



Elektriciteit uit zonlicht



1	Inleiding	1
2	Zonne-energie: toepassingen	2
	2.1 De zon als energiebron	2
	2.2 Toepassingen.....	2
3	Toepassingen van fotovoltaïsche zonne-energie	4
	3.1 Soorten fotovoltaïsche systemen	4
	3.2 Toepassingen.....	4
	3.3 Potentieel en marktontwikkeling.....	5
4	Zonnecellen	6
	4.1 Hoe werkt een zonnecel	6
5	Fotovoltaïsche modules	9
	5.1 Opbouw van PV-modules	9
	5.2 Soorten modules	9
	5.3 Kenmerken van PV-modules	10
6	Fotovoltaïsche systemen	12
	6.1 Netgekoppelde fotovoltaïsche systemen	12
	6.2 Autonome fotovoltaïsche systemen	12
	6.3 Elektrische componenten van netgekoppelde fotovoltaïsche systemen...	14
	6.4 Elektrische veiligheid	17
7	Elektriciteit uit zonlicht, een duurzame keuze	19
	7.1 Voordelen van energieproductie met PV-systemen	19
8	PV in de bebouwde omgeving	21
	8.1 De interactieve duurzame buitenwand	21
	8.2 PV-modules als bouw materiaal.....	21
	8.3 Voordelen.....	22
	8.4 Types PV-systemen op gebouwen en voorbeeldprojecten	23
9	Ontwerpen van netgekoppelde fotovoltaïsche systemen	27
	9.1 Een efficiënte keuze maakt u stapsgewijs	27
	9.2 Opbrengst van een netgekoppeld fotovoltaïsch systeem	28
	9.3 Normen voor PV-systemen.....	31
10	Financiële steun voor PV-systemen	32
	10.1 Groenestroomcertificaten	32
	10.2 Belastingvermindering	32
	10.3 Bijkomende subsidie vanwege lokale besturen	32
	10.4 De terugdraaiende teller	32
	10.5 Verlaagd BTW-tarief bij renovatie.....	33
11	Wettelijke vereisten	34
	11.1 Bouwvergunning	34
	11.2 Technische aansluitvoorwaarden.....	34
12	Nuttige adressen	35
	Nuttige websites	37

1

Inleiding

Tot ver in de 19-de eeuw werd het leeuwendeel van de energie geleverd door mensen, dieren, water, wind en allerlei combinaties daarvan. Hout was de belangrijkste brandstof. Tot vandaag is de energiebehoefte steeds blijven stijgen en zijn we zeer sterk afhankelijk van fossiele en nucleaire brandstoffen.

Problemen

De oneindige beschikbaarheid van energie en energiebronnen is niet langer vanzelfsprekend. Toekomstige generaties zullen geconfronteerd worden met de eindigheid van de reserves: steenkool, aardolie en aardgas raken ooit op. En terwijl de voorraad slinkt, neemt de vraag toe. De wereldbevolking groeit aan en het energiegebruik per hoofd stijgt.

Maar er is ook het gigantische probleem van de milieuvervuiling. De energiesector doet daarbij een forse duit in het zakje. Zwavel- en koolstofdioxide, koolstofmonoxide, stikstofoxiden... het zijn reststoffen uit de energiesector die een zware impact hebben op leefmilieu, atmosfeer en klimaat - denk maar aan het broeikas-effect.

Ook het nucleaire afval is een risico en belasting voor de komende generaties. De opwerking en berging blijven een maatschappelijk en technisch probleem en wordt steeds duurder door strengere milieunormen.

Oplossingen

Voor deze wereldomvattende problemen moeten er dringend oplossingen gezocht worden. Duurzame ontwikkeling wil aan de behoeften van vandaag voldoen, zonder die van de toekomstige generaties in het gedrang te brengen. Energiegebruik en energieopwekking op een duurzame wijze op elkaar afstemmen vraagt om een tweezijdige aanpak:

- Rationeel energiegebruik (REG), d.w.z. energiezuinigheid zonder comfortverlies.
- Hernieuwbare energie: zon, wind, water en biomassa kun-

nen ook in ons land aangewend worden om energie op te wekken.

Per bron zijn er verschillende technieken om de energie om te zetten in een bruikbare vorm. Meestal wordt hernieuwbare energie gebruikt voor waterverwarming en voor elektriciteitsproductie.

Troeven van hernieuwbare energie

Hernieuwbare energie heeft volgende voordelen:

- Milieuvriendelijk en duurzaam: de diverse bronnen zijn onuitputtelijk en veroorzaken tijdens hun hele levenscyclus - van bouw over gebruik tot afbraak - een zeer lage uitstoot van schadelijke stoffen;
- Spreiding van de energievoorziening: een groter aandeel hernieuwbare energie vermindert de afhankelijkheid van het buitenland en van internationale spanningen;
- Hernieuwbare energie kan voor meer werkgelegenheid zorgen en exportkansen bieden.

Elektriciteit uit zonlicht

Fotovoltaïsche zonnecellen zetten licht rechtstreeks om in elektriciteit. Door schakeling van zonnecellen in modules kan deze elektriciteit nuttig gebruikt worden, ofwel onafhankelijk van het openbare elektriciteitsnet (autonome systemen) ofwel door stroom te leveren aan het openbare net (netgekoppelde systemen). In de toekomst kan fotovoltaïsche zonne-energie tot een kwart van het totale Vlaamse elektriciteitsgebruik opwekken: het is dus op lange termijn één van onze belangrijkste duurzame energietechnieken.

De prijzen van deze PV-systemen zijn de laatste jaren voortdurend gedaald, een trend die zich doorzet en versterkt wordt door toenemende massaproductie en door de spectaculaire groei van de wereldmarkt.

Deze brochure geeft meer inzicht in de werking en de toepassing van fotovoltaïsche zonne-energiesystemen. Ze wil ook een handleiding bieden voor wie denkt aan een eigen PV-systeem op zijn dak.

2

Zonne-energie: toepassingen

Eenheden van Energie & Vermogen

Eenheden van energie

1 J	= 1 Joule	= eenheid van energie
1 kWh	= 1 kilowattuur	= eenheid van energie
1 kWh (energie)	= 1 kilowatt (vermogen) gedurende 1 uur (tijd)	
1 kWh	= 3,6 miljoen J	= 3,6 MJ

Een elektrisch verwarmingstoestel van 1000 W verbruikt op 1 uur werking (vol vermogen) 1 kWh.

1 MWh	= 1 megawattuur	= 1000 kWh	= 10^3 kWh
1 GWh	= 1 gigawattuur	= 1 miljoen kWh	= 10^6 kWh
1 TWh	= 1 terawattuur	= 1 miljard kWh	= 10^9 kWh

Eenheden van vermogen

Vermogen	= energie per tijdseenheid	
1 W	= 1 Watt	= eenheid van vermogen
1 W	= 1 Joule per seconde	= 1 J/s
1 kW	= 1 kilowatt	= 1000 W
1 MW	= 1 megawatt	= 1000 kilowatt
1 GW	= 1 gigawatt	= 1 miljoen kW = 10^6 kW

2.1 De zon als energiebron

Net buiten de dampkring van de aarde is het energetische vermogen van de zonnestraling 1353 W/m^2 op een vlak loodrecht op de zonnestraling. Dit wordt de zonneconstante genoemd. Omgerekend per jaar en per m^2 aardoppervlak betekent dit gemiddeld iets minder dan $2000 \text{ kWh/m}^2\text{-jaar}$. In de Benelux ontvangen wij ongeveer $1000 \text{ kWh/m}^2\text{-jaar}$. Door

de hogere breedtegraad (52° noorderbreedte) levert de zonnestraling minder energie per m^2 , en de vaak voorkomende bewolking "verstrooit" de zoninstraling tot zogenaamd "diffuus" licht: het gelijkmatig uit alle richtingen komende daglicht bij volledig bewolkte hemel. Maar ook bij heldere hemel is een klein deel van de lichtinstraling diffuus - vandaar de helderblauwe kleur van de hemel. Over een heel jaar bereikt ongeveer 60% van de totale zoninstraling ons hier in de vorm van diffuus licht, dat ook in nuttige energie wordt omgezet door zonne-energiesystemen.

Het is duidelijk dat zonlicht een wisselend aanbod heeft: gedeeltelijk onvoorspelbaar, afhankelijk van bewolking - gedeeltelijk voorspelbaar door de meetkundig gekende positie van de zon t.o.v. een waarnemer, in functie van de dag en het uur (verschillen in daglengte en zonnehoogte).

De totale zoninstraling per jaar op de totale aardoppervlakte is gelijk aan 10 000 maal de totale wereldenergievraag per jaar. Dat is het theoretische aanbod. Het is de kunst om dat aanbod zo goed mogelijk op te vangen en in nuttige energievormen om te zetten tegen aanvaardbare kosten.

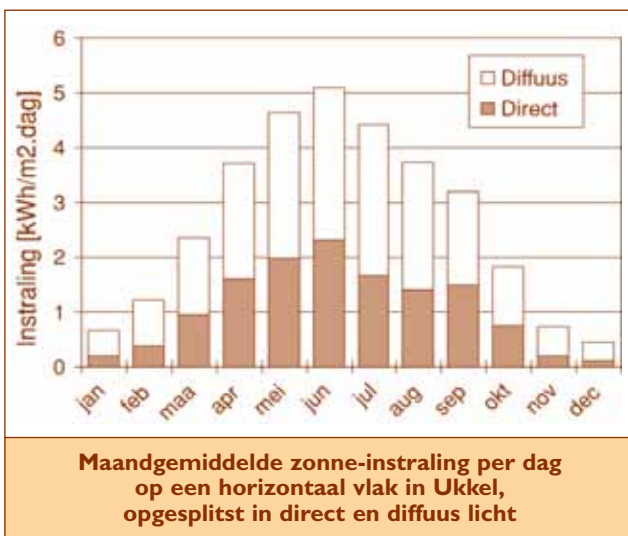
2.2 Toepassingen

Zonne-energie kan op verschillende manieren nuttig gebruikt worden: als lichtbron, als drijvende kracht bij natuurlijke ventilatie, voor warmteproductie en voor elektriciteitsproductie. Ruimer bekeken ontstaat ook windenergie door wisselende zonnewarmte en doet zonlicht planten groeien die we als biomassa kunnen gebruiken voor energieproductie.

Bij de toepassing van zonne-energie in gebouwen kan naast een optimaal gebruik van daglicht ook de rechtstreekse bezonning via de ramen bijdragen aan de ruimteverwarming. Dat kan door een doorgedreven isolatie, optimaal ontwerp en oriëntatie van de beglazing (voldoende zuidgerichte verticale ramen, minimale noordgerichte ramen), en aandacht voor

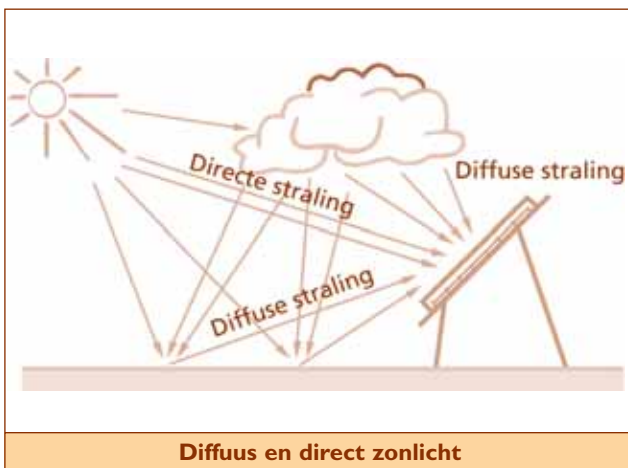
zonwering en daglichttoetreding. Dit wordt soms ook "pas-sieve" zonne-energie genoemd.

Een eerste vorm van actieve zonne-energie is de zonneboiler die sanitair water voorverwarmt. Een zonnecollector warmt met het invallende licht via een transportvloeistof het water-volume in een opslagvat op. Daaruit wordt sanitair warm water afgetapt. Een elektronische regeling schakelt het systeem aan en uit in functie van de temperatuurverschillen en beveiligd het systeem tegen oververhitting en bevroering.



Grote oppervlakten van zonnecollectoren kunnen ook voor ruimteverwarming gebruikt worden door warmteopslag in een vloer- of wandverwarming.

Daarnaast zijn er ook hoge-temperatuur-collectoren waarbij het zonlicht via spiegels of lenzen wordt geconcentreerd op een warmtetransporterende vloeistof. De zonnewarmte wordt



gebruikt om elektriciteit op te wekken in een stoomturbine of Stirlingmotor.

In fotovoltaïsche zonne-energiesystemen zetten zonnecellen het opgevangen licht rechtstreeks om in elektriciteit via een totaal ander werkingsprincipe dan de thermische systemen.

De term 'fotovoltaïsch' betekent letterlijk 'licht-elektriciteit'. 'Foto' is afgeleid van het Griekse woord "phos", licht, en 'voltaïsch' verwijst naar Alessandro Volta (1745-1827), onderzoeker van elektriciteit. De Engelse term "photovoltaic" wordt meestal afgekort tot PV. In de brochure gebruiken we deze afkorting met zijn samenstellingen (zoals PV-module, PV-systeem).

Al deze toepassingen van zonne-energie werken zowel bij diffuus als direct zonlicht, maar bij directe instraling is de opbrengst natuurlijk wel hoger.

Zonne-instraling en diffuus deel bij verschillende weersomstandigheden		
Weersomstandigheden	Globale straling [W/m ²]	Diffuus deel [%]
- blauwe hemel zonder wolken	600 - 1.000	10 - 20
- mistig bewolkt, zon zichtbaar als gele schijf	200 - 400	20 - 80
- zwaar bewolkt	50 - 150	80 - 100

3

Toepassingen van fotovoltaïsche zonne-energie

3.1 Soorten fotovoltaïsche systemen

Netgekoppelde systemen

De belangrijkste toepassing in Vlaanderen is op dit ogenblik het netgekoppelde fotovoltaïsche systeem. Netgekoppelde systemen worden op het elektriciteitsnet aangesloten. Het openbare elektriciteitsnet fungeert als (virtueel) opslagvat.

Autonome systemen

Een onafhankelijk of autonoom fotovoltaïsch systeem (Engels: 'stand-alone PV system') levert stroom aan een elektrische toepassing die niet gekoppeld is aan het elektriciteitsnet. Meestal laden de PV-modules een batterij op als energieopslag die een buffer vormt tussen het wisselende PV-vermogen en de gebruiker. Autonome systemen kunnen zowel gelijk- als wisselspanning leveren.

Hybride systemen

Bij hybride systemen zorgen fotovoltaïsche modules slechts voor een deel van de nodige energie; als bijkomende 'stroom-

leverancier' worden elektriciteitsgeneratoren op fossiele brandstof of biomassa ingeschakeld, of windturbines. Wanneer de energievraag in een bepaalde periode niet volledig kan gedekt worden door het fotovoltaïsch systeem, wordt de generator ingeschakeld om het vereiste vermogen te leveren of de batterijen bij te laden. Zo'n energiesysteem is efficiënter, goedkoper en betrouwbaarder, en heeft bovendien minder fotovoltaïsche modules en batterijen nodig, wat de investeringskost drukt.

Bij gebruik van fossiele brandstoffen is er wel bijkomende maar beperkte geluidshinder en gasuitstoot.

Op een binnenschip bijvoorbeeld kan het aantal uren dat de dieselmotor moet draaien voor stroomvoorziening, wanneer het schip aangemeerd ligt, sterk verminderen door gebruik te maken van een hybride fotovoltaïsch systeem.

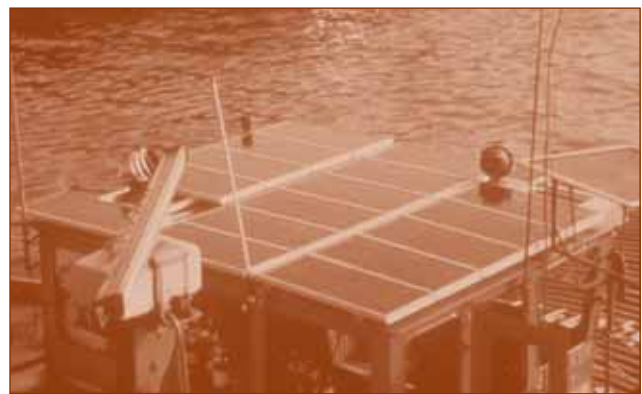
3.2 Toepassingen

Globaal kan men de markt van fotovoltaïsche systemen onderverdelen in de volgende segmenten, waarvan de eerste vier nu al economisch zijn en de andere in de nabije toekomst zullen volgen:

- consumentenproducten 'binnen' (< 1 W): horloges, rekenmachientjes, ...;
- consumentenproducten 'buiten' (< 50 W): noodverlichting, tuinverlichting...;



Parkeermeter met autonoom PV-systeem



Hybride PV-systeem op een binnenschip

- autonome industriële toepassingen (1 W - 10 kW): telecommunicatie, telemetrie, verkeerssignalisatie (wegverkeer, scheepvaart, luchtverkeer), milieumetingen;
- autonome elektrificatie van dorpen (100 W - 10 kW): oppompen van grondwater, bevoeiing, ontzilting, verlichting, TV, koeling... vooral in de ontwikkelingslanden;
- netgekoppelde systemen (100W - 2000 kW): PV-systemen op gebouwen (daken, gevels, zonneweringen) en andere structuren;
- centrale vermogeenheden (> 50 kW): elektriciteitscentrales - niet interessant in Vlaanderen.

