



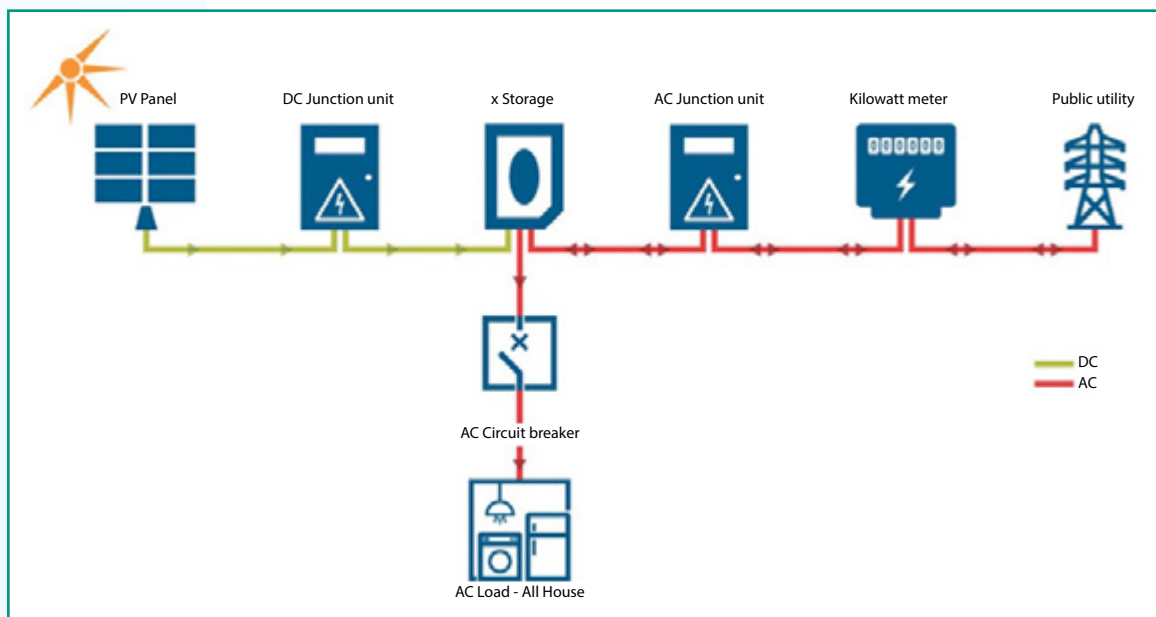
# Energieopslag

**De toepassing van natuurlijke energiebronnen als zonne-energie en windenergie neemt toe. Doordat deze energiebronnen niet op aanvraag beschikbaar zijn, ontstaat er meer behoefte aan energieopslag. Het gebruik van natuurlijke energiebronnen is geboren uit de noodzaak het milieu te ontzien en klimaatneutraal te zijn. Daarom is het belangrijk dat energieopslagmiddelen het milieu niet belasten. Deze whitepaper inventariseert welke methoden van elektrische energieopslag aan deze eis voldoen.**

*Door Bas Bouman application en standards engineer bij Eaton*

In de utiliteit zien we steeds meer pilotprojecten die energieopwekking met natuurlijke energiebronnen combineren met elektrische energieopslag in een gelijkstroom (DC) installatie. De internationale klimaatafspraken dragen zeker bij aan deze ontwikkeling. Deze afspraken zorgen ervoor dat de innovaties met behulp van overheidssubsidies kunnen worden uitgevoerd. Nederlandse pilotprojecten, waarbij zoveel mogelijk selfsupporting met energiemangement wordt gewerkt, richten zich bijvoorbeeld op:

- kantoorgebouwen;
- stadions;
- tracés voor fietspaden en wegen;
- woonwijken.



