ing Adriaan Kragten, Sint-Oedenrode 2-7-2025, herzien 4-7-2025

Opbrengst van zonnepanelen met een dakhoek van 75°, 80°, 85° en 90° in december en juni afhankelijk van de stand t.o.v. het zuiden (azimuth).

1 Opbrengst in december

In mijn notitie: "Opbrengst van zonnepanelen met een dakhoek van 90° en 75° in december en juni afhankelijk van de stand t.o.v. het zuiden (azimuth)" van 14-3-2024 wordt in figuur 1 de reductiefactor gegeven voor december voor dakhoeken van 75° en 90° en scheefhoeken van 0° tot 180° oplopend met 15° t.o.v. een paneel met een dakhoek van 75° dat precies naar het zuiden gericht is. In figuur 2 wordt de reductiefactor gegeven voor juni. Momenteel ben ik bezig met het ontwerp van een gebouw waarop zonnepanelen geplaatst worden met een dakhoek die tussen 75° en 90° zal liggen en daarom werd ook de reductiefactor voor dakhoeken van 80° en 85° bepaald. Grotere scheefhoeken dan 90° zijn nu niet van belang. Met behulp van de website van PVGIS Europe werden berekeningen uitgevoerd voor dakhoeken van 75°, 80°, 85° en 90° en scheefhoeken tussen 0° en 90° oplopend met 15°. De website van PVGIS Europe heeft als link:
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 "Visualise 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 0,1 kWh, maar een kleine fout gemaakt wordt. Een positieve azimuth betekent dat de richting rechtsom draait naar het westen. Ik heb ook een negatieve azimuth, dus draaiing linksom 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 in het staafdiagram afgelezen opbrengst in kWh afgerond op 0,1 kWh wordt gegeven in tabel 1. Ik heb ook nog een dakhoek van 70° geprobeerd maar deze dakhoek geeft in december nagenoeg dezelfde opbrengst als een dakhoek van 75°.

Dakhoek	az. = 0°	az. = 15°	az. = 30°	az. = 45°	az. = 60°	az. = 75°	az. = 90°
75°	350,6 kWh	338,3 kWh	307,4 kWh	260,4 kWh	204,4 kWh	149,7 kWh	102,0 kWh
80°	347,7 kWh	335,3 kWh	303,7 kWh	255,7 kWh	198,9 kWh	144,1 kWh	96,7 kWh
85°	342,6 kWh	330,0 kWh	298,0 kWh	249,3 kWh	192,4 kWh	138,0 kWh	91,2 kWh
90°	335,2 kWh	322,5 kWh	290,3 kWh	241,3 kWh	184,7 kWh	131,1 kWh	85,3 kWh

