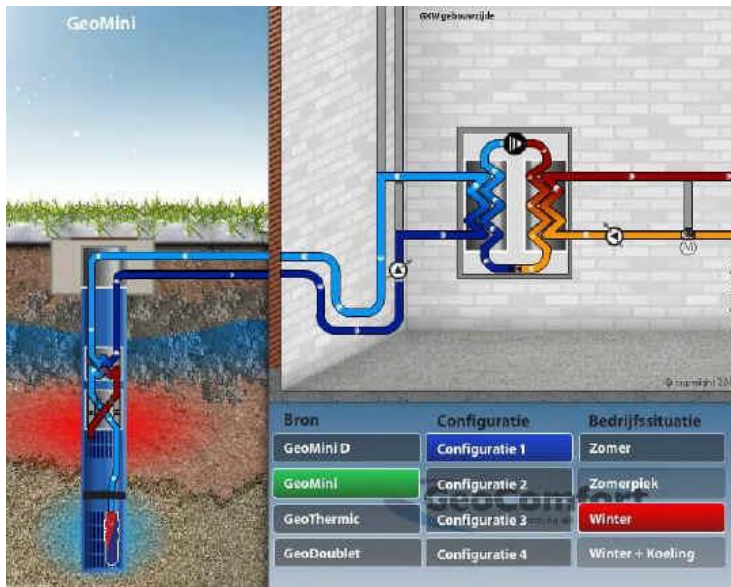
den te zijn, terwijl vakmanschap juist de hoeksteen is van de techniek; op het HBO kiest men teveel voor managementopleidingen omdat men daar, wonderlijk genoeg, meer mee verdient)

- "soms is de warmte uit de wko slechts voldoende voor 20% van de benodigde warmte in de winter (Bibliotheek TU Delft); veel andere wko's slagen er ook niet in 's winters evenveel energie aan de bodem te onttrekken als er in de zomer aan toegevoerd wordt; het nuttig gebruik van warmte uit wko-installaties zal dus veel groter moeten zijn dan nu bij veel projecten is gerealiseerd, dan hoeft men ook geen warmte meer via koeltorens te laten verdwijnen" (ing. P.F. van Gent, 2011)
- "veel wko-installaties zijn niet goed omdat de infiltratietemperatuur in de winter te laag gekozen wordt; daardoor zijn er te weinig uren met een buitentemperatuur die laag genoeg is om koud water te laden" (ing. P.F. van Gent, 2011)
- "er wordt soms twee maal zoveel warmte aan de bodem onttrokken dan er wordt toegevoerd; er is dus meer warmte opgenomen dan geladen met als gevolg dat de bodem structureel wordt afgekoeld en het nuttig effect van het wko-systeem steeds verder vermindert" (voorbeeld van de zogenoemde *onbalans* bij een wko)
- een realistische berekening is dus pure noodzaak en het betekent dat het te verwarmen en te koelen gebouw er speciaal op moeten worden "ingericht" (in ieder geval meer isolatie, richting **kaswoning** of **passiefhuis** wellicht)
- proefboringen blijven *proefboringen*
- uitvoerders hebben (nog) niet genoeg ervaring; het lijkt soms alsof het wiel steeds weer moet worden uitgevonden door de ingenieursbureaus; hoe moeten we een wko-installatie optimaal inrichten?
- een artikeltje uit **Technisch Weekblad** van 16 juni 2012: "Uit onderzoek van **KWR Watercycle Research Institute** blijkt dat ondiep grondwater (vaak verontreinigd door menselijke activiteiten) door warmte/koudeopslag (WKO) sneller op dieptes komt waar eerst alleen schoon water aanwezig was. Bovendien blijkt dat bodemprocessen gevoelig zijn voor de temperatuurseffecten van WKO. Bij proeven losten arseen en boor, die bij lage temperatuur binden aan het sediment, op bij een temperatuurstijging tot 25 graden Celsius, het toegestane maximum voor WKO-systemen. Dit proces is vermoedelijk omkeerbaar, maar enige voorzichtigheid lijkt toch geboden voor WKO nabij plekken voor drinkwaterproductie, iets wat nu regelmatig gebeurt. (JH)".