*Figuur 1 - Energieopslag in een woonhuistoepassing.*

Er zijn inmiddels complete woonwijken met eigen zonne- en windenergieopwekking en een DC-installatie met energieopslag die centraal of gedistribueerd is opgesteld. Deze installaties hebben vaak ook een link met het AC-net. Dit om de overtollig opgewekte energie kwijt te kunnen. Het kan immers zo zijn dat de gebruikers die zijn aangesloten op de lokale DC-installatie niet alle energie gebruiken die wordt opgewekt en dat de energieopslag ook vol is. Tevens kan door de link met het AC-net het openbare net als voedingsbron gebruikt worden in gevallen dat de lokale DC-installatie energie tekortschiet. Deze enigszins beperkte installaties werken met gelijkstroom om minder energie-omzetting (AC/DC) te doen.

## Steeds meer gelijkstroom

Zowel aan de opwekkende als aan de verbruikende kant van elektrische installaties werkt steeds meer apparatuur op gelijkstroom. Bij opwekkers zijn er twee categorieën:

- opwekkers uit volledig natuurlijke energiebronnen (zonnepanelen, windmolens);
- opwekkers die elektrische energie produceren uit opgeslagen energie die niet direct als elektriciteit beschikbaar is (gasturbines, brandstofcellen).

Aan de gebruikerskant zijn praktisch alle elektronische apparaten geschikt om op gelijkstroom te werken. Met relatief kleine aanpassingen zijn veel huishoudelijke apparaten ook geschikt te maken om te werken op gelijkstroom. Daartussen zit de energieopslag die ook in veel gevallen met gelijkstroom werkt. Denk aan accubatterijen, klimaatneutrale regenerereerbare brandstoffen (bijvoorbeeld waterstof voor brandstofcellen) en andere gassen die kunnen worden opgeslagen om later opnieuw gebruikt te worden voor energieopwekking.

## Bruikbaarheid energieopslagmethoden

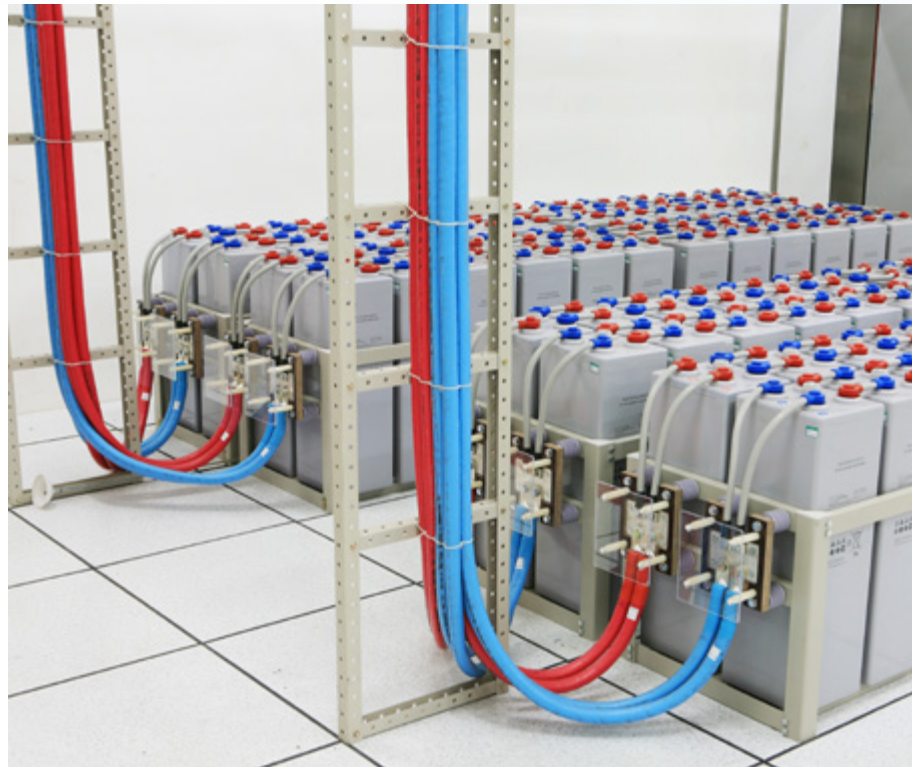
Hoe bruikbaar zijn de diverse energieopslagmethoden?

### Accubatterijen

Accubatterijen worden al veel gebruikt in UPS-systemen. De drempel om accu's toe te passen is laag doordat ze een aantal technische en praktische voordelen hebben.