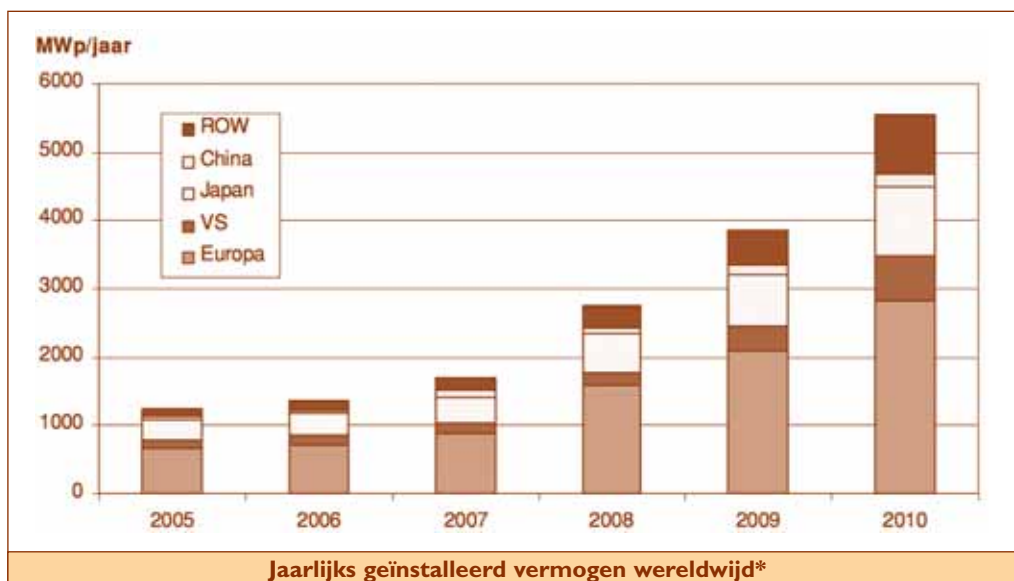
3.3 Potentieel en marktontwikkeling

PV-markt

De wereldmarkt voor fotovoltaïsche zonne-energie kende de laatste jaren een enorme groei. Al enkele jaren worden groeicijfers van 35% per jaar gerealiseerd. Recent versnelde deze groei nog. In 2005 werd wereldwijd voor ongeveer 1.750 MWp aan vermogen vervaardigd, wat een stijging van 44,5% betekende t.o.v. 2004.

Epia, de Europese sectorfederatie, voorziet in haar beleids-scenario een groei van het geïnstalleerde vermogen wereldwijd naar 5,5 GWp in 2010. 2,7 GWP hiervan zal in 2010 in Europa opgesteld worden. Cumulatief resulteert dit volgens Epia in een geïnstalleerd vermogen van 19,6 MWp wereldwijd en 9,9 GWp in Europa.

Dit komt voor Europa overeen met een jaarlijkse elektriciteitsproductie van 2,6 miljoen gezinnen.



* Bron:
Epia-Global annual market scenario,
Policy driven scenario.

4

Zonnecellen

4.1 Hoe werkt een zonnecel?

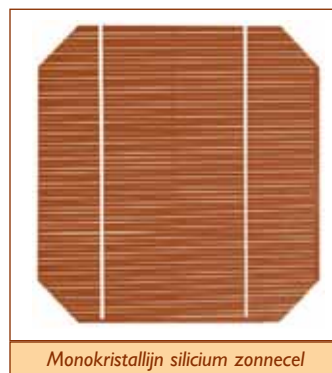
In een fotovoltaïsche zonnecel wordt licht rechtstreeks omgezet in elektriciteit. Een zonnecel bestaat uit een dun plaatje halfgeleidend materiaal dat alleen goed elektriciteit geleidt als er licht opvalt. Het meest gebruikte materiaal is zuiver silicium, dat door chemische bewerkingen een negatieve bovenlaag en een positieve onderlaag krijgt, zoals 'min' en 'plus' van een batterij. Als we die twee koppelen aan een elektrisch toestel zoals een lampje, en we laten licht op de zonnecel vallen, ontstaat er een elektrische gelijkstroom die het lampje doet branden.



Zonnecellen uit kristallijn silicium

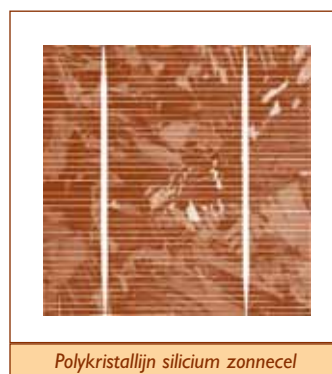
Monokristallijn silicium zonnecellen zijn gemaakt van silicium-schijven, die uit één groot 'monokristal' zijn gezaagd. Monokristallijne cellen zijn rond of meestal vierkant met afgeronde hoeken - fragmenten van de buitenrand van de ronde cilinder waaruit ze gezaagd zijn. Ze zijn egaal donkergrijs of donkerblauw.

Polykristallijn of multikristallijn silicium wordt gegoten en dan gezaagd. Dit is een goedkoper en eenvoudiger proces dan dat



van monokristallijn silicium. Tijdens het stollen ontstaan de verschillende kristallen die het materiaal zijn typische onregelmatig geschaakte uitzicht geven. Het rendement van polykristallijne cellen ligt iets lager dan dat van monokristallijne cellen.

Polykristallijne cellen zijn vierkant met een zijde van 10, 12,5 of 15 cm, of rechthoekig. De kleur varieert van gemarmerd donkerblauw tot donkerpaars. Ook andere kleuren zoals goudbruin en groen zijn mogelijk, maar ten koste van het rendement. Sinds kort bestaan er ook zeshoekige en driehoekige cellen waarmee speciale PV-modules gemaakt kunnen worden.



Elektrische eigenschappen van silicium zonnecellen

Bij standaardzonnestraling wekt een zonnecel van 10 cm x 10 cm een gelijkstroom van 3 Ampère op of een gelijkspanning van 0,5 Volt. Omdat stroom en spanning in realiteit niet tegelijk maximaal zijn, bedraagt het nominale vermogen ongeveer 1,3 W (en niet 1,5 W), gemeten onder standaard testvoorwaarden).

Een typisch rendement van commercieel geproduceerde kristallijn silicium zonnecellen varieert van 13% voor polykristallijn silicium tot 15% voor monokristallijn silicium, beide met zeefdruktechnieken. Deze techniek wordt door de



Dunne-film-module uit amorf silicium

meerderheid van de fabrikanten toegepast en werkt eenvoudig en snel. Met dezelfde techniek kan door bijkomende behandelingen van de zonnecellen het rendement nog verbeterd worden. Bij de toepassing daarvan in een testproductielijn van Imec werden op courante polykristallijne cellen van 10 x 10 cm rendementen van bijna 16% gehaald.

Toekomst

In 2000 nam kristallijn silicium (monokristallijn + polykristallijn) een marktaandeel van 85 % in en amorf silicium 13 %. Door zijn uitstekende stabiliteit en betrouwbaarheid plus de voortdurende verbetering van celstructuur en fabricage zal kristallijn silicium ook de komende 10 jaar de markt blijven beheersen. Met gesofisticeerde micro-elektronicatechnieken kunnen zonnecellen met een rendement van 24% gemaakt worden in gespecialiseerde labo's.

Meer dan de helft van de kost komt van de productie van basismateriaal (gezuiverd en gekristalliseerd silicium) en het zagen tot siliciumschijven ('wafers'). Er is een groeiende trend om goedkoper maar kwalitatief uitstekend 'solar grade' silicium te produceren, grotere schijven te maken, zaagverliezen te verminderen en de dikte te halveren tot beneden 200 μm (0,2 mm).



Dunne-film kristallijn silicium zonnecel

Er werden ook goedkopere alternatieven ontwikkeld voor het verzagen van siliciumblokken, zoals silicium bladen en siliciumlinten ('ribbons'), die rechtstreeks in de juiste breedte en dikte uit vloeibaar silicium worden getrokken.

Verdere kostendalingen worden verwacht van de vorming van dunne-film-silicium op goedkope draagmaterialen zoals glas. Met deze techniek is het ook mogelijk om lichtdoorlatende cellen te maken.

Dunne Film zonnecellen

Amorf silicium

Amorf silicium (a-Si) bestaat uit een netwerk van silicium-atomen zonder regelmatig geordend kristalrooster zoals in kristallijn Si. Voordelen zijn het kleiner materiaalverbruik, de eenvoudige continue productie met laag energieverbruik, en de mogelijkheid van grote oppervlaktes op goedkope dragers zoals glas.

Het grote nadeel is het lage celrendement (de helft van kristallijn silicium) dat bovendien onder invloed van het licht zelf in de eerste gebruikperiode achteruitgaat. Men kan dit wel omzeilen door combinaties van een polykristallijn Si zonnecel met erbovenop een amorf silicium zonnecel. Het fabricageproces wordt wel heel wat complexer.

In vergelijking met polykristallijne PV-modules nemen amorphe silicium modules voor hetzelfde vermogen dus dubbel zo grote oppervlakten in, omwille van het lage rendement.

Naast kleine toepassingen (zoals polshorloges, rekenmachinetjes, looplampen) komen nu ook PV-dakelementen op de markt zoals amorphe PV-lei-modules, amorphe PV-films op metalen dakbanen en op dakrollen.



Een monokristallijne siliciumcilinder waaruit siliciumschijven voor monokristallijne cellen gezaagd worden

CuInSe₂

Met koper-indium-diselenide (CuInSe₂, ook CIS genoemd) met zijn afgeleide samenstellingen en cadmiumsulfide kan men ook dunne-film-zonnecellen maken op glas. Op zeer kleine oppervlakken (0,4 cm²) levert zo'n zonnecel een stabiel rendement van ruim 18 %, maar dit zakt snel voor grotere oppervlakken en modules tot de helft (bijna 9%). Er werden recent enkele productielijnen voor CIS-modules opgestart. Het materiaal is zeker belovend qua kostpotentieel maar er is discussie over de beperkte materiaalvoorraden van het component Indium.

CdTe

Ook cadmiumtelluride (CdTe) bevindt zich nog sterk in de ontwikkelingsfase. Rendementen tot 16 % werden behaald op 1 cm² celoppervlak, maar dit zakt weer zeer sterk terug bij grotere oppervlakken. Voordelen en nadelen van dit materiaal zijn vergelijkbaar met CuInSe₂, maar een bijkomende moeilijkheid kan de giftigheid van Cd zijn, bijv. bij breuk of afbraak van de modules. Toch worden CdTe zonnecellen al toegepast in zakrekenmachines, goed voor 1,7 % van de wereldmarkt van zonnecellen.

Concentrator zonnecellen

Een weg om de kost van fotovoltaïsche energieopwekking te verlagen is de zonneceloppervlakte te verkleinen en het zonlicht te concentreren door concentrerende spiegels en lenzen, meestal met een zonnevolgsysteem. Dure hoogrendements zonnecellen uit silicium of galliumarsenide (GaAs) worden het meest toegepast.

Dit systeem is alleen zinvol in zonovertogen klimaten, wordt complex door het zonnevolgsysteem en vereist regelmatig onderhoud. Bovendien verkleint het kostenvoordeel naarmate de kostprijs van 'klassieke' zonnecellen daalt en weegt de bijkomende kost van spiegels en lenzen zwaarder door.

Het aandeel van concentratiesystemen in de wereldmarkt is minimaal.

Organische cellen

Om de kostprijs van fotovoltaïsche energie verder te verminderen, worden sinds enkele jaren organische materialen bestudeerd waarmee goedkope, flexibele, "plastieke zonnecellen" kunnen gerealiseerd worden. Er wordt volop onderzoek gedaan op prototypes van zulke cellen, waarvan de zogenaamde 'Grätzel'-cel van de gelijknamige Zwitserse professor de bekendste is.

De productie is zeer eenvoudig en vereist geen hoge-temperatuurstappen of dure apparatuur. Er werden al proefcellen vervaardigd met een omzettingsrendement van 8-10%, maar er blijven nog heel wat problemen onopgelost. De aan-

wezigheid van vloeibaar materiaal in dit type van cel brengt echter stabiliteitsproblemen met zich mee, vooral bij extreem hoge (koken) en lage (bevrozen) temperaturen. Daarom focust men het onderzoek tegenwoordig vooral op "droge" organische zonnecellen die gebaseerd zijn op mengsels van moleculen die positieve of negatieve ladingen kunnen transporteren. IMEC behaalde voor deze zonnecellen al een rendement van 3%.

Een beetje geschiedenis...

Het fotovoltaïsch effect werd in 1839 voor het eerst ontdekt door de Franse natuurkundige Alexandre Edmond Becquerel. Toen hij in een zwak geleidende vloeistof twee platinastaven dompelde, en één daarvan belichtte, kon hij een zwakke elektrische stroom meten.

In 1876 ontdekte de Britse wetenschapper W. Adams dat kristallijn selenium bij belichting een zwakke stroom opwekte. In 1883 maakte de Amerikaanse uitvinder Charles Fritts de eerste selenium-zonnecel met een rendement van slechts 0,1 %; lichtmeters in foto toestellen apparaten waren de eerste concrete toepassing. Einstein beschreef in een artikel van 1904 het foto-elektrisch effect, in de jaren 20 en 30 werd daarop verder toegepast onderzoek uitgevoerd.

In 1918 ontwikkelde de Poolse onderzoeker Czochralski de naar hem genoemde methode om monokristallijn silicium aan te maken. In 1951 werd de eerste monokristallijne germanium-zonnecel gemaakt en in 1954 ontdekten men het fotovoltaïsch effect in Cadmium.

Nog in 1954 ontwikkelde het labo van de firma Bell Telephone de eerste silicium zonnecel met een rendement van 4,5%, later op het jaar bereikte men al 6%; het jaar daarop volgde de praktische toepassing voor de batterij van een telefoonrelaisstation in Georgia (VS); in 1958 werd de eerste satelliet met zonnecellen gelanceerd, de VANGUARD I. Van dan af werden alle satellieten met zonnecellen uitgerust, die hoge rendementen haalden maar tegen zeer hoge productiekosten. De eerste auto op zonne-energie werd in 1959 gebouwd door op het dak van een elektrische oldtimer uit 1912 een zonnepaneel van 200 Watt te monteren.

De Unesco-conferentie van 1973 met als titel 'The Sun at the Service of Mankind' gaf het startschot voor de aardse toepassing van zonne-energie; vanaf 1974 bracht de oliecrisis verschillende overheidsprogramma's voor zonne-energie op gang. Vanaf 1979 startte de Europese Commissie met subsidies voor PV-demonstratieprojecten, en ook afzonderlijke nationale steunprogramma's werden kort daarna uitgebouwd.

Met andere woorden: de PV-industrie is een kwarteeuw jong en in volle ontwikkeling.

5

Fotovoltaïsche modules (PV-modules)

Met losse zonnecellen kunt u in de praktijk niet aan de slag: ze wekken een kleine stroom en lage spanning op, ze zijn breekbaar en de metaalcontacten zijn vochtgevoelig. Daarom worden zonnecellen onderling verbonden via gesoldeerde strips en samen in een zogenaamde fotovoltaïsche module (PV-module) geplaatst.

Er zijn vier goede redenen daarvoor:

- de kleine stroom en lage spanning van de aparte cellen wordt door parallel en serie-schakeling vergroot tot bruikbare elektriciteit;
- de bescherming van cellen en metaalcontacten tegen weersinvloeden (vooral vocht);
- de mechanische stevigheid voor de broze zonnecellen;
- praktische bevestiging op draagstructuren.

5.1 Opbouw van PV-modules



De verschillende lagen in een PV-module

De voorkant van fotovoltaïsche modules bestaat uit een lichtdoorlatende plaat, meestal een glasplaat, maar het kan ook in polycarbonaatfolie (die wel na verloop van tijd onder invloed van het licht kan vergelen).

Het glas is thermisch gehard en heeft een laag ijzergehalte om

zoveel mogelijk licht door te laten. Het is water- en dampdicht, kras- en hagelbestendig en zelfreinigend bij regen.

Voor de achterkant is waterdichtheid, dampdichtheid en warmtegeleiding belangrijk. Bij semi-transparante modules (zie verder) wordt hiervoor opnieuw glas gebruikt; bij dichte standaardmodules wordt meestal een speciale folie gekozen om het grote gewicht van glas te vermijden (meestal een PVF

film, merknaam 'Tedlar', ook in combinatie met polyester of aluminium).

De zonnecellen worden tussen voor- en achterzijde op hun plaats gehouden en beschermd tegen weersinvloeden door 'inkapseling' met een vochtbestendige kunststof, meestal ethylvinylacetaat (afgekort EVA). Indringing van vocht kan immers de metaalcontacten op en tussen de cellen aantasten. Het incapsulatiemateriaal moet ook bestand zijn tegen hoge temperaturen, temperatuurschommelingen en veroudering door UV-straling. Bij glas-glas-modules worden de cellen met een speciaal hars 'ingegoten' tussen twee glasplaten.

Rond de module wordt meestal een aluminium kader bevestigd voor de stevigheid en een gemakkelijke montage op een draagstructuur. Op de achterkant van de module kleeft men een waterdichte aansluitdoos voor elektrische kabelverbindingen naar andere PV-modules of naar de inverter.

5.2 Soorten modules

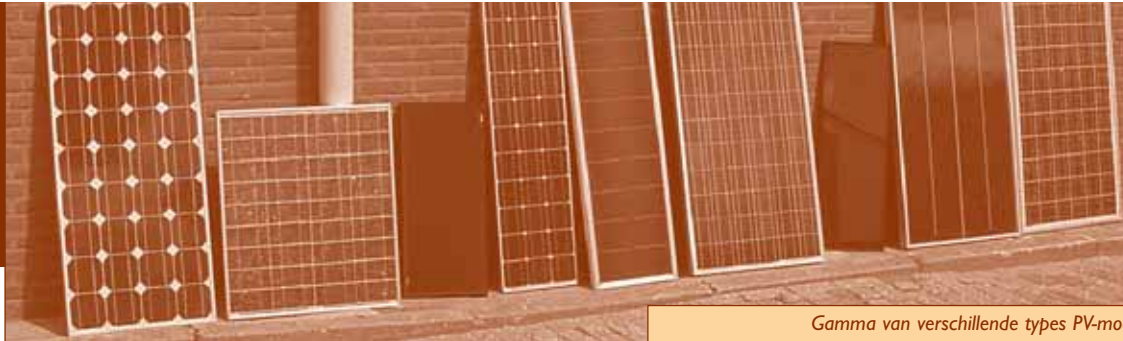
Standaardmodules

Een standaard fotovoltaïsche module bestaat typisch uit 36 cellen in serie, met een vermogen van ongeveer 54 Wp (spanning 18V en stroom 3A), om een eenvoudige koppeling met 12-V batterijen mogelijk te maken voor optimale oplading. Bij netgekoppelde systemen worden steeds vaker grotere modules gebruikt (72 of meer cellen in serie, vermogens van 110 à 120 Wp) waardoor productie- en installatiekosten verminderd kunnen worden. Deze modules hebben afmetingen van 60 à 70 cm op 120 à 150 cm.