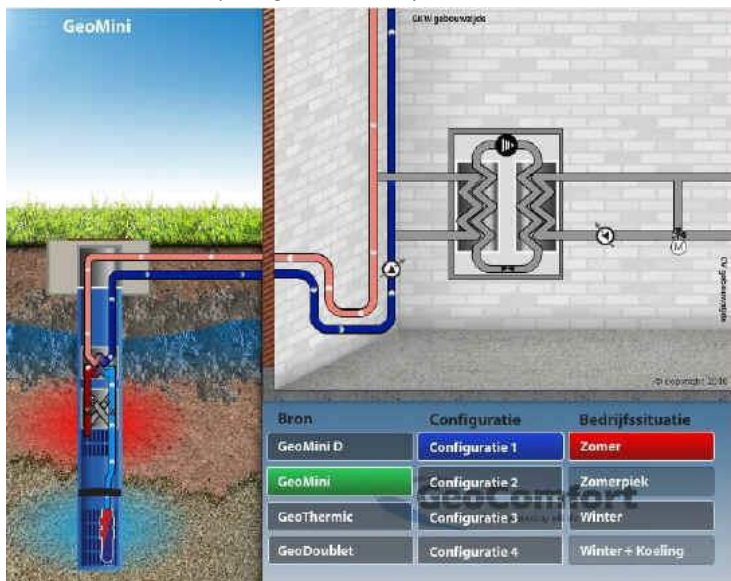
De provincies kunnen aanvullende eisen gesteld hebben, bijvoorbeeld dat bij een open wko-systeem de te onttrekken hoeveelheid grondwater ten hoogste 10 m³ per uur mag zijn en dat de capaciteit een gesloten wko-systeem maximaal 70 kW mag bedragen. Er zijn gebieden aangegeven waar wel, misschien en geen wko-systeem mag worden opgesteld: resp. het groene, oranje en rode gebied (**documentatie Provincie Drenthe**).

Boringen ten behoeve van wko dienen te worden uitgevoerd conform de voorwaarden van **BodemenergieNL**.

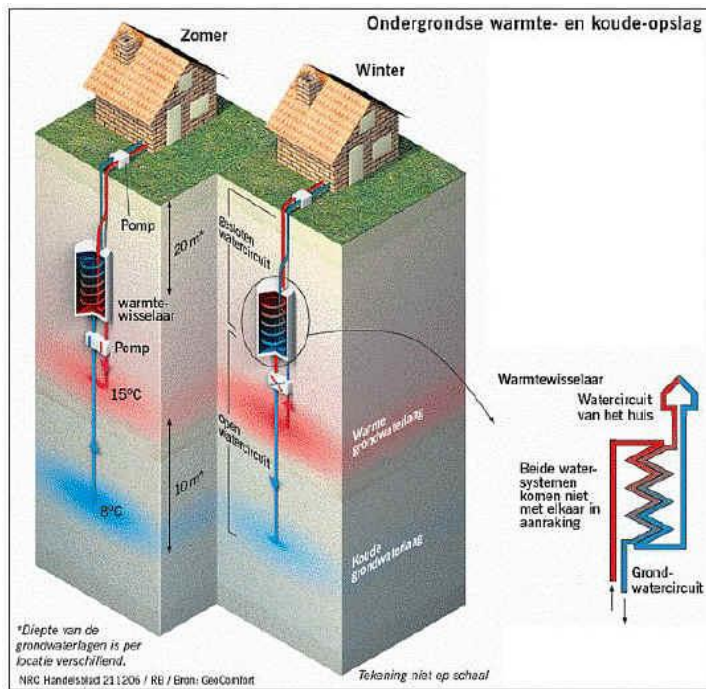
warmte-koude-opslag, monosysteem, situatie in de winter



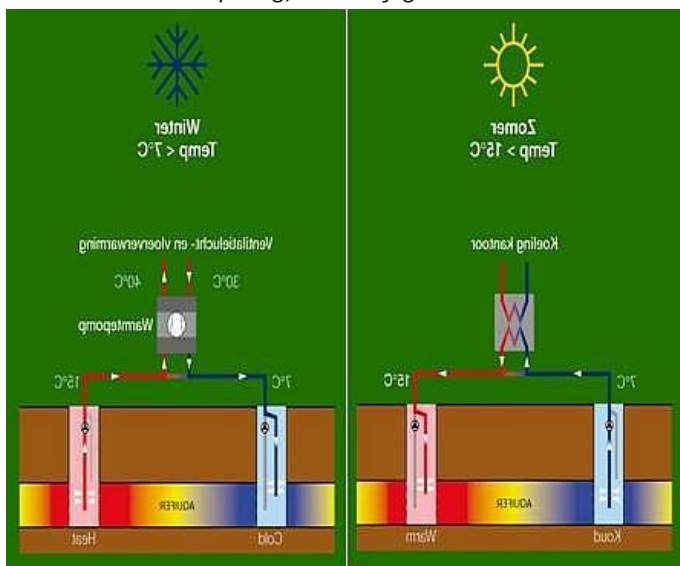
warmte-koude-opslag, monosysteem, situatie in de zomer *geocomfort*



warmte-koude-opslag, doubletsysteem, figuur zomer winter



warmte-koude-opslag, figuur winter zomer (schreuder):



