

HOOFDSTUK 7: MONITORING EN EVALUATIE VAN FOTOVOLTAÏSCHE SYSTEMEN

7.1. INLEIDING	163
7.2. INITIËLE EN PERIODISCHE TESTEN	164
7.2.1. <i>Testen van het fotovoltaïsche veld</i>	164
7.2.1.1. Elektrische test	164
7.2.1.2 Visuele inspectie van de panelen.....	166
7.2.2. <i>Testen van de invertor</i>	166
7.2.3. <i>Testen van de batterijregelaar</i>	166
7.2.4. <i>Batterijtesten</i>	167
7.3. MONITORING VAN FOTOVOLTAÏSCHE SYSTEMEN.....	168
7.3.1. <i>Analytische monitoring van fotovoltaïsche systemen</i>	168
7.3.2. <i>Globale monitoring</i>	170
7.4. EVALUATIE VAN EEN FOTOVOLTAÏSCH SYSTEEM.....	172
7.4.1. <i>Energie balansen</i>	172
7.4.2. <i>Performantie-indices</i>	173
7.4.2.1. <i>Dagelijks gemiddelde opbrengsten</i>	173
7.4.2.2. <i>Rendementen</i>	174
7.4.2.3. <i>Afgeleide grootheden</i>	174
7.4.2.4. <i>Grafieken</i>	176

HOOFDSTUK 7: **MONITORING EN EVALUATIE VAN FOTOVOLTAÏSCHE SYSTEMEN**

7.1. INLEIDING

In dit hoofdstuk wordt de monitoring en evaluatie van de werking van fotovoltaïsche systemen besproken. Richtlijnen worden gegeven die terzake internationaal toegepast worden en erkend zijn. Deze aspecten zijn van belang bij het gebruik van fotovoltaïsche systemen omdat het nog geen standaardsystemen zijn, er dient nog ervaring te worden ingewonnen betreffende de ontwerpregels die worden toegepast.

In eerste instantie worden de procedures en testen voorgesteld die worden gehandhaafd bij de oplevering en de regelmatige controle van de systemen. Een tweede paragraaf behandelt de manier die wordt aangehouden om de opvolging van de correcte werking van de systemen te controleren en de meetgegevens bij te houden. Hier wordt een onderscheid gemaakt tussen analytische en globale monitoring van de systemen afhankelijk van het doel van de opvolging. In een derde deel wordt de standaardwijze van evaluatie van de werking van de systemen gepresenteerd. Deze evaluatie leidt tot inzichten in de belangrijkste verliesposten in het systeem.

7.2. INITIËLE EN PERIODISCHE TESTEN

Initiële testen worden uitgevoerd om zich ervan te vergewissen dat het systeem en elk van zijn componenten werkt volgens de ontwerp specificaties, om relevante gegevens te verzamelen voor volgende testen en voor de verdere monitoring en om input-parameters te verkrijgen voor gebruik in computermodellen.

Periodische testen zijn van belang om na te gaan of er veranderingen hebben plaatsgevonden in het systeem die zouden kunnen geleid hebben tot een versnelde veroudering, om informatie te krijgen over hoe het onderhoud van het systeem dient te gebeuren en om de goede werking van de sensoren, de elektronica en het data-acquisitie systeem na te gaan.

7.2.1. Testen van het fotovoltaïsche veld

7.2.1.1. Elektrische test

Van het fotovoltaïsche veld kan op regelmatige tijdstippen een I-V curve opgemeten worden. Met behulp van de onderstaande procedure kan hieruit een I-V curve onder standaard-testcondities worden afgeleid. Op deze curve kan het maximale-vermogenpunt bepaald worden en dit kan worden vergeleken met het opgegeven vermogen van de fabrikant. Indien het fotovoltaïsch veld bestaat uit meerdere ketens panelen in parallel kan deze procedure herhaald worden voor elk van de serieschakelingen.

Om deze meting uit te voeren moet men beschikken over volgende apparatuur:

- een gecalibreerde referentiezonnecel
- de apparatuur om de referentiezonnecel perfect in het vlak van het panelenveld te brengen
- spannings- en stroommeting
- omgevingstemperatuursmeting
- een variabele belasting waarmee men het vermogenbereik van het fotovoltaïsch veld aankan.

Gedurende de test wordt op regelmatige tijdstippen de openketenspanning van het veld bepaald. Tegelijk worden de instraling G_1 en de omgevingstemperatuur T_{am} gemeten. De instraling G_1 wordt met de referentiezonnecel in kortsluitcondities gemeten en bepaald uit de calibratiegegevens.

