

## Opbrengst van zonnepanelen op het zuiden afhankelijk van de dakhoek (slope) en de maand.

Op 11-3-2024 heb ik de notitie geschreven: “Opbrengst van zonnepanelen in december afhankelijk van de dakhoek (slope) en de stand t.o.v. het zuiden (azimuth)”. Op 20-3-2024 heb ik de notitie geschreven: “Opbrengst van zonnepanelen in juni afhankelijk van de dakhoek (slope) en de stand t.o.v. het zuiden (azimuth)”. Het lijkt zinnig om uit te zoeken hoe hoog de opbrengst voor andere maanden is maar om de zaak niet te gecompliceerd te maken, wordt nu alleen gekeken naar panelen die perfect op het zuiden staan en waarvoor de scheefhoek ofte wel de azimuth dus 0° is. De berekeningen werden uitgevoerd met behulp van de website van PVGIS Europe die als link heeft:

[https://joint-research-centre.ec.europa.eu/photovoltaic-geographical-information-system-pvgis\\_en](https://joint-research-centre.ec.europa.eu/photovoltaic-geographical-information-system-pvgis_en)

Op deze website klik je eerst op het blok “Photovoltaic performance”. Links op het blad dat dan opent, staat een kaartje. Je moet dan op Nederland klikken want anders werkt er niets. Je kunt dan rechts invullen hoeveel kW piek er totaal geïnstalleerd wordt. Je kunt ook de dakhoek ofte wel de hellingshoek (slope) en de scheefhoek t.o.v. het zuiden (azimuth) invullen. Als je dan klikt op het blok “Vizualize results” dan krijg je een staafdiagram met de opbrengst per maand in kWh. Als je de cursor op de staaf houdt, dan wordt de opbrengst in kWh gegeven.

Stel we kiezen het aantal zonnepanelen zodanig dat het piekvermogen 10 kW is. Hiervoor zijn ongeveer 24 panelen van 1,1 m breed, 1,75 m hoog en 430 W piek nodig. Voordelen van de keuze van 10 kW piek zijn dat de waardes voor een ander piekvermogen eenvoudig van die voor 10 kW piek afgeleid kunnen worden en dat bij afronding van de maandopbrengst op één kWh, maar een kleine fout gemaakt wordt.

De opbrengst wordt per maand gegeven maar de maanden zijn niet allemaal even lang en dit geeft een vertekend beeld. Daarom werd bepaald hoeveel uren er in elke maand zitten. Voor februari werd ervan uitgegaan dat deze maand 28 dagen = 672 uur heeft omdat het totaal aantal uren in een jaar dan precies deelbaar is door 12 en een gemiddelde maand dan 730 uur heeft. Als de maandopbrengst in kWh gedeeld wordt door het aantal uren in die maand dan krijgt men het gemiddelde vermogen in kW. Wordt deze waarde vermenigvuldigd met 1000, dan krijgt men het gemiddelde vermogen in W.

De berekeningen werden uitgevoerd voor vijf verschillende dakhoeken namelijk 15°, 30°, 45°, 60° en 75°. De opbrengst in kWh afgerond op 1 kWh en het vermogen in W afgerond op 1 W wordt gegeven in tabel 1.

Maand	Uren	Dakhoek 15°		Dakhoek 30°		Dakhoek 45°		Dakhoek 60°		Dakhoek 75°	
		kWh	W	kWh	W	kWh	W	kWh	W	kWh	W
januari	744	272	366	352	473	408	548	439	590	443	595
februari	672	420	625	500	744	551	820	569	847	557	829
maart	744	812	1091	899	1208	937	1259	927	1246	866	1164
april	720	1174	1565	1225	1633	1216	1621	1145	1527	1016	1355
mei	744	1308	1758	1303	1751	1242	1669	1121	1507	944	1269
juni	720	1313	1751	1280	1707	1198	1597	1060	1413	872	1163
juli	744	1292	1737	1270	1707	1196	1608	1067	1434	886	1191
augustus	744	1133	1523	1154	1551	1122	1508	1036	1392	898	1207
september	720	898	1197	969	1292	991	1321	961	1281	881	1175
oktober	744	585	786	680	914	736	989	750	1008	723	972
november	720	323	431	410	547	469	625	499	665	500	667
december	744	220	296	292	392	344	462	374	503	381	512
totaal	8760	9750	13126	10334	13919	10410	14027	9948	13413	8967	12099

