FOTOWOLTAIKA
A KONSTRUKCJA DACHU

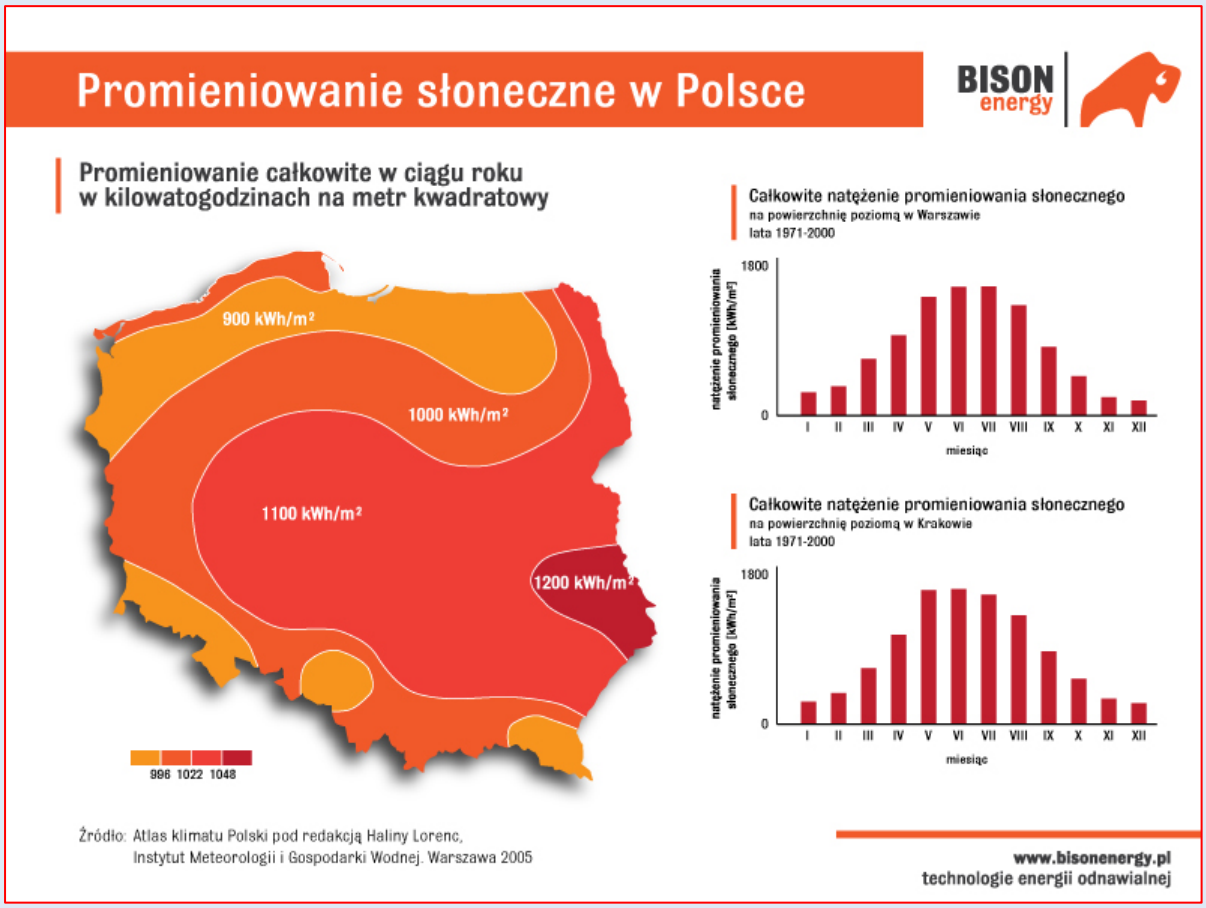
MiTek Industries Polska Sp. z o.o. ul. Poznańska 29K,

59-220 Legnica, tel. 76-862-89-88

Mitek 2020

Postęp technologiczny umożliwia wykorzystanie dzisiaj energii pochądzącej z promieni słonecznych nie tylko w krajach o wysokim nasłonecznieniu, jak Włochy czy Hiszpania, ale także i w Polska. Obecnie dostępne urzadzenia wykorzystują bowiem nie tylko promieniowanie bezpośrednie ale także rozproszone i odbite a zakres pracy obejmuje zarówno promieniowanie widzialne jaki i podczerwone.

W Polsce gęstość promieniowania słonecznego na płaszczyznę poziomą wynosi około 1000 kWh/m2/rok. Świadczy to o tym, że Polska posiada bardzo dobre warunki do rozwoju energetyki słonecznej.



