

Opbrengst van zonnepanelen in juni afhankelijk van de dakhoek (slope) en de stand t.o.v. het zuiden (azimuth).

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)”. December is de maand met de laagste maximale zonhoogte en de opbrengst van zonnepanelen is daarom het laagst in december. Juni is de maand met de hoogste maximale zonhoogte en verwacht zou kunnen worden dat de opbrengst in juni daarom het hoogst is. Maar dit is niet voor elke dakhoek en scheefhoek het geval. Voor grote dakhoeken is de opbrengst in april of mei net wat hoger. Maar om de opbrengsten met elkaar te kunnen vergelijken, wordt toch overal de maand juni aangehouden voor deze nieuwe notitie.

Momenteel geldt de salderingsregeling nog. Dit betekent dat men voor 's zomers geleverde energie net zo veel terug krijgt als men voor 's winters afgenomen energie moet betalen, mits men netto in één jaar niet meer teruglevert dan men afneemt. Maar het ligt voor de hand dat deze salderingsregeling een keer afgeschaft gaat worden omdat het voordeel dat de eigenaren van zonnepanelen hiermee hebben, betaald wordt door degenen die geen zonnepanelen hebben. Als de regeling afgeschaft wordt, dan is de energie die 's zomers geleverd wordt veel minder waard dan de energie die 's winters geleverd wordt.

Als de stand van de zonnepanelen zo afgesteld zou worden dat opbrengst in december maximaal is, dan is het goed om te weten hoe sterk de opbrengst daardoor in juni gereduceerd wordt. Maar het is niet alleen het verschil in opbrengst dat van belang is. Het gaat uiteindelijk om het product van de opbrengst maal de gemiddelde kWh prijs die voor een bepaalde maand geldt. De berekeningen voor juni 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

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 “Visualize 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. Ik heb wat gespeeld met diverse dakhoeken en de hoogste opbrengst in juni wordt verkregen bij een dakhoek van ongeveer 15° en een scheefhoek van 0°.

Ik heb nu de opbrengst in juni bepaald voor vijf verschillende dakhoeken namelijk 15°, 30°, 45°, 60° en 75° en voor zeven verschillende hoeken t.o.v. het zuiden namelijk 0°, 15°, 30°, 45°, 60°, 75° en 90°. Een positieve azimuth betekent dat de richting draait naar het westen. Ik heb ook een negatieve azimuth, dus draaiing naar het oosten, geprobeerd maar dat levert nagenoeg hetzelfde resultaat op als bij draaiing naar het westen. Azimuth wordt afgekort tot az. De opbrengst wordt gegeven in een staafdiagram. De opbrengst in kWh afgerond op 1 kWh wordt gegeven in tabel 1.

Dakhoek	az. = 0°	az. = 15°	az. = 30°	az. = 45°	az. = 60°	az. = 75°	az. = 90°
15°	1322 kWh	1320 kWh	1317 kWh	1313 kWh	1305 kWh	1293 kWh	1279 kWh
30°	1290 kWh	1292 kWh	1289 kWh	1286 kWh	1273 kWh	1252 kWh	1224 kWh
45°	1208 kWh	1209 kWh	1213 kWh	1214 kWh	1204 kWh	1182 kWh	1150 kWh
60°	1070 kWh	1074 kWh	1086 kWh	1095 kWh	1093 kWh	1073 kWh	1040 kWh
75°	879 kWh	887 kWh	908 kWh	935 kWh	941 kWh	926 kWh	899 kWh

