

SIDEREA

adviesburo voor duurzame energie.
opbrengstberekeningen en simulaties
voor zonnestroom.

De variatie van de Performance Ratio van zonnestroom installaties volgens de Siderea PV Simulator.

Inleiding en conclusies.

In dit onderzoek is met behulp van de Siderea PV Simulator de jaarlijkse PR berekend van een viertal fictieve pv-systemen op vijf locaties in Nederland. Daaruit blijkt dat de PR in geringe mate afhankelijk is van externe factoren als instraling, hellingshoek, oriëntatie en luchttemperatuur. De conclusie is dat de PR een uitstekende indicator is om de kwaliteit van een pv-systeem te beoordelen of te voorspellen. In dit onderzoek zijn ook de individuele verliesposten van een pv-systeem inzichtelijk gemaakt.

Doel van het onderzoek.

De productie van zonnestroom installaties is afhankelijk van veel factoren. Hierdoor is het niet mogelijk om alleen op basis van de opbrengst een uitspraak te doen over de kwaliteit van het pv-systeem. Door de opbrengst te normeren voor het STC paneelvermogen EN de instraling op het paneelvlak is dat wel mogelijk. Deze wijze van normeren wordt de Performance Ratio (PR) genoemd. De PR is het werkelijk systeemrendement gedeeld door het ideale systeemrendement. Dit onderzoek moet antwoord geven op de vraag in welke mate de PR op jaarbasis afhankelijk is van 'externe' factoren als oriëntatie, hellingshoek, instraling en luchttemperatuur.

Het belang van de Performance Ratio.

Met een PR die onafhankelijk is van 'externe' factoren kunnen scenario's worden gemaakt die iets zeggen over de toekomstige productie van een pv-systeem. De PR biedt daarom mogelijkheden voor het afgeven van 'opbrengstgaranties'. Van belang is te begrijpen dat niet zozeer de opbrengst gegarandeerd wordt als wel de PR. De PR is daarmee een norm (benchmark) waaraan een pv-systeem in de praktijk getoetst kan worden. Dat heeft als voordeel dat er tussen verschillende partijen zowel technische als financiële duidelijkheid is over wat er van een gegeven pv-systeem verwacht mag worden.

Definitie van de Performance Ratio.

De Performance Ratio (PR) van een pv-systeem is gedefinieerd als het quotient van het ideale systeemrendement (STC rendement) en het werkelijke systeemrendement. De term (1-PR) is een maat voor de opgetreden verliezen in het pv-systeem. De PR is gedefinieerd als:

$$PR = \text{opbrengst}/(\text{instraling} \times \text{paneelvermogen}) \quad [1]$$

Methodiek ter bepaling van de PR.

Om de Performance Ratio van een pv-systeem te bepalen moeten dus 2 zaken bekend zijn:

- 1) de genormeerde elektrische energieopbrengst (kWh/kWp)
- 2) de instraling op het paneelvlak (kWh/m²)

Voor het berekenen van de vlakinstraling en de opbrengst is in dit onderzoek gebruik gemaakt van de Siderea PV Simulator. Met deze simulator is de jaarlijkse PR berekend van 4 fictieve pv-systemen met verschillende oriëntaties en hellingshoeken op 5 locaties in Nederland. Voor het simuleren van een pv-systeem is de simulator voorzien van gegevens en specificaties over de fictieve pv-systemen alsook de benodigde meteogegevens afkomstig van 5 KNMI meetstations.

De Siderea PV Simulator.

De Siderea PV Simulator is een rekenmodule die de dagproductie van een gegeven pv-systeem simuleert. De simulatie wordt uitgevoerd aan de hand van een gemeten dagsom van de globale horizontale straling, de zonneshijnduur en de maximum luchttemperatuur. De dagopbrengst is gelijk aan de berekende straling op het paneelvlak vermenigvuldigd met het (voor die dag) berekende systeemrendement. De Siderea PV Simulator is speciaal ontworpen om een gegeven pv-systeem te controleren op juiste werking (monitoring). De Simulator is daardoor in staat om voor elk moment een PR te berekenen.