Tabel 1 Opbrengst per maand afhankelijk van de dakhoek voor 10 kW piek en een scheefhoek van 0°

Uit tabel 1 blijkt dat de jaaropbrengst in kWh het hoogst is voor een dakhoek van 45° (10410 kWh) maar voor een dakhoek van 30° is hij maar iets lager (10334 kWh). De jaaropbrengst voor een dakhoek van 60° is nog weer wat lager (9948 kWh). Een grotere dakhoek dan 60° of een kleinere dakhoek dan 30° is niet aan te raden als alleen de jaaropbrengst belangrijk is wat het geval is als men mag salderen. Maar als de prijs die men in de winter voor een geleverde kWh ontvangt veel hoger is dan in de zomer, dan is een grote dakhoek juist gunstig.

Voor elke dakhoek kan nu voor elke maand bepaald wordt hoeveel procent de maandopbrengst in kWh is van de totale jaaropbrengst in kWh. Maar dit geeft een vertekend beeld omdat de maanden niet allemaal even lang zijn. Als de vermogens in W gesommeerd worden en het maandvermogen in W vergeleken wordt met dit gesommeerde vermogen in W, dan wordt de vertekening opgeheven. Dit geeft dus de percentages voor het geval alle twaalf maanden even lang zouden zijn. Het resultaat van deze laatste procedure wordt gegeven in tabel 2.

Maand	Uren	Dakhoek 15°		Dakhoek 30°		Dakhoek 45°		Dakhoek 60°		Dakhoek 75°	
		W	%	W	%	W	%	W	%	W	%
januari	730	366	2,79	473	3,40	548	3,91	590	4,40	595	4,92
februari	730	625	4,76	744	5,35	820	5,85	847	6,31	829	6,85
maart	730	1091	8,31	1208	8,68	1259	8,98	1246	9,29	1164	9,62
april	730	1565	11,92	1633	11,73	1621	11,56	1527	11,38	1355	11,20
mei	730	1758	13,39	1751	12,58	1669	11,90	1507	11,24	1269	10,49
juni	730	1751	13,34	1707	12,26	1597	11,39	1413	10,53	1163	9,61
juli	730	1737	13,23	1707	12,26	1608	11,46	1434	10,70	1191	9,84
augustus	730	1523	11,60	1551	11,14	1408	10,04	1392	10,38	1207	9,98
september	730	1197	9,12	1292	9,28	1321	9,42	1281	9,55	1175	9,71
oktober	730	786	5,99	914	6,57	989	7,05	1008	7,52	972	8,06
november	730	431	3,28	547	3,93	625	4,46	665	4,96	667	5,51
december	730	296	2,26	392	2,82	462	3,29	503	3,75	512	4,23
totaal	8760	13126	100	13919	100	14027	100	13413	100	12099	100