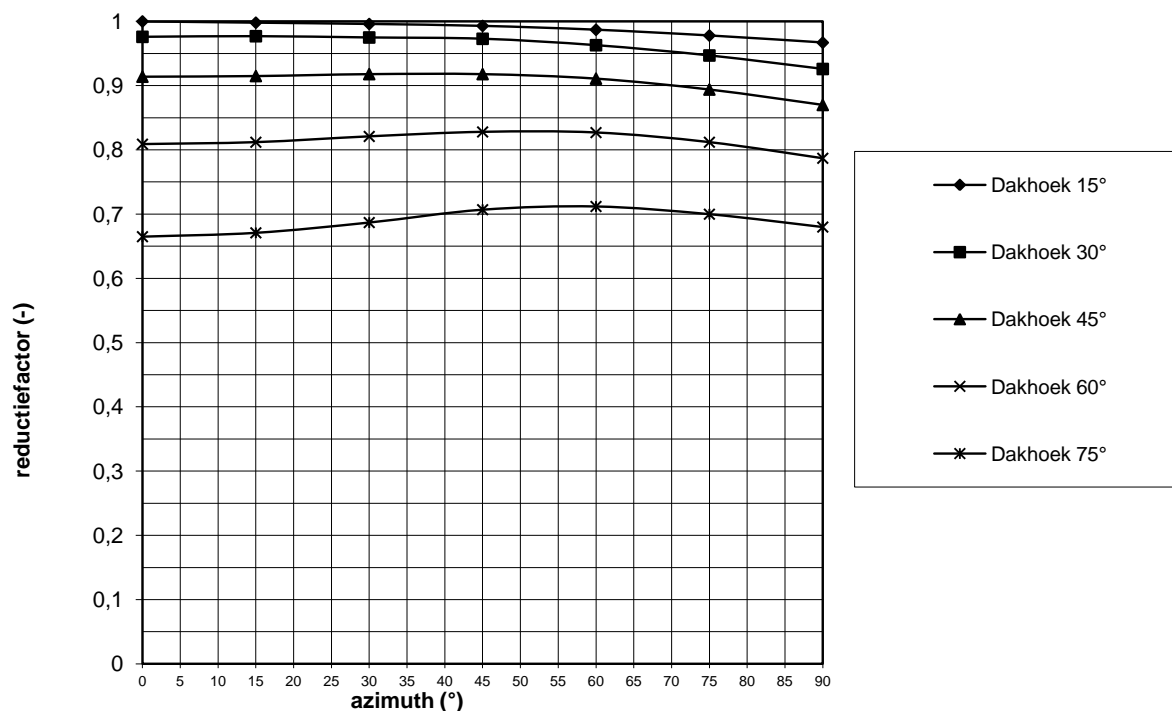
Tabel 1 Opbrengst in juni in kWh afhankelijk van de dakhoek en de azimuth voor 10 kW piek

De opbrengst in juni blijkt het hoogst te zijn voor een dakhoek van 15° en een scheefhoek van 0°. Deze opbrengst is 1322 kWh. Als we alle berekende waarden delen door 1322 dan krijgen we de reductiefactor waarmee de maximale opbrengst gereduceerd wordt als gevolg van een andere dakhoek dan 15° en een bepaalde azimuth. De reductiefactoren worden gegeven in tabel 2.

Dakhoek	az. = 0°	az. = 15°	az. = 30°	az. = 45°	az. = 60°	az. = 75°	az. = 90°
15°	1	0,998	0,996	0,993	0,987	0,978	0,967
30°	0,976	0,977	0,975	0,973	0,963	0,947	0,926
45°	0,914	0,915	0,918	0,918	0,911	0,894	0,870
60°	0,809	0,812	0,821	0,828	0,827	0,812	0,787
75°	0,665	0,671	0,687	0,707	0,712	0,700	0,680

Tabel 2 Reductiefactoren in juni t.o.v. een dakhoek van 15° en een azimuth van 0°

De gevonden reductiefactoren worden gegeven in figuur 1 als functie van de azimuth.