Uit de verschillende datasets (V_{oc} , T_{am} , G_I) wordt de waarde van $V_{oc,STC}$ onder standaard testcondities, bepaald met behulp van de formule:

$$V_{oc,STC} = V_{oc} + N_s [V_T \cdot \ln(G_{STC} / G_I) + c_G \cdot G_I + b (T_{am} - T_{STC})]$$

met

- N_s = het aantal panelen in serie in het veld
- V_T = de thermische spanning van het paneel [V]
- G_{STC} = 1.000 W/m² de instraling onder standaard test condities
- T_{STC} = 25°C de temperatuur onder standaard test condities
- β = de temperatuurscoëfficiënt van de spanning van het paneel
- c_G = $\beta (dT_j / dG_I)$ met T_j de gemiddelde junctietemperatuur

De coëfficiënten V_T en c_G worden zo gekozen dat de spreiding op de resulterende waarden van $V_{oc,STC}$ minimaal is. Men kan hierbij vertrekken van de volgende startwaarden voor de coëfficiënten:

$$a = N_s V_T / V_{oc,STC} = 0,06$$

$$b = N_s \beta / V_{oc,STC} = 0,004 [^{\circ}C^{-1}]$$

$$c = N_s c_G / V_{oc,STC} = 0,00012 [m^2/W]$$

De uiteindelijke waarde van $V_{oc,STC}$ wordt verkregen door het gemiddelde te nemen van alle metingen.

Vervolgens wordt een I-V curve bepaald door de belasting telkens aan te passen en tegelijkertijd de waarde van G_I te noteren. Deze I-V curve moet dan geëxtrapoleerd worden naar standaard testcondities door elk meetpunt (I , V , G_I) te transformeren aan de hand van volgende formules:

$$I_{STC} = I (G_{STC} / G_I)$$

$$V_{STC} = V + \Delta V + R_s (I_{STC} - I)$$

met

$$\Delta V = V_{oc,STC} - V_{oc} = \text{het verschil tussen de } V_{oc} \text{ tijdens de meting en de waarde gevonden uit voorgaande formule}$$

$$R_s = \text{de serieweerstand van het veld en van de bekabeling}$$

De serieweerstand wordt bepaald door een I-V karakteristiek op te meten bij twee verschillende lichtintensiteiten, ongeveer 1.000 W/m² en ongeveer 600 W/m². Beide curves worden naar standaard test condities getransformeerd met de bovenstaande formules in de veronderstelling van een R_s tussen 0 en 0,05 Ω . De waarde wordt dan aangepast tot beide curves samenvallen.

7.2.1.2 Visuele inspectie van de panelen

De bedoeling van de visuele inspectie is mogelijke vervroegde veroudering vast te stellen om deze gegevens dan te gebruiken bij de interpretatie van de performantie van het systeem.

Onder de verschillende aspecten die tijdens visuele inspectie kunnen onderzocht worden zijn: beschadiging of oxidatie van het kader, beschadiging van het glasoppervlak, delaminatie of waterinfiltratie in het encapsulant, gebroken of verkleurde cellen, beschadigde of gebroken contacten, waterinfiltratie in de connectiedoos ...

7.2.2. Testen van de inverter

Hieronder worden een reeks testen vermeld die het mogelijk maken de performantie van de inverter te evalueren. Er wordt telkens gebruik gemaakt van een vermogenmeting aan de DC- en de AC-zijde.

- Wanneer er geen zonne-instraling is, kan informatie verkregen worden over het eigen-verbruik in stand-by toestand of tijdens de nacht.
- Op een dag met open hemel wordt de variatie van spanning en stroom aan de DC-zijde en vermogen aan de AC-zijde nauwkeurig opgevolgd van zonsopgang tot zonsondergang. Dit levert natuurlijk informatie over het rendement van de inverter bij de verschillende ingangsvermogens maar laat ook toe de maximale-vermogenpunt-opvolging van de inverter te evalueren en de werking bij opstart en afslaan van de inverter te bepalen.
- Indien het nominale vermogen van de inverter lager is dan het piekvermogen van de zonnepanelen, onderzoek dan de situatie waarbij de inverter overbelast wordt.
- Onderzoek de harmonische vervorming en de $\cos \phi$ van de geleverde stroom bij verschillende vermogens.
- Wanneer de inverter in werking is, moet deze worden afgezet om de startprocedure na afschakeling te onderzoeken. De startprocedure wordt ook onderzocht door de netkoppeling met de inverter aan en af te schakelen in het geval van een netgekoppelde inverter.
- Voor een onafhankelijke inverter wordt de performantie bepaald voor verschillende belastingen, een zuivere ohmse en een inductieve belasting.