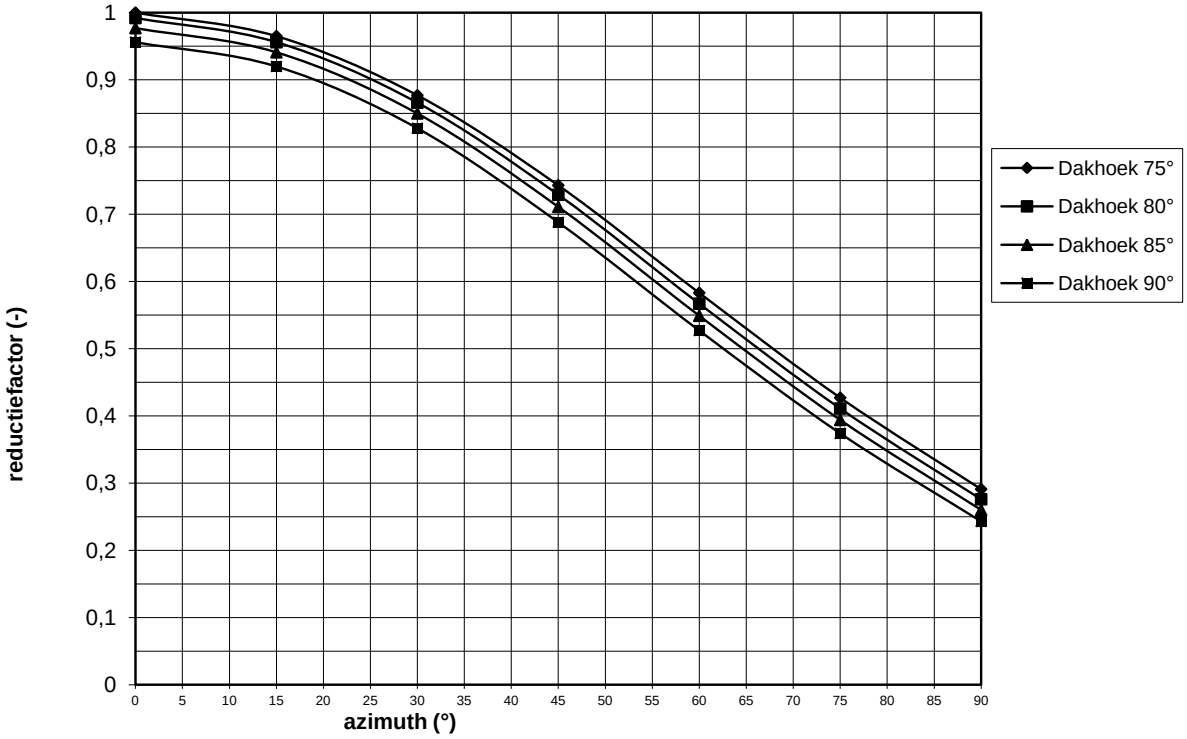
Tabel 1 Opbrengst van zonnepanelen met een dakhoek van 75°, 80°, 85° en 90° in december in kWh afhankelijk van de azimuth voor 10 kW piek

In tabel 1 is te zien dat de opbrengst het hoogst is voor een dakhoek van 75° en een azimuth van 0°. Deze opbrengst is 350,6 kWh. Als we alle berekende waarden delen door 350,6 dan krijgen we de reductiefactor waarmee de maximale opbrengst gereduceerd wordt als gevolg van een dakhoek die groter is dan 75° 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°
75°	1	0,965	0,877	0,743	0,583	0,427	0,291
80°	0,992	0,956	0,866	0,729	0,567	0,411	0,276
85°	0,977	0,941	0,850	0,711	0,549	0,394	0,260
90°	0,956	0,920	0,828	0,688	0,527	0,374	0,243

Tabel 2 Reductiefactoren in december t.o.v. een dakhoek van 75° en een azimuth van 0°

De gevonden reductiefactoren worden voor de vier dakhoeken 75°, 80°, 85° en 90° 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 75° en een azimuth van 0° voor de maand december

In figuur 1 is te zien dat de daling van de reductiefactor nog maar beperkt is voor een azimuth kleiner dan ongeveer 20°. De kromme voor een dakhoek van 80° ligt iets lager dan de kromme voor een dakhoek van 75°. De kromme voor een dakhoek van 85° ligt iets lager dan de kromme voor een dakhoek van 80°. De kromme voor een dakhoek van 90° ligt iets lager dan de kromme voor een dakhoek van 85°.

Bij grote scheefhoeken neemt de opbrengst sterk af. Bij een scheefhoek van 90° en een dakhoek van 75° is de opbrengst nog maar een factor 0,291 van de opbrengst voor een dakhoek van 75° en een scheefhoek van 0°. Bij een scheefhoek van 90° en een dakhoek van 90° is de opbrengst nog maar een factor 0,243 van de opbrengst voor een dakhoek van 75° en een scheefhoek van 0°.

Panelen met een grote dakhoek zijn in de zomer veel slechter dan panelen met een kleine dakhoek. Dit wordt aangetoond in mijn notitie: “Opbrengst van zonnepanelen op het zuiden afhankelijk van de dakhoek (slope) en de maand”. Maar als de salderingsregeling komt te vervallen dan is de waarde van de opgewekte energie in de winter veel hoger dan die van de opgewekte energie in de zomer en daardoor is het toch gunstiger om het systeem te optimaliseren voor de winter.