Figuur 1 Reductiefactor als functie van de dakhoek en de azimuth t.o.v. een paneel met een dakhoek van 15° en een azimuth van 0° voor de maand juni

In figuur 1 is te zien dat de daling van de reductiefactor voor kleine dakhoeken maar beperkt verandert voor toenemende scheefhoek. Voor een dakhoek van 75° neemt de reductiefactor eerst nog behoorlijk toe bij toenemende scheefhoek. De reductiefactor voor een dakhoek van 45° is voor bijna alle scheefhoeken nog hoger dan 0,9. In de notitie met de opbrengst voor december werd gevonden dat de opbrengst in december voor een scheefhoek van 45° maar beperkt lager is dan voor een dakhoek van 75°. Een vaste dakhoek van 45° is daarom een goede keus. Maar als men een rij panelen in de tuin heeft staan dan kan men die instelbaar maken en 's zomers een dakhoek van 15° en 's winters een dakhoek van 75° gebruiken.

Panelen in zonneparken worden vaak zo opgesteld dat de dakhoek 15° is en dat de helft van de panelen naar het westen en de andere helft naar het oosten gericht is. De scheefhoek is daardoor 90° en -90°. In figuur 1 en tabel 2 is af te lezen dat de reductiefactor voor 90°, 0,967 is. Deze opstelling is dus best gunstig in de zomer. In figuur 1 van de notitie voor december is af te lezen dat de reductiefactor in december maar 0,357 is voor een dakhoek van 15° en een scheefhoek van 90°.

De opbrengst in juni is 1279 kWh voor een dakhoek van 15° en een scheefhoek van 90°. De opbrengst in december is 129 kWh voor een dakhoek van 15° en een scheefhoek van 90°. De opbrengst in december is dus een factor $129 / 1279 = 0,101$ lager. Dergelijke zonneparken veroorzaken dus een enorme onbalans op het net. Doordat er 's zomers midden op de dag veel te veel geleverd wordt is de geleverde energie dan maar weinig en soms zelf helemaal niets waard terwijl geleverde energie 's winters veel meer waard is. Ik denk dan ook dat men nieuwe zonneparken beter kan optimaliseren voor december in plaats van voor een maximale jaaropbrengst.

Met behulp van de notities voor december en juni kan nu eenvoudig het verschil bepaald worden voor een systeem dat geoptimaliseerd is voor een maximale jaaropbrengst voor een bepaald grondoppervlak en een systeem dat geoptimaliseerd is voor een maximale opbrengst in december. Stel we hebben 24 zonnepanelen van 430 W piek en dus totaal 10320 W piek = 10.32 kW piek afgerond op 10 kW piek. Dit is dus hetzelfde piekvermogen als gebruikt werd in de rekenvoorbeelden van beide notities.

Stel systeem 1 bestaat uit 12 panelen op exact het oosten en 12 panelen op exact het westen onder een dakhoeck van 15°. De panelen liggen met de hoge kant tegen elkaar. Aangenomen wordt dat een paneel op het oosten dezelfde opbrengst heeft als een paneel op het westen. In tabel 1 van de notitie voor juni kan worden afgelezen dat de opbrengst in juni voor een dakhoeck van 15° en een scheefhoek van 90°, 1279 kWh is. In tabel 1 van de notitie voor december kan worden afgelezen dat de opbrengst in december voor een dakhoeck van 15° en een scheefhoek van 90°, 129 kWh is.

Stel systeem 2 bestaat uit 24 panelen op exact het zuiden met een dakhoeck van 60°. In tabel 1 van de notitie voor juni kan worden afgelezen dat de opbrengst in juni voor een dakhoeck van 60° en een scheefhoek van 0°, 1070 kWh is. In tabel 1 van de notitie voor december kan worden afgelezen dat de opbrengst in december voor een dakhoeck van 60° en een scheefhoek van 0°, 355 kWh is.