7.2.3. Testen van de batterijregelaar

Het doel van deze test is na te gaan of de werking van de regelaar correct is. Er kunnen beperkingen voor deze test optreden wanneer het niet mogelijk is de batterijen volledig te laden of ontladen tijdens de testperiode omwille van de capaciteit van de batterijen.

- Bepaling van de bovendrempel-spanning: de belasting wordt ontkoppeld en de batterij wordt geladen totdat de regelaar afslaat of de laadstroom beperkt. Deze proef wordt herhaald voor verschillende laadstromen en celtemperaturen. De drempelwaarde moet lager dan 2,35 V per cel zijn.
- Bepaling van de onderdrempel-spanning: ontkoppel het fotovoltaïsch veld van de regelaar, schakel een belasting in en onlaad de batterij tot de regelaar de belasting geheel of gedeeltelijk afschakelt. De onderdrempel-spanning moet hoger dan 1,85 V per cel zijn.
- Tijdens een continue laadregeling mag de batterijspanning niet langer dan 30 minuten boven 2,7 V per cel zijn.

7.2.4. Batterijtesten

Bij het testen van batterijen hoort een visuele inspectie. De batterijen worden nagekeken op de volgende kenmerken: laag niveau van het elektrolyt, barsten in de behuizing, corrosie van de celpolen, actief batterijmateriaal op de bodem van de behuizing, losse kabels.

Verder kunnen de volgende testen op de batterijen uitgevoerd worden:

- Om het verschil tussen verschillende cellen vast te stellen en de zwakste cellen te bepalen, wordt de batterij praktisch volgeladen, gedurende 2 uur worden de belasting en zonnepanelen ontkoppeld waarna celspanning en celtemperatuur worden gemeten.
- De cellen worden tevens getest na ontlading. De batterij wordt met een constante stroom ontladen waarna opnieuw celspanningen en -temperaturen worden gemeten.
- De zelfontlading van de batterijen wordt bepaald door deze eerst vol te laden, de spanning van elke cel te meten, en ze nadien gedurende 1 of 2 dagen ontkoppeld te laten staan. Nadien worden de celspanningen opnieuw gemeten.
- Het soortelijk gewicht van het elektrolyt in elk van de cellen kan bepaald worden. Hiervoor dient men echter veiligheidsmaatregelen in acht te nemen.

7.3. MONITORING VAN FOTOVOLTAÏSCHE SYSTEMEN

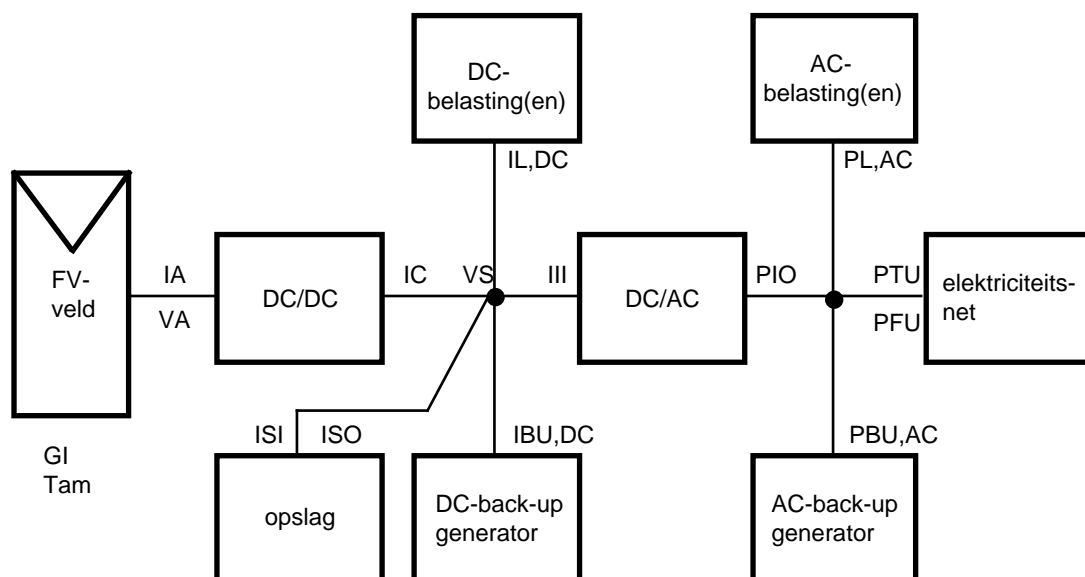
7.3.1. Analytische monitoring van fotovoltaïsche systemen