Źródło: www.bisonenergy.pl

Decydując się na inwestycję w instalację fotowoltaiczną, stajemy przed wyborem firmy wykonawczej, analizujemy dostępne na rynku rozwiązania techniczne. Przed przyszłym użytkownikiem systemu fotowoltaicznego, stoi szereg pytań, takich jak:

- wymagana moc systemu i związana z tym ilość modułów,
- miejsce montażu paneli, np.: dostęność i nasłonecznienie połaci dachowej,
- kąt pochylenia dachu,
- zacienienie.

Obciążenie od paneli fotowoltaicznych

Jednym z pytań które warto sobie zadać, to wpływ oddziaływania dodatkowego obciążenia od modułów na konstrukcję więźby dachowej.

Panele fotowoltaiczne, które są mocowane na stałe do konstrukcji, zaliczamy do obciążeń stałych (zgodnie z PN-EN 1990; obciążenia stałe – umocowane urządzenie). Często są montowane po jednej stronie połaci i stanowią dodatkowe obciążenie nierównomierne konstrukcji. Skutkuje to zwiększeniem wytężeń w przekrojach elementów więźby dachowej oraz ich połączeń.

Ciężar własny modulu fotowoltaicznego wynosi około 20kg, jednak zawsze należy sprawdzić ich rzeczywisty ciężar w karcie technicznej panela. Przykładowo dla instalacji o wartości 3kW, całkowity ciężar instalacji to ponad 240kg.

Dla obiektów nowoprojektowanych, warto mieć na uwadze obciążenie dodatkowym ciężarem stałym modułu na konstrukcję.

W przypadku obiektów istniejących, należy ocenić stan techniczny konstrukcji.

Przykładowe karty techniczne paneli znajdują się na ostatnich stronach opracowania.

Kształt połaci dachowej pod instalację fotowoltaniczną

Jednym z kryteriów doboru ilości paneli fotowoltaicznej i związanej z tym możliwości osiągnięcia mocy systemu, jest ich lokalizacja. Pojedynczy panel ma wymiary około 100x160cm. Np. instalacja o mocy 5kW, składać się będzie z 20 paneli o łącznej powierzchni 32m^2. W celu rozmieszczenia takiej ilości modułów wymagana jest odpowiednia przestrzeń na połaci dachowej.

Aby uzyskać najwyższe możliwe zyski energetyczne, należy unikać:

- skomplikowanego i pofałdowanego kształtu dachu, o finezyjnych kształtach,
- połaci dachowych z wieloma lukarnami,
- bardzo szerokich kominów,
- dużej ilości anten,
- licznych okien połaciowych,
- montażu instalacji w pobliżu zacieniających budynków, drzew, słupów.

Poza samą możliwością zainstalowania paneli na połaci dachu **należy wziąć pod uwagę ich zacienienie w trakcie dnia**. Takie elementy jak kominy lub lukarny, obniżają sprawność pozyskania mocy ze względu na efekt zacienienia modułów. Zacienienie jest jednym z największych wrogów instalacji fotowoltanicznej. Zacienienie jednego ogniwa powoduje spadek prądu generowanego w całym module, a to przekłada się na spadek prądu generowanego przez cały ciąg paneli. System zawsze dostosowuje swoją pracę do najsłabszego ogniwa. Zacienienie nawet 3% pola panela, może powodować spadek sprawności systemu do 25% mocy.

Najlepszym rozwiązaniem są dachy o prostym kształcie, dwuspadowe, kopertowe o kącie pochylenia około 35 stopni.