Systeem 2 geeft dus in juni $1279 - 1070 = 209$ kWh minder dan systeem 1. Systeem 2 geeft in december $355 - 129 = 226$ kWh meer dan systeem 1. De afname van de opbrengst in juni wordt dus ruim gecompenseerd door de toename van de opbrengst in december. Als de salderingsregeling niet toegepast mag worden, wat het geval is voor zonneparken en voor het deel dat particulieren meer opwekken dan ze zelf per jaar zelf gebruiken, is een geleverde kWh in juni veel minder waard dan een geleverde kWh in december. Het rendement van de investering in de zonnepanelen en de omvormer is daardoor veel hoger voor systeem 2 dan voor systeem 1.

In dit rekenvoorbeeld werd juni met december vergeleken omdat die maanden een half jaar uit elkaar liggen. Voor een nauwkeurigere analyse zouden tabellen voor elke maand gemaakt moeten worden en zou de jaaropbrengst berekend moeten worden door de opbrengst van een bepaald systeem voor alle maanden bij elkaar op te tellen. Men zou ook moeten weten hoe groot het verschil in gemiddelde kWh prijs is voor elke maand.

Wat nog niet meegenomen werd dat is het grondgebruik. Bij de systeem 1 ligt er tussen een rij met panelen op het oosten en het westen maar een klein strookje grond dat nodig is om de panelen te kunnen inspecteren en wassen. Bij de systeem 2 moet er tussen de rijen wel een strook liggen met een breedte van drie maal de paneelhoogte om te voorkomen dat de panelen in elkaars schaduw komen te liggen. Dit houdt in dat er bij systeem 1 op een bepaald stuk grond ongeveer drie maal zoveel panelen gelegd kunnen worden als bij systeem 2. De bijdrage van de grondkosten aan de totale kosten is daardoor hoger bij systeem 2. Ik denk echter dat de grondkosten maar een klein deel zijn van de totale kosten van het hele zonnepark. De veel hogere waarde van geleverde energie in de winter dan in de zomer, zal de hogere grondkosten van systeem 2 ruimschoots compenseren. Daarbij komt nog dat de vrij blijvende strook grond tussen de panelen gebruikt kan worden om een gewas op te kweken en dat zou toch ook nog wat moeten kunnen opleveren.

Systeem 2 geeft ook een veel kleinere onbalans van het net. De opbrengst is in december 355 kWh en in juni 1070 kWh. De opbrengst in december is dus een factor $355 / 1070 = 0,332$ van de opbrengst in juni. Eerder werd al berekend dat deze verhouding 0,101 is voor systeem 1.

Het voordeel van een grote dakhoeck is ook dat smeltende sneeuw veel gemakkelijker van de panelen zal afglijden dan bij een kleine dakhoeck. Bij een grote dakhoeck zal men ook minder last van stof en bladeren hebben waardoor panelen met een grote dakhoeck minder vaak gereinigd hoeven te worden. Een ander belangrijk voordeel van een grote dakhoeck is dat de panelen dan minder kwetsbaar zijn voor schade door grote hagelstenen. In Texas zijn onlangs duizenden vlak liggende panelen vernietigd door golfbal grote hagelstenen.

Berekeningen voor juni voor een dakhoeck van 90° en scheefhoeken tot 180°

In figuur 1 wordt geen kromme gegeven voor een dakhoeck van 90°. Momenteel zijn er tweezijdige panelen op de markt die ook energie leveren aan de achterkant van het paneel en waarbij de som van beide kanten bijna net zoveel oplevert als twee enkelzijdige panelen die met de achterkant tegen elkaar geplaatst worden (zie Wikipedia Bifacial solar cells). Voor tweezijdige panelen kunnen op de website van PVGIS Europe geen berekeningen uitgevoerd worden maar de berekeningen voor enkelzijdige panelen kunnen wel uitgevoerd worden voor grotere scheefhoeken dan 90°. Voor december werd dat al gedaan in mijn notitie: “Opbrengst van zonnepanelen met een dakhoeck van 90° en 75° in december afhankelijk van de stand t.o.v. het zuiden (azimuth)”.