Kaderloze modules

Kaderloze modules (ook 'laminaten' genoemd) met een dichte achterzijde kunnen net als klassieke gevelpanelen ingebouwd worden in daken, gevels en zonneweringen.

Bij kaderloze modules moet men extra letten op een waterdichte randafdichting. Kleine laminaten van 3 of 6 zonnecellen kunnen ook op pannen of leien gekleefd worden; langere stroken kunnen in een leiendak ingewerkt worden (zie PV-leien p. 25).



Gamma van verschillende types PV-modules

Semi-transparante modules

Als ook de achterkant in glas is uitgevoerd, spreken we van 'glas-glas' modules of 'semi-transparante PV-modules'. Door de zonnecellen wijder uit elkaar te plaatsen laat de module nog wat licht door. Het typische licht- en schaduwraaster kan een eigen rol spelen in het architecturale ontwerp. Omdat zulke 'semi-transparante' modules op maat gemaakt worden, kan de architect ook zelf bepalen hoeveel licht nog doorgelaten wordt, afhankelijk van de tussenafstand tussen de zonnecellen.

Semi-transparante PV-modules kunnen fraai toegepast worden in glazen verandadaken, beglase atriumdaken, vaste zonneweringen maar ook in verticale glazen gevels. In alle toepassingen gaat elektriciteitsproductie samen met gedeeltelijke zonnewering. Bovendien kan de glazen achterzijde ook uit extra isolerend glas bestaan voor thermische isolatie. Semi-transparante modules zijn wel duurder dan dichte standaard modules.

Dunne-film-modules

PV-modules met dunne filmen (amorf silicium, CIS, CdTe) kunnen diverse vormen aannemen, afhankelijk van de 'drager', het materiaal waarop de dunne film is aangebracht:

- glasvlakken met dunne film PV zijn stijve modules, al of niet met een kader, zien er ongeveer uit zoals kristallijne PV-modules, maar met een donkerbruine kleur en een egaal oppervlak zonder zichtbare metalen contacten;
- metalen banen met amorfe PV-film;
- soepele dakbanen; type 'leien op rol', of in combinatie met kunststof dakrollen voor platte daken.

De dunne PV-film wordt aan de voorkant beschermd door een transparante toplaag uit polymeer of glas (voor stijve modules).

5.3 Kenmerken van PV-modules

Op de technische fiche van PV-modules staat een hele lijst kenmerken; in het kadertje een voorbeeld voor een 120 Wp module.

We bekijken enkele kenmerken:

Nominaal vermogen of piekvermogen in Wattpiek

Het nominale vermogen van een zonnecel of een fotovoltaïsche module wordt opgemeten onder internationaal vastgelegde testcondities (STC, 'Standard Test Conditions'): 1000 W/m² instralend vermogen bij gestandaardiseerd zonlicht (lichtspectrum AM 1,5) en 25°C celtemperatuur. Dit

nominale vermogen van de zonnecel of de module(s) wordt uitgedrukt in Watt-piek, afgekort Wp, of piekvermogen. Een 55 Wp module levert dus alleen onder hoger vermelde testvoorwaarden een uitgangsvermogen van 55 Watt. Het woord 'piek' in Watt-piek is een beetje verwarrend: bij lagere celtemperaturen of hoger instalingsvermogen dan de standaard testvoorwaarden kan het gemeten vermogen van de zonnecel of module(s) hoger liggen dan het nominale vermogen - bijvoorbeeld op een zonnige koude middag in de lente. Typische waarden voor het piekvermogen van een module liggen tussen 50 en 300 Watt.

Type zonnecel

Bij polykristallijne cellen worden meer en meer grotere maten dan de klassieke 10 cm x 10 cm toegepast. Ook vierkante cellen met zijde 12,5 of 15 cm en grote rechthoekige cellen worden in standaardmodules gebruikt.

Kleur

Modules met monokristallijn silicium zonnecellen hebben een egale diepblauwe of donkergrijze kleur; polykristallijne modules hebben een donkerblauw 'gemarmerde' kleur met verschillend getinte onregelmatige vlakjes. Deze kleur wordt bepaald door de antireflectieve laag die - lichtweerkaatsingen vermindert en het licht maximaal in de zonnecellen invangt. Andere kleuren zijn mogelijk door de samenstelling van de antireflectieve laag aan te passen, maar dan ligt het rendement wel lager. Het minste rendementsverlies leveren de kleuren goudbruin en paars. Wanneer PV-modules in de toekomst meer ingeburgerd geraken als architecturaal bouwelement zal de vraag naar andere kleuren waarschijnlijk toenemen, zeker als ook de prijzen gaan dalen. Bovendien zijn er nieuwe kristallijne PV-modules in ontwikkeling (o.a. door Imec) zonder metalen patroon op de voorkant, en met een uniforme donkere voorzijde.

Dunne-film-PV-modules hebben afhankelijk van het type zonnecel ook een egale donkerbruine of antracietkleur zonder metalen contacten.

Gewicht

Het gewicht van dichte standaard PV panelen wordt vooral door het glas bepaald en schommelt rond 15 kg per m², wat voor daken geen probleem stelt. Semi-transparante glas-glas-modules wegen zwaarder, afhankelijk van de toegepaste glasdikten en de combinatie met dubbel isolerend glas aan de binnenkant.

Testen van PV-modules

Het onderzoekslabo JRC (Joint Research Centre) van de Europese Commissie heeft een gestandaardiseerde testprocedure met strenge testen opgesteld, die vertaald is in een internationale norm (zie kader). Het gaat hier vooral om duurzaamheidstesten bij grote temperatuursprongen en bij wind, hagel en zeeklimaat (zoutneveltest). De testen kunnen uitge-

voerd worden op PV-modules of op speciale bouwelementen waarin PV-modules geïntegreerd zijn.

Deze test is niet wettelijk verplicht, maar PV-fabrikanten kunnen wel vrijwillig - en tegen betaling - hun PV-modules laten testen. Als deze voldoen aan norm wordt dat algemeen aanvaard als kwaliteitslabel - en het is een overtuigend verkoopargument. Bovendien is het meestal een noodzakelijke voorwaarde om een subsidie te krijgen (in Vlaanderen wordt prioriteit gegeven aan modules die eraan voldoen). Wegens de hoge kost en de lange duur van de testen (4 tot 5 maand!) worden in praktijk meestal enkel standaardmodules voor massaproductie gecertificeerd. Deze testen kunnen enkel in erkende testlabo's uitgevoerd worden zoals JRC-ESTI, CIEMAT in Madrid, TÜV-Rheinland in Keulen.

Garantie

De meeste fabrikanten garanderen 90 % van het piekvermogen gedurende 10 jaar, sommigen garanderen 80% van het piekvermogen gedurende 25 jaar - zulke uitgebreide garantie vindt meer en meer ingang.

Normen voor PV-modules

Het Internationaal Elektrotechnisch Comité heeft normen opgesteld voor PV-modules. Kristallijne PV-modules worden getest volgens de norm IEC 61215, "Crystalline silicon terrestrial PV modules - Design qualification and type approval" (vroeger IEC 1215 en CEC 503).

Voor dunne-film-modules bestaat een vergelijkbare testprocedure volgens de aparte norm IEC 61646 "Thin-film terrestrial PV modules - Design qualification and type approval" (vroeger IEC 1646 en CEC 701).

Beide standaarden bestaan uit een reeks van testen en geven een kwaliteitsgarantie voor de modules voor een periode van minstens tien jaar.

Testprocedure voor kristallijne modules

De PV-module wordt aan volgende proeven onderworpen:

- Thermische cyclus -40°C tot $+85^{\circ}\text{C}$, 200 cycli;
- Vocht- en warmteduurtest 85°C -85% relatieve vochtigheid gedurende 1000 uren;
- Vocht-koude cycli 85°C -85% RV naar -40°C , 10 cycli
- Mechanische belasting $+2.400\text{ Pa}$ naar -2.400 Pa
- Weerstand tegen hagelinslag (diameter 25mm, snelheid 23m/sec)
- Weerstand tegen UV 60°C totaal 15kWh/m^2
- Hot-spot duurtest
- Zoutneveltest

Technische specificaties fotovoltäische module

TYPE : 120Wp

Cellen: multikristallijn

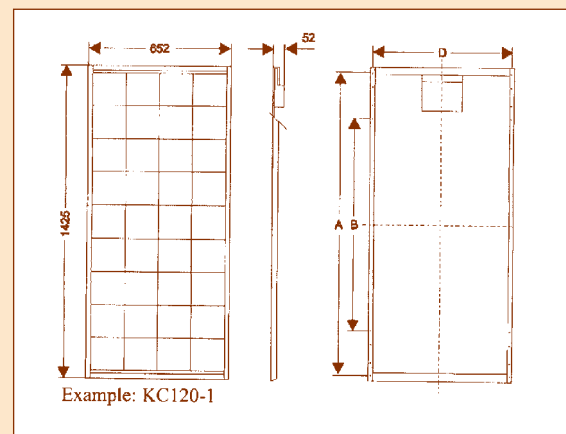
Incapsulatietechniek: laminatie in EVA (glas - Tedlar)

Kader: geanodiseerd aluminium

Connectiedoos: IP65

Totaalgewicht: 11,9 kg

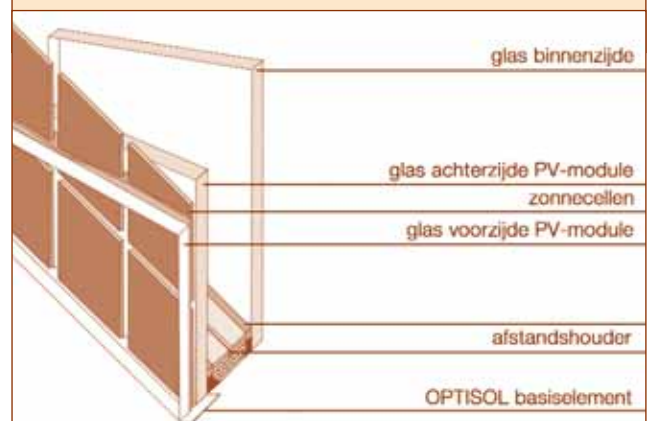
Afmetingen: 1.425 X 652 X 52 mm



Afmetingen en schematische opbouw van de module

Vermogenspecificaties, gemeten bij 1.000 W/m^2 , 25°C , AM 1,5:

Nominaal vermogen	120Wp
Kortsluitstroom	7,45A
Openklemspanning	21,5V
Spanning in maximaal vermogenpunt	16,9V
Stroom in maximaal vermogenpunt	7,107A
Getest volgens de IEC 61215:	Ja
Garantie: 80% van het vermelde nominale vermogen na 25 jaar	



Opbouw van een glas-glas-module, dubbele beglazing binnenzijde (Pilkington)



PV-systeem op begane grond in Leuven (Iverlek)

6



Eenvoudig pompsysteem met drinkwater voor koeien in Nederland

Fotovoltaïsche systemen (PV-systemen)

■ Wat is een PV-systeem?

Zonnecellen worden aan elkaar geschakeld in modules, en modules op hun beurt in serie (of parallel) geschakeld en gekoppeld aan batterijen of via omvormers aan het stroomnet. Het geheel noemt men een fotovoltaïsch systeem of PV-systeem (van het Engelse 'photovoltaics'). Het bestaat uit volgende onderdelen:

- de fotovoltaïsche modules, de totale oppervlakte wordt ook fotovoltaïsch veld genoemd;
- draagstructuur of bevestigingstechniek;
- elektrische componenten:
- laadregelaars of omvormers
- batterijen of andere opslag
- bekabeling, koppelingskast, beveiliging

6.1 Netgekoppelde fotovoltaïsche systemen

Bij een netgekoppeld fotovoltaïsch systeem wordt de gelijkspanning van de fotovoltaïsche modules omgevormd tot wisselspanning (230V, 50 Hz) die rechtstreeks aan het elektriciteitsnet kan geleverd worden. Dat gebeurt met een omvormer of inverter die 'normale' wisselstroom aan het net levert met een omzettingsrendement van minstens 90%. Netgekoppelde systemen hebben geen batterijopslag nodig: het openbare elektriciteitsnet is de (virtuele) opslag. Studies hebben uitgewezen dat deze vorm van "stockage op het net" geen onstabieleit op het net veroorzaakt op voorwaarde dat het aandeel van deze technologie niet groter wordt dan 10% van het totale opgewekte vermogen.

■ Overzicht

We spreken van gecentraliseerde netgekoppelde systemen of PV-centrales wanneer een grote fotovoltaïsche installatie (typisch van enkele 100 kWp tot enkele MWp) aan het net gekoppeld wordt. De geproduceerde elektriciteit wordt niet aan een lokale gebruiker geleverd maar wel via een transformatorcabine op middenspanningsniveau rechtstreeks op het openbare net gestuurd.

Omdat fotovoltaïsche energieopwekking per PV-module kan geïnstalleerd worden kunnen ook veel kleinere systemen op het openbaar net aangesloten worden. Dit noemt men gedecentraliseerde systemen; ze kunnen geplaatst worden op daken en gevels van woningen en andere gebouwen, of op geluidswanden langs autosnelwegen. De foto's op pagina 25-26 geven voorbeelden van PV-projecten in binnen- en buitenland.

6.2 Autonome fotovoltaïsche systemen

Definitie

Een autonoom fotovoltaïsch systeem produceert elektriciteit voor een elektriciteitsverbruiker die niet gekoppeld is aan het elektriciteitsnet.

A. SYSTEMEN ZONDER BATTERIJEN

Fotovoltaïsche modules kunnen voor sommige toepassingen rechtstreeks aan elektriciteitsverbruikers aangesloten worden zonder gebruik van batterijen.



Autonome verlichtingspaal in een park te Hasselt (Solar Technics)



Zeeboei met PV-modules (Soltech)



PV-modules op een kampeerwagen (Lenoir Solar)



Autonoom PV-systeem in Gambia (Solar Technics)

1. Fotovoltaïsche pompsystemen

Grote pompsystemen voor ontwikkelingslanden bestaan uit een fotovoltaïsch veld, eventueel een elektrische vermogenomvormer, een motor, een pomp en een watertank. Er is een directe koppeling tussen de fotovoltaïsche modules en de motorpompgroep waardoor het gebruik van batterijen vermeden wordt: het opgepompte water dient hier immers als buffer. Hier in Vlaanderen kunnen kleine vijverpompjes met een PV-module het zuurstofgehalte in een vijver op peil houden; een andere toepassing is het oppompen van drinkwater voor vee.

2. Koelkasten met fotovoltaïsche systemen

Bij koeling met zonne-energie zijn energievraag en -aanbod mooi op elkaar afgestemd. Voor kleinere koelkasten kan men fotovoltaïsche cellen gebruiken. In zeer kleine systemen (bv. een koelbox) is de combinatie met een Peltier-element mogelijk. Voor grotere koelkasten of diepvriezers worden meestal extra geïsoleerde types gebruikt met compressor. Koelkasten voor het bewaren van vaccins, die gevoed worden uit een fotovoltaïsch batterijsysteem, worden in ontwikkelingslanden en afgelegen gebieden al ruim gebruikt.

3. Airconditioning

Bij kleine airconditioninginstallaties wordt een fotovoltaïsch veld van bv. 1 kWp modules rechtstreeks aan een airconditioninginstallatie gekoppeld of een fotovoltaïsche module van bv. 20 Wp aan een ventilator binnen in de kamer. Als de zon schijnt, werkt de koeling.

B. SYSTEMEN MET BATTERIJEN

1. Eenvoudige zelfregulerende systemen met batterij

Fotovoltaïsche modules kunnen direct parallel geplaatst worden op een batterij, op voorwaarde dat een diode in serie tussen module en batterij geplaatst wordt. Deze verhindert de ontlading van de batterij tijdens de nacht als de module zich als belasting zou gedragen.

Tijdens zonnige uren levert de fotovoltaïsche module rechtstreeks elektriciteit aan de energieverbruiker; het overschot wordt opgeslagen in de batterij. 's Nachts en bij lage zonneinstraling haalt de energieverbruiker energie uit de batterij. Voorbeelden van kleinschalige toepassingen, vaak met kleine nikkelcadmium of metaalhydride batterijen: horloges, zaklantaarns, radio's, mobiele telefoons.

Opslag van fotovoltaïsche elektriciteit

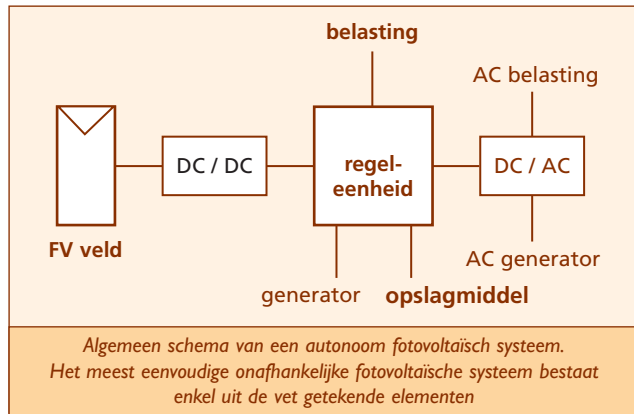
Om het wisselende aanbod van duurzame energiebronnen zo volledig mogelijk te gebruiken en om het elektriciteitsnet goed te beheren, is opslag van elektriciteit noodzakelijk. Naast klassieke technieken zoals batterijen en pompcentrales met waterkracht (in Coö bv.) komen stilaan nieuwe opslagmethodes in zicht zoals vliegwielen, supergeleidende magnetische energieopslag, supercapacitors, ...