Accu's:

- zijn goed verkrijgbaar;
- zijn redelijk betrouwbaar;
- vergen weinig onderhoud;
- zijn gemakkelijk te bedienen (gemakkelijk te laden en ontladen);
- zijn dynamisch (kunnen snel belastingvariaties aan);
- kunnen gemakkelijk kleinschalig en grootschalig worden ingezet;
- zijn eventueel ook mobiel (ook de batterij van een elektrische auto kan ingezet worden bij een vaste installatie).



### Nadelen accubatterijen

Aan het gebruik van accu's voor energieopslag kleven ook nadelen:

ze zijn niet goedkoop, voor privégebruik zijn accu's best een grote investering;

- laden is relatief tijdrovend, snelladen kan tot circa 80 procent van de capaciteit, de laatste twintig procent kan bij de meeste batterijen niet meer met de verhoogde snellaadstroom (dat zou destructief zijn) en neemt derhalve veel tijd;
- ze hebben een onvoorspelbare levensduur, omdat het een elektrochemisch proces is dat een gelimiteerd aantal cycli kent (bij intensief gebruik wordt de levensduur korter);
- er is een zeker gevaar op brand;
- de fabricage en de recycling zijn niet heel milieuvriendelijk en vergen een grote inspanning.

Omdat batterijen en accu's al veel in ons dagelijks leven voorkomen, bestaat de perceptie dat accubatterijen de meest geschikte methode voor energieopslag is. Maar aan de herlaadbare accu's kan ondanks de ruim honderd jaar dat ze bestaan nog veel verbeterd worden. Hier wordt hard aan gewerkt. Inmiddels is er een Nederlands initiatief om accu's verder te ontwikkelen en te verbeteren op een nog te openen locatie op het terrein van voormalig vliegveld Twente.

### Accutypes

Er zijn veel verschillende types accu's verkrijgbaar. Klassiek zijn natuurlijk loodzuur accu's. Deze komen in diverse technische varianten. Geventileerd, niet-geventileerd en gel-type zijn de bekendste varianten. Voor opslag van elektrische energie zijn de stationaire accu's het geschikte type. Deze kunnen minder hoge stroomintensiteiten leveren dan startaccu's maar ze zijn dieper te ontladen, tot 80 procent. Na loodaccu's zijn nikkel-cadmium (NiCad) de bekendste, maar deze zijn hard op weg volledig vervangen te worden door LiNh en Lithium-ion. Dit onder druk

van Europese regelgeving op het gebied van milieuvervuiling. Andere type batterijen zijn flow batteries, deze werken net als loodzuur accu's met een elektrolyt dat een potentiaal opwekt tussen een anode en een kathode. Het elektrolyt moet in dit geval continu langs de veelal van koolstof gemaakte elektroden stromen om energie af te geven. Het elektrolyt zit in tanks, dit is een van de belangrijkste redenen waarom dit batterij type niet heel compact is.

Lithium-ion batterijen zijn er in verschillende uitvoeringen, meer vast of meer vloeibaar met in zekere mate verschillende eigenschappen voor verschillende toepassingen. Deze typen batterijen zijn ook toegepast in het energieopslagsysteem dat bij de Johan Cruijff ArenA als groot Nederlands pilotproject vorig jaar in bedrijf is gegaan. In dit project zijn tweede-leven Nissan Leaf batterijen gebruikt. Deze tweede-leven batterijen voldoen na verloop van tijd niet meer voor een elektrische auto omdat de dynamiek en de actieradius geleidelijk afnemen, maar voor dit soort stationaire toepassingen kunnen ze zeker nog een paar jaar mee en ze zijn veel gunstiger van prijs dan nieuwe batterijen.

Een van de doelen van de energie-opslag bij de Johan Cruijff ArenA is piek-scheren (in het Engels peak-shaving). De batterijen worden geladen tijdens de goedkope tariefuren en ze worden ontladen wanneer de belasting van het stadion boven de contractueel overeengekomen piekbelasting zou komen. Eveneens kan het energie-opslagsysteem energie terug leveren in het net (aan de netbeheerder dus) wanneer daar een tekort dreigt te ontstaan bij de netbeheerder. Op deze wijze kan optimaal gebruik worden gemaakt van de investering en kosten worden bespaard op de energieafname.