Ruimtelijke gegevens van de pv-systemen.

Op 5 locaties in Nederland zijn steeds 4 pv-systemen 'geplaatst' met verschillende oriëntaties en hellingshoeken. De geografische locaties komen overeen met de locaties van 5 KNMI meetstations. Het betreft de meetstations De Kooy (Den Helder), Eelde, De Bilt, Vlissingen en Maastricht. De 4 pv-systemen hebben voor elk van de 5 locaties de oriëntaties en hellingshoeken zoals vermeld in Tabel 1.

Tabel 1.
oriëntaties en hellingshoeken van de fictieve pv-systemen.

pv-systeem	oriëntatie	hellingshoek
1	ZUID	30 graden
2	ZUID	45 graden
3	WEST	30 graden
4	WEST	45 graden

Technische specificaties van de pv-systemen.

De technische specificaties van de fictieve pv-systemen zijn:

Panelen.

type module	polykristallijn
STC vermogen	1 kWp (5 x 200Wp)
paneelrendement	13,3%
U _{mpp}	25,9V
I _{mpp}	7,71A
temp.coeff. P _{mpp}	-0,47%/K
rendement bij 200W/m ²	-7% relatief tov rendement STC

Bekabeling (DC).

totale lengte	25 meter
dikte	4 mm ²
Ohmse weerstand	6,0 Ohm/km

Inverter.

max. vermogen inverter (AC)	1 kW
max. rendement inverter	95%

Overige gegevens.

Montage	schuin dak (opbouw)
k-waarde (ventilatie)	0,0357 m ² K/W
beschaduwing	geen obstructies groter dan 5 graden boven de horizon
locaties	de Kooy, Eelde, de Bilt, Vlissingen, Maastricht (KNMI grondstations)
meetperiodes	2000 en 2008

Instellingen en configuratie van de Siderea PV Simulator.

De simulatie is een benadering van de werkelijkheid. De Siderea PV Simulator berekend dagopbrengsten (AC energie) middels het bepalen van de straling op het paneelvlak en het voor die dag geldende systeemrendement. Het systeemrendement wordt berekend door voor alle systeemcomponenten de verliezen te bepalen. De straling op het schuine paneelvlak wordt bepaald door de horizontale straling te vermenigvuldigen met een Tilt Factor (TF). De TF is afhankelijk van de samenstelling van de globale straling, de geografische locatie, de dag van het jaar, het albedo, de hellingshoek en de oriëntatie van de panelen en de aanwezigheid van obstructies die van invloed zijn op de openingshoek (view factor) van de panelen.

De door de simulator berekende verliesposten (op dagbasis) zijn:

- 1) reflectieverliezen (paneel)
- 2) instralingsverliezen (paneel, karakteristiek instraling)
- 3) temperatuurverliezen (paneel)
- 4) string-mismatch en mpp-tracking verliezen (paneel/inverter)
- 5) DC kabelverliezen (bekabeling, paneel)
- 6) inverter verliezen lineair (inverter, max. rendement)
- 7) inverter verliezen niet-lineair (inverter, rendementskarakteristiek)

Opmerkingen.

- Enkele 'bewezen' verliesposten zijn niet meegenomen in de simulatorberekening. Het betreft de effecten ten gevolge van spectral mismatch, degradatie en vervuiling.
- De verliezen ten gevolge van string-mismatch en mpp-tracking worden verrekend middels een vaste percentuele stelpost of "lump-sum" van 1,35%.

Resultaten van de simulatie.

In de tabel 2 en 3 is een overzicht gegeven van de horizontale instraling en de berekende jaarlijkse Tilt Factoren (TF) voor de verschillende systemen, oriëntaties en hellingshoeken. Zoals uit de tabellen blijkt is het jaar 2000 een jaar met een matige instraling. Het jaar 2008 daarentegen wordt gekenmerkt door een hoge instraling.