Ook waterstof kunt u beschouwen als een opslag- en transportmiddel voor elektriciteit. Het komt niet vrij in de natuur voor, maar kan wel met behulp van elektriciteit geproduceerd worden door elektrolyse van water. Dat is de elektrochemische productie van waterstof (H₂) en zuurstof (O₂) door een elektrische stroom via twee elkaar niet rakende staven (anode en kathode) ondergedompeld in een watervolume te geleiden. Elektrolyse is goed te combineren met fotovoltaïsche energieomzetting omdat slechts een lage elektrische spanning vereist is.

Eén van de grote voordelen van waterstof is de mogelijkheid tot transport. In het toekomstbeeld van een waterstofeconomie wordt in grote fotovoltaïsche installaties op zonnige locaties waterstof geproduceerd dat dan via pijpleidingen of speciale containers naar de verbruikers kan vervoerd worden.

De reactie van waterstof met zuurstof in zogenaamde brandstofcellen produceert elektriciteit, met alleen pure waterdamp als uitlaatgas. Waterstof kan niet alleen in brandstofcellen voor voertuigen toegepast worden maar ook voor de gecombineerde productie van elektriciteit en warmte in een warmtekrachtkoppeling voor woningen.

Er bestaan al omkeerbare brandstofcellen die in twee richtingen werken: met overproductie van elektriciteit wordt waterstof geproduceerd via elektrolyse, met diezelfde waterstof wordt terug elektriciteit opgewekt als die terug nodig is.



2. Systemen met een batterijregelaar

Een batterij heeft een beperkte energieopslagcapaciteit en een beperkte levensduur, die verkort wordt door verkeerd gebruik: loodzuurbatterijen bvb. worden beschadigd door te zwaar overladen en te diep ontladen. Om dit te voorkomen en voor een optimale automatische sturing van laden en ontladen wordt een laadregelaar ingebouwd.

Typische toepassingen zijn: verlichting (zeeboeien, straatlantaarns), milieusensoren, telecommunicatietoepassingen (doorzendstations), elektrische boten, zeilboten, caravans, afgelegen woningen In ontwikkelingslanden zijn dergelijke systemen vaak de enige betaalbare en betrouwbare oplossing voor basisvoorziening van elektriciteit in afgelegen gebieden (zgn. "solar home systems") en zelfs goedkoper dan de aansluiting van een openbaar elektriciteitsnet.

Bij inschakeling van een omvormer kunnen bovendien ook 'klassieke' huishoudtoestellen en lampen op 230 V wisselspanning gebruikt worden.

3. Grote autonome fotovoltaïsche systemen

Soms produceert één groot fotovoltaïsch systeem elektriciteit voor een groep stroomverbruikers (bvb. de bewoners van een klein eiland). Dergelijke systemen hebben vaak een vermogen van 10 tot 100 kWp of meer en voeden vanuit de batterijbank via een DC/AC omvormer een lokaal wisselspanningsnet dat grote afstanden kan overbruggen.

6.3 Elektrische componenten van netgekoppelde PV-systemen

Invertoren

Werking

In een netgekoppeld fotovoltaïsch systeem speelt de inverter of omvormer een belangrijke rol. Hij zet de gelijkstroom om in wisselstroom maar zorgt tegelijkertijd voor een optimaal werkingpunt voor het moduleveld, kwaliteitsbewaking van

de stroomlevering aan het openbare elektriciteitsnet en beveiliging.

Maximaal vermogen punt (MVP)

Elektriciteit wordt gekenmerkt door cijfers voor de stroom in Ampère (A) en de spanning in Volt (V). Stroom vermenigvuldigd met spanning levert het vermogen in Watt op. Dit product moet zo groot mogelijk zijn om zoveel mogelijk energie uit het PV-systeem te halen.

De elektronica in de inverter zoekt automatisch die combinatie van stroom en spanning op waar het vermogen maximaal is: het zogenaamde 'maximum-vermogen-punt' (MVP of MPP van het Engelse 'Maximum Power Point').

De stroom die een PV-systeem levert, varieert evenredig met de lichtinstraling; de spanning verandert zeer weinig en alleen in functie van de temperatuur (een daling met $\pm 0,4\%$ per graad temperatuurstoename). Het vermogen van een PV-systeem varieert dus volgens het beschikbare licht en de temperatuur van de zonnecellen.

Daarnaast bezit een inverter nog heel wat regelapparatuur voor volgende taken:

- automatisch opstarten zodra er voldoende licht is en afsluiten 's nachts;
- niet afschakelen bij een vermogen groter dan het nominale vermogen;
- voeding van de regelapparatuur vanuit de gelijkstroomzijde;
- veiligheidsfuncties.

De inverter controleert de verschillende eigenschappen van het elektriciteitsnet nauwkeurig en schakelt zichzelf uit van zodra onregelmatige waarden optreden die wijzen op het uitvallen van het net. Daardoor wordt het net beveiligd tegen eilandwerking van de inverter.

Rendement van de omzetting

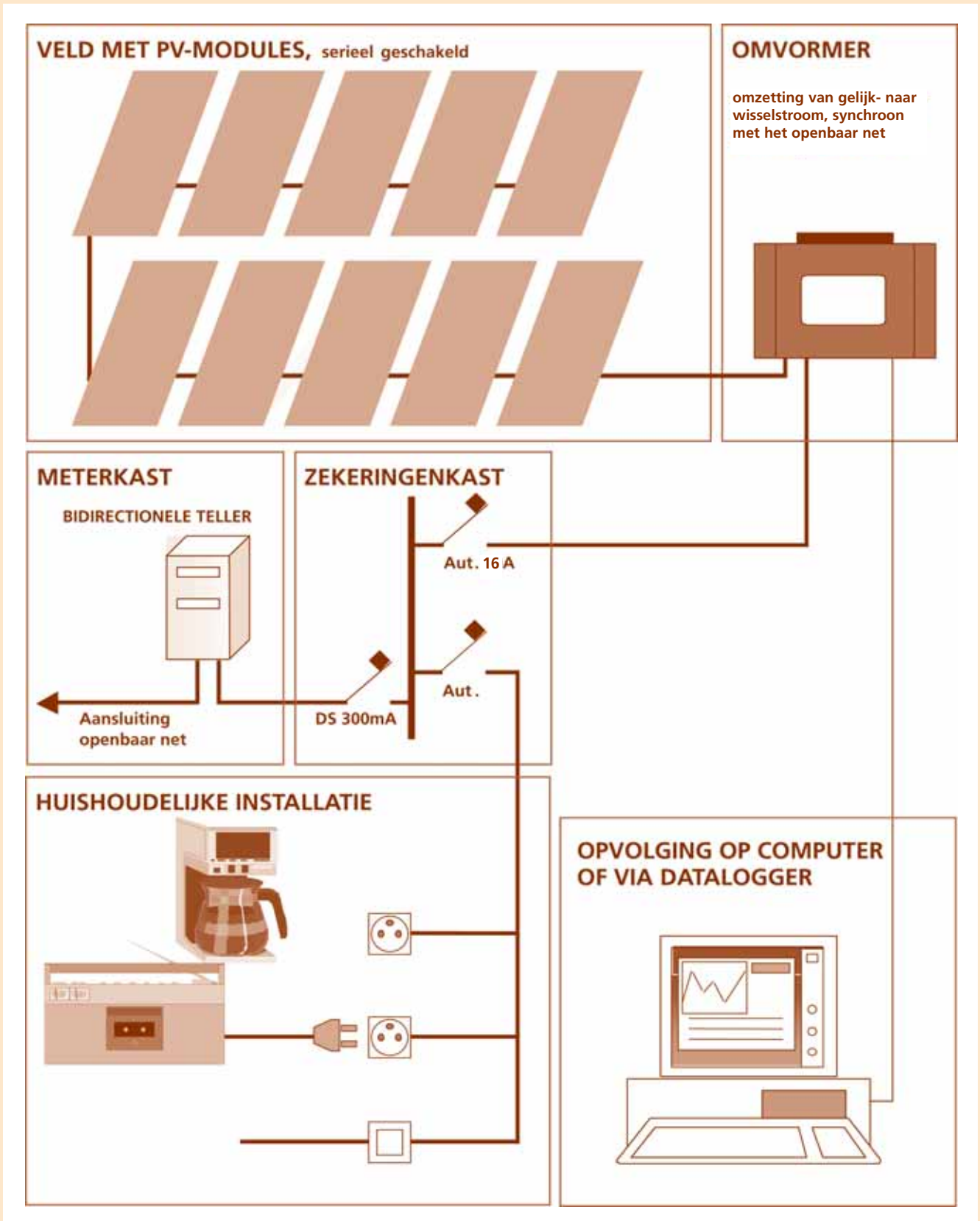
Het rendement van de omzetting van gelijkstroom in wisselstroom is niet constant bij elke lichtinstraling. Goede invertoren hebben al bij lage lichtinstraling een goed omzettingsrendement dat snel stijgt tot boven 90% bij gemiddelde lichtinstraling. Een jaargemiddeld inverterrendement van 90% mag als zeer goed beschouwd worden.

'Power Quality'

De kwaliteit van de aan het net geleverde stroom moet voldoen aan een aantal kwaliteitseisen, die met de term 'power quality' kunnen samengevat worden. Het gaat o.a. om normen met betrekking tot het spectrum van de 'harmonischen' en EMC (elektromagnetische compatibiliteit). We gaan hier niet in op de technische details.

Gebbruiksvriendelijkheid

Omdat de inverter volautomatisch werkt, moet de gebruiker alleen in abnormale omstandigheden ingrijpen. Daarom moet het steeds duidelijk zichtbaar zijn of de inverter al dan niet normaal werkt - dat kan door controlelampjes op de inverter zelf of bvb. op een apart plaatje. Voor de beoordeling van een PV-systeem is het bovendien erg nuttig om bepaalde meet-



waarden te bewaren voor latere berekeningen. Sommige invertoren doen dit zelf, bij andere kan het via een PC of datalogger.

Plaatsing

Een inverter werkt vrijwel geruisloos en kan dus in de woning zelf geplaatst worden, bij voorkeur zo dicht mogelijk bij de fotovoltaïsche modules: op een zolder, in een garage of een berging. Heel wat invertoren hebben een waterdichte behuizing (volgens de norm IP 65) zodat ze ook buiten kunnen opgesteld worden.

Soorten invertoren voor netgekoppelde fotovoltaïsche systemen:



PV centrale in Californië (VS)

• Centrale inverter

Voor een breed gamma PV-systemen van 1 tot 100 kWp kan men op 1 centrale inverter alle ketens van PV-modules aansluiten, zowel bij systemen op gebouwen als bij grote PV-centrales op een perceel grond.

Voordelen: kostenbesparing, gemakkelijke controle, zeer hoog rendement. Het nadeel van de serieschakeling van een groot aantal modules is dat wanneer één module of zelfs een deel van een module beschaduwd wordt in een panelenketen, het opgewekte vermogen van de volledige keten sterk daalt. Ook is het moeilijk om een fout in 1 keten op te sporen.

• Serie-inverter ('stringinverter')

In dit geval wordt per keten ('string') van PV-modules in serie een inverter geplaatst die de koppeling aan het elektriciteitsnet voorziet. Het nominale vermogen van een dergelijke inverter bedraagt typisch tussen de 500 W (80 V) en de 3 kW (500 V). Voor PV-moduleketens van 1 tot 1,2 kWp wordt in Vlaanderen dikwijls een inverter van 850 W toegepast.

Voordelen: geen aparte koppelkast nodig en dus een eenvoudige installatie, hoog omzettingsrendement, eenvoudige bekabeling, modulaire opbouw, goede analyse van meetgegevens mogelijk.

Nadelen: meer invertoren voor grotere PV-systemen en dus kostenverhoging.



Vier stringinvertoren van het PV-dak te Moorseele (Solar Technics)

• Module-inverter

In dit geval wordt de gelijkstroom van elke fotovoltaïsche module (typisch piekvermogen 100 - 130 Wp) afzonderlijk door een mini-inverter op de rugzijde van de module in wisselstroom omgezet. Klassieke 230V-bekabeling verbindt elke module dan met de koppelkast voor netkoppeling (parallelschakeling van modules).

Zulke invertoren, meestal vierkante doosjes met een zijde van 10 tot 15 cm, noemt men module-invertoren en de modules 'AC-modules' of wisselstroommodules. De grote voordelen zijn de lagere installatiekosten en installatietijd door het

gebruik van gewone wisselstroombekabeling. Doordat er geen serieschakeling is van modules heeft gedeeltelijke beschaduwing bovendien geen effect op de totale opbrengst - maar natuurlijk wel op de afzonderlijke module waarop schaduw valt. Hierdoor is het totale systeemrendement voor gebouwgeïntegreerde installaties ten opzichte van de vorige systemen vaak beter.

Module-invertoren zijn nog in volle ontwikkeling en de betrouwbaarheid is nog een vraagteken. De elektronica is zeker gevoelig aan de vaak hoge moduletemperatuur die ook de opgekleefde inverter mee opwarmt en dus verwacht men een levensduur die merkbaar lager ligt dan die van de fotovoltaïsche module. Verder is de controle op de netkoppeling voor een dergelijk systeem ingewikkelder.

Soorten invertoren voor autonome systemen

Invertoren die gebruikt worden in autonome fotovoltaïsche systemen moeten voldoen aan bepaalde typische eisen. Zo zal in een typische opstelling het gemiddelde vermogen een factor 10 tot 20 lager liggen dan het gevraagde piekvermogen. Daarom is het belangrijk dat de invertoren een hoog rendement halen bij deellast (5 tot 10% van het nominale vermogen).

Er wordt onderscheid gemaakt tussen invertoren met een rechthoekige, een trapezoidale of quasi-sinusoidale en een echte sinusvormige uitgangsstroom. We gaan hier niet verder in op de technische details.

Met en monitoring

'Meten is weten', dat geldt ook voor fotovoltaïsche systemen. Het kan met een aparte dubbele kWh-meting van zonnestroom en stroomverbruik, maar het kan ook met een uitgebreider meetstelsel dat diverse kenmerken van het PV-systeem meet en de gegevens bewaart ('monitoring' met 'datalogging').

Met een PV-systeem op de woning zal het jaarlijkse verbruik lager liggen dan het vroegere gemiddelde. Uit dit lagere verbruikscijfer kan echter geen nauwkeurig cijfer voor de fotovoltaïsche stroomproductie berekend worden. De enige cijfers om mee te vergelijken zijn vorige jaarafrekeningen, maar die kunnen nogal schommelen.

Alleen met een aparte meting van de fotovoltaïsche stroomlevering aan het net kan de opbrengst van een PV-systeem in kaart worden gebracht.

Onder 'monitoring' verstaat men een uitgebreid en automatisch systeem van metingen en opslag van meetgegevens, om de correcte werking van de systemen te controleren. Hier wordt een onderscheid gemaakt tussen analytische en globale

monitoring van de systemen. De analytische monitoring is de meest gedetailleerde en duurste methode, maar levert wel belangrijke informatie op over opbrengstverliezen en defecten van het systeem. Ook kan men verschillende systemen objectief vergelijken en belangrijke praktijkervaring opdoen voor de verdere ontwikkeling van PV-systemen. Bij globale monitoring zal men alleen het totale aantal kWh per maand of per jaar meten dat de inverter van het PV-systeem aan wisselstroomzijde oplevert.

Voor de monitoring en analyse bestaan internationaal erkende richtlijnen. Analytische monitoring wordt alleen toegepast voor systemen boven 5kWp. Kleinere systemen kunnen globaal gemeten worden.

6.4 Elektrische veiligheid

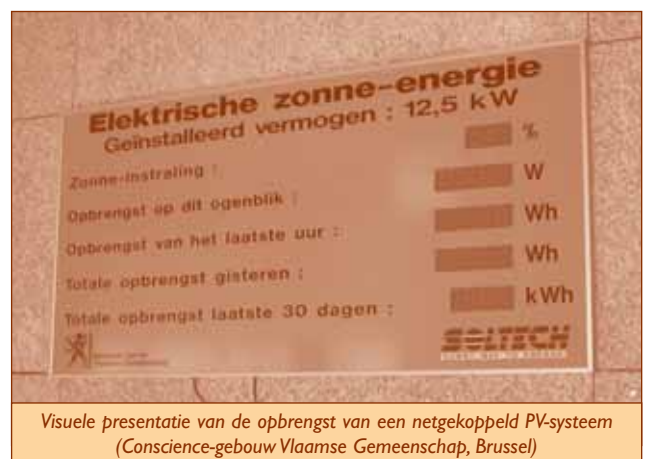
Aarding en bliksembeveiliging

Als op het gebouw een bliksembeveiliging voorzien is, kan men daaraan ook de metalen draagstructuur en de modulekaders koppelen. Bij het ontbreken van een algemene bliksembeveiliging kan speciaal voor het PV-systeem een nieuwe externe beveiliging geïnstalleerd worden, die echter nooit op de aardingslus van het huishoudelijke stroomnet mag gekoppeld worden.

Intern wordt aan de gelijkstroomingang van de inverter een overspanningbeveiliging tegen inductieve spanningen aangebracht.

Beveiliging aan gelijkstroomzijde (DC)

Een fotovoltaïsch systeem is bestand tegen kortsluiting, omdat de kortsluitstroom zelden meer dan 1,2 maal de nominale stroom bedraagt en er weinig gevaar op overbelasting van de bekabeling bestaat.



Visuele presentatie van de opbrengst van een netgekoppeld PV-systeem (Conscience-gebouw Vlaamse Gemeenschap, Brussel)

Dat betekent echter ook dat de beveiliging niet zomaar overgenomen mag worden van standaardinstallaties. De gelijkstroom vereist bovendien speciale schakelaars en maatregelen tegen 'boogvorming'.

Een bijkomend probleem is dat fotovoltaïsche systemen niet eenvoudig met een schakelaar kunnen uitgeschakeld worden: zolang er licht is, wordt er stroom opgewekt. Alleen afdekking tegen lichtinval kan het systeem stilleggen.