## Accu's & kortsluitvermogen

Wanneer accu's in uitgebreidere installaties worden toegepast zal men ermee geconfronteerd worden dat ze niet veel kortsluitvermogen kunnen leveren (wel beter dan zonnecellen). Tenminste, niet zoals we in een wisselstroomnet gewend zijn. Bij het ontwerpen van de installatie en de keuze van de beveiligingstoestellen zal daarmee rekening moeten worden gehouden. Vooral de selectiviteit tussen beveiligingstoestellen is een aandachtspunt.

## Dimensioneren van een accubatterij

De grootte van de accubatterij wordt bepaald door het verbruik en de autonometijd van de gebruiker. Een andere belangrijke factor is de herlaadtijd en beschikbare energie. Accu's kunnen in veel gevallen snel worden opgeladen. Dit kan tot een bepaald percentage van de toegekende capaciteit, bijvoorbeeld 80 procent. Het resterende deel van de capaciteit kan in vergelijking slechts langzaam worden geladen, waarbij de laadinrichting ervoor moet zorgen dat de accu niet wordt overladen! Een accu mag niet volledig worden ontladen. Hier moet bij dimensioneren rekening mee gehouden worden. Het onbruikbare procentuele deel van de toegekende capaciteit moet opgeteld worden bij de berekende capaciteit. Dit geldt ook voor het verbruik van eventueel tussen geschakelde omvormers.

## De C-waarde van een accu

De ontladsnelheid wordt uitgedrukt in C10 of C20. Dit staat voor een ontladestroom van 1/10de respectievelijk 1/20ste deel van de toegekende capaciteit in Ah van de accu. Hoe lager de C-waarde, des te minder totale energie kan onttrokken worden aan de accu. Er spelen hier twee zaken een rol die de leverduur bedreigen:

- bij ontladen met een hogere stroom wordt eerder de minimum ontladspanning bereikt;
- het inwendig verlies ( $I^2R$ ) is meer (oftewel het rendement van de accu gaat omlaag).

Bepaal de spanning en bereken de benodigde energie voor de verbruikers op de accu in kWh. Bepaal de termijn waarover je de energie wilt onttrekken aan de accu. Bepaal het type accu dat het meest geschikt is voor de toepassing.

Hier spelen volgende factoren een rol:

- levensverwachting;
- uitgave die men wenst te doen;
- mate van onderhoud.

Classificeer de ontladsnelheid (C-waarde).

## Voorbeeldberekening

De berekening ziet er dan bijvoorbeeld als volgt uit:

| Invoergegevens                         |                         |    |                       |  | Instel gegevens (berekend) |        |      |
|----------------------------------------|-------------------------|----|-----------------------|--|----------------------------|--------|------|
| <i>spanning</i>                        | 350                     | V  |                       |  | <i># cellen</i>            | 175    |      |
| <i>U<sub>n,cel</sub></i>               | 2                       | V  |                       |  | <i>hoogste spanning</i>    | 411,25 | V    |
| <i>laadspanning</i>                    | 2,35                    | V  |                       |  | <i>ontlaadregime</i>       | C10    |      |
| <i>vermogen</i>                        | 10                      | kW |                       |  | <i>laagste spanning</i>    | 309,75 | V    |
| <i>duur</i>                            | 10                      | h  |                       |  | <i>eindspanning cel</i>    | 1,77   | V    |
| <i>laadduur (snel)</i>                 | 3                       | h  |                       |  | <i>ontlaadstroom</i>       | 29     | Agem |
| <b>Accu karakteristiek (lood-zuur)</b> |                         |    |                       |  | <i>eindontlaadstroom</i>   | 32     | A    |
| <i>Ontlaadregime</i>                   | <i>U<sub>eind</sub></i> |    | <i>Restcapaciteit</i> |  | <i>capaciteit</i>          | 354    | Ah   |
| C5                                     | 1,75                    | V  | 20,00%                |  | <i>laadstroom (hoog)</i>   | 94,4   | A    |
| C10                                    | 1,77                    | V  | 18,00%                |  | <i>druppellaadstroom</i>   | 10,62  | A    |
| C20                                    | 1,8                     | V  | 15,00%                |  |                            |        |      |

