

# PRAKTIJKERVARING MET EEN 1 kW<sub>p</sub> AMORF SILICIUM ZONNECENTRALE

C.W.A. BALTUS  
N.J.C.M. VAN DER BORG  
W.C. SINKE  
P.W. VINK

DIT RAPPORT IS GEPRESENTEERD TIJDENS DE 4<sup>E</sup> NEDERLANDSE ZONNE-ENERGIE CONFERENTIE,  
1-2 APRIL 1993, VELDHOVEN



## PRAKTIJKERVARING MET EEN 1 kW<sub>p</sub> AMORF SILICIUM ZONNECENTRALE

C.W.A. Baltus, N.J.C.M. van der Borg,  
W.C. Sinke en P.W. Vink

**Samenvatting:** Bij het Energieonderzoek Centrum Nederland te Petten staan twee zonnecentrales van 1 kW<sub>p</sub>; één is opgebouwd uit polykristallijn-silicium zonnepanelen, de tweede bestaat uit panelen op basis van amorf silicium. Beide systemen zijn m.b.v. identieke vermogenselektronische omzeters aan het wisselspanningsnet gekoppeld. In dit paper worden de meetresultaten en praktijkervaring beschreven.

### 1. INLEIDING

Begin april 1992 is bij het Energieonderzoek Centrum Nederland te Petten door de unit Duurzame Energie een zonnecentrale in bedrijf gesteld. Deze centrale bestaande uit amorf-silicium (a-Si) zonnepanelen, is geplaatst naast de bestaande centrale met polykristallijn silicium (p-Si) zonnepanelen.

Met dit eerste amorf silicium systeem in Nederland van significante omvang wordt gedurende enkele jaren praktijkervaring opgedaan.

### 2. DOEL

Het doel van het project is informatie te verzamelen over het **praktijkgedrag** van een PV-systeem op basis van amorf-silicium: naast de registratie van elektrische grootheden zal ook gelet worden op weersinvloeden op modules, elektrische verbindingen, draagconstructies, beveiliging etc.

Een tweede doel is het vaststellen van karakteristieke grootheden van de componenten: veroudering van de panelen, totaal rendement van de centrale, rendement van de inverter e.d.

### 3. OPSTELLING

Panelen:

De a-Si zonnecentrale bestaat uit 96 panelen van elk 11 W<sub>p</sub> en zijn van het merk NAPS (type A13R). De p-Si zonnecentrale is in 1989 geleverd door de firma R&S Renewable Energy Systems en bestaat uit 24 panelen van elk 40 W<sub>p</sub> (type RSM40). De panelen staan zuiver gericht op het zuiden en zijn gemonteerd onder een hoek van 45° met de horizon.

Omzeters:

Voor beide centrales zijn invertors gebruikt die werken op basis van pulsbreedte modulatie (Victron-Ecovertor 1000). Het gelijkstroomdeel en het wisselstroomgedeelte zijn galvanisch gescheiden. De ingebouwde maximum power point tracker (MPPT) zorgt voor een optimale benutting van de zonnepanelen.

Instralingsmeters:

Voor de registratie van de globale instraling in het platte vlak is een pyranometer toegepast (lev. Kipp & Zonen, type CM21). Verder is bij elke centrale voor de opbrengstberekeringen een referentiecel van p-Si geplaatst onder een hoek van 45°; gezien de veroudering van a-Si is een referentiecel van dat materiaal niet toepasbaar.

Paneeltemperatuur:

De meetresultaten moeten conform [1] genormeerd worden naar een temperatuur van 25 °C. Hiertoe is een temperatuuropmeter geïntegreerd in de a-Si panelen (groef ingefreesd, ingebed in warmtegeleidende pasta en afgekit. De temperatuuropmeter in een p-Si paneel is door R&S ingebouwd. In de berekeningen is gebruik gemaakt van de door de leverancier opgegeven temperatuurcoëfficiënten voor de stroom ( $\alpha_p$ ), respectievelijk vermogen ( $\alpha_p$ ).