Beveiliging aan wisselstroomzijde (AC)

Voor de netaansluiting van fotovoltaïsche invertoren bestaan specifieke veiligheidsmaatregelen. Sinds kort heeft de Belgische Federatie van Elektriciteitsproducenten (BFE-FPE) nieuwe technische aansluitvoorwaarden goedgekeurd voor de aansluiting van fotovoltaïsche cellen op het laagspanningsnet. Ook het 'Technisch reglement distributie elektriciteit' van de VREG (Vlaamse Reguleringsinstantie voor de Elektriciteits- en Gasmarkt) verwijst naar deze aansluitvoorwaarden.

Eilandbeveiliging

Het meest typische veiligheidsaspect bij netgekoppelde fotovoltaïsche systemen is de beveiliging tegen 'eilandbedrijf'. Dat is de gevaarlijke situatie die ontstaat wanneer door een stroompanne het huishoudelijke en/of het openbare net onderbroken is en de inverter als een 'elektrisch eiland' toch stroom blijft leveren. Dit mag niet gebeuren om twee redenen: veiligheid van personen (er mag geen spanning aanwezig zijn wanneer men het net wil repareren) en toestelbeveiliging (er kan schade optreden aan toestellen). Daarom moet elke inverter het eilandbedrijf herkennen en zichzelf zo snel mogelijk van het net ontkoppelen.

In een labo-opstelling kan men een dergelijke extreme situatie simuleren en meten hoelang het duurt eer de inverter een onderbreking in het net ontdekt en afslaat. Invertoren voor netkoppeling moeten een certificaat hebben waaruit blijkt dat de eilandbeveiliging voldoet aan bepaalde normen; op dit moment worden ook buitenlandse certificaten erkend in afwachting van een Europese norm.

Verder is de internationale norm IEC 60364 (in België vertaald in het AREI, Algemeen Reglement op de Elektrische Installaties) die geldt voor elektrische installaties in gebouwen ook van toepassing op netgekoppelde fotovoltaïsche systemen. Daarnaast moeten zowel de ingang als de uitgang van de inverter voldoende bestand zijn tegen overspanningen.

7

Elektriciteit uit zonlicht, een duurzame keuze

7.1 Voordelen van energieproductie met PV-systemen

Algemeen

1. Fotovoltaïsche zonne-energiesystemen produceren elektriciteit, een hoogwaardige energiedrager met veelzijdige toepassingen en gemakkelijk transport. Tijdens hun werking produceren geïnstalleerde PV-systemen geen milieuhinder: geen gasuitstoot, geen lawaaihinder, geen afvalstoffen.
2. PV-modules zijn - het woord zegt het zelf al - modulair, d.w.z. naargelang de behoefte en de financiële mogelijkheden kunnen ze per kleine serie opgesteld worden - of zelfs per paneel, in het geval van wisselstroommodules. Ook de uitbreiding van een bestaand PV-systeem kan vrij flexibel gebeuren. De enige beperking hierbij is het vermogen van de geïnstalleerde inverter (indien aanwezig). De PV-modules zelf zijn omzeggens onderhoudsvrij. Stofafzetting heeft weinig invloed op de opbrengst en in ons klimaat spoelt de regen de panelen regelmatig af.
3. PV-systemen kunnen gedecentraliseerd opgesteld worden zonder lange bouwtijd. Bovendien kan dat ook op gebouwen zodat de open ruimte waar we in Vlaanderen zuinig mee moeten omspringen niet verder ingenomen wordt. Opstelling op gebouwen bespaart op draagstructuren en hindert op geen enkele manier de normale menselijke activiteiten in of rond het gebouw.
4. Bij netgekoppelde PV-systemen zijn geen batterijen nodig omdat het openbare elektriciteitsnet de (virtuele) opslag is. Autonome PV-systemen kunnen economisch interessant zijn voor toepassingen met laag elektriciteitsverbruik op grote afstand van het openbare stroomnet of bij hoge aansluitkosten op het aanwezige stroomnet (grondwerken, transformator

enz.). In afgelegen gebieden (zoals in ontwikkelingslanden) zijn ze zelfs de enige betrouwbare oplossing voor een basisvoorziening van elektriciteit.

Grondstoffen

Zonnecellen worden meestal van silicium gemaakt, een materiaal dat uit zand wordt gewonnen - en dat is in overvloed beschikbaar. Zand is ook de grondstof voor de glasplaten van de PV-modules. De metalen contacten op de zonnecellen bestaan uit zilver en aluminium en ook daarvoor zijn zelfs in een sterk groeiende PV-industrie de voorraden ruim voldoende.

Energieterugverdientijd

Op dit moment wordt de energie voor de productie van PV-modules in ons klimaat op maximum 5 jaar terugverdiend door de eigen stroomproductie van de modules. De levensduur van de modules bedraagt minimum 25 jaar, zodat een PV-module gedurende minstens 20 jaar een netto-energieleverancier is. In het prille pioniersstadium in de jaren '60 werden voor de ruimtevaart wel zonnecellen aan gelijk welke kost en energieverbruik gemaakt, maar ondertussen is het productieproces veel energiezuiniger geworden.

Het grootste aandeel energie zit nog altijd in de productie van zuiver silicium en de verwerking tot siliciumschijven. Het nu gebruikte silicium komt uit de elektronica-industrie en is eigenlijk te perfect gezuiverd: voor zonnecellen kan ook minder zuivere silicium even goede rendementen opleveren. Een aparte productie van 'fotovoltaïsch silicium' ('solar grade silicon') zal het energieverbruik voor de grondstofverwerking sterk verminderen.

Als in de toekomst bovendien ook hogere celrendementen gehaald worden en het materiaalgebruik zuiniger wordt door bvb. dunne film-technologie en de recyclage van afgeschreven zonnecellen, kunnen de energierugverdientijden sterk dalen tot 4 à 7 maanden.

■ Uitstoot van schadelijke stoffen

Ook de uitstoot van gassen ligt per geleverde kWh 5 tot 10 keer lager dan bij elektriciteitsproductie met fossiele brandstoffen. Bij fotovoltaïsche stroomopwekking vindt deze uitstoot bovendien alleen plaats tijdens de productie van het basismateriaal (bvb. zuiver silicium), de fabricage van cellen en modules en de daarvoor nodige hulpstoffen zoals aluminium, zilver, koper, glas, kunststoffen... waarvan overigens slechts geringe hoeveelheden per module nodig zijn.

■ Recyclage

In verschillende internationale projecten wordt op dit moment onderzocht hoe zonnecellen van 'versleten' PV-modules terug herbruikt kunnen worden. Meestal worden glas, metalen en zonnecellen door smelting in een oven gescheiden bij niet te hoge temperatuur zodat de zonnecellen zelf ongeschonden eruit komen. Het glas en de verschillende metalen kunnen goed gezuiverd en herbruikt worden. De zonnecellen worden dan met de bekende recepten terug behandeld tot ze 'als nieuw' zijn en ongeveer even goede rendementen halen. Zowel de energie-inhoud als de productieprijs kunnen daardoor drastisch dalen.

■ Economische aspecten

De investeringskost voor netgekoppelde PV-systemen is de afgelopen 10 jaar gehalveerd en bedraagt nu, zonder BTW, ongeveer 6 euro per Wp (6000 euro/kWp of 7260 euro/kWp incl. 21% BTW), voor eenvoudige gestandaardiseerde systemen zonder gebouwintegratie. Deze kostprijs vertoont internationaal een gestaag dalende trend met 5% per jaar en hangt af van de ontwikkeling van de markt en de technologie. Economisch rendabiliteit hangt niet alleen af van de investeringskost. Er zijn namelijk verschillende financiële steunmaatregelen die het gebruik van PV-systemen economisch interessant maken. Meer daarover in hoofdstuk 10: Financiële steun voor PV-systemen.





8

PV in de bebouwde omgeving

PV-modules zijn meer dan technische installaties die op het laatste 'toegevoegd worden' aan een gebouw. PV-modules kunnen ook als nieuw bouwelement toegepast worden met elektriciteitsproductie als bijkomende functie. In de architectuur kan men ze op een esthetische en functionele manier integreren en ze besparen bouwkosten door een deel van de gevelbekleding of dakbedekking te vervangen. De sterk groeiende internationale aandacht voor gebouwgeïntegreerde PV-systemen, komt tot uiting in onderzoek en ontwikkeling van vernieuwende inbouwsystemen en in het toenemend aantal geïnstalleerde gebouwgeïntegreerde PV-systemen.

8.1 De interactieve duurzame buitenwand

De buitenwand (de gevel of het dak) van gebouwen kan veel verschillende functies combineren: naast esthetische kwaliteit en bescherming tegen het buitenklimaat ook warmte-isolatie, geluidsisolatie, verluchtingsmogelijkheden in combinatie met luchtdichtheid, beveiliging.

De buitenwand wordt ook 'interactief' of 'intelligent' door manuele of automatische aanpassingen aan het wisselende klimaat: rolluiken, bewegende zonneweringen, ventilatievoorzieningen, automatisch opengaande dakramen. Ook de optimale opvang van zonne-energie door actieve, passieve of fotovoltaïsche technieken past perfect in deze wisselwerking. Belangrijk daarbij is om de wand als een geheel te zien en de verschillende functies op elkaar af te stemmen. Zo kan een fotovoltaïsche zonnewering die uitsteekt boven zuidgerichte ramen tegelijk elektriciteit produceren en zomerse oververhitting van de binnenruimte vermijden.

Energieregelende buitenwanden spelen dus een belangrijke rol in 'duurzaam bouwen' - naast een energiezuinig bouwconcept, verantwoord materiaalgebruik, efficiënte technische installaties en energiebewust bewonersgedrag.

8.2 PV-modules als bouw materiaal

Diepblauwe of donkergrijze PV-modules kunnen voor architecten een aantrekkelijk nieuw bouw materiaal worden en vormen eerder een uitdaging dan een beperking voor architecten. Naast rechthoekige standaard PV-modules kunnen ook andere types met diverse afmetingen, kleur en lichtdoorlaatbaarheid geïntegreerd worden op platte, hellende en glazen daken, in gevels en raampartijen, in zonneweringen. Zowel in renovatie- als nieuwbouwprojecten van woningen, kantoren, bedrijven en vrijstaande structuren kunnen PV-systemen geïntegreerd worden, zonder dat dit de normale activiteiten hindert. De diverse afmetingen en toepassingen kunnen hun rol vervullen in het ritme van de architectuur, met een krachtige ecologische en high tech uitstraling. Hieronder een overzicht van de 'sterke punten' en typerende kenmerken van PV-modules.

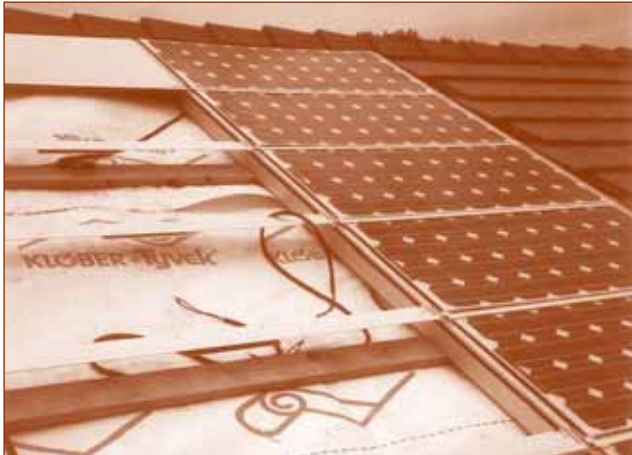
Waterdichte buitenbekleding

PV-modules zijn waterdicht en weersbestendig, en kunnen dus als gevelbekleding of dakbedekking gebruikt worden, op voorwaarde dat er voldoende aandacht is voor thermische uitzetting in de voegen. Omdat PV-modules dampdicht zijn moet condensatie aan de rugzijde zoveel mogelijk vermeden worden en moet de afvoer van eventueel condenswater mogelijk zijn.

Typische kleur

PV-modules met siliciumcellen zijn donkergrijs, donkerblauw of geschakeerd donkerblauw, naargelang de gebruikte zonnecellen. Modules met andere kleuren zoals goudgeel, groen, bruin, paars, rood zijn mogelijk, maar hebben een duidelijk lager rendement. Amorfe modules (met merklijk lagere rendementen) zijn egaal diepbruin tot zwart.

Naast de hoofdkleur blauw bepaalt ook het zilverkleurige ragfijne raster van 'vingers' en contactstroken het uitzicht. Er zijn PV-cellen en -modules zonder frontcontacten met een egale kleur in ontwikkeling.



Opbouw van een dakgeïntegreerd en netgekoppelde PV-systeem in Moorsel (Solar Technics)

Afmetingen en vorm

Standaardmodules zijn rechthoekig, met afmetingen afhankelijk van het vermogen. Veel gebruikte modules van 100 tot 120 Wp zijn 60 tot 70 cm breed en 120 tot 150 cm lang. Modules met andere afmetingen kunnen op bestelling gemaakt worden op maat van de klant. De reden daarvoor kan bvb. inpassing in een gevelopbouw zijn. Bij extra grote modules moet men rekening houden met grotere gewichten door de dikkere glazen frontplaat.

Naast rechthoekige PV-modules kunnen op maat ook trapeziumvormige of driehoekige PV-modules gemaakt worden.

Raster van cellen en modules

De witte achtergrond in kunststof vormt tussen de donkerblauwe kristallijne cellen een regelmatig lijnraster dat het beeld van de modules mee bepaalt. Een egaal donkerblauwe kleur is mogelijk op vraag van de ontwerper.

Door met de metaalgrijze aluminium kaders een raster in landschapsformaat of portretformaat te ontwerpen, ontstaat een meetkundig en strak lijnenspel. Op bestelling kunnen ook donkerkleurig gemoffelde kaders voorzien worden zodat de modules een egaal donker kleurvlak vormen.

Lichtdoorlatende PV-modules

Semitransparante glas-glas-modules kunnen net als glas in verticale ramen, dakramen en glazen overkappingen toegepast worden. Bovendien kan de binnenzijde van dergelijke modules ook in (verbeterd) dubbel glas worden uitgevoerd. De inwerking van contactdozen, eventuele module-invertoren en bekabeling is hier een belangrijk aandachtspunt.

Dummypanelen

Een regelmatige opbouw met identieke PV-modules is aan te raden, maar soms zijn afwijkende maten aan de randen niet te vermijden. In dat geval worden meestal 'dummy'-modules gebruikt die eruit zien als echte PV-modules maar waarbij de zonnecellen nagebootst zijn door zeefdruk op glas. Dit is zowel een esthetisch aanvaardbaar als goedkoop alternatief voor dure afwijkende modules.

Dummypanelen kunnen ook problemen door beschaduwing esthetisch oplossen: op de plaats waar de schaduw van een schouw of een ander gebouwonderdeel de werking van een echte PV-module hindert, wordt deze vervangen door een identieke niet werkende dummy-module.



Ook op 'moeilijke' daken kunnen PV-modules geplaatst worden; aan de randen van de driehoek zijn dummy-panelen toegepast (IEA Task 7)

8.3 Voordelen

Voordelen van PV op gebouwen

Bewaren van de open ruimte

In een dicht bevolkt en dicht bebouwd gewest als Vlaanderen is de open ruimte te schaars om grote PV-centrales op (braakliggende) gronden in te planten. Het is logisch om gebouwen en andere structuren als draagconstructie voor PV te gebruiken.

Decentrale milieuvriendelijke elektriciteitsproductie

PV-systemen op gebouwen produceren elektriciteit vlakbij de verbruiker, zodat verliezen door transformatie en transport van elektriciteit verminderd worden.

Bovendien gebeurt de elektriciteitsopwekking geruisloos, zonder plaatsverlies en zonder uitstoot van broeikasgassen of andere gassen. PV-systemen op gebouwen vormen dus geen hinder voor de bewoner of gebruiker van gebouwen.

■ **Belangrijk potentieel voor duurzame elektriciteitsproductie**

Op bestaande gebouwen en te verwachten nieuwbouw is er voldoende oppervlakte om PV-systemen te installeren. Volgens diverse grondige studies kan in België 12% tot 25% van het totale elektriciteitsverbruik (cijfers 2001) opgewekt worden door netgekoppelde PV-systemen. Het gaat hier om het maximum technisch realiseerbare potentieel op de totale beschikbare oppervlakte van goed georiënteerde daken en gevels van gebouwen, inclusief PV-systemen op niet-gebouwstructuren zoals spoorbermen en geluidswanden langs autowegen.

■ **Voordelen van gebouwintegratie van PV-systemen**

■ **Architecturale meerwaarde van gebouwgeïntegreerde systemen**

Het typische uitzicht van PV-modules biedt de ontwerper inspirerende creatieve mogelijkheden voor een nieuwe architecturale vormgeving. De architect kan ook met het strakke karakter van PV-modules een toekomstgerichte 'high tech' uitstraling van de architectuur accentueren. Het ecologisch en duurzaam imago van PV-modules steunt bovendien op aantoonbare ecologische voordelen.

■ **Kostenbesparing**

Het prijskaartje van PV-systemen wordt vooral bepaald door de prijs van de zonnecellen, die een dalende trend vertoont. Maar daarnaast kan ook de prijs van de integratietechniek nog omlaag door goedkopere systemen en tijdsbesparende installatietechnieken. Het feit dat het gebouw de draagstructuur vormt, is al een eerste besparing.

Door het gebruik van eenvoudig vastklikkende waterdichte stekkers kan ook de installatietijd en dus de arbeidskost omlaag.

Voor bij integratie in gevels kunnen PV-modules kosten besparen. De prijs per vierkante meter van standaard modules ligt tussen die van klassieke goedkope glazen gevelpanelen en de prijs van dure natuurstenen gevelbekleding. In die zin is een PV-gevel zelfs nu al een commerciële keuze. Nadeel is wel de lagere opbrengst per m² voor verticale PV-systemen.

8.4 Types PV-systemen op gebouwen en voorbeeldprojecten

■ **Bevestigingstechnieken voor opbouw van PV-systemen**

Hellende daken

Er werden diverse gestandaardiseerde metalen bevestigings-systemen ontwikkeld met metalen haken en profielen voor montage op hellende daken.