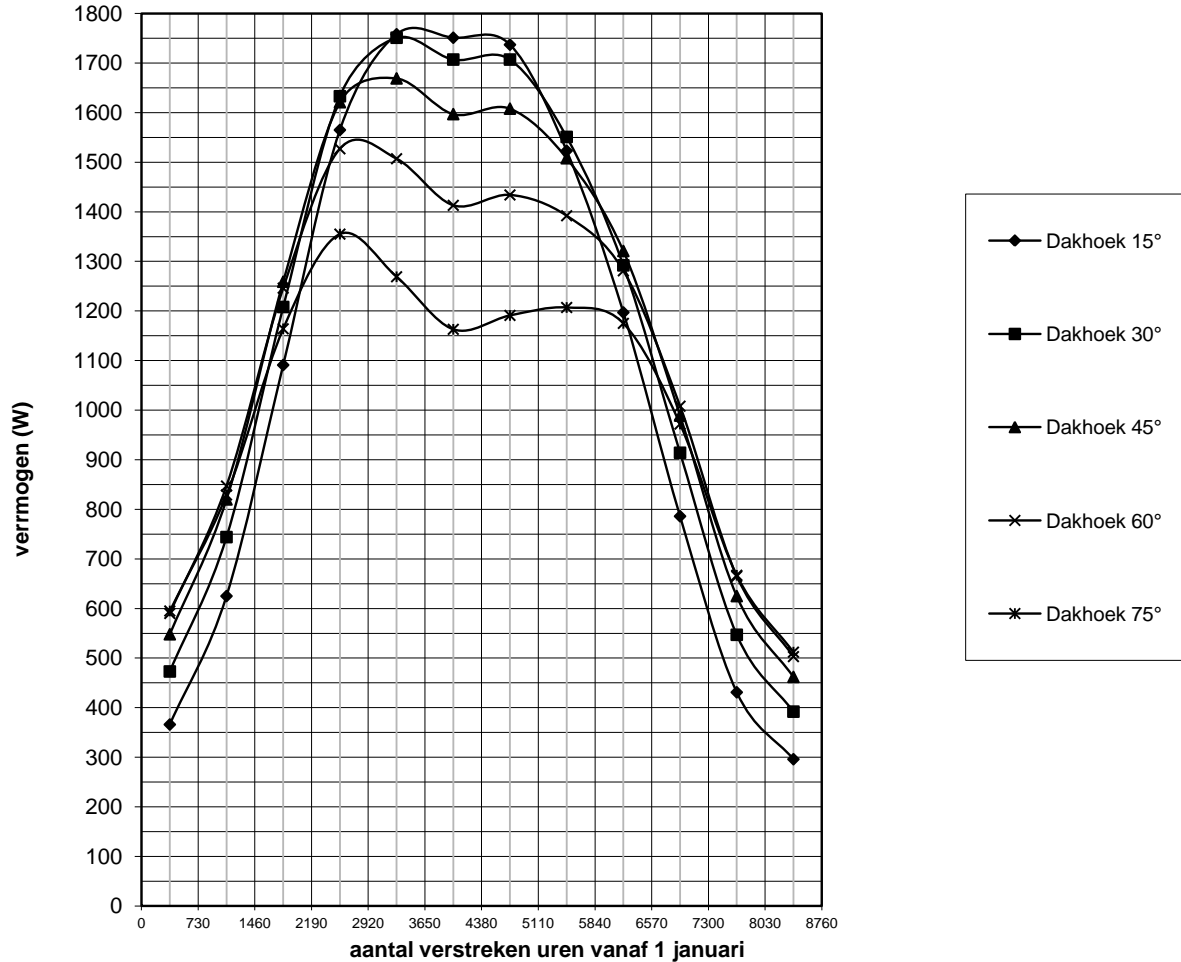
Tabel 2 Percentage van de jaaropbrengst als functie van de dakhoek voor gelijke maandlengtes

In tabel 2 is te zien dat bij een dakhoek van 75° in december 4,23 % van de jaaropbrengst geleverd wordt terwijl dat bij een dakhoek van 15° maar 2,26 % is.

December is de lastigste maand. Het geleverde vermogen in december is het hoogst voor een dakhoek van 75° (512 W) maar ook nog behoorlijk hoog voor een dakhoek van 60° (503 W). Bij grote dakhoeken is het vermogen het hoogst in april. Het is 1355 W voor een dakhoek van 75° en 1527 W voor een dakhoek van 60°. Het 512 – 503 = 9 W hogere vermogen in december voor een dakhoek van 75° in plaats van 60° geeft dus in april een verlaging van 1527 – 1355 = 172 W. Dit toont aan dat het niet zinnig is om de dakhoek groter dan 60° te kiezen.