Temperatuurcoëfficiënten:

Amorf	$\alpha_p = - 0,21 \text{ } \%/^{\circ}\text{C}$
	$\alpha_i = + 0,08 \text{ } \%/^{\circ}\text{C}$
Polykristallijn	$\alpha_p = - 0,4 \text{ } \%/^{\circ}\text{C}$
	$\alpha_i = + 0,077 \text{ } \%/^{\circ}\text{C}$

---

ECN-Duurzame Energie,  
Postbus 1, 1755 ZG Petten.  
Tel. 02246-4115, Fax 02246-3214

#### Spanningsmeting:

Zoals genoemd is het meetdoel tweeledig: vaststellen van de karakteristieken van de panelen en bepalen van het gedrag van de inverter. In het ene geval wordt de spanning nabij de panelen gemeten, in het andere geval op de klemmen van de inverter.

#### Vermogensmeting:

Ten behoeve van de rendementsmetingen zijn nauwkeurige vermogens-meetwaardeomvormers toegepast [3], welke geschikt zijn voor zowel gelijkstroom als wisselstroom. Voor deze toepassing zijn instrumenten ontwikkeld met een onnauwkeurigheid van circa 0,15 %.

#### Data-acquisitiesysteem:

Voor de metingen werd een 12 bits data-acquisitiesysteem gebruikt (fabr. Keithley), voorzien van software (Wimpro, [4]) waarmee het 10-minuten gemiddelde werd bepaald van meetsignalen (bemonsteringsfrequentie 18 Hz).

### 4. PRAKTIJKERVARING

De a-Si centrale leverde zijn eerste vermogen op 2 april aan het net. De realisatie en kalibratie van de meetset vergde nadien nog 2 maanden. Vanaf juni 1992 konden de meetgegevens daadwerkelijk verwerkt worden.

Slechts een tweetal storingen trad op:

- Een overstroom-beveiligingsschakelaar in de inverter (zgn. Stotz) viel om onbekende reden herhaaldelijk uit; na vervanging van de schakelaar was dit probleem opgelost.
- Op warme dagen leverde het systeem bij gelijke instraling minder energie dan bij lage temperaturen: oorzaak was een foutieve schakeling in de inverter die de temperatuur in de kast bewaakt en de belasting reduceert als de temperatuur te hoog wordt (ingreep op de MPPT).

De p-Si centrale is gedurende de maanden juni t/m augustus regelmatig buiten bedrijf genomen voor andere meetdoeleinden; dit heeft geleid tot verlies in meetgegevens van de belasting. In dezelfde periode worden de meetresultaten enigszins vertekend doordat een gedeelte van de opbrengst is weggevalen als gevolg van ondeugdelijke stekerverbindingen.

De aluminium draagconstructie blijkt uitermate goed bestand te zijn tegen de zoute omgevingslucht. De spatwaterdichte stekerverbindingen van de a-Si panelen gaven nimmer aanleiding tot problemen.

Enkele a-Si panelen vertonen aan de rand een geringe aantasting van de actieve laag. Dit is het gevolg van een onvolledige waterafdichting door de kunststof rand in het aluminium frame. Het probleem is besproken met de fabrikant, die inmiddels een betere afdichting realiseert.

### 5. MEETRESULTATEN

De 10-minuten gemiddelde meetwaarden van de instraling (gerekend over de hele meetperiode van 9 maanden) zijn m.b.v. de referentiecel geïnclassificeerd in blokken van 50 W/m<sup>2</sup> (0-50, 50-100 enz.). De tijdsverdeling van de klassen over de meetperiode is weergegeven in Fig. 1a. Ieder blok vertegenwoordigt een hoeveelheid instralingsenergie zoals afgebeeld is in Fig. 1b. Opvallend is dat de energieverdeling vrij vlak is, m.a.w. de lage instralingsklassen zijn voor de opbrengst even belangrijk als de hoge.

Fig. 2 toont de maandelijks ingestraalde energie gemeten zowel in het platte vlak met een pyranometer, als in een hellend vlak m.b.v. een p-Si referentiecel. De metingen met de referentiecel zijn niet gecorrigeerd op 25 °C-niveau.

In Fig. 3 is weergegeven de maandelijkse gemeten opbrengst op dc-niveau (Fig. 3a voor a-Si, Fig. 3b voor p-Si). Gedurende juni '92 t/m aug '92 is zoals geschreven niet altijd gemeten; de meetgegevens zijn teruggekend naar volle maand gegevens. De correctie bedroeg maximaal 21 %. De figuren illustreren duidelijk het grote verschil in opbrengst tussen zomer en winter: een factor 5 tot 10.