Analytische monitoring veronderstelt een automatisch data-acquisitie systeem voor de opvolging van bepaalde ogenblikkelijke parameters van het fotovoltaïsch systeem. Het betreft een uitgebreide set van metingen met als doel niet enkel de correcte werking van het systeem te kunnen verifiëren maar ook om de resultaten hiervan te kunnen gebruiken voor wetenschappelijk onderzoek of uitgebreide analyse van bepaalde systeemcomponenten.

Het spreekt vanzelf dat deze methode dan ook niet voor elk fotovoltaïsch systeem wordt toegepast. In principe is de regel dat men voor systemen groter dan 5 kWp een analytische monitoring voorziet, terwijl voor kleinere systemen er enkel een dergelijke monitoring voorzien wordt om speciale redenen. Wanneer meerdere gelijke kleinere systemen worden geplaatst zal bijvoorbeeld één van de systemen analytisch gemonitord worden terwijl de andere systemen een globale monitoring krijgen.

Figuur 7.1 geeft voor een algemeen fotovoltaïsch systeem schematisch de plaatsen aan waar de respectievelijke metingen dienen te worden gelokaliseerd. Voor een netgekoppeld systeem of voor een eenvoudig onafhankelijk batterijsysteem vallen uit deze figuur een aantal basisblokken weg zodat ook het aantal te meten parameters sterk vermindert.

De minimale set van parameters die worden opgevolgd, is weergegeven in tabel 7.1. Behalve de meteorologische gegevens betreft het de stromen, spanningen en vermogens die de werking van het fotovoltaïsch systeem karakteriseren. Afhankelijk van de noden van een project kunnen nog extra parameters geregistreerd worden, zoals bv. windsnelheid of ook productstromen in geval van pompsystemen



Figuur 7.1 Algemeen schema van een fotovoltaïsch systeem met aanduiding van de lokalisatie van de respectieve meetpunten voor de verschillende parameters gebruikt bij de analytische monitoring.

Algemeen gesproken, zijn de vermelde parameters gesommeerde waarden : wanneer bijvoorbeeld de aparte stromen en spanningen van sub-velden of strings van het fotovoltaïsch systeem worden opgemeten , dient alleen hun som in de uiteindelijke geregistreerde waarden te worden opgenomen. Analooq indien meerdere belastingen deel uitmaken van het systeem.

De AC-vermogenmetingen kunnen met behulp van analoge technieken worden uitgevoerd waarbij dan het resulterende signaal gedigitaliseerd wordt in de A/D interface van het data-acquisitiesysteem.

De data dienen te worden gestockeerd met intervallen t_r , gelijk aan maximum één uur wanneer gemiddelden van 1 minuut (of korter) metingen genomen worden of t_r maximaal gelijk aan 10 minuten indien niet wordt uitgemiddeld en ogenblikkelijke waarden worden gebruikt.

De globale zonne-instraling G_I wordt gemeten met een gecalibreerde kristallijne silicium referentiezonnecel. Speciale aandacht dient te worden besteed aan de preciese alignering van de referentiecél met het vlak van het fotovoltaïsch veld. De omgevingstemperatuur T_{am} moet bepaald worden binnen de ± 2 °C.

De elektrische data dienen bepaald te worden binnen ± 2 % volle schaal. Het energieverbruik van het data-acquisitiesysteem wordt beschouwd als deel van de externe belasting (niet als interne verliezen).

Aanvullend bij het data-acquisitiesysteem is het nuttig een eenvoudig onafhankelijk meetsysteem bestaande uit energiemeters te voorzien. Hiermee wordt dan de zonneinstraling G_I cumulatief geregistreerd alsook het energieverbruik van de belasting E_L en voor een netgekoppeld systeem kan de energie naar (E_{TU}) en van (E_{FU}) het elektriciteitsnet worden bijgehouden.