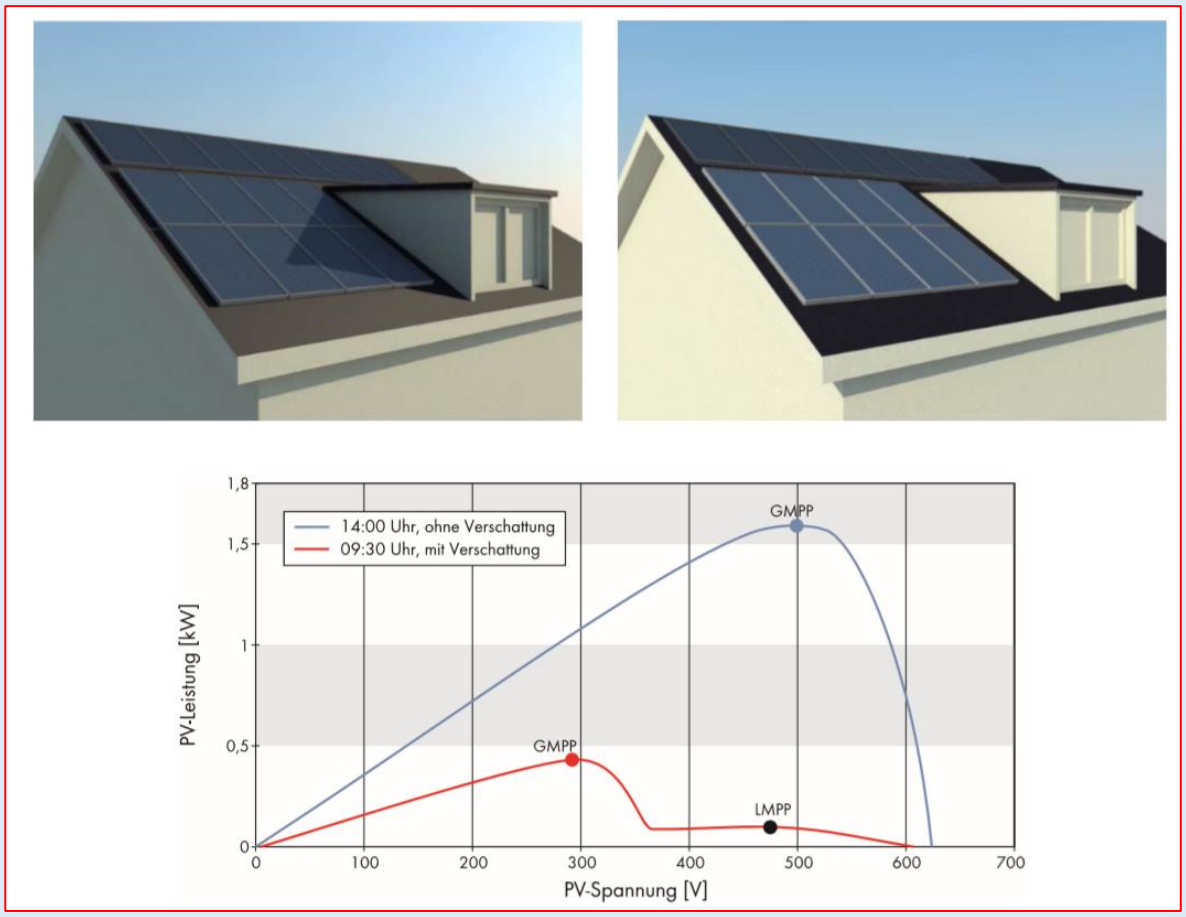
Na poniższym zdjęciu możemy zobaczyć fragment zacienienia powstały od lukarny.

Źródło: www.baunetzwissen.de

Wizualizacja miejsc zacienienia na połaci:

Źródło: http://www.planergia.pl/post/panele-pv-a-strefy-cienia-na-dachu-1601

Poniższa analiza, pokazuje wpływ zacienienia od lukarny na wydajność energetyczną systemu:



Źródło: https://www.sma.de/fileadmin/content/global/Solutions/Documents/Medium_Power_Solutions/GlobalPeak - UDE101210.pdf

<u>Gdzie planujemy budowę domu?</u>

<u>Panele fotowoltaniczne dla projektowanej konstrukcji wiązarowej.</u>

Na etapie przygotowania projektu budowlanego, warto:

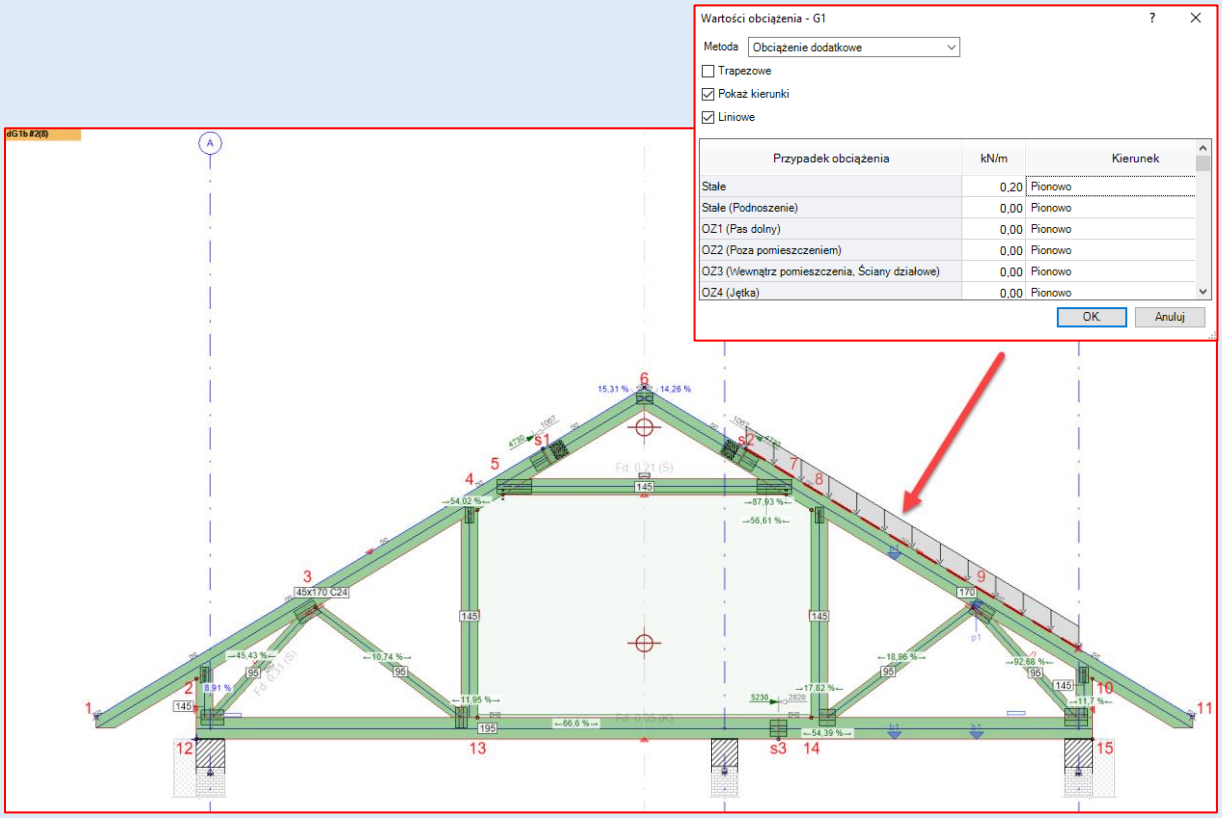
- przewidzieć możliwość instalacji paneli fotowoltaicznych,
- określić azymut południowej połaci dachowej,
- ustalić kąt nachylenia,
- wyznaczyć fragmenty zacienienia.