Meestal worden profielen gemonteerd op haken die onder de pan of lei op de houten dakstructuur bevestigd worden.

Platte daken

Op platte daken wordt de installatie van PV-systemen nauwelijks beïnvloed door de constructie. De oriëntatie en helling van de PV-modules kan optimaal gekozen worden; wel is er voldoende afstand tussen de rijen PV-modules nodig om onderlinge beschaduwning te vermijden.

De PV-modules kunnen op een metalen draagstructuur opgesteld worden, maar er zijn ook verschillende goedkope draagconstructies in beton of kunststof op de markt. Doorboren van de dakbedekking voor bevestiging kan niet, dus wordt altijd ballast voorzien, ofwel door grind of betontegels, ofwel door het gebruik van betonnen draagstructuren. Als de dakbedekking hersteld of vernieuwd moet worden, kunnen deze prefabsystemen tijdelijk weggehaald worden.

■ **Systemen voor gebouwintegratie van PV-modules**

Ondoorschijnende hellende daken

Profielen

Aangepaste aluminium draagprofielen kunnen op de houten dakconstructie van een hellend dak bevestigd worden. Kaderloze PV-modules worden erop vastgezet en de voegen worden waterdicht afgewerkt met afdekprofielen en kunststof voegstrips. De overgang met de pannen of leien gebeurt zoals bij dakvlakvensters met gootstukken en loodslabben. Onder dit waterdichte PV-dak is een waterdicht onderdak noodzakelijk voor afvoer van eventueel condenswater. Ventilatie is mogelijk als men een geventileerde nok en een dakoversteek met ventilatieopeningen aan de onderzijde voorziet.

Prefab elementen

Voor hellende daken is momenteel een nieuw type kunststof draagelement beschikbaar met steunribben op een waterdichte plaat die de functie van onderdak vervult. De modules worden via speciale aluminium profielstukjes op deze opstaande

ribben bevestigd die bovendien ventilatie aan de achterzijde van de PV-modules mogelijk maken.

Grotere prefab 'dakdozen' zijn ook een mogelijkheid, waarbij kaderloze PV-modules per 5 bvb. vooraf in een kader bevestigd werden, dat in zijn geheel op de panlatten wordt gemonteerd in plaats van de pannen en net zoals een dakvenster afgewerkt wordt met gootstukken. Dit vereenvoudigt de installatie en verlaagt de arbeidskost.

PV-pannen en PV-leien

Bij PV-pannen worden enkele zonnecellen op een vlakke kleidakpan bevestigd. Een moeilijk op te lossen nadeel is de zijdelingse beschaduwing door de opstaande rand van de pan. Bovendien moeten per pan elektrische contacten worden gemaakt, wat veel arbeidskosten en ook elektrische verliezen veroorzaakt.

Dit laatste nadeel geldt ook voor de afzonderlijke PV-lei, waarbij op het zichtbare vlak van een standaard vezelcement lei (of natuurlei) een kleine PV-module met bvb. 6 zonnecellen wordt gekleefd. Het voordeel is dan weer dat deze PV-leien net als andere leien (en ook in combinatie daarmee) overlappend gelegd worden. Zo zijn er geen extra randafwerkingen nodig en het dak ziet eruit als een klassiek dak.

Om het probleem van de talrijke afzonderlijke elektrische contacten op te lossen hebben diverse fabrikanten ook langwerpige 'PV-shingles' ontwikkeld. Het zijn PV-modules met op de zichtbare onderste helft 18 tot 22 zonnecellen in twee rijen. De stroken zijn ongeveer 120 cm lang en 40 à 60 cm breed en kunnen ook overlappend tussen andere leien of tegelpannen (met overeenkomstige afmetingen) gelegd worden.

Amorfe PV-shingles hebben het uitzicht van afzonderlijke leien maar zijn in feite lange flexibele rollen die overlappend gelegd worden.

Beglaasde daken

De glazen dakbedekking van veranda's, lichtstroken en atriumdaken kan ook uitgevoerd worden in semitransparante PV-modules (glas-glas-modules), die zomerse oververhitting verminderen. De buitenzijde is altijd gehard glas. Aan de binnenzijde kan naargelang de gewenste isolatie ook verbeterd isolerend dubbel glas voorzien worden.; de aanwezigheid van doorzichtig hars tussen twee glasvlakken maakt van de PV-modules bovendien ook gelaagd glas, een veilige oplossing. De lichttoetreding kan gevarieerd worden door de tussenafstand tussen de zonnecellen aan te passen. Een tussenafstand van bvb. 12 mm tussen zonnecellen van 10 cm x 10 cm geeft al 28% lichtdoorlatendheid. Bij bezonning ontstaat een typisch schaduwraaster dat fraaie effecten oplevert. Voor een meer diffuse belichting zonder schaduwraaster kan ook mat glas worden toegepast.

Extra aandacht is nodig voor de contactdozen op de achterkant van de modules en de esthetische verwerking van de bekabeling (in de draagconstructie of in kabelgoten).

Gevels

In verticale gevels is de toepassing van PV-systemen meestal duidelijk zichtbaar en wint het argument van de architecturale uitstraling aan belang; de elektrische opbrengst is immers maximaal 70% van een goed opgesteld daksysteem.

In 'gordijngevels' kunnen zowel dichte als semitransparante kaderloze PV-modules ingepast worden in bestaande gevelsystemen met metalen profielen. Er is een trend om hiervoor grote PV-modules te gebruiken, omdat de prijs per m² daalt met de grootte (zowel voor de fabricage als de installatie).

Ook massieve gevels kunnen bekleed worden met PV-modules, die een aantrekkelijk geometrisch patroon kunnen vormen in combinatie met de klassieke gevelbekleding.

Zonneweringen

Een vaste of beweegbare oversteek boven de ramen van een zuidgevel vormt een effectieve zonnewering die de zon in zomer buitenhoudt; in de winter kan de zonnestraling ongehinderd onder de zonnewering door. Een PV-zonnewering met zonnecellen benut ook in de zomer de zonne-energie. Ook hier kunnen zowel dichte als semitransparante PV-modules gebruikt worden. Zelfs bewegende PV-zonneweringen in stroken boven elkaar zijn mogelijk. Zonneweringen hoeven bovendien niet waterdicht of isolerend te zijn, wat het concept vereenvoudigt. Een belangrijk aandachtspunt is de doorvoer van de bekabeling door de gevel naar binnen.

Open afdaken en andere structuren

Op diverse structuren is ruim plaats voor PV-modules:

- open afdaken zoals bij treinperrons en bushaltes, stadiondaken boven tribunes enz.
- geluidswanden langs autosnelwegen.

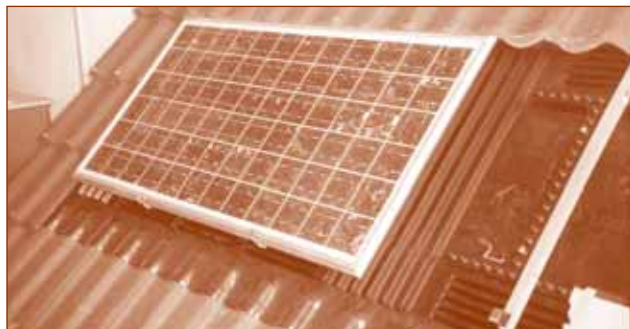
In het buitenland zijn al verschillende voorbeelden te vinden van dergelijke PV-projecten op niet-gebouwstructuren, vaak met grote opgestelde piekvermogens.



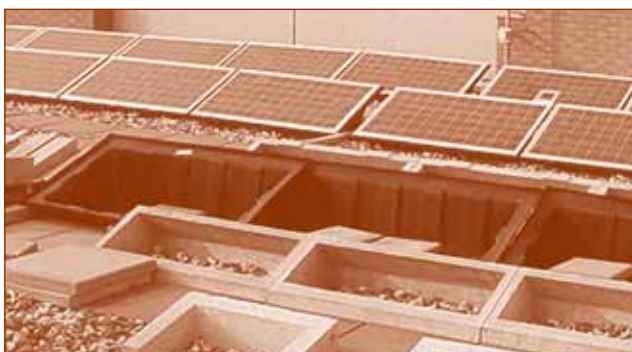
PV-systeem in opbouw op een leidendak (Lenoir Solar)



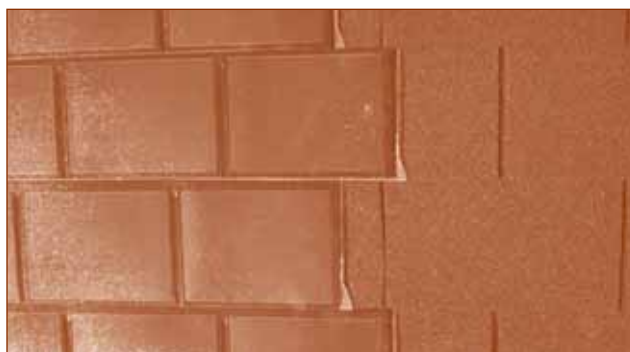
Netgekoppeld PV-systeem op een leiidak te Sint-Katelijne-Waver (Solar Technics)



Waterdicht kunststof draagelement 'InterSole' voor PV-modules (Imec, Ecofys)



Verschillende standaardssystemen in beton of kunststof voor opstelling van PV-modules op een plat dak (Ecofys)



Amorfe PV-shingle tussen klassieke asfaltshingles (Bekaert, BESS-Europe)



Dakgeïntegreerd PV-systeem van 3,4 kWp op dak in tegelpannen te Moorsel (arch. Eeckhout en Van den Broecke, Gent)



Integratie van PV-shingle voor tegelpannen (Lafarge Braas)



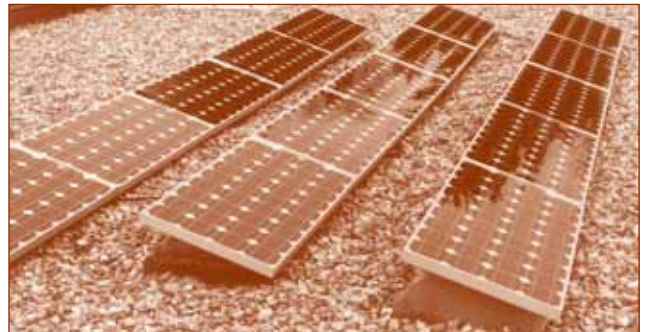
Twee PV-daken uit het 1 MWp-project 'Nieuwland' bij Amersfoort (NL); vooraan rechts PV-modules met bovenaan thermische collectoren, achteraan een prefab dakelement met PV-modules (Novem)



Integratie van PV-shingle tussen vezelcementeien (Soltech, Eternit)



Semitransparante PV-modules op het atrium van een bedrijfsgebouw (Turbowinds)



PV-systeem op betonnen prefab voet op plat dak te Mechelen (Solar Technics)



Gevelbekleding met PV-modules op een kantoorgebouw (bedrijf Peiniger, Gelsenkirchen Duitsland)



Semitransparante PV-modules als vaste zonnewering (Imec)



PV-modules als renovatie van de gevel van een kantooortoren in Freiburg (Duitsland)



Amorfe PV-film geïntegreerd op metalen dakbanen met staande naad op privéwoningen te Groenlo, Nederland (Bekaert BESS-Europe)



Op goed geïntendeerde geluidswanden langs autowegen is ook plaats voor lange stroken PV-modules (autoweg A27 Utrecht-Amsterdam)



Amorfe PV-film geïntegreerd op metalen dakbanen met staande naad op onderzoekscenrum Bekaert te Zwevegem (Bekaert BESS-Europe)

9

Ontwerpen van netgekoppelde fotovoltaïsche systemen

9.1 Een efficiënte keuze maakt u stapsgewijs

Hoe maakt u een 'goede' keuze voor een bepaald PV-systeem? De fundamentele keuze tussen een autonoom of een netgekoppeld systeem is meestal een logisch gevolg van de gewenste toepassing. Het ontwerp van autonome systemen is zo nauw verbonden met de toepassing dat het te ver zou leiden om er verder op in te gaan.

Bij een netgekoppeld fotovoltaïsch systeem is de eerste vraag of het wel zinvol is om het PV-systeem te installeren. Als bomen en gebouwen in de omgeving teveel schaduw geven op dat deel van het gebouw waarop men een PV-systeem wil plaatsen, is dat zinloos.

Naast technische aspecten spelen natuurlijk ook financiële argumenten (beschikbaar budget, subsidies, terugleververgoeding) een rol. Ook minder materiële argumenten kunnen de doorslag geven: bvb. imago (milieubewust, innovatief, toekomstgericht), architecturale uitstraling. Dat PV-modules geïntegreerd op gebouwen een eigen rol in de architectuur kunnen spelen en meer zijn dan alleen een technische installatie, bewijzen de foto's op pagina 25-26.

Strategie voor een optimaal PV-systeem

■ Stap 1: rationeel energiegebruik toepassen

Een PV-systeem installeren zonder aandacht te besteden aan rationeel energiegebruik is zinloos, want 'dweilen met de kraan open'. Immers, hoe lager het elektriciteitsverbruik, hoe groter de bijdrage van het PV-systeem kan zijn, zowel in direct verbruik als gemiddeld op jaarbasis.

Energiezuinige verlichting met spaarlampen is een eerste logische stap. Vermijd ook elektrische warmte toepassingen (verwarming, warmwaterboiler, kookvuur). Bij aankoop van nieuwe toestellen geeft u best de voorkeur aan huishoudtoestellen met energiezuinig A-label. De kosten daarvan worden meestal relatief snel terugverdiend door de uitgespaarde energie. Daarnaast mag ook het effect van energiezuinig gedrag (zonder comfortverlies) niet onderschat worden.

Globaal bekeken tenslotte is een goede woningisolatie

essentieel: woningverwarming verbruikt immers 70 tot 80% van het huishoudelijke energiegebruik. Maar dat is stof voor een andere brochure.

■ Stap 2: onderzoek van de (steden)bouwkundige voorschriften

- De beschikbare oppervlakte zonder beschaduwing op zuidelijk georiënteerde delen van het gebouw begrenst de grootte van de PV-installatie.
- In 'normale' stedenbouwkundige zones is voor PV-modules op platte daken geen bouwvergunning nodig. Op hellende daken is geen bouwvergunning nodig als de totale oppervlakte van PV-modules kleiner of gelijk is aan 20% van het totale hellende dakoppervlak. Het is belangrijk vooraf te weten of een bouwvergunning al of niet toegekend kan worden, immers: zonder bouwvergunning geen subsidie!

■ Stap 3: gewenst vermogen van het PV-systeem

U kunt zich afvragen hoeveel procent van het jaarlijks elektriciteitsverbruik het PV-systeem moet opwekken - maar in realiteit wordt de systeemgrootte vooral bepaald door het budget en de beschikbare plaats.

Een PV-paneel met een oppervlakte van 1 m² levert per jaar gemiddeld iets meer op dan 100 kWh. Het gemiddelde elektriciteitsverbruik van een gezin in Vlaanderen bedraagt 3500 à 4000 kWh per jaar. Om die elektriciteit te produceren, zou dus een installatie nodig zijn met een oppervlakte van 35 à 40 m². Vanwege de koppeling van het systeem aan het elektriciteitsnet hoeft het systeem echter jaarlijks niet evenveel elektriciteit op te wekken als een gezin verbruikt. In de praktijk hangen de afmetingen van de installatie meer af van het beschikbare budget en de beschikbare plaats dan van de opbrengst. Het resultaat van stap 3 is een ruwe schatting van vermogen die rekening houdt met de oppervlakte uit stap 2.

■ Stap 4: keuze van type systeem en bevestigingstechniek

PV-systemen op gebouwen zijn naast elektrische installaties ook architecturale elementen; verschillende opstellingen zijn mogelijk, in opbouw of geïntegreerd in de architectuur. De keuze kan soms beperkt worden door de stedenbouwkundige voorschriften.

■ Stap 5: elektrisch ontwerp (in overleg met de leverancier / installateur)

- uitgangspunt: het gewenste en praktisch mogelijke PV-vermogen (stap 2 en stap 3);
- in functie van dit vermogen: type en vermogen van de inverter (centrale inverter, stringinverter, module-inverter) - in praktijk zijn slechts bepaalde vermogens van invertormerken op de markt;
- bij grotere systemen: schema van verschillende ketens van modules;
- plaats van de elektrische randapparatuur (inverter, eventueel datalogger);
- bekabelingsschema en beveiligingen;
- eventueel: systeem voor monitoring.

■ Stap 6: het type en aantal modules bepalen

Op basis van de vorige stappen kan de installateur nu het moduleveld vorm geven. Omdat het vermogen van invertoren en PV-modules niet vrij te kiezen is, maar van het gamma van de fabrikanten afhangt, kan het uiteindelijk ontworpen PV-systeem licht afwijken van de voorlopige schatting in stap 3 en stap 5.

■ Stap 7: administratieve procedure

- aanvraag bouwvergunning;
- prijsofferte installateur;
- aanvraag groenestroomcertificaten bij VREG en investeringssteun, indien van toepassing (zie hoofdstuk 10);
- aanvraag netkoppeling;
- procedure voor netkoppeling.

■ Stap 8: installatie en oplevering

■ Multidisciplinaire aanpak

Bij integratie op gebouwen mag een PV-systeem niet behandeld worden als een apart onderdeel dat op het einde wordt toegevoegd. Het is belangrijk dat de diverse onderdelen van het PV-systeem in het ontwerpproces meegenomen worden en dat de ontwerper rekening houdt met de voorwaarden voor een optimale opbrengst.

Bij autonome toepassingen staat de optimale combinatie van PV-modules en elektriciteitsverbruik centraal - bij voorkeur zuinige toestellen om het aantal modules en batterijen te beperken.

Voor netgekoppelde PV-systemen op gebouwen is samenwerking tussen de diverse vakmensen zeer gewenst: naast de architect ook het studiebureau voor technieken, de leverancier van PV-systemen, de elektrische installateur, de aannemer en onderaannemer (dakdekker, schrijnwerker, glazenier), de plaatselijke netbeheerder, en bij nieuwe verkavelingsplannen ook de stedenbouwkundige.