Deze eenvoudige opstelling kan dan operationeel blijven indien na een periode van metingen gestopt wordt met de analytische monitoring en op die manier lange termijngegevens van het systeem beschikbaar maken.

parameter	symbool	eenheid
zonne-instraling, globaal, in het vlak van het fotonvoltaïsch veld	G_I	W/m^2
omgevingstemperatuur in de schaduw	T_{am}	$^{\circ}C$
uitgangsspanning van het fotonvoltaïsch veld	V_A	V
uitgangsstroom van het fotonvoltaïsch veld, totaal	I_A	A
uitgangsstroom van de DC/DC convertor	I_C	A
ingangsstroom van de batterij(bank) of opslagmedium	I_{SI}	A
uitgangsstroom van de batterij(bank) of opslagmedium	I_{SO}	A
spanning DC-bus (batterijspanning)	V_s	V
stroom naar alle DC-belastingen	$I_{L,DC}$	A
DC-stroom van de invertor/gelijkrichter (+/-)	I_{II}	A
AC-vermogen van de invertor/gelijkrichter	P_{IO}	kW
vermogen naar alle AC-belastingen	$P_{L,AC}$	kW
vermogen naar het elektriciteitsnet	P_{TU}	kW
vermogen uit het elektriciteitsnet	P_{FU}	kW
vermogen van de AC-hulpgenerator	$P_{BU,AC}$	kW
stroom uit de AC-hulpgenerator	$I_{BU,DC}$	A
niet-beschikbaarheid voor de belasting(en)	t_{NAV}	h

Tabel 7.1 Lijst van minimaal te registreren aantal parameters voor analytische monitoring van fotonvoltaïsche systemen.

7.3.2. Globale monitoring

Het doel van globale monitoring is de correcte werking van het systeem te verifiëren. Deze monitoring wordt toegepast in systemen kleiner dan 5 kWp waarvan men geen gedetailleerde studie wil maken. De set van parameters die voor globale monitoring worden opgevolgd is aangegeven in tabel 7.2.

parameter	symbool	eenheid
ingestraalde zonne-energie, in het vlak van het fofovoltaïsch veld	H_I	Wh/m ²
potentieel geleverde energie van het fofovoltaïsch veld	E_p	kWh
geleverde energie van het fofovoltaïsch veld	E_A	kWh
energie naar de belastingen	E_L	kWh
energie naar het elektriciteitsnet	E_{TU}	kWh
energie uit het elektriciteitsnet	E_{FU}	kWh
energie uit de hulpgenerator	E_{BU}	kWh
niet-beschikbaarheid voor de belasting(en)	t_{NAV}	h

Tabel 7.2 Lijst van te registreren parameters voor globale monitoring van fofovoltaïsche systemen

Alle gegevens voorgesteld in tabel 7.2 zijn gesommeerd over periodes waarvan de duur bij registratie dient te worden gespecificeerd. Typisch zal om de maand of om de 14 dagen een meting gebeuren.

De ingestraalde energie H_I wordt bepaald aan de hand van een referentie-systeem. Vaak zal men hiervoor een gecalibreerde silicium referentiezonnecel gebruiken waaraan een Ah-meter gekoppeld is. Speciale aandacht dient te worden besteed aan de preciese alignering van de referentiecél met het vlak van het fofovoltaïsch veld.

De parameter E_p duidt op de maximale energie die uit het fofovoltaïsch veld zou kunnen worden gehaald onder de gegeven zonne-instralingscondities. E_p wordt niet geregistreerd maar afgeleid uit de zonne-instraling en wordt gebruikt voor de evaluatie van het systeem. Indien de potentieel geleverde energie van het fofovoltaïsch veld rechtstreeks wordt bepaald (door een nader te omschrijven methode) dan hoeft de ingestraalde energie H_I niet te worden geregistreerd.

De elektrische data dienen bepaald te worden met een nauwkeurigheid binnen $\pm 5\%$ van de volle schaal .

In plaats van E_A , E_p , E_L en E_{BU} kan ook de tijdsintegraal bepaald worden van de corresponderende stromen (Ah) van waaruit dan de energiewaarden kunnen worden afgeleid gebruik makend van de nominale batterijspanning. Omwille van het feit dat deze laatste methode systematisch E_A en E_p onderschat en E_L en E_G overschat, dient deze werkwijze echter zoveel mogelijk te worden vermeden.

De parameter 'niet-beschikbaarheid voor de belasting(en)' geeft de gecumuleerde tijd weer dat geen vermogen beschikbaar is aan de klemmen van de belasting, niet de tijd dat de belasting is afgeschakeld. Indien deze parameter niet wordt geregistreerd, wordt hij geschat door de gebruiker.