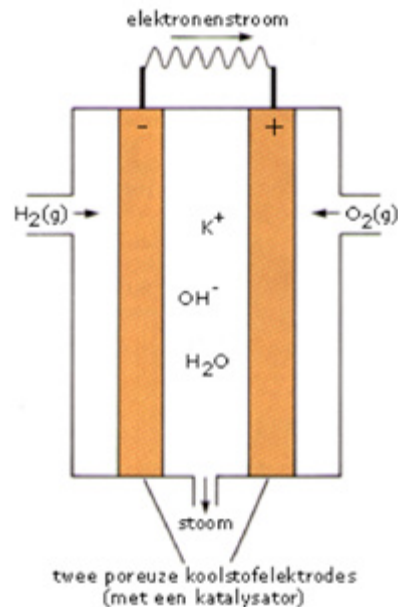
## Supercaps

Supercondensatoren zijn net als accu's een opslagmedium dat technisch ook vrij gemakkelijk te bedienen is. Supercaps kunnen veel sneller worden geladen dan accu's. Bij ontladen kunnen ze veel grotere stromen leveren. Dit omdat ze statische lading houden in plaats van een chemisch proces. Maar supercaps zijn nog niet zover uitontwikkeld dat ze qua energie/volume verhouding kunnen tippen aan accu's. Een DC-installatie gevoed uit een accu die veel dynamiek vergt zou kunnen worden aangevuld met supercaps. Gezien hun lage inwendige weerstand en de grote kortsluitstroom die ze kunnen leveren zijn ze wellicht minder geschikt in installaties die niet dagelijks onder toezicht staan van een vakkundig persoon. Supercaps zijn veel duurder dan accu's en daarom ook minder aantrekkelijk voor privégebruik. Mede daardoor worden ze veel kleinschaliger en specifiek toegepast. De levensverwachting van supercaps is drie keer die van accu's. Dit biedt enige compensatie ten aanzien van de aanschafprijs.

## Waterstof en brandstofcel

Waterstof is een van de schoonste media voor energieopslag. Tegelijkertijd is het ook een van de meest explosieve stoffen die we kennen. Waterstof is een lastige materie om op te slaan en te transporteren over grote afstanden, zonder dat dit gepaard gaat met significante verliezen. Een gewone gasleiding is in beginsel niet geschikt om waterstof te transporteren.

Het aantrekkelijkste scenario zou natuurlijk zijn om met de natuurlijke energiebronnen, wind en zon, waterstof te produceren op die plekken op aarde waar deze wind en zon het meest voorkomt. Voor de hand liggend zou zijn dat we in de Sahara zonne-energie opwekken. In plaats van duizenden kilometers elektriciteitslijn aanleggen, produceren we ter plaatse waterstof uit zonne-energie en we transporteren de waterstof per boot of middels pijpleidingen naar de bewoonde gebieden. Daarna wordt de waterstof met behulp van een brandstofcel omgezet in elektriciteit.



Heel simpel benaderd hebben in een brandstofcel de volgende chemische processen plaats:

Aan de negatieve pool (anode) vindt chemische reactie plaats waarbij elektrische stroom wordt geproduceerd. Dat wordt uitgedrukt met de vergelijking:

$2 H_2 \rightarrow 4 H^+ + 4 e^-$ . Uit twee waterstofmoleculen worden vier elektronen

geproduceerd, dat is de elektrische stroom. Aan de positieve pool wordt het afvalproduct geproduceerd, deze reactie wordt uitgedrukt met de vergelijking:  $O_2 + 4 H^+ + 4 e^- \rightarrow 2 H_2O$ . De vier elektronloze waterstof atomen uit de vorige vergelijking reageren met zuurstof tot water.