Tabel 2.
Jaarlijkse Tilt Factor (jaar 2000)
per locatie en per pv-systeem.

jaar 2000	globale straling (horizontaal)	systeem 1 TF zuid 30	systeem 2 TF zuid 45	systeem 3 TF west 30	systeem 4 TF west 45
DEKOOY	1001	1,09	1,07	0,92	0,85
EELDE	918	1,08	1,05	0,92	0,85
DEBILT	939	1,09	1,06	0,92	0,85
VLISSINGEN	1024	1,10	1,07	0,92	0,85
MAASTRICHT	982	1,08	1,05	0,92	0,85

Tabel 3.
Jaarlijkse Tilt Factor (jaar 2008)
per locatie en per pv-systeem.

jaar 2008	globale straling (horizontaal)	systeem 1 TF zuid 30	systeem 2 TF zuid 45	systeem 3 TF west 30	systeem 4 TF west 45
DEKOOY	1124	1,13	1,12	0,92	0,86
EELDE	1012	1,10	1,08	0,92	0,85
DEBILT	1008	1,11	1,09	0,92	0,85
VLISSINGEN	1075	1,12	1,11	0,92	0,85
MAASTRICHT	1023	1,10	1,07	0,92	0,85

Resultaten van de PR berekeningen.

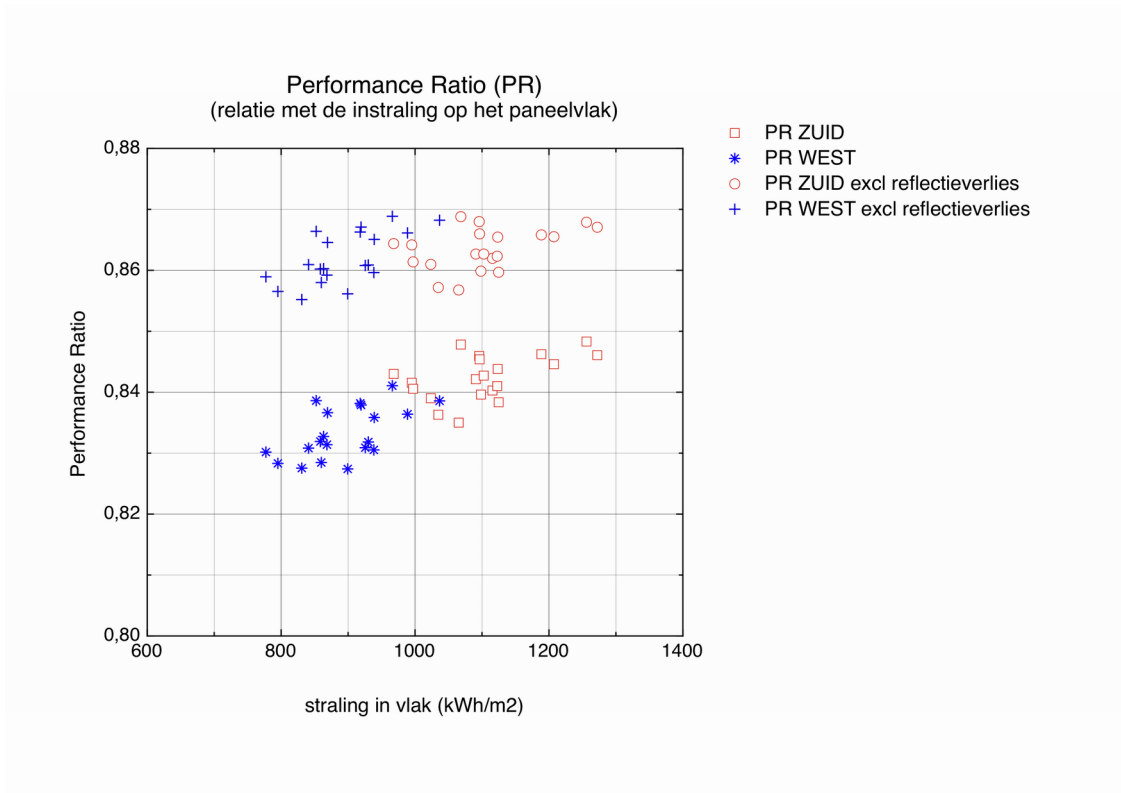
De resultaten van de PR berekeningen zijn in Tabel 4 samengevat. Voor alle locaties en jaren is een gemiddelde PR berekend door sommatie van de uitkomsten volgens [1]. Ook is een uitsplitsing gemaakt naar individuele verliesposten. Zoals verwacht neemt de PR af naarmate de instraling op het vlak lager wordt. Hierdoor hebben de pv-systemen met een westelijke oriëntatie een lagere PR. Deze lagere PR wordt voor een groot deel veroorzaakt door de toegenomen reflectieverliezen. De laagst berekende PR was 82,7%, de hoogste PR bedroeg 84,8%.