Bij een dakhoek van 15° is het maximum vermogen 1758 W (in mei) en het minimum vermogen 296 W (in december). In december wordt dus een factor  $296 / 1758 = 0,168$  van het maximum vermogen geleverd wat een aanzienlijke onbalans van het net veroorzaakt. Bij een dakhoek van 60° is het maximum vermogen 1527 W (in april) en het minimum vermogen 503 W (in december). In december wordt dus een factor  $503 / 1527 = 0,329$  van het maximum vermogen geleverd waardoor de onbalans die op het net veroorzaakt wordt, aanzienlijk kleiner is.

Om het geleverde vermogen uit tabel 1 of 2 grafisch te kunnen weergeven werd het totaal aantal uren per jaar op de x-as gezet. Er werd aangenomen dat elke maand  $8760 / 12 = 730$  uur heeft. De gevonden vermogens werden weergegeven voor het midden van de maand en voor januari dus na  $730 / 2 = 365$  uur. Voor februari dus na  $365 + 730 = 1095$  uur. Voor maart dus na  $1095 + 730 = 1825$  uur, enz. De gevonden vermogens worden gegeven in figuur 1 als functie van het aantal uren dat verstreken is vanaf 1 januari, 0 uur.



Figuur 1 Opgewekt vermogen bij 10 kW piek als functie van de dakhoek en het aantal verstreken uren vanaf 1 januari voor gelijke maandlengtes en een scheefhoek van 0°

Bij een maand van 730 uur loopt januari dus van 0 tot 730 uur. Februari loopt van 730 tot 1460 uur. Maart loopt van 1460 tot 2190 uur, enz.

In figuur 1 is te zien dat er een dip in alle krommen zit voor 4015 uur, dus voor midden juni. De dip is het grootst voor een dakhoek van 75°. Hoewel de maximale zonshoogte het grootst is in juni (ongeveer 62°) levert juni dus niet het maximale vermogen. Het kan zijn dat dit komt omdat er in juni gemiddeld meer bewolking is of omdat de panelen in juni eigenlijk te warm worden waardoor het rendement lager wordt. De dip bij grote dakhoeken wordt veroorzaakt doordat vanwege de grote maximale zonshoogte in juni, het oppervlak van het paneel, geprojecteerd haaks op de zonnestralen, aanmerkelijk kleiner is dan het werkelijke paneeloppervlak.

Een dakhoek van 60° levert in december 503 W. Een dakhoek van 15° levert in december 296 W. Een dakhoek van 60° levert in december dus een factor  $503 / 296 = 1,699$  meer dan een dakhoek van 15°. Een dakhoek van 60° levert in mei 1507 W. Een dakhoek van 15° levert in mei 1758 W. Een dakhoek van 60° levert in mei dus een factor  $1507 / 1758 = 0,857$  minder dan een dakhoek van 15°. Het absolute verschil in december is  $503 - 296 = 207$  W. Het absolute verschil in mei is  $1758 - 1507 = 251$  W wat dus wel wat hoger is. Als we de jaaropbrengsten, zoals die in tabel 1 gegeven worden, met elkaar vergelijken dan zien we dat voor een dakhoek van 60° een jaaropbrengst van 8967 kWh geldt en dat voor een dakhoek van 15° een jaaropbrengst van 9750 kWh. Dat scheelt dus  $9750 - 8967 = 783$  kWh. Zolang de salderingsregeling geldt, is een kleine dakhoek dus goed te verdedigen. Maar als deze afgeschaft wordt, dan is 's winters geleverde energie veel meer waard dan 's zomers geleverde energie en dan is de veel hogere opbrengst in december en januari bij een grote dakhoek juist erg belangrijk om een hoog rendement van de investering te verkrijgen.