2 Opbrengst in juni

Tot nu toe werd alleen de opbrengst in december bekeken omdat dit de meest kritische maand is. In mijn notitie: “Opbrengst van zonnepanelen op het zuiden afhankelijk van de dakhoek (slope) en de maand” is te zien dat de opbrengst voor een dakhoek van 90° in de zomermaanden ongeveer de helft is van de opbrengst voor een dakhoek van 15°. Maar in deze notitie staan de panelen op het zuiden en is de oriëntatie O-W en de scheefhoek of azimuth dus 0°. Om panelen met een zeer grote dakhoek te kunnen beoordelen voor de zomer is het nodig om ook grafieken voor juni te maken. Dit werd op dezelfde manier gedaan als voor december.

Stel we kiezen het aantal zonnepanelen zodanig dat het piekvermogen 10 kW is. Ik heb de opbrengst in december bepaald voor vier verschillende dakhoeken namelijk 75°, 80°, 85° en 90° en voor zeven verschillende scheefhoeken t.o.v. het zuiden. Een positieve azimuth betekent dat de richting rechtsom draait naar het westen. Ik heb ook een negatieve azimuth, dus draaiing linksom 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 in het staafdiagram afgelezen opbrengst in kWh afgerond op 0,1 kWh wordt gegeven in tabel 3.

Dakhoek	az. = 0°	az. = 15°	az. = 30°	az. = 45°	az. = 60°	az. = 75°	az. = 90°
75°	886,4 kWh	890,8 kWh	909,3 kWh	934,7 kWh	939,6 kWh	925,3 kWh	896,7 kWh
80°	814,0 kWh	820,2 kWh	843,4 kWh	865,8 kWh	883,0 kWh	870,8 kWh	846,4 kWh
85°	737,4 kWh	745,8 kWh	773,7 kWh	802,6 kWh	813,2 kWh	815,5 kWh	783,5 kWh
90°	667,2 kWh	662,2 kWh	696,6 kWh	736,6 kWh	753,0 kWh	755,3 kWh	730,5 kWh

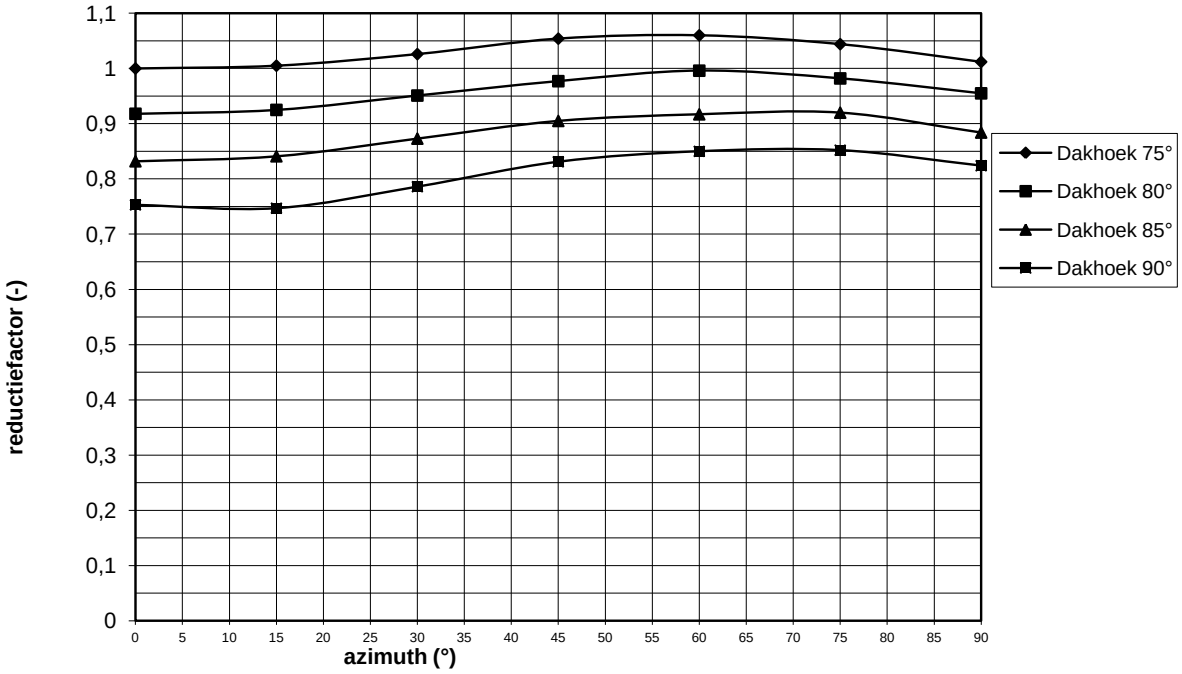
Tabel 3 Opbrengst van zonnepanelen met een dakhoek van 75°, 80°, 85° en 90° in juni in kWh afhankelijk van de azimuth voor 10 kW piek