Projektant powinien uwzględnić dodatkowe przypadki obciążenia od paneli fotowoltaicznych, oddziaływujących na konstrukcję dachową.

Zarówno w przypadku gdy projekt domu został wykonany od początku z wiązarami jak i w sytuacji, gdy inwestor chce zamienić więźbę tradycyjną na wiązary, trzeba zwrócić się do zakładu prefabrykacji wiązarów z zapytaniem o ofertę z uwzględnieniem

dodatkowego obciążenia od paneli fotowoltanicznych (listę zakładów znajdziesz na stronie www.dachymitek.pl).

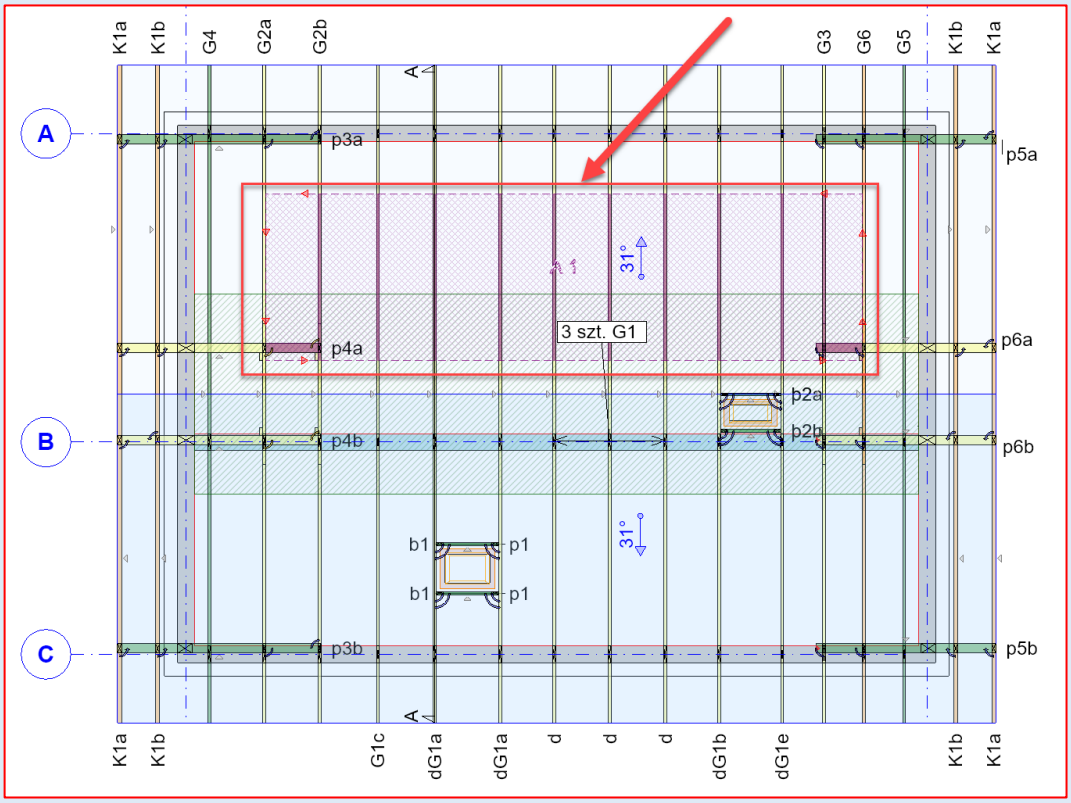
Firma Mitek dostarcza producentom prefabrykowanej więźby oprogramowanie do obliczania wiązarów drewnianych, łączonych płytkami kolczastymi „PAMIR. W programie na etapie projektowania więźby dachowej, można swobodnie określić dodatkowy przypadek obciążenia od paneli fotowoltaicznych. Wartość takiego obciążenia może wynosić od 20 do 30 kg/mb pasa (krokwi) wiązara, przy średnim rozstawie co 1,0m. Obciążenie może być przyłożone do konstrukcji liniowo lub powierzchniowo. Uwzględnienie obciążenia z pewnością zapewni bezpieczne użytkowanie i wytrzymałość dla konstrukcji.