In grafiek 1 zijn alle PR's geplot als functie van de instraling op het paneelvlak. De grafiek laat zien dat een toename van 50% in de vlakstraling tot gevolg heeft dat de PR met 1,6% toeneemt. Deze toename wordt voor een belangrijk deel veroorzaakt door afnemende reflectieverliezen. Ter illustratie toont grafiek 1 ook de PR exclusief de reflectieverliezen.

Tabel 4.
Resultaten berekende PR's en individuele verliesposten.
(voor alle systemen, per jaar, per oriëntatie en per hellingshoek)

	alle systemen	jaar 2000	jaar 2008	oriëntatie zuid	oriëntatie west	tilt 30 graden	tilt 45 graden
Performance Ratio	83,8%	83,8%	83,9%	84,3%	83,3%	83,8%	83,9%
reflectieverlies	2,8%	2,9%	2,8%	2,4%	3,3%	2,9%	2,8%
instralingsverlies	4,7%	5,0%	4,5%	4,1%	5,5%	4,6%	4,9%
temperatuurverlies	2,3%	2,1%	2,5%	2,7%	1,7%	2,4%	2,1%
mpp/string verlies	1,35%	1,35%	1,35%	1,35%	1,35%	1,35%	1,35%
DC kabelverlies	0,4%	0,4%	0,4%	0,4%	0,4%	0,4%	0,4%
inverterverlies (max. rendement)	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%
inverterverlies (niet-lineair)	0,7%	0,7%	0,7%	0,7%	0,6%	0,7%	0,7%

Grafiek 1.



Conclusie.

In dit onderzoek is gekeken naar de invloed van externe factoren op de jaarlijkse PR van pv-systemen met verschillende oriëntaties en hellingshoeken in een jaar met weinig straling (2000) en een jaar met veel straling (2008). Het onderzoek bestond uit het berekenen van de PR voor 20 fictieve pv-systemen op verschillende locaties in Nederland. De PR's zijn berekend met de Siderea PV Simulator en de gebruikte meetgegevens zijn afkomstig van verschillende KNMI meetstations.

Uit het onderzoek blijkt dat de berekende jaarlijkse PR in geringe mate afhankelijk is van externe factoren als instraling, hellingshoek, oriëntatie of luchttemperatuur. Zoals verwacht neemt de PR af naarmate de instraling op het vlak lager wordt. De pv-systemen met een westelijke oriëntatie hebben de laagste PR mede als gevolg van toegenomen reflectieverliezen. De laagst berekende PR was 82,7%, de hoogste PR bedroeg 84,8%. Een variatie in de vlakinstraling van 10% leidt tot een variatie in de PR van gemiddeld 0,4%. De PR exclusief reflectieverliezen blijkt vrijwel onafhankelijk van de instraling op het paneelvlak.

De conclusie is dat de Performance Ratio een uitstekende indicator is om pv-systemen te beoordelen op kwaliteit en correcte werking. De reden is de in dit onderzoek aangetoonde beperkte invloed die externe factoren hebben op de waarde van de PR.