Fig. 4a en 4b laten het systeemrendement zien van beide centrales (de metingen zijn niet genormeerd op 25 °C). De rendementsgetallen zijn berekend door gebruik te maken van het actieve systeemoppervlak (24 x 0,36 m<sup>2</sup> voor p-Si en 96 x 0,264 m<sup>2</sup> voor a-Si). Het dc-rendement van de a-Si centrale loopt terug van 4,0 % in juni '92 tot minder dan 3,0 % in februari '93; dat van de p-Si centrale blijft gelijk op ruwweg 9,5 %. Hierbij wordt opgemerkt dat het dc-rendement niet alleen bepaald wordt door het PV-systeem zelf, maar ook door de kwaliteit van de MPPT. De aanzienlijke afname van het a-Si systeemrendement is karakteristiek voor de eerste generatie technologie, zoals die tot enkele jaren geleden werd geproduceerd. Het is belangrijk om op te merken dat inmiddels panelen op de markt zijn die een aanzienlijk hoger beginrendement en een geringere rendementsafname vertonen.

Het rendement van de inverter is over nagenoeg het hele werkgebied (ingand vermogen tot 1000 W) vastgelegd in Fig. 5. Voor belastingen van 100 W en hoger wordt een rendement gemeten van 90 - 93 %.

In Fig. 6a zijn voor de a-Si centrale alle 10-minuten gemiddelde meetwaarden van het systeemrendement (dc-niveau) afgebeeld, voor juni 1992 en februari 1993, als functie van de instralingsintensiteit.

De figuur toont aan dat de rendementsafname van deze a-Si modules zeer significant is. Nader onderzoek moet

nog uitwijzen welk deel van de afname blijvend is en welk deel seizoenafhankelijk. De versnelde rendementsafname kan eventueel een gevolg zijn van de aanwezigheid in het systeem van panelen met onvolledige waterafdichting, zoals eerder genoemd, of van problemen met elektrische contacten. Onderzoek naar de eigenschappen van individuele modules is daarom gepland.

In Fig. 6b staan op soortgelijke wijze de rendementen van p-Si.

Fig. 7a illustreert de afname van het a-Si systeemrendement per maand aan de hand van de gemiddelden per maand per instralingsintensiteit voor de betreffende meetperiode (temperatuur gecorrigeerd). In Fig. 7b is op soortgelijke wijze het systeemrendement weergegeven van p-Si. In beginperiode is een gedeelte van de opbrengst weggevallen als gevolg van ondeugdelijke stekerverbindingen, waardoor het rendement ogenschijnlijk lager uitvalt. Verder is duidelijk dat het p-Si een constant rendement vertoont.

## 6. CONCLUSIES

Na enkele kleine aanloopproblemen functioneren zowel de p-Si als de a-Si centrale goed. Het a-Si dc-systeemrendement is in de periode juni '92 tot februari '93 aanzienlijk gedaald van ongeveer 4% tot minder dan 3%. Deze afname is conform de verwachting voor de eerste generatie technologie die dit systeem vertegenwoordigt. Inmiddels zijn panelen op de markt die zowel een hoger beginrendement als een geringere degradatie vertonen. Het ligt voor de hand na het lopende testprogramma een vergelijking te maken met deze verbeterde technologie.

Het p-Si rendement is constant binnen de meetnauwkeurigheid. De gebruikte Victron Ecovertor 1000 heeft een rendement groter dan 90 % voor belastingen groter dan 100 W.

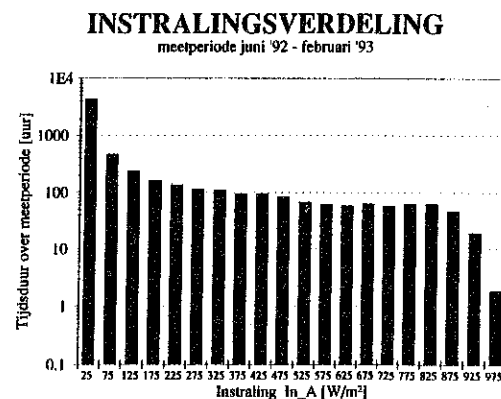
Gerekend naar energie-inhoud op jaarbasis zijn lage instralingsklassen ongeveer even belangrijk als hoge. Dit onderstreept het belang van een hoog inverter deellastrendement.

## 7. VERANTWOORDING

Dit project werd gefinancierd door NOVEM (onder contractnummer 41.250-011.1) en ECN (in het kader van het ENGINE programma, projectnummer 4415).