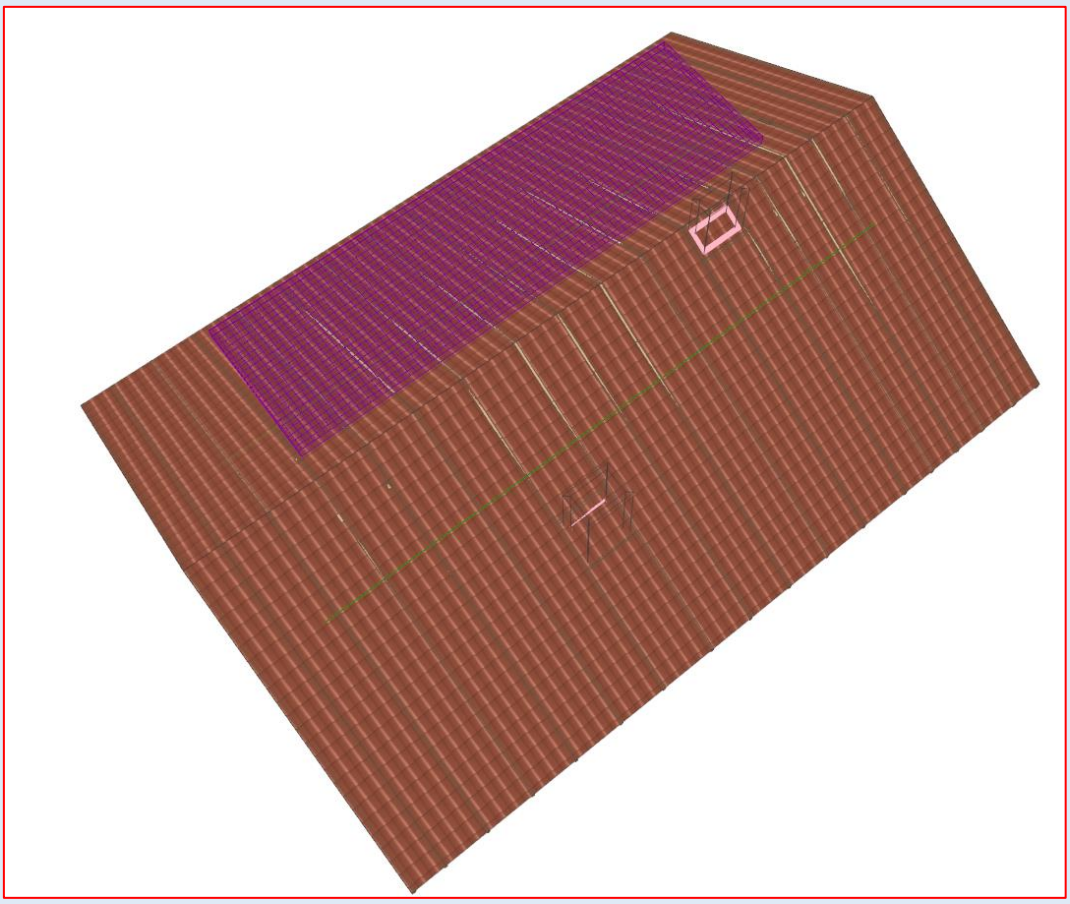
Graficzne ujęcie obciążenie od paneli na ekranie programu „PAMIR"

Obciążenie możemy także przyłożyć jednocześnie do pasa lewego i prawego, poprzez zwiększenie wartości obciążenia stałego, lub zakładając dodatkowe obciążenie stałe metodą podnoszenia (opcje). Istnieje także możliwość przyłożenia powierzchniowego obciążenia bezpośrednio do połaci dachowej, gdzie program samodzielnie rozłoży obciążenie na poszczególne wiązary.

Na kolejnym rysunku, do konstrukcji zostało dodane obciążenie od modułów fotowoltaicznych (fioletowy prostokąt o nazwie A1). Jednocześnie do wiązarów zostanie przyłożone sprowadzone obciążenie liniowe.