Tweezijdige panelen worden vaak onder een dakhoek van 90° opgesteld. Voor juni werd nu voor een dakhoek van 90° ook de opbrengst bepaald voor 10 kW piek en voor scheefhoeken van 0° tot 180° en die werden vergeleken met de opbrengst voor een dakhoek van 15° waarvoor de scheefhoeken nu ook lopen van 0° tot 180° . De gevonden waarden staan in tabel 2.

Dakhoek	az. = 0°	az. = 15°	az. = 30°	az. = 45°	az. = 60°	az. = 75°	az. = 90°	az. = 105°	az. = 120°	az. = 135°	az. = 150°	az. = 165°	az. = 180°
15°	1322 kWh	1320 kWh	1316 kWh	1312 kWh	1302 kWh	1291 kWh	1277 kWh	1260 kWh	1246 kWh	1235 kWh	1227 kWh	1222 kWh	1221 kWh
90°	653 kWh	658 kWh	692 kWh	733 kWh	750 kWh	752 kWh	728 kWh	679 kWh	624 kWh	542 kWh	454 kWh	385 kWh	345 kWh

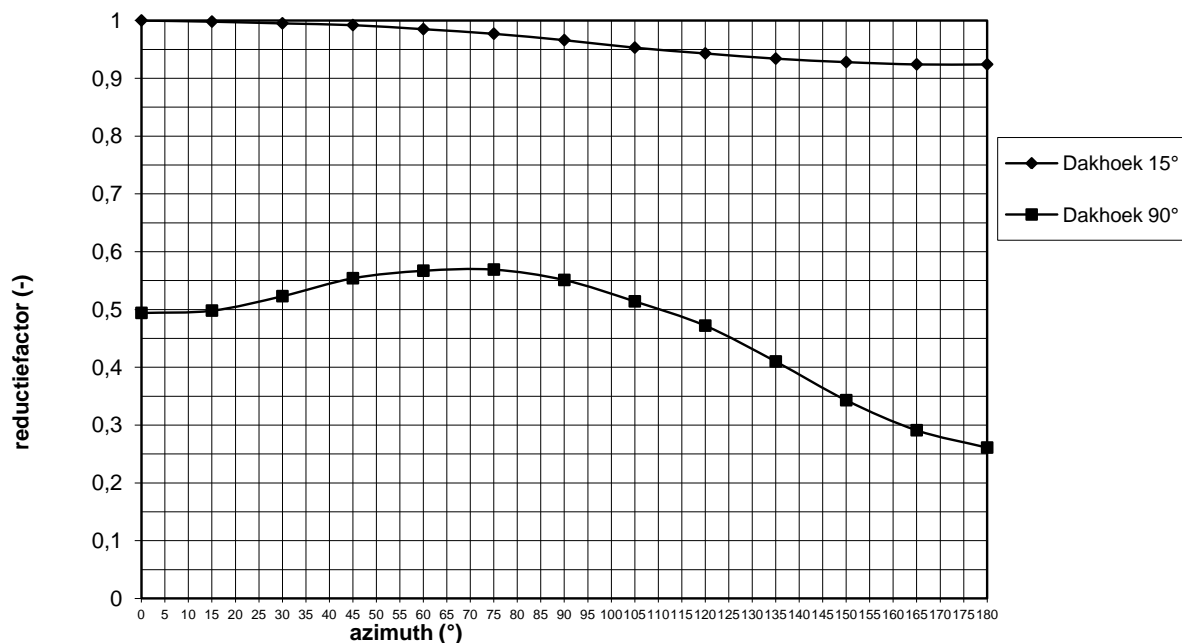
Tabel 2 Opbrengst van zonnepanelen met een dakhoek van 15° en 90° in juni in kWh afhankelijk van de azimuth voor 10 kW piek

In tabel 2 is te zien dat de opbrengst het hoogst is voor een dakhoek van 15° en een azimuth van 0° . Deze opbrengst is 1322 kWh. Als we alle berekende waarden delen door 1322 dan krijgen we de reductiefactor waarmee de maximale opbrengst gereduceerd wordt als gevolg van een dakhoek van 90° en een bepaalde azimuth. De reductiefactoren worden gegeven in tabel 3.