In tabel 3 is te zien dat de opbrengst voor een dakhoek van 75° hoger is dan voor dakhoeken van 80°, 85° en 90°. De opbrengst voor een dakhoek van 75° is echter niet maximaal voor een scheefhoek van 0° maar voor een scheefhoek van 60°. Toch wordt de opbrengst van 886,4 kWh voor een dakhoek van 75° en een scheefhoek van 0° als referentie opbrengst genomen en wordt de reductiefactor t.o.v. deze waarde bepaald net zoals dat ook voor december gedaan werd. Sommige reductiefactoren worden hierdoor groter dan 1. Als we alle berekende waarden delen door 886,4 dan krijgen we de reductiefactor waarmee de maximale opbrengst gereduceerd wordt als gevolg van een dakhoek groter dan 75° en een bepaalde azimuth. De reductiefactoren worden gegeven in tabel 4.

Dakhoek	az. = 0°	az. = 15°	az. = 30°	az. = 45°	az. = 60°	az. = 75°	az. = 90°
75°	1	1,005	1,026	1,054	1,060	1,044	1,012
80°	0,918	0,925	0,951	0,977	0,996	0,982	0,955
85°	0,832	0,841	0,873	0,905	0,917	0,920	0,884
90°	0,753	0,747	0,786	0,831	0,850	0,852	0,824

Tabel 4 Reductiefactoren in juni t.o.v. een dakhoek van 75° en een azimuth van 0°

De gevonden reductiefactoren worden voor de vier dakhoeken 75°, 80°, 85° 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 75° en een azimuth van 0° voor de maand juni

In figuur 2 is te zien dat een dakhoek van 75° voor alle scheefhoeken beter is dan een dakhoek van 80°. Een dakhoek van 80° is weer beter dan een dakhoek van 85° en een dakhoek van 85° is weer beter dan een dakhoek van 90°. Ditzelfde gold ook voor december (zie figuur 1) alleen waren de verschillen dan kleiner.

Stel dat we toch willen dat de dakhoek 85° is omdat dat goed uitkomt bij het gebouw dat we in gedachten hebben. Als het echte dak van dit gebouw een dakhoek van 5° heeft, dan zit er een hoek van 90° tussen dit dak en de naar het zuiden gerichte zijkant van het huis waarop de panelen liggen. Een dakhoek van 5° maakt dat regenwater van het dak afloopt. Men heeft er in het gebouw ook geen last van dat één van de zijmuren niet precies rechtop staat. Deze geometrie ziet er toch aardig uit en het geeft een eenvoudige bouw.

Een dakhoek van 85° geeft in december maar een beperkte verlaging van de opbrengst t.o.v. een dakhoek van 75° waarvoor de opbrengst in december maximaal is. De opbrengst in juni is maximaal voor een dakhoek van 15° (zie figuur 1 van de notitie: "Opbrengst van zonnepanelen op het zuiden afhankelijk van de dakhoek (slope) en de maand"). Een dakhoek van 85° geeft in juni een aanzienlijke verlaging van de opbrengst t.o.v. een dakhoek van 15°. Als de salderingsregeling in 2027 komt te vervallen dan is de opbrengst in juni echter haast niets meer waard omdat er in juni een overschot aan zonne-energie is. In december is er echter een zeer groot tekort en de opgewekte energie is dan juist zeer veel waard, vooral als deze zelf gebruikt wordt. Daarom is het zinnig om de panelen toch een zeer grote dakhoek te geven.