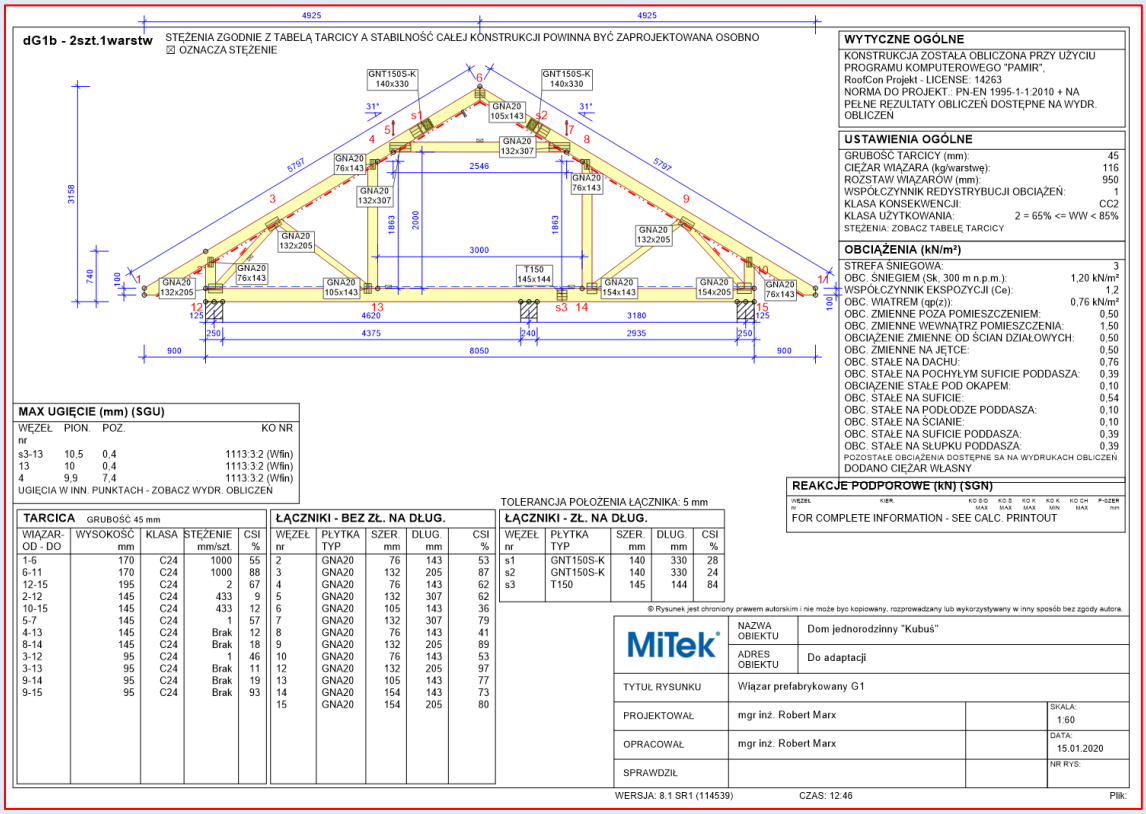


Rzut dachu z naniesionymi dodatkowym obciążeniem

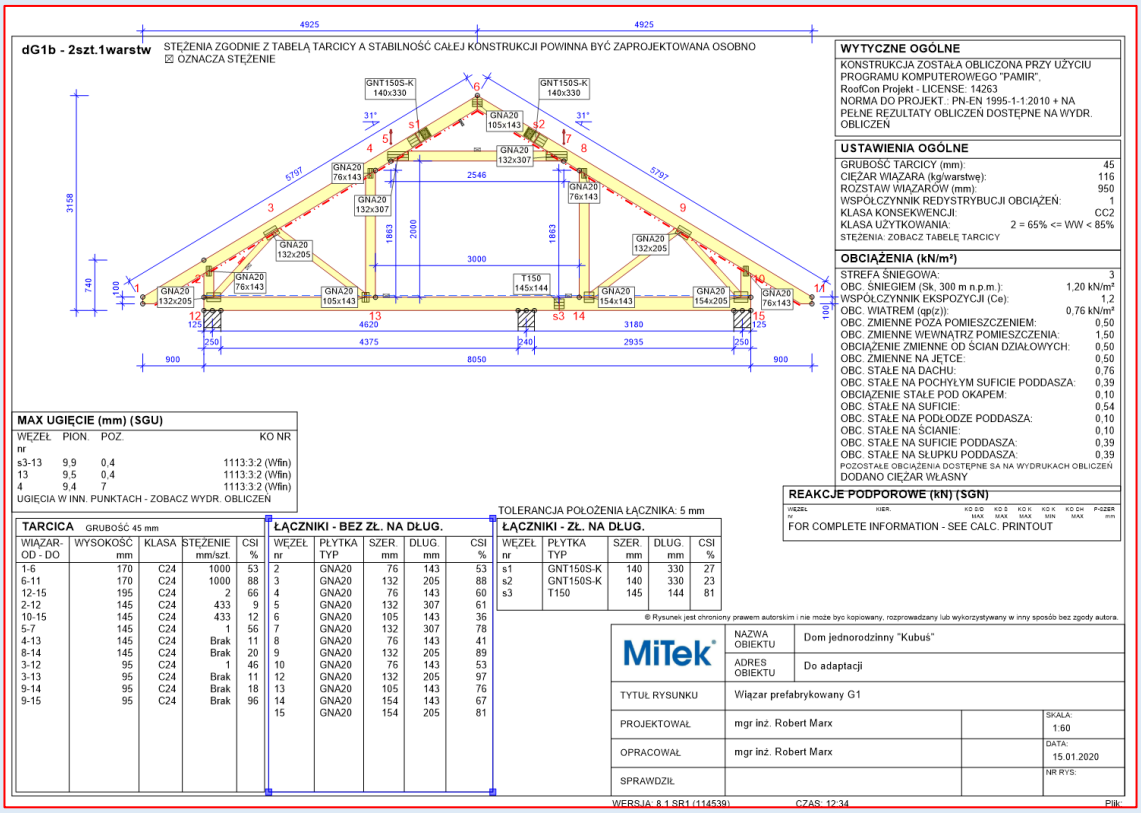


Wizualizacja 3D obciążenia

Dla przykładowego wiązara, zestawiono wyniki wytężenia tarcicy i płytek, przed i po przyłożeniu dodatkowego obciążenia na konstrukcję wiązarów.



Wyniki wytężeń przed przyłożeniem obciążenia



Wyniki wytężeń po przyłożeniu obciążenia

Co w przypadku instalacji na istniejącym dachu?

Panele fotowoltaiczne a istniejąca konstrukcja dachu.

W pierwszej kolejności należy dokonać wizji lokalnej istniejącej konstrukcji. Należy unikać montaż paneli na krokwiach spróchniałych, zapleśniałych lub z obecnością kornika.

Warto dodać, że zastosowanie wiązarów prefabrykowanych eliminuje powyższe zagrożenia. Stosowana tarcica do produkcji wiązarów, musi być o wilgotności poniżej 18% (obecne wymagania dla konstrukcji drewnianych np. więźby, zgodnie z obowiązującymi przepisami PN-EN 1995). Ze względu na bardzo niską wigotność, w tarcicy stosowanej do wiązarów nie ma możliwości wystąpienia pleśli, grzybów lub zniszczenia na wskutek działania szkodników. Często tarcica jest dodatkowo strugana i impregowana, co praktycznie całkowicie eliminuje wystepowania występowanie szkodliwych owadów.

W przypadku mocowania paneli do istniejącej konstrukcji wiązarowej, można zwrócić się do dostawcy w celu sprawdzenia wymaganej nośności dla konstrukcji wiązarów.

ZAŁĄCZNIKI

Załączniki 1, 2 – karty techniczne.

Załacznik 3 – Analiza zacienienia (opracowanie niemieckie).

Załącznik 1 - przykładowa karta techniczna nr 1 (Vaillant)