Toch is dit scenario nog niet zo eenvoudig op grote schaal te realiseren omdat zowel aan waterstof als aan brandstofcellen praktische nadelen kleven die een goede technische oplossing vergen. Toch maar beginnen met de voordelen van waterstof en brandstofcellen:

- waterstof verbindt met zuurstof in een brandstofcel om elektriciteit te maken, het afvalproduct is  $H_2O$ ;
- het afvalproduct water is niet vervuilend en volledig herbruikbaar;
- een brandstofcel is niet een heel dynamische energiebron en kan derhalve het beste gebruikt worden om accubatterijen op te laden met een continu vermogen;
- een brandstofcel kan continu elektriciteit produceren;
- een brandstofcel is geschikt voor kleinschalig gebruik (enkele kW per installatie).

De methode 'waterstof en brandstofcellen' geeft bij toepassing op grote schaal wel wat uitdagingen. Dit zijn de nadelen:

- waterstofmoleculen zijn de kleinste voorkomende materie en laten zich derhalve niet gemakkelijk opsluiten. Het vergt voor de opslag van waterstof daarom speciale tanks en pijpleidingen om ervoor te zorgen dat er niets verloren gaat;
- de lichte ontvlambaarheid van waterstof bij bepaalde concentraties,
- brandstofcellen zijn toch wel complexe apparaten. Ten behoeve van de reactiesnelheid bevatten ze zeldzame scheikundige elementen die als katalysator dienen. Dit maakt ze op het moment niet de milieuvriendelijkste apparaten.

## Gas

Met natuurlijke bronnen kan ook gas worden geproduceerd, methaangas om precies te zijn. Bij dit proces vindt de volgende chemische reactie plaats:  $\text{CO}_2 + 4 \text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O}$ . Er komt dus ook water vrij als afvalproduct. Voor dit proces moet eerst waterstof geproduceerd worden. Ten opzichte van de brandstofcel is er dus een extra processlag nodig.

Het voordeel van gas is dat daarmee natuurlijk al veel ervaring is met opslag, transport en de toepassing in veel installaties. Ook is er een infrastructuur voor gas. Met aanpassingen aan de bestaande opwekkingseenheden kan gas gebruikt worden als brandstof voor grootschalige opwekking van elektriciteit. Bij de verbranding van gas komt weer  $\text{CO}_2$  vrij die, gezien de reactievergelijking hierboven. Wanneer er een gesloten circuit wordt gerealiseerd kan de afgevangen  $\text{CO}_2$  opnieuw gebruikt kan worden om methaan te maken.

## Conclusies

De toepassing zal veelal bepalen welke vorm van energieopslag het veiligste is, het beste functioneert en het meest kosteneffectief is. Eveneens is bepalend wie (eerstelijns) onderhoud doet aan de installatie, dat wil zeggen als de installatie in een woonhuis (of woonwijk) staat of in een meer industriële omgeving waar vakkundige personen toezicht houden op de installatie.

Zo zullen de meer onderhoudsvrije typen batterijen eerder in toepassingen waar niet onderrichte personen toezicht houden op de installatie in verband met de veiligheid en kunnen bewerkelijkere methoden als flow batteries en brandstofcellen (op  $\text{H}_2$  of methaangas) op grotere schaal of meer kosten effectief kunnen worden toegepast.

Dit is een gratis kennisartikel van:

**Installatie**  
*Journal*

**[www.installatiejournaal.nl](http://www.installatiejournaal.nl)**

Installatie Journaal is een uitgave van Vakmedianet



**[www.vakmedianet.nl](http://www.vakmedianet.nl)**

### **Contactgegevens**

Redactie Installatie Journaal

E-mail: [installatiejournaal@vakmedianet.nl](mailto:installatiejournaal@vakmedianet.nl)

Vakmedianet

Postbus 448

2400 AK Alphen aan den Rijn

### **Vragen over abonnementen?**

Vakmedianet Klantenservice

E-mail: [klantenservice@vakmedianet.nl](mailto:klantenservice@vakmedianet.nl)

Telefoon: (088) 584 0888

Postbus 448

2400 AK Alphen aan den Rijn

### **Vragen over adverteren?**

Adviseur: Gejo Flierman, tel. 06-53227316

Meer informatie: [www.installatiejournaal.nl/adverteren](http://www.installatiejournaal.nl/adverteren)