### LITERATUUR:

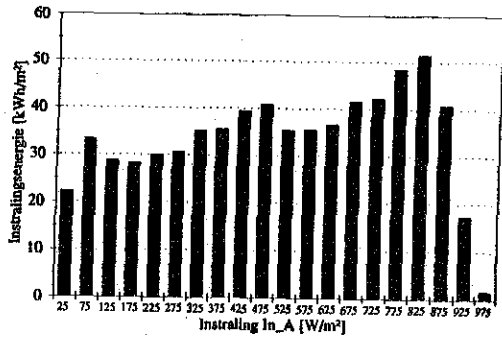
- [1] Commission of the European Communities  
Joint Research Centre - Ispra Establishment  
Guidelines for the Assessment of Photovoltaic Plants, Issue 4, January 1991
- [2] C.W.A. Baltus  
Realisatie en beproeving van een centrale met amorf silicium zonnepanelen met bijbehorend meetsysteem.
- [3] C.W.A. Baltus  
Ontwerp en beproeving van een vermogensmeetprint  
ECN-DE-Memo-92-46
- [4] N.J.C.M. van der Borg, J. van Twisk  
Programmabeschrijving van WIMPRO (WInd-turbine MeetPROgramma)  
ECN-DE-Memo-90-08



Figuur 1a Instralingsverdeling

### INSTRALINGSENERGIE PER KLASSE

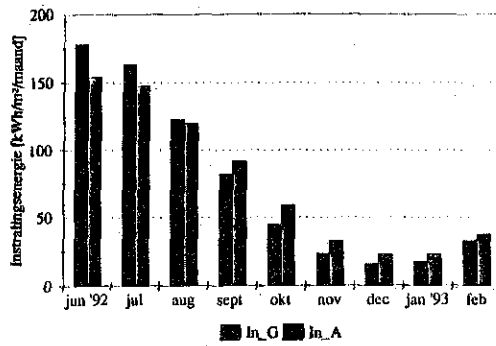
meetperiode juni '92 - februari '93



Figuur 1b Instalringseenergie per klasse

### INSTRALINGSENERGIE PER MAAND

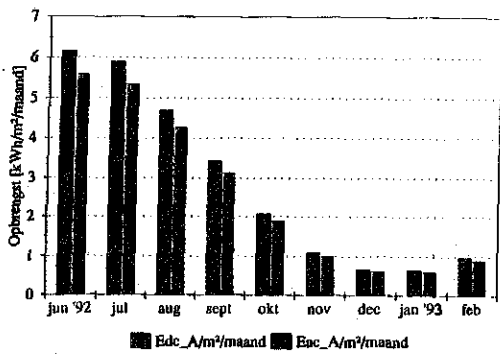
meetperiode juni '92 - februari '93



Figuur 2 Instalringseenergie per maand

### MAANDOPBRENGST a-Si

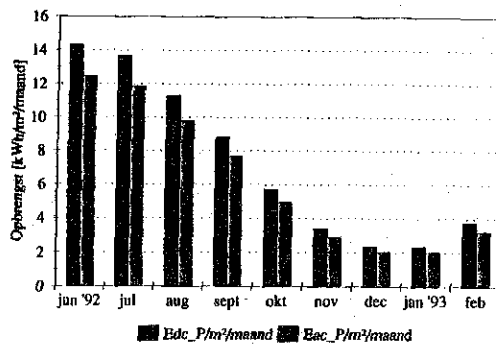
meetperiode juni '92 - februari '93



Figuur 3a Maandopbrengst a-Si

### MAANDOPBRENGST p-Si

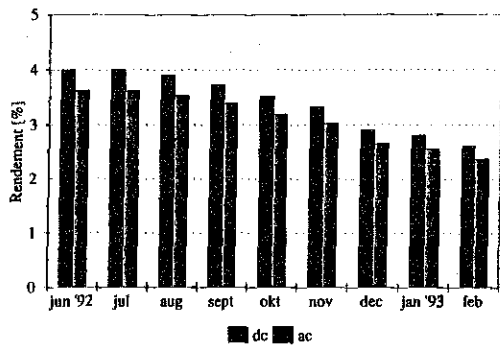
meetperiode juni '92 - februari '93



Figuur 3b Maandopbrengst p-Si

### SYSTEEMRENDEMENT a-Si

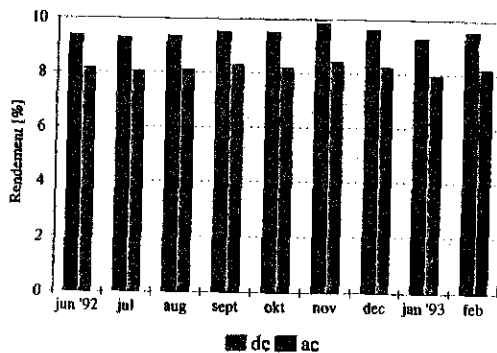
Actief oppervlak (jun'92 - feb'93)