9.2 Opbrengst van een netgekoppeld fotovoltaïsch systeem

Elektrische opbrengst van netgekoppelde PV-systemen

De gemiddelde jaarlijkse opbrengstcijfers hieronder zijn gebaseerd op meetresultaten van een groot aantal demonstratieprojecten in Nederland en Duitsland. Het gaat om richtcijfers voor de gemiddelde jaarlijkse levering van wisselstroom aan het openbare net in een Benelux-klimaat. Hellend opgestelde netgekoppelde systemen met goede oriëntatie produceren jaarlijks 800 à 850 kWh wisselstroom per geïnstalleerde kWp; gevelsystemen halen 500 à 600 kWh per kWp.

De werkelijke elektriciteitsproductie van geïnstalleerde PV-systemen per kWp opgesteld vermogen hangt van verschillende factoren af, op de eerste plaats natuurlijk van het klimaat (geografische ligging, zonnestraling, temperatuur) dat van jaar tot jaar wisselt. Ook de aparte onderdelen, het systeemontwerp en de omgeving hebben invloed op de opbrengst:

- de modules: type en rendement, werkelijk vermogen, onderlinge verschillen;
- de inverter (type en vermogen);
- het elektrisch schema: schakeling van de modules in (verschillende) ketens;
- opbouw op het gebouw of integratie in een buitenwand;
- ventilatie;
- helling en oriëntatie van de modules;
- beschaduwing door voorwerpen in de omgeving.

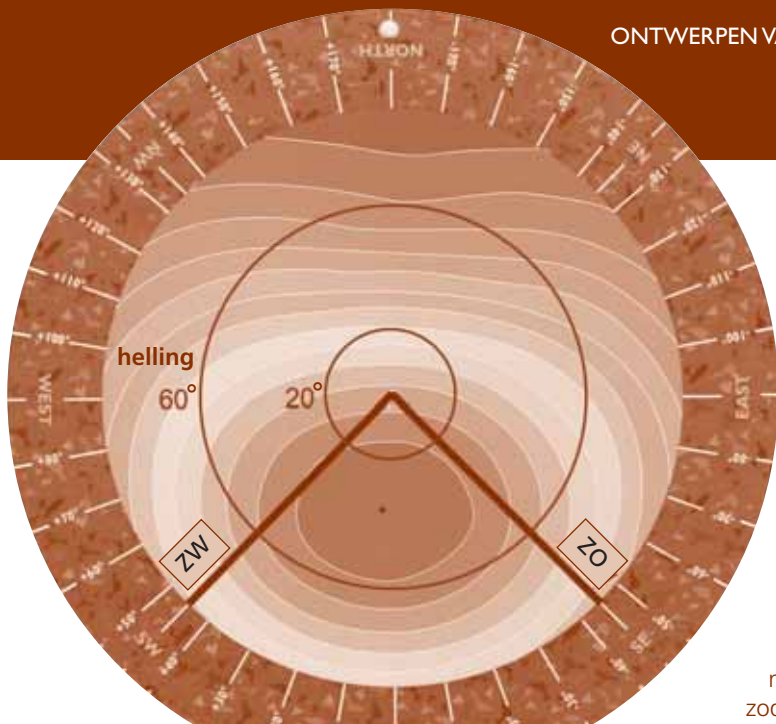
We bespreken hier de belangrijkste factoren die de opbrengst beïnvloeden.

Oriëntatie en helling van de modules

Een netgekoppeld PV-systeem is optimaal geplaatst als de jaaropbrengst optimaal is (in de figuur gelijkgesteld aan 100%). Bij autonome PV-systemen wordt de grootte en de plaatsing van de PV-modules bepaald door de donkerste periode van het jaar.

De figuur geeft de relatieve jaaropbrengst weer voor een moduleveld in functie van de oriëntatie en de hellingshoek ten opzichte van een systeem met optimale oriëntatie en hellingshoek. In België wordt 100% gehaald voor een zuidgerichte opstelling met 36° hellingshoek (het zwarte punt in de figuur).

Er is een tamelijk brede zone waarin de jaaropbrengst slechts 5% lager dan het maximum ligt: voor oriëntaties tussen zuidoost en zuidwest, en hellingshoeken tussen 20° en 60° (bij zuidwaartse opstelling). Dat komt door het belang van de diffuse straling in ons klimaat - en die komt uit alle hoeken. Verticale PV-modules op de gevel van een gebouw (hellingshoek 90°) leveren 25% à 30% minder energie per jaar dan de beste opstelling.



Relatieve jaaropbrengst van een fotovoltaïsch veld in functie van de hellingshoek en oriëntatie t.o.v. een systeem met optimale oriëntatie en hellingshoek (zwart punt, gelijkgesteld aan 100%)

Beschaduwing

De schaduw van andere gebouwen, bomen, lantaarnpalen, dakvensters, schouwen enz. op de PV-module vermindert de opbrengst, vooral wanneer een centrale inverter wordt gebruikt. In dat geval kan zelfs een kleine schaduw op 1 cel de opbrengst van een volledig PV-systeem drastisch verminderen. Het effect is te vergelijken met een tuinslang vol water die op één plek wordt dichtgeknepen: er komt nog nauwelijks water uit. Vertaald in elektrische grootheden: de beschaduwde zonnecel wordt een weerstand en de spanning over de cel wordt negatief.

Waar de schaduw valt, wordt de module merkwaardig genoeg ook plaatselijk opgewarmd door omzetting van elektriciteit in warmte - dat noemt men een 'hot spot'. De module kan daardoor op termijn en in extreme gevallen schade oplopen. In PV-modules worden daarom zogenaamde

'bypass-diodes' ingebouwd, elektrische 'omwegen' waarlangs de stroom toch voorbij een beschaduwde serie van zonnecellen kan.

Beschaduwing moet bij ontwerp en opstelling van PV-systemen zoveel mogelijk vermeden worden - zelfs op het eerste zicht verwaarloosbare schaduwen van bvb. lantaarnpalen, schouwen, balustrades enz. hebben een grotere invloed dan hun schaduwoppervlak doet vermoeden.

Als bij lage zonnestanden in de winter de schaduw door de omgeving toch onvermijdelijk is, worden de modules best per horizontale rij in serie geschakeld, zodat ze allemaal tegelijk wel of niet beschaduwd worden. Het energieverlies door de winterse schaduw is overigens op jaarbasis relatief klein door de lage zoninstraling en de korte dagen.

Bij wisselstroommodules blijft het effect van de beschaduwing beperkt.

Opbrengstverlies door opwarming van de modules

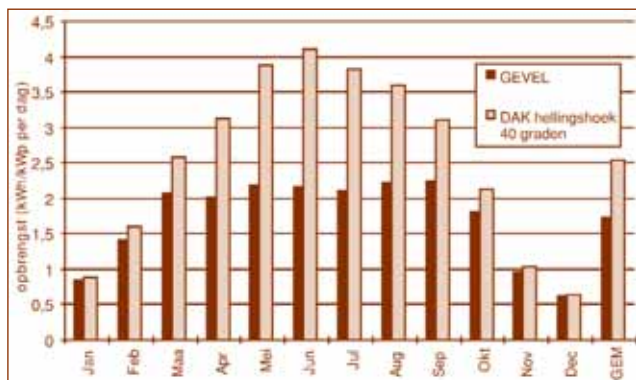
Bij hogere temperatuur van de zonnecel daalt het elektrisch rendement lichtjes: relatief met ongeveer -0,5% per graad boven 25°C. Voor een zonnecel met een nominaal rendement van 15% (bij 25°C) zal dus bij 75°C het werkelijke rendement een kwart lager liggen en 11% bedragen. Gelukkig warmen modules niet het ganse jaar door zo sterk op en blijft het effect op de totale jaaropbrengst relatief beperkt (zie verder).

Ventilatie van de PV-modules

De inbouw (gebouwintegratie) van een PV-systeem in het dak of de gevel van een gebouw zal de temperatuur van de modules bij volle zon opdrijven en daardoor de opbrengst verminderen. Als ventilatie mogelijk is achter de modules om de warmte af te voeren, blijft dat verlies beperkt. Uit metingen blijkt dat de invloed van ventilatie kleiner is dan de theoretische berekeningen aangeven.

Bij inbouw in een dak zonder ventilatie kunnen de modules in de zomer meer dan 40°C warmer worden dan de buitentemperatuur. De totale jaaropbrengst daalt daardoor met ruim 5%. Bij verticale gevelmodules zonder ventilatie stijgt de temperatuur zelfs 55°C boven de buitentemperatuur en zakt de jaarlijkse opbrengst met 9% in vergelijking met een volledig vrijstaand systeem. Bij voldoende ventilatie zijn de verliezen maar half zo groot.

Door de ventilatie van de hete modules ontstaat een warme luchtstroom die we voor verwarming zouden kunnen gebruiken. Dat is al bestudeerd voor ons klimaat: het heeft volgens dat onderzoek slechts zin voor specifieke toepassingen zoals zwembaden of bij renovatie van appartementsgebouwen met matige isolatie.



Vergelijking van de maand- en jaarproductie per kWp van een hellend PV-systeem (40°) en een verticaal opgesteld PV-systeem (gevel)

Keuze van de inverter

Het gebeurt zelden dat een fotovoltaïsch systeem zijn piekvermogen bereikt of zelfs tot 90% daarvan geraakt - dat heeft o.a. te maken met de hoge temperatuur van de modules bij volle zomerzon, die het elektrisch vermogen doet dalen. Er treedt dus nauwelijks of geen energieverlies op als het nominale vermogen van de inverter lager gekozen wordt dan het piekvermogen van het moduleveld.

In België is een verhouding van 80% tussen nominaal invertervermogen en het piekvermogen van het moduleveld een ideale keuze. Het voordeel daarvan is dat de inverter dan ook efficiënter zal functioneren bij lagere lichtinstralingswaarden, die in België vaak voorkomen.

Een tweede punt bij de keuze van de inverter, is het spanningsbereik bij 'maximaal-vermogen-puntwerking': de inverter moet binnen voldoende ruime grenswaarden van de spanning steeds het maximale vermogen kunnen opzoeken, dat verbetert het rendement.

Opbrengstverliezen in de elektrische bekabeling

In de bekabeling van het fotovoltaïsche veld treden weerstandsverliezen op. Deze verliezen kunnen eenvoudig berekend worden. Hoe hoger de ontworpen gelijkstroomspanning van het fotovoltaïsch veld, hoe minder groot deze verliezen zullen zijn.

Computerberekeningen

Met een handberekeningsmethode of een speciaal computerprogramma kan de opbrengst en de werking van een PV-systeem op voorhand berekend worden, zowel voor onafhankelijke als netgekoppelde systemen.

Men vertrekt van een standaardjaar met weersgegevens van een weerstation in de buurt van de te bestuderen plaats (voor Vlaanderen meestal Ukkel). Voor elk uur van het jaar wordt dan de invallende zonne-energie op de modules berekend en het vermogen uit het moduleveld. Uit deze waarden kunnen dan globale opbrengstcijfers berekend worden. Het is belangrijk om ook eventuele beschaduwing in rekening te brengen.

Schatting van de verliezen door beschaduwing

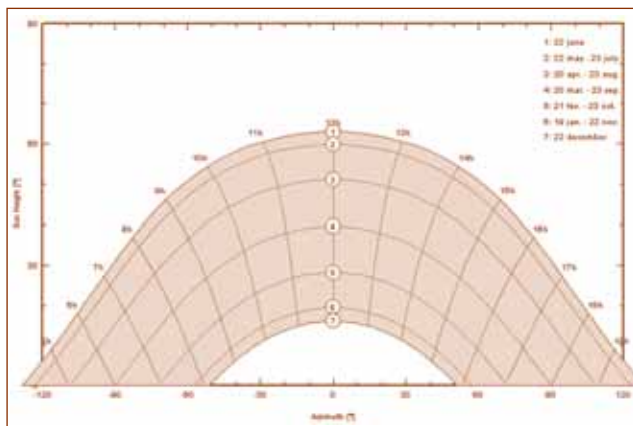
Op een zonnebaandiagram kan de contour van alle voorwerpen die het PV-systeem 'ziet' (inclusief de horizonlijn) worden getekend. Daarvoor heb je wel de juiste positie van alle voorwerpen in de omgeving nodig. Dat kan door vanaf de toekomstige plaats van het PV-systeem een panoramische foto te maken en de contour in te tekenen op het zonnebaandiagram, of door een opmeting van de diverse hoeken met een landmetersinstrument. Met speciale software kan dan de opbrengstvermindering door beschaduwing van het PV-systeem geschat worden.

Voorbeeldproject

Als voorbeeld worden hier de gesimuleerde opbrengsten gegeven voor het netgekoppelde fotovoltaïsche systeem van 2,31 kWpiek op een woning in Oostmalle.

Het dak van de woning heeft een hellingshoek van 40° en is bijna perfect zuidwaarts gericht (6° naar het oosten). Het is een systeem met een centrale inverter (type ASP TCG), met eraan gekoppeld de parallelschakeling van 7 ketens van 6 seriegeschakelde standaardmodules van 55 Wpiek.

Op basis van deze gegevens en de opgemeten beschaduwing door de omgeving is een computersimulatie gebeurd. Het resultaat is een jaarlijkse opbrengst van 1956 kWh of omgerekend 847 kWh per kWp. Dit komt overeen met een globaal systeemrendement van 11,33% - dat is de verhouding van de opgeleverde elektrische energie t.o.v. de invallende lichtenergie op het totale module-oppervlak. Bij evaluatie van het eerste werkingsjaar lag de opbrengst wat lager omwille van meer beschaduwing dan eerst ingeschat.



Zonnebaandiagram voor Ukkel. Elke lijn geeft de stand van de zon weer telkens voor de 21ste dag van elke maand in functie van de azimut of het zonneuur (PVSYST 3.1, GAP, Université de Genève)



Gesimuleerde opbrengst van het 2,3 kWp PV-systeem te Malle per maand en per jaar (laatste balk)

9.3 Normen voor PV-systemen

Een logisch gevolg van het gebruik van PV-modules als bouw-element is dat ze moeten beantwoorden aan een aantal bouwnormen. Niet alleen afzonderlijke modules moeten aan minimumeisen voldoen, ook voor volledige PV-bouwsystemen (modules, bevestiging, randafwerking en bekabeling) kunnen testen en richtlijnen voor de correcte plaatsing worden opgesteld - net zoals dat voor dakpannen of gevelpanelen bestaat. Dikwijls kunnen bestaande normen zonder wijziging toegepast worden (bvb. waterdichtheid onder winddruk, brandweerstand).

Voor gebouwgeïntegreerde PV-systemen zijn er nog geen definitieve specifieke bouwfysische normen en testen beschreven; testmethodes voor bvb. dakelementen verschillen van land tot land. Het Nederlandse Normalisatie-instituut heeft een voorontwerp van norm opgesteld (NVN 7250) over de bouwkundige integratie van zonne-energiesystemen of complete bouwdelen met fotovoltaïsche of zonthermische systemen. Elektrische aspecten vallen er niet onder. Een Europese Technische Algemene Goedkeuring (ETAG) en een CE keurmerk worden voorbereid.

De beroepsfederatie BELSOLAR werkte een procedure uit voor de kwaliteitsbewaking van netgekoppelde PV-systemen. Dit resulteert in een kwaliteitssysteem voor de leveranciers van fotovoltaïsche cellen.

Recent werd een nieuw kwaliteitscentrum voor kleinschalige hernieuwbare energiebronnen opgericht: "Quest vzw". Het kwaliteitscentrum is in eerste instantie gericht op kwaliteitsbewaking van kleinschalige hernieuwbare energietoepassingen, met name thermische en fotovoltaïsche zonne-energiesystemen en warmtepompsystemen.

Het kwaliteitscentrum zal voorlopig de reeds bestaande kwaliteitssystemen voor zonneboilers en PV-panelen van BELSOLAR gewoon voortzetten. In de komende jaren worden deze kwaliteitssystemen aangepast en wordt ook een nieuw kwaliteitslabel voor warmtepompen uitgewerkt.





10

Financiële steun voor PV-systemen

De financiële steunmaatregelen zijn aan wijzigingen onderhevig. Voor actuele informatie over premies en belastingvermindering en voor het berekenen van terugverdientijden, surf naar www.energiesparen.be of bel gratis 1700.

10.1 Groenestroomcertificaten

Sinds 1 januari 2006 is het vernieuwde ondersteuningsbeleid van de Vlaamse overheid voor fotovoltaïsche zonnepanelen van kracht.

Een producent ontvangt voor zijn hernieuwbare energieproductie groenestroomcertificaten. Elk certificaat staat voor 1.000 kWh elektriciteitsproductie. Het bevestigt dat deze producent op een duurzame manier elektriciteit heeft opgewekt uit hernieuwbare energiebronnen.

Elektriciteitsleveranciers zijn verplicht om voor een percentage van hun elektriciteitslevering groenestroomcertificaten voor te leggen. Leveren ze hiervoor te weinig certificaten in dan moet een boete betaald worden voor elk ontbrekend certificaat.

Op de markt voor groenestroomcertificaten wordt de vraag dus gevormd door de leverancier van elektriciteit en kunnen producenten van groene stroom hun certificaten verkopen aan de leveranciers.

Voor kleine netgekoppelde PV-systemen werd een vereenvoudigd systeem ingevoerd waarbij de groenestroomcertificaten voor elektriciteitsproductie uit zonlicht voor een gegarandeerde waarde aan de distributienetbeheerder kunnen worden verkocht, tot 20 jaar na het opstarten van de installatie. Deze minimumwaarde bedraagt momenteel 450 euro per certificaat.

De eigenaar van een PV-systeem dient bij de Vlaamse Regulator voor de Elektriciteits- en Gasmarkt een aanvraag in voor het bekomen van deze groenestroomcertificaten. Meer informatie kan u vinden op de website van de VREG: www.vreg.be

10.2 Belastingvermindering

Investerings in fotovoltaïsche zonne-energie komen in aanmerking voor een belastingvermindering en leveren zo een bijkomende premie op.