MADE IN GERMANY

Vaillant

Karta katalogowa - dane techniczne modułów fotowoltaicznych

Dane techniczne	Jednostka	VPV P 300/3 M SWF	VPV P 305/3 M BBF	VPV P 310/3 M BWF
Moc nominalna (moc znamionowa) (STC)	Wp	**300**	**305**	**310**
Napięcie w punkcie mocy maksymalnej Umpp (STC)	V	32,3	32,6	32,8
Prąd w punkcie mocy maksymalnej Impp (STC)	A	9,3	9,43	9,51
Napięcie bez obciążenia Uoc (STC)	V	39,5	39,7	39,9
Prąd zwarciowy Isc (STC)	A	9,81	9,94	10,02
Sprawność modułu (STC)	%	**18,3**	**18,6**	**18,9**
Moc Pmpp (NOCT)	Wp	222	227	231
Napięcie Umpp (NOCT)	V	29,9	30,2	30,4
Prąd Impp (NOCT)	A	7,42	7,52	7,59
Napięcie bez obciążenia Uoc (NOCT)	V	36,9	37,1	37,3
Prąd zwarciowy Isc (NOCT)	A	7,9	8	8,07
Sprawność modułu (NOCT)	%	16,9	17,3	17,6
Temperatura modułu NMOT (NOCT/NMOT)	°C	44,5	45,5	44,5
Wymiary (wys. x szer. x gł.)	mm	1660x990x35	1660x990x42	
Ciężar	kg	19		
Ilość ogniw w module		60		
Rodzaj ogniwa		Krzemowe monokrystaliczne		
Kolor ogniwa		Czarny		
Kolor ramy		Srebrny	Czarny	Czarny
Kolor folii z tworzywa sztucznego		Biały	Czarny	Biały
Przyłącze		Skrzynka przyłączeniowa z trzema diodami bocznikującymi Przewód fotowoltaiczny 4 mm² i wielostykowa złączka wtyczkowa MC4 Długość biegunów 1200 mm (+) oraz 800 (-)		
Współczynnik temperaturowy prądu α	%/°C	0,05		
Współczynnik temperaturowy napięcia β	mv/°C	-0,29		
Współczynnik temperaturowy mocy γ	%/°C	-0,4		
Dopuszczalne maksymalne napięcie systemu Umax	VDC	1000		
Dopuszczalny maksymalny prąd wsteczny	A	20		
Dopuszczalne obciążenie modułu, nacisk	Pa	**5400**	**8000**	
Dopuszczalne obciążenie modułu, podciśnienie	Pa	2400		