7.4. EVALUATIE VAN EEN FOTOVOLTAÏSCH SYSTEEM

7.4.1. Energie balansen

Wanneer een gedetailleerde analyse van een fotonvoltaïsch systeem gebeurt, worden in eerste instantie de uurgegevens uit het data-acquisitie systeem verwerkt tot energiebalansen. Energie uit het net of een hulpgenerator gehaald of in het net gestoken, wordt berekend om de bijdrage van het fotonvoltaïsch veld in de werking van het systeem te bepalen.

De belangrijkste parameters die hierbij worden berekend zijn:

- De totale energie geleverd aan de belasting:

$$E_{in} = E_A + E_{BU} + E_{FU} + E_{FS}$$

- De fotonvoltaïsche fractie van de totale geleverde energie:

$$F_A = E_A / E_{in}$$

- De nuttige energie:

$$E_{use} = E_L + E_{TU}$$

- De fotonvoltaïsche fractie van de nuttige energie:

$$E_{use,PV} = F_A \cdot E_{use}$$

- Netto energie uit het opslagsysteem gehaald:

$$E_{FS} = (E_{SO} - E_{SI})^+$$

- Netto energie aan het opslagsysteem geleverd:

$$E_{TS} = (E_{SI} - E_{SO})^+$$

waarbij x^+ het positieve deel voorstelt ($x^+ = x$ als $x > 0$ anders $x = 0$).

Verder gelden de volgende formules:

$$E_A = \int I_A \cdot V_A dt / 1000$$

$$E_{BU} = E_{BU,AC} + E_{BU,DC}$$

$$E_{BU,DC} = \int I_{BU} \cdot V_S dt / 1000$$

$$E_L = E_{L,AC} + E_{L,DC}$$

$$E_{L,DC} = \int I_{L,DC} \cdot V_S dt / 1000$$

Alle andere termen worden berekend door de overeenkomstige vermogenwaarden te integreren over de tijd, zo bijvoorbeeld:

$$E_{BU,AC} = \int P_{BU,AC} dt$$

De gemiddelde waarden van deze parameters over de meetperiode geven een goede indicatie van de globale performantie van onafhankelijke, hybride en netgekoppelde fotovoltaïsche systemen.

Voor elk van de systeemcomponenten, batterijen, invertoren, convertoren, kan de energiebalans berekend worden als het verschil tussen de ingaande en de uitgaande energie. Deze componentbalansen kunnen dan gebruikt worden om het gemiddelde werkingsrendement van elk van de componenten te bepalen.

7.4.2. Performantie-indices

Om de performantie van verschillende fotovoltaïsche systemen met mekaar te vergelijken, is het nodig genormaliseerde performantie-indices in te voeren. Ze worden verkregen door de energiebalansen te delen door het nominale vermogen P_0 of door de totale veldoppervlakte A_A (en de totale instraling in het veld). In het eerste geval spreken we van veld- en finale opbrengsten, in het tweede geval van rendementen.

7.4.2.1. Dagelijks gemiddelde opbrengsten

De volgende set van genormaliseerde grootheden wordt bekomen door alle relevante energiebalansen te refereren naar het nominale vermogen P_0 van de installatie. P_0 is de ontwerpwaarde van het uitgaande veldvermogen bij het maximale vermogenpunt onder standaard testcondities (STC).

De veldopbrengst:

$$Y_A = E_{A,dag} / P_0 \quad [\text{kWh}/(\text{dag}\cdot\text{kWp})]$$

Dit is de dagelijkse uitgaande energie van het fotovoltaïsch veld ($E_{A,dag}$) per kWp geïnstalleerd vermogen. De dimensies kunnen herleid worden tot h. Men kan het beschouwen als het aantal uren dat het systeem zou moeten werken bij P_0 om de hoeveelheid energie te leveren die opgemeten is voor die dag.

De finale opbrengst:

$$Y_f = E_{use,PV,dag} / P_0 \quad [\text{kWh}/(\text{dag}\cdot\text{kWp})]$$

Dit geeft de gebruikte uitgaande energie van het fotovoltaïsch veld weer per kWp geïnstalleerd vermogen.