In figuur 1 is te zien dat de opbrengst in december maar weinig daalt als de scheefhoek kleiner is dan ongeveer 20°. In figuur 2 is te zien dat een scheefhoek tot 90° zelfs juist een positief effect heeft op de opbrengst in juni. Voor de maanden tussen december en juni en tussen juni en december zal het nadeel van een scheefhoek in december geleidelijk verlopen naar een bepaald voordeel en daarom denk ik dat een scheefhoek tot 30° nog wel acceptabel is. Als men dit precies wil weten, dan moeten ook krommen voor de andere maanden bepaald worden.

Er worden tegenwoordig ook dubbelzijdige panelen geleverd waarbij de achterkant bijna net zo goed is als de voorkant (zie Wikipedia Bifacial solar cells) men komt hier via de link: https://www.wikipedia.org/wiki/Bifacial_solar_cells. Als deze panelen maar weinig duurder zijn dan enkelzijdige panelen dan kan toepassing van vrijstaande panelen met een dakhoek van 90° toch rendabel zijn, vooral als er sneeuw ligt. Op de website van Wikipedia staat een interessant artikel over tweezijdige zonnepanelen. Er wordt een grafiekje gegeven waarin de dagopbrengst van tweezijdige panelen met N-Z oriëntatie vergeleken wordt met de dagopbrengst van eenzijdige panelen met O-W oriëntatie en waarbij de panelen een dakhoek hebben van 90°. Ik heb zo mijn twijfels of in dit grafiekje wel panelen met elkaar vergeleken worden die een even groot piekvermogen of een even groot oppervlak hebben. Er wordt ook niet gegeven voor welke maand het grafiekje geldt. Wat wel duidelijk te zien is, is dat panelen met O-W oriëntatie hun maximum vermogen midden op de dag leveren en dat panelen met een N-Z oriëntatie eerder op de dag beginnen, later op de dag eindigen en dat er op het midden van de dag een dip in de kromme zit. De oriëntatie is de stand van het paneel zelf. Een naar het zuiden gericht paneel heeft dus O-W oriëntatie. Op de laatste bladzijde van mijn notitie: "Opbrengst van zonnepanelen met een dakhoek van 90° en 75° in december en juni afhankelijk van de stand t.o.v. het zuiden (azimuth)" wordt dieper ingegaan op de invloed die de stand van dubbelzijdige vrijstaande panelen heeft op de opbrengst.

Men zou ook kunnen overwegen om dubbelzijdige panelen met een dakhoek van 90° op een muur op het zuiden te gebruiken die wit geschilderd is zodat het licht op de muur reflecteert. De panelen moeten dan op een bepaalde afstand van elkaar gelegd worden en ook op een bepaalde afstand van de muur zodat er licht aan de achterkant van de panelen kan komen. Stel deze afstand wordt 10 cm gekozen. Als men zes panelen van 1,1 m breed en 1,75 m hoog wil plaatsen dan heeft men dus een blinde muur met een breedte van 6 * 1,1 + 7 * 0,1 = 7,3 m nodig.

Men kan hiervoor bijvoorbeeld een garage gebruiken die men zonder bouwvergunning mag plaatsen als hij niet hoger is dan 3 m. Stel dat de garage een plat dak heeft dat 2,95 m hoog is en dat de bovenkant van de panelen 0,2 m onder de bovenkant van het dak ligt. De onderkant van de panelen ligt dan 1 m boven de grond waardoor er best nog wat begroeiing onder de panelen mag zijn. Ik weet niet hoe groot de opbrengst van de achterkant zal zijn t.o.v. de opbrengst van de voorkant maar als de opbrengst 10 % zou zijn, dan compenseert dit toch ruim de verlaging die in december optreedt als een dakhoek van 90° vergeleken wordt met een dakhoek van 75°. De opbrengst in de zomer is wel veel lager dan de opbrengst van panelen die onder een kleine dakhoek staan maar als de salderingsregeling is vervallen, dan is de opbrengst in de zomer toch haast niets meer waard. Wanneer tabel 3 met tabel 1 vergeleken wordt, dan is te zien dat de opbrengst is juni voor een dakhoek van 90° en een scheefhoek van 0° toch altijd nog een factor 667,2 / 335,2 = 1,99 hoger is dan de opbrengst in december.