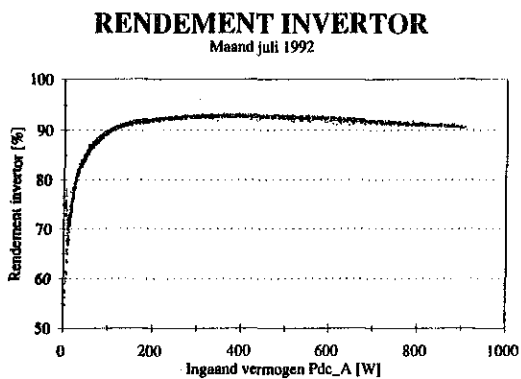
Figuur 4a Systeemrendement a-Si

### SYSTEEMRENDEMENT p-Si

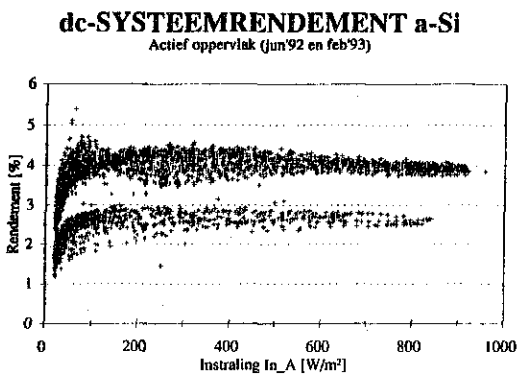
Actief oppervlak (jun'92 - feb'93)



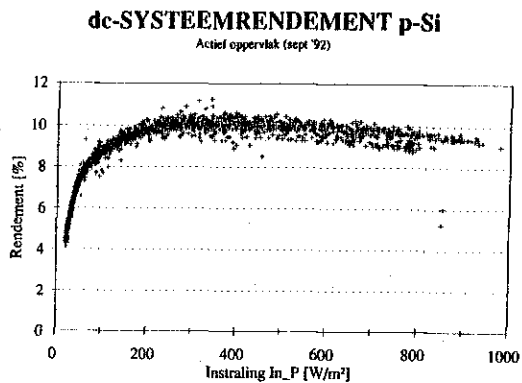
Figuur 4b Systeemrendement p-Si



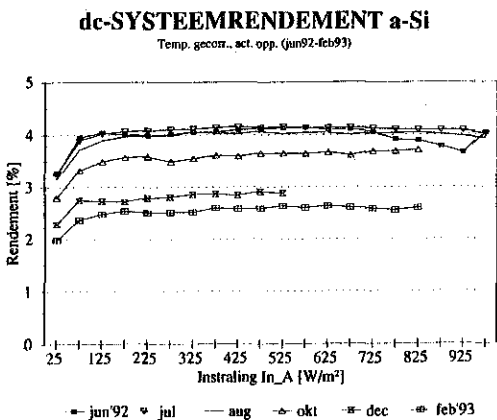
**Figuur 5** Rendement inverter



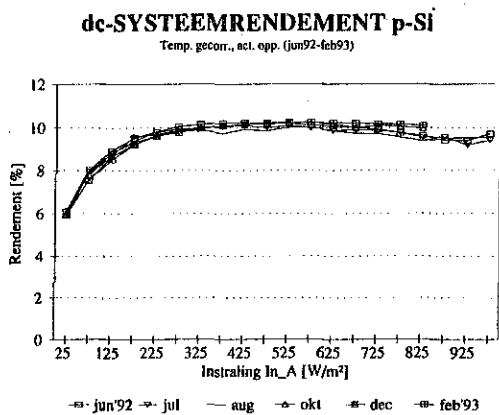
**Figuur 6a** dc-Systeemrendement a-Si



**Figuur 6b** dc-Systeemrendement p-Si



**Figuur 7a** dc-Systeemrendement a-Si, temperatuur gecorrigeerd



**Figuur 7b** dc-Systeemrendement p-Si, temperatuur gecorrigeerd