De referentieopbrengst:

$$Y_r = \int_{\text{dag}} G_I dt / G_{\text{STC}}$$

Omdat per definitie van het nominale vermogen bij standaard testcondities, de instraling in het vlak in [kWh/ (m².dag)] gelijk is aan een overeenkomstig nominaal uitgaand veldvermogen in [kWh/ (dag.kWp)], definieert men de verhouding van de totale dagelijkse instraling in het vlak ($\int_{\text{dag}} G_I dt$) ten opzichte van de zonne-instraling in het vlak onder standaard testcondities ($G_{\text{STC}} = 1 \text{ kW/m}^2$), als de referentieopbrengst.

De performantieverhouding:

$$\text{P.R.} = Y_f / Y_r$$

Deze parameter geeft de verhouding weer tussen de gebruikte energie en de energie die door een verliesvrij, ideaal fotovoltaïsch systeem bij een celtemperatuur van 25°C zou geleverd worden bij de gegeven zonne-instraling.

Voor een meetperiode groter dan 1 dag, kunnen eenvoudigweg gemiddelden van de opbrengsten bekomen worden.

7.4.2.2. Rendementen

Het gemiddelde veldrendement over de beschouwde periode wordt gedefinieerd als:

$$\eta_A = E_A / E_{S,A}$$

waarbij

$$E_{S,A} = \int G_I \cdot A_A dt$$

η_A stelt de gemiddelde energieconversierendement voor van het fotovoltaïsch veld. Dit rendement kan vergeleken worden met het nominale veldrendement $\eta_{A,\text{nom}}$. Het verschil tussen beide is bepaald door diode-, bekabeling- en koppelverliezen.

Het globale systeemrendement wordt gedefinieerd als:

$$\eta_{\text{tot}} = E_{\text{use,PV}} / E_{S,A}$$

Hierbij wordt $\eta_{\text{tot}} / \eta_A$ het belastingsrendement genoemd.

7.4.2.3. Afgeleide grootheden

A. Verliesgrootheden

Op basis van de opbrengsten, hierboven gedefinieerd, kan men de volgende verliesgrootheden definiëren:

Het veldverlies:

$$L_c = Y_r - Y_A$$

Het systeemverlies:

$$L_s = Y_A - Y_f$$

In het veldverlies zitten volgende verliesfactoren vervat:

- thermisch verlies omdat de celtemperatuur hoger dan 25°C is,
- bekabelingsverlies, diodeverlies, verliezen ten gevolge van lage instraling
- fouten in de maximale-vermogen-punt-opvolging, verliezen ten gevolge van volgeladen batterijen,
- fouten in de meting van de zonne-instraling, spectrale verschillen.

In het systeemverlies zitten typisch de conversieverliezen (bijvoorbeeld in de invertor) en de stockageverliezen vervat.

B. Ogenblikkelijke grootheden

Wanneer de data-acquisitie gebeurt in intervallen van minder dan een uur, kunnen gemiddelde waarden van vermogen en instraling gedeeld worden door respectievelijk het nominaal vermogen van het fotonvoltaïsch veld P_0 en de standaardinstraling $G_0 = 1 \text{ kW/m}^2$. Op die manier kunnen genormaliseerde ogenblikkelijke waarden bekomen worden, analoog aan de overeenkomstige energieopbrengsten.

Deze grootheden worden aangeduid met kleine letters: $y_r, y_a, y_f, l_c, l_s, pr$; en kunnen gebruikt worden om ogenblikkelijke foutdetectie uit te voeren.

C. Opsplitsing van de veldverliezen

Wanneer de celtemperatuur van de panelen gemeten en bijgehouden wordt is het mogelijk de veldverliezen L_c op te splitsen in thermische veldverliezen L_{CT} ten gevolge van een celtemperatuur hoger dan 25°C, en andere verliezen L_{CM} .

Om hiertoe te komen worden de temperatuursgecorrigeerde referentieopbrengst Y_T en de temperatuursgecorrigeerde instraling y_T gedefinieerd. Het vermogen van een fotonvoltaïsch veld is temperatuursafhankelijk met een temperatuurscoëfficiënt van typisch $c_T = 0,0044 \text{ K}^{-1}$ voor kristallijne-siliciumzonnepanelen. Een ideaal panelenveld met een nominaal vermogen P_0 bij standaard testcondities, zal bij een temperatuur T_C bij G_0 (1 kW/m^2) instraling in het maximale-vermogenpunt, het volgende temperatuursgecorrigeerde nominale vermogen leveren:

$$P_{OT} = P_0 [1 - c_T (T_C - T_0)]$$

met T_0 de temperatuur bij standaard testcondities, 25°C.