Vanaf inkomstenjaar 2007 (=aanslagjaar 2008) komt 40% van de investering in aanmerking voor een belastingvermindering met een belastingvoordeel van maximum 2600 euro per jaar per woning (te indexeren). Het maximale geïndexeerde bedrag voor inkomstenjaar 2007 bedraagt 3380 euro.

10.3 Bijkomende subsidie vanwege lokale besturen

Sommige provincies en gemeenten voorzien premies voor investeringen in fotovoltaïsche zonne-energie. Via de subsidiezoekmodule kunt u dit op basis van uw postcode eenvoudig nagaan op www.energiesparen.be/subsidies

10.4 De terugdraaiende teller

Elektriciteit opgewekt met een PV-systeem mag in mindering worden gebracht van het elektriciteitsverbruik. Dit gebeurt via de terugdraaiende huishoudelijke elektriciteitsmeter. De elektriciteit van het PV-systeem wordt eerst intern verbruikt in het huishouden. Het overschot aan zonnestroom wordt aan het openbaar net geleverd en doet de huishoudelijke elektriciteitsmeter achteruit draaien. Op die manier wordt de elektriciteit uit het PV-systeem vergoed aan dagtarief of weekendtarief.

Dit is van toepassing op systemen met een vermogen kleiner dan of gelijk aan 10 kWp of een jaarproductie kleiner dan of gelijk aan 10.000 kWh.

De kWh-meters op huishoudelijke aansluitingen kunnen meestal in beide richtingen draaien ("bidirectionele tellers").

Als dit niet het geval is, moet de kWh-meter op vraag van de PV-eigenaar door de elektriciteitsdistributienetbeheerder aangepast of vervangen worden en dit op kosten van de netbeheerder.

U vindt hierover meer informatie in het Technisch Reglement voor de Distributie van Elektriciteit van de Vlaamse Regulator voor de Elektriciteits- en Gasmarkt. Meer informatie op de website van de VREG: www.vreg.be

10.5 Verlaagd BTW-tarief bij renovatie

De installatie van een netgekoppeld PV-systeem op een woning ouder dan 5 jaar komt in aanmerking voor een verlaagd BTW-tarief van 6%.

Het renovatietarief is alleen geldig voor privé-woningen of residentiële woningen. Belangrijk is ook dat de werken moeten uitgevoerd worden door een geregistreerde aannemer. De aannemer mag een BTW-tarief aanrekenen van 6% zowel voor de bouwmaterialen als voor de werkuren.

Weet u hoe snel een PV-installatie terugverdiend is? De calculator op www.energiesparen.be maakt het u eenvoudig om de werkelijke kostprijs, de terugverdientijd en de milieuwinst voor een installatie op uw dak te berekenen.

11

Wettelijke vereisten

11.1 Bouwvergunning

Het besluit van de Vlaamse Regering van 1 september 2006 somt ook de werken op waarvoor geen stedenbouwkundige vergunningen verplicht is. Over fotovoltaïsche zonnepanelen zegt dit besluit het volgende:

Art.3. Een stedenbouwkundige vergunning is niet nodig voor de volgende werken, handelingen en wijzigingen, die uitgevoerd mogen worden voor zover ze niet strijdig zijn met de voorschriften van stedenbouwkundige verordeningen, bouwverordeningen, verkavelingsverordeningen, ruimtelijke uitvoeringsplannen, plannen van aanleg, verkavelingsvergunningen, bouwvergunningen of stedenbouwkundige vergunningen, onverminderd de bepalingen van andere van toepassing zijnde regelgeving:

(...)5° de plaatsing van de volgende zaken bij vergunde gebouwen die niet in een ruimtelijk kwetsbaar gebied gelegen zijn:

- a) dakvlakvensters en/of fotovoltaïsche zonnepanelen en/of zonneboilers in het dakvlak, tot een maximum van 20% van de oppervlakte van het dakvlak in kwestie;*
- b. fotovoltaïsche zonnepanelen en/of zonneboilers op een plat dak.*

Indien u bijkomende informatie wenst over de vergunningsplicht van uw fotovoltaïsche installatie, raden wij u aan contact op te nemen met de bevoegde ambtenaren van uw gemeente. Zij zullen u graag verder helpen.

11.2 Technische aansluitvoorwaarden

De voorschriften waaraan de aansluiting van een PV-systeem moet voldoen zijn opgenomen in het Technisch Reglement voor de Distributie Elektriciteit van de VREG. Dit reglement is beschikbaar op de website www.vreg.be.

Voor invertoren worden buitenlandse gelijkvormigheidsattesten aanvaard, volgens de nieuwe aangepaste richtlijnen van het AREI (het Arbeidsreglement voor Elektrische installaties). Hierdoor is niet langer een dure typeproef nodig voor het testen van de inverter in een Belgische testopstelling en vervalt de eis om een mechanische stroomonderbreker in te bouwen bij netkoppeling van PV-systemen. Het is dus nu voldoende dat de ont koppeling van het net (ingeval van risico op eilandbedrijf) gebeurt door een automatisch afschakeling in de inverter.

Volgens de technische aansluitvoorwaarden moet een PV-systeem, vóór de aansluiting op het net, op kosten van de eigenaar door een erkend organisme worden gecontroleerd (gekeurd) op haar conformiteit met het algemeen reglement voor elektrische installaties (AREI). Daarnaast zal de netkoppeling ook gecontroleerd worden door een door de elektriciteitsdistributienetbeheerder erkend organisme. Beide controles kunnen door een zelfde organisme worden uitgevoerd.

Goedkeuring van de aansluiting door de plaatselijke netbeheerder

Na de vrijmaking van de elektriciteitsmarkt op 1 juli 2003 is de elektriciteitsdistributienetbeheerder verantwoordelijk voor alles wat met aansluitingen te maken heeft, dus ook voor de netkoppeling van fotovoltaïsche systemen. Een PV-systeem mag enkel na schriftelijke toestemming van de netbeheerder op het distributienet worden aangesloten.

12

Nuttige adressen

Sectorvereniging

Om de toepassing van zonne-energie te bevorderen is de beroepsorganisatie BELSOLAR opgericht. De leden zijn enerzijds bedrijven die producten leveren met betrekking tot thermische of fotovoltaïsche zonne-energie, en anderzijds organisaties en bedrijven die diensten verlenen ter ondersteuning van zonne-energie: energiebedrijven, studie bureaus, onderzoeks- en vormingscentra,...

Een geactualiseerde ledenlijst van BELSOLAR vindt u op de website www.belsolar.be

BELSOLAR

Dhr. De Gheselle Luc
Vaartstraat 61
1000 Brussel
02/219.79.89
info@belsolar.be
www.belsolar.be

Belsolar is de beroepsfederaties van producenten en importeurs van PV-systemen in België

PV-platform ODE Vlaanderen

Dhr Jo Neyens
Leuvensestraat 7 bus 1
3010 Leuven
016/23.52.51
info@ode.be
www.ode.be

Het PV-platform ODE Vlaanderen is het overlegplatform van de bedrijven en kenniscentra uit de PV-sector in Vlaanderen

Overheid

VEA

Vlaams Energieagentschap
Graaf de Ferrarisgebouw
Koning Albert II-laan 20 bus 17
1000 Brussel
Voor meer informatie:
bel gratis 1700
www.energiesparen.be

VREG

Vlaamse Reguleringsinstantie voor de Elektriciteits- en Gasmarkt
Graaf de Ferrarisgebouw
Koning Albert II-laan 20 bus 19
1000 Brussel
Algemeen telefoonnummer:
02/553.13.79
VREG-servicelijn: 02/553.13.53
info@vreg.be
www.vreg.be

CREG

Commissie voor de regulering van de Elektriciteit en het Gas
Nijverheidsstraat 26-38
1040 Brussel
02/289.76.11 - Fax: 02/289.76.09
info@creg.be
www.creg.be

Informatie en vorming

APERE asbl

(Association pour la Promotion des Energies Renouvelables)
Omwentelingsstraat 7
1000 Brussel
02/218.78.99 - Fax: 02/219.21.51
e-mail: info@apere.org
www.apere.org
Infocentrum en advies voor hernieuwbare energie (Waal en Brussels Gewest)

Centrum**Duurzaam Bouwen vzw**

Mevr. Lut Beerten
Dhr. Bart Vandepol
Marktplein 7
3550 Heusden-Zolder
011/51.70.51 - Fax: 011/57.12.87
e-mail: info@duurzaambouwen.be
www.cedubo.be
Het centrum ontwikkelt een visie, informeert en demonstreert over duurzaam bouwen

CZE

Centrum Zonne-energie
Dhr. Vrancken Jan
Langstraat 140
2140 Antwerpen
0497/80.27.83
Vormingscentrum, informatie, studie en advies betreffende zonne-energie

De Zonne-Arc

Dhr. Lievens Willy
Couthoflaan 38
8972 Proven
057/33.84.19 - Fax 057/33.77.15
info@zonnearc.be
www.zonnearc.be
www.vormingsplus.be/brugge
*Zonnecursussen, groepsbezoeken,
experimenten met zon, rekenkunde,
biomassa*

Dialoog vzw

Dhr. Aerts Ivo
Remylaan 13
3018 Wijgmaal
016/23.26.49 – Fax: 016/22.21.31
info@dialoog.be
www.dialoog.be
*Onafhankelijke vormings- en
adviesinstelling rond thema's water-
energie-duurzaam bouwen, zowel
voor een breed publiek als voor
professionelen*

**Innovatiesteunpunt voor
land- en tuinbouw**

Dhr. Moons Marc
Diestsevest 40
3000 Leuven
016/28.61.25 - Fax 016/28.61.29
info@innovatiesteunpunt.be
www.innovatiesteunpunt.be
*Dienst van Boerenbond die land- en
tuinbouwers advies en begeleiding
geeft bij energieprojecten. Daarnaast is
ook een audit van de energiestromen
mogelijk*

Mondo

Mevr. Van den Eeden Clara
Bastijnstraat 85
2590 Berlaar
03/482.24.68
info@mondo.be
www.mondo.be
*Organiseert voordrachten,
informatieavonden en rondleidingen
in Solar 2002 met groepen en
individueel*

Syntra Limburg

Campus Genk
Mevr. Schrooten Ria
Kerkstraat 1
3600 Genk
089/35.46.16 - Fax 089/35.30.42
infogenk@syntralimburg.be
www.syntra-limburg.be
*Opleidingen installateurs
zonneboilersystemen*

Syntra West

Dhr. Hostyn Jan
Zandvoordeschorredijkstraat 73
8400 Oostende
059/51.60.00 - Fax 059/70.61.70
jan.hostyn@syntrawest.be
www.syntrawest.be
*Trainingscentrum voor installatie en
duurzaam energiebeheer opleiding
warmtepompen*

VEI

Vlaams Elektro Innovatiecentrum
Dhr. Van Dingenen Kris
Kleinhoefstraat 6
2440 Geel
014/57.96.12 - Fax 014/57.96.11
info@vei.be
www.vei.be
*Advies, technologieoverdracht in
de elektrosector*

ZonnewinDT

Predikboomstraat 25
8650 Klerken
0477/55.13.22
info@zonnewindt.be
www.zonnewindt.be
*Geeft informatie aan bouwers en
verbouwers over duurzaam bouwen
met speciale aandacht voor
zonneboilers en fotovoltaïsche
zonne-energie*



Algemene en educatieve PV-websites

www.pv-forum.net
PV-forum
<i>Website van het educatieve project 'Fotovoltaïsche zonnecelsystemen voor onderwijsinstellingen' van Electrabel/SPE in samenwerking met Imec, Soltech en 3E.</i>
www.pvresources.com
PV resources
<i>Portaalsite voor fotovoltaïsche zonne-energie met links naar toepassingen en componenten</i>
www.solarserver.de
Solarserver
<i>Duitse portaalsite voor actuele info i.v.m. de diverse zonne-energietechnologieën.</i>
www.eere.energy.gov/solar/photovoltaics.html
Solar Energy Technologies Program - Photovoltaics (VS)
<i>Uitgebreide interactieve cursus over fotovoltaïsche zonne-energie, van het U.S. Department of Energy, Energy Efficiency and Renewable Energy</i>
www.eurec.be/eurec_old/projects/PV_Technology_Platform_Secretariat.htm
Europees PV-platform

Gebouwintegratie van PV-systemen (BIPV, Building Integrated Photovoltaics)

www.iea-pvps.org
IEA Photovoltaic Power Systems Programme
<i>Netwerk van nationale teams in IEA-lidstaten voor onderzoek en ontwikkeling van PV binnen het Internationaal Energie-agentschap. Informatieve website met PDF-rapporten</i>
www.pvdatabase.com
IEA Database BIPV projects
<i>Selectie van PV-projecten in IEA-landen, met foto en technische informatie</i>
http://ec.europa.eu/energy/res/sectors/photovoltaic_dissemination_en.htm
<i>Site Europese Commissie met gerealiseerde PV-projecten</i>
www.pvinfo.nl
Homepage PV Info
<i>Informatie over ruim 150 projecten waarin PV is toegepast in de bouwpraktijk</i>
www.demosite.ch
Demosite, Zwitserland
<i>In Lausanne (CH) werd op initiatief van het universitaire onderzoekscentrum Leso-EPFL een demonstratietentoonstelling uitgebouwd met opstellingen in openlucht en op ware grootte van in de handel verkrijgbare PV-systemen. De site toont foto's en technische gegevens</i>
www.solarintegration.de
Solarintegration
<i>Duitstalige website van de beroepsfederatie Unternehmensvereinigung Solarwirtschaft e.V. met klemtoon op gebouwintegratie van PV-systemen: technieken, projectvoorbeelden, firma's</i>
www.epia.org/04Media/pictures.asp
EPIA Picture Gallery
<i>De Europese beroepsfederatie voor fotovoltaïsche zonne-energie EPIA stelt een uitgebreide fotobank gratis ter beschikking op haar website, gesorteerd per fabrikant</i>

Individuele projecten

www.bear.nl
BEAR Architecten
<i>Nederlands architectenbureau in Gouda met PV-projecten</i>
<i>o.a. nieuwbouw en verbouwing van de kantoren van Energiecentrum Nederland (ECN) in Petten</i>
www.hanvanzwieten.nl
Han van Zwieten
<i>Nederlands architectenbureau in Zeist met PV-projecten</i>
<i>o.a. Energiebalans woningen, 1 MWp project Nieuwland, Amersfoort, NL</i>
www.zkmsolar.stadtwerke-karlsruhe.de/sol.htm
Zentrum Kunst und Medien, Karlsruhe, Duitsland
<i>Verbouwing met PV-systeem - rechtsstreeks verbruik van elektriciteit voor aandrijving tram</i>
www.akademie-mont-cenis-herne.nrw.de
Akademie Mont-Cenis, Herne-Sodingen, Duitsland
<i>Het grootste semitransparente gebouwgeïntegreerde PV-systeem ter wereld (10 000 kWp), op het nieuwe gebouw van de 'Fortbildungsakademie des Innenministeriums' van Nordrhein-Westfalen.</i>
courses.arch.hku.hk/IntgBuildTech/cases/herne/herne.html
<i>Uitgebreide fotogalerij van de universiteit van Hong Kong</i>

Tijdschriften

www.photon.de <i>Duitse uitgave</i>
www.photon-magazine.com <i>Engelstalige uitgave</i>
<i>Photon is het belangrijkste maandblad over fotovoltaïsche zonne-energie met edities in het Duits en het Engels</i>
www.sfv.de
Solarenergie-Fürderverein e.V. (SFV)
<i>Duitse consumentenvereniging voor fotovoltaïsche zonne-energie, introduceerde het verhoogde teruglevertarief voor PV in Duitsland</i>
<i>Tijdschriftartikels online (Duitstalig)</i>
www.renewable-energy-world.com
Renewable Energy World
<i>Selectie online-artikels uit het (gratis) tijdschrift van uitgeverij James & James (UK)</i>
www.sunwindenergy.com/swe/php/home.php
<i>Internationaal magazine hernieuwbare energie</i>
www.energies-renouvelables.org/portail/html/log.asp
Renewable Energy World
<i>Magazine Observer</i>

Wil u meer informatie en een uitgebreide brochure ontvangen over een specifiek onderwerp, neem contact op met het ODE-kantoor of bezoek de website www.energiesparen.be

Te verkrijgen:



Wegwijzer
2007



Warmte
uit
zonlicht



Kleine
waterkracht
(enkel
elektronisch
beschikbaar)



Biomassa:
Vergisting. Omzetten
van biomassa in
een energierijk gas
Bio-energie. Omzetten
van vaste biomassa in
hernieuwbare warmte
en elektriciteit



Warmtepompen
voor woningverwarming

Energie sparen: de winst is voor u en het milieu.

Deze brochure is gratis verkrijgbaar bij:



ODE-Vlaanderen

Leuvensestraat 7b1
3010 Kessel-Lo
tel. 016/23.52.51, fax 016/48.77.44
e-mail: info@ode.be
website: www.ode.be
*ODE-Vlaanderen vzw is de
koepelorganisatie voor de
duurzame energiesector
in Vlaanderen.*



Vlaams Ministerie van Leefmilieu, Natuur en Energie

Vlaams Energieagentschap

Koning Albert II-laan 20, bus 17
e-mail: energie@vlaanderen.be
website: www.energiesparen.be
Of bel 1700, elke werkdag van 9-19u.

COLOFON

Samenstelling en redactie

ODE-Vlaanderen vzw i.s.m. IMEC

In opdracht van

Vlaams Ministerie van Leefmilieu, Natuur en Energie
Vlaams Energieagentschap

Verantwoordelijke uitgever

Luc Peeters
Wvd. administrateur-generaal
Vlaams Ministerie van Leefmilieu, Natuur en Energie
Vlaams Energieagentschap

Luk Vandaele
Voorzitter
ODE-Vlaanderen vzw

Design & opmaak
Studio Dermaux

Druk

Joh. Enschedé – Van Muysewinkel

Depotnummer

D/2007/3241/086



PV-DOMSYS

"Encouraging Take-Up
of Domestic PV-System"
ALTENER-project n°
4.1030/Z/01-055/2001