Dakhoek	az. = 0°	az. = 15°	az. = 30°	az. = 45°	az. = 60°	az. = 75°	az. = 90°	az. = 105°	az. = 120°	az. = 135°	az. = 150°	az. = 165°	az. = 180°
15°	1	0,998	0,995	0,992	0,985	0,977	0,966	0,953	0,943	0,934	0,928	0,924	0,924
90°	0,494	0,498	0,523	0,554	0,567	0,569	0,551	0,514	0,472	0,410	0,343	0,291	0,261

Tabel 3 Reductiefactoren in juni t.o.v. een dakhoek van 15° en een azimuth van 0°

De gevonden reductiefactoren worden voor de twee dakhoeken 15° en 90° gegeven in figuur 2 als functie van de azimuth.



Figuur 2 Reductiefactor als functie van de dakhoek en de azimuth t.o.v. een paneel met een dakhoek van 15° en een azimuth van 0° voor de maand juni

Het is zinloos om voor een dakhoek van 15° en een scheefhoek van 0° een tweezijdig paneel te gebruiken omdat de dakhoek voor de achterkant van het paneel dan 165° is en de achterkant dus haast geen licht zal ontvangen. Met het programma van PVGIS Europe kunnen trouwens ook geen berekeningen uitgevoerd worden voor dakhoeken groter dan 90° . Voor een dakhoek van 90° kan wel de kromme uit figuur 2 gebruikt worden om er achter te komen wat het effect is van een tweezijdig paneel voor verschillende scheefhoeken.

Stel we hebben voor de voorkant een scheidingshoek van 0° . De scheidingshoek voor de achterkant is dan 180° . De reductiefactor voor de voorkant is dan 0,494 en voor de achterkant is dan 0,261. Als het totaalrendement van de voor- en de achterkant samen 100 % is, dan is de totale reductiefactor $0,494 + 0,261 = 0,755$. Stel we hebben voor de voorkant een scheidingshoek van 90° . Voor de achterkant hebben we dan een scheidingshoek van 270° . Aangenomen wordt dat de reductiefactor voor 270° gelijk is aan die voor 90° . De reductiefactor voor de voorkant is dan 0,551 en voor de achterkant is ook 0,551. De totale reductiefactor is dan 1,102. Dit is behoorlijk wat hoger dan de totale reductiefactor voor een scheidingshoek van 0° . In de zomer is bij het gebruik van tweezijdige panelen een scheidingshoek van 90° dus gunstiger dan een scheidingshoek van 0° . Maar in de notitie voor december werd gevonden dat in december een scheidingshoek van 90° juist veel ongunstiger is dan een scheidingshoek van 0° . Omdat de opgewekte energie in de winter veel meer waard is dan in de zomer, is het gebruik van tweezijdige panelen met een dakhoek van 90° die exact op het zuiden staan toch gunstiger dan tweezijdige panelen die een scheidingshoek van 90° hebben.

Omdat de totale reductiefactor bij tweezijdige panelen en een scheidingshoek van 90° wat groter is dan 1, wekken tweezijdige panelen in de zomer wel wat meer op dan eenzijdige panelen met een dakhoek van 15° die onder een scheidingshoek van 0° staan. Als tweezijdige panelen maar weinig duurder zijn dan eenzijdige panelen dan kan dit voor de zomer dus toch een betere keuze zijn. Het is wel zo dat de panelen met een dakhoek van 90° en een scheidingshoek van 90° bij een zonnepark een behoorlijk eind uit elkaar moeten staan omdat ze anders in elkaars schaduw staan en dat men op een hectare dus veel minder panelen kwijt kan dan bij panelen met een dakhoek van 15° .