De volgende nieuwe grootheden kunnen nu worden gedefinieerd:

$$y_T = y_r \cdot P_{OT} / P_0 = y_r [1 - c_T (T_C - T_0)]$$

$$l_{CT} = y_r - y_T$$

$$l_{CM} = y_T - y_a$$

Door integratie kunnen de dagelijkse maandelijkse en jaarlijkse waarden van Y_T , L_{CT} en L_{CM} berekend worden.

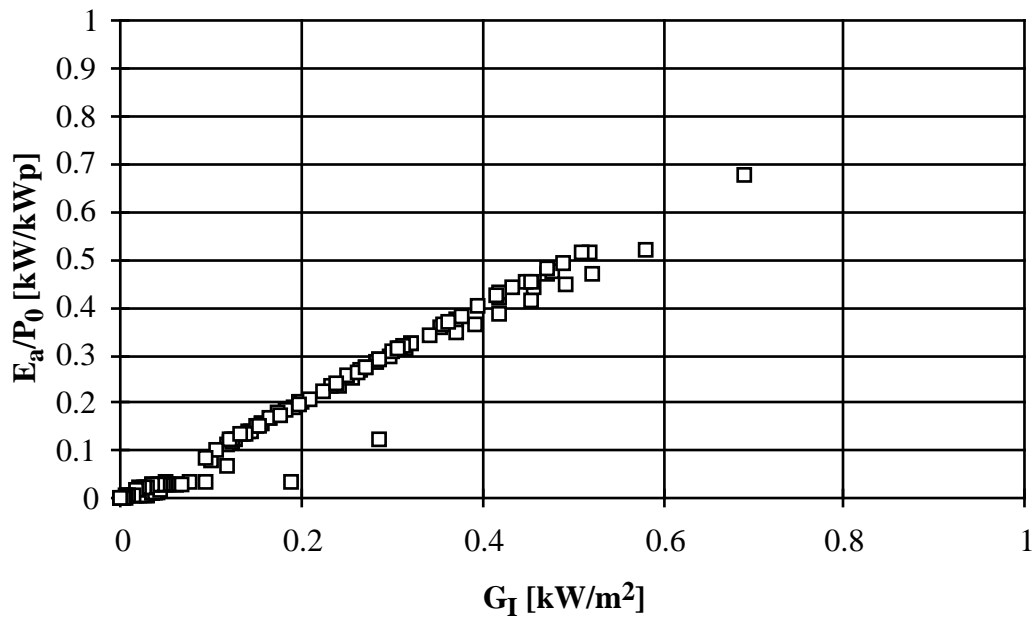
7.4.2.4. Grafieken

Om een samenvatting te maken van de werking van een fotovoltaïsch systeem gedurende een bepaalde periode, kunnen samen met de tabellen waarin de energiebalansen gegeven worden, de volgende grafieken gemaakt.

Een grafiek kan gemaakt worden waarop het genormaliseerde uurlijkse of ogenblikkelijke uitgaande veldvermogen E_A/P_0 wordt uitgezet ten opzichte van het invallende vermogen G_T . Deze grafiek geeft weer of het veld werkt bij zijn nominale capaciteit en of er anomalieën optreden, die dan verder onderzocht kunnen worden. Figuur 7.2 geeft een voorbeeld van een dergelijke figuur.

Een balkgrafiek kan gemaakt worden van dagelijkse of maandelijkse referentie-, veld- en finale opbrengsten. Typisch wordt de voorstelling weergegeven, in figuur 6.10 hiervoor gebruikt, waarbij de balken over mekaar worden geplaatst en op die manier de veldverliezen en systeemverliezen zichtbaar worden. De waarde van de performantieverhouding wordt dan boven elke balk geschreven.

Er kan een histogram opgesteld worden dat de verdeling van de gemiddelde zonneinstraling in het vlak weergeeft. Dit is de bijdrage van de verschillende instralingsniveaus tot de totale instraling in het vlak. Een voorbeeld hiervan is figuur 6.12, dat tegelijk aantoont dat een dergelijke grafiek een handig hulpmiddel is bij het ontwerp van fotovoltaïsche systemen.



Figuur 7.2 De verspreiding van het genormaliseerde gemiddelde veldvermogen wordt uitgezet ten opzichte van de zonne-instraling in het vlak.

Een ander histogram geeft de verdeling van de genormaliseerde gebruikte energie E_{use} . Dit is de bijdrage van de verschillende vermogenniveaus tot de totale gebruikte energie. Een voorbeeld hiervan is figuur 6.12.