warmte-koude-opslag,

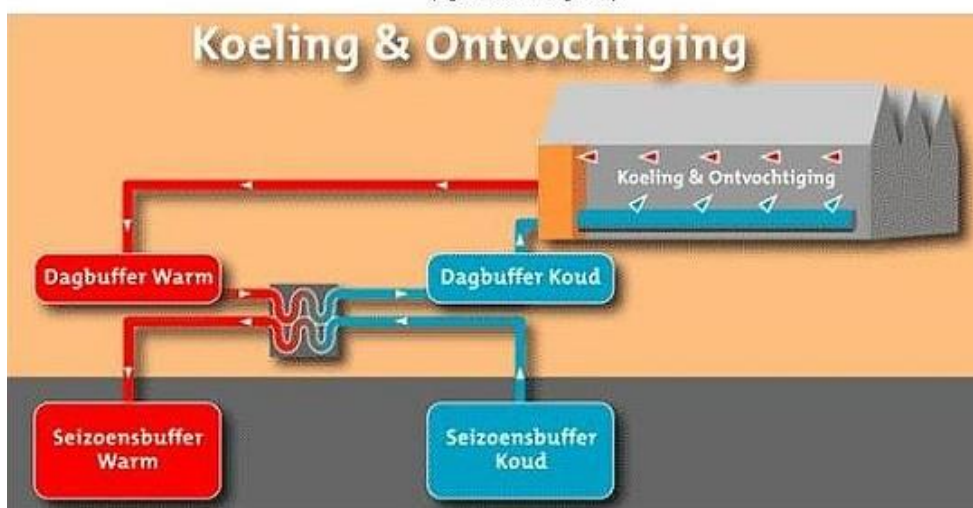
boren



warmte-koude-opslag, verwarming en koeling:



Illustratie principe van warmte-koude opslag via warmtepomp met bronnen-doublet (buffers)
(figuren: Innogrow)



9. Waterstofgeneratoren

Advertentie in FOKUS. Research & Development, oktober 2015

Op zonnige, relatief warme dagen met veel wind kampen landen met grote overschotten aan zon- en windenergie. Windmolens en zonnepanelen worden immers best niet uitgezet. En omdat het niet mogelijk is elektriciteit in grote hoeveelheden op te slaan, gaat die gratis groene stroom momenteel dus zomaar verloren. Dit terwijl er op een windstille, ijskoude dag in de winter extra gascentrales moeten worden aangeschakeld om voldoende stroom te produceren – dure stroom uit vervuilende, fossiele brandstoffen.

Het opslagprobleem en de variabiliteit van de weersomstandigheden is een groot obstakel voor de verdere uitbouw van hernieuwbare energiebronnen. Toekomstige slimme elektriciteitsnetwerken (smart grids), waarbij bijvoorbeeld de elektrische auto zou fungeren als batterij-in-de-garage, kunnen soelaas bieden. Maar sowieso zal een smart grid niet alle overschotten kunnen wegwerken.

Hydrogenics maakt waterstofgeneratoren die gemakkelijk te transporteren zijn en dus overal ter wereld kunnen ingezet worden. Bvb in de buurt van windmolenparken waar nu nog al te vaak overtollige groene stroom ‘verloren gaat’. Het omzetten van die groene stroom naar waterstof kan helpen bij de decarbonisering van de transport-, de energie-, en de verwarmingssector.

Power-to-gas is gebaseerd op het klassieke elektrolyseproces, waarbij watermoleculen onder invloed van stroom worden gesplitst in zuurstof- en watermoleculen. Het waterstofgas kan vervolgens gebruikt worden in meerdere toepassingen, zoals de energiebron van brandstofcellen voor elektrische voertuigen, als vervanger voor conventioneel aardgas of als brandstof voor de productie van nieuwe elektriciteit.

Hydrogenics, voert haar mobiele elektrolysecontainers alle windrichtingen uit. In Falkenhagen DL, vormt een handvol van die containers bvb een power-to-gas plant om de overschotten van de plaatselijke opgewerkte windenergie direct om te zetten naar waterstofgas. Dat gas wordt vervolgens geïnjecteerd in het lokale gasleidingennetwerk waarmee huizen en fabrieken verwarmd worden. De installatie in Falkenhagen heeft een vermogen van 2 megawatt, wat resulteert in een oogst van 360 m³ gas/uur. Zodoende draagt de productie van dit ‘groene waterstofgas’ mee aan de decarbonisering van de verwarmingssector, want er wordt conventioneel aardgas mee uitgespaard.

De Europese Commissie ziet de toekomst van groen waterstof trouwens rooskleurig in. Zo is ze volop bezig een systeem te ontwikkelen om groene certificaten te verlenen aan waterstofgas dat op basis van hernieuwbare energiebronnen is geproduceerd.

<http://www.allesovercleantech.be/energie/overtollige-groene-stroom-opslaan-dankzij-waterelektrolyse>

<http://www.hydrogenics.com/>