VPV P 300/3 M SWF

VPV P 305/3 M BBF

VPV P 310/3 M BWF

Załacznik 2 -przykładowa karta techniczna nr 2 (Schrack)

KOMPETENCJA ŁĄCZY. SCHRACK TECHNIK

DANE TECHNICZNE:

PVM12500 – Panel fotowoltaiczny ISOFOTON ISF-250, 250W, monokrystaliczny

SCHRACK INFO

- Moduły produkowane według najwyższych standardów
- Duża sprawność ogniw
- Mikrostruktura szkła (antyrefleksyjne szkło)
- Doświadczenie w produkcji od 1981
- Trwałość i niezawodność
- Testowane i certyfikowane przez TÜV
- 10 letnia gwarancja produktu (* gwarancja producenta)
- Gwarancja liniowego spadku mocy wyjściowej przez 25 lat do 80% (* gwarancja producenta)

CERTYFIKATY

GWARANCJA LINIOWEGO SPADKU MOCY WYJŚCIOWEJ

DANE FIZYCZNE

Typ ogniwa	Monokrystaliczny, wymiar 156 x 156
Ilość ogniw na moduł	60 ogniw w module (6x10)
Szkło	Mikrostrukturalne, wysoka przepuszczalność szkła
Budowa	Laminowane ogniwa EVA, kolor biały
Rama	Anodyzowane aluminium, ochrona przed kradzieżą, uziemiona
Połączenia wewnętrzne	PCB
Gniazda podłączenia	1 x IP 65 z 3 diodami bypass
Okablowanie	1 m (+); 1 m (-); 4 mm² wielostykowe MC4 lub podobne

TYPOWE WARTOŚCI ZINTEGROWANEGO SYSTEMU

Maksymalne dopuszczalne napięcie	1.000 V
Maksymalny prąd wsteczny	20 A
Maksymalne mechaniczne obciążenie	5.400 Pa / 5,4 kN/m² / 540 kg/m²
Warunki pracy	-40°C bis 85°C
Odporność na uderzenia	Grad o wielkości ziarna do 25 mm, z odległości 1 m i z prędkością 23 m/s

* Gwarantem jest wyłącznie producent

OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA

Wymiary	1667 x 994 x 45 mm
Waga	19 kg
Opakowanie	20 modułów w opakowaniu
Wymiary opakowania 20 sztuk	1725 x 1045 x 1220 mm

Załacznik 3 – Analiza zacienienia

Technische Information

SMA

Verschattungsmanagement

Effizienter Betrieb teilverschatteter PV-Anlagen mit OptiTrac Global Peak

Inhalt

Nicht immer lässt sich vermeiden, dass Dachgauben, Schornsteine oder Bäume ihre Schatten auf PV-Anlagen werfen.

Um jedoch die Wirtschaftlichkeit einer PV-Anlage nicht zu gefährden, müssen bereits in der Planungsphase die verschattungsbedingten Ertragsverluste minimiert werden.

Dabei spielen Einflussfaktoren wie die Anordnung der PV-Module, deren Verschaltung und insbesondere die Wahl des richtigen Wechselrichters eine wichtige Rolle.

Durch das Beachten einiger wichtiger Planungsregeln können diese Faktoren so an die jeweilige PV-Anlage angepasst werden, dass sich deren Energieangebot nahezu vollständig nutzen lässt.

GlobalPeak-UDE101210 Version 1.0 1/6

1 Auswirkungen von Teilverschattungen auf die PV-Anlage

Jeder PV-Generator hat einen individuellen Arbeitspunkt, bei dem er die höchstmögliche elektrische Leistung abgeben kann, den Maximum Power Point (MPP). Wie groß diese Leistung ist, hängt vor allem von der Höhe der Einstrahlung ab. Werden einzelne PV-Module eines Strings innerhalb des PV-Generators verschattet, ändern sich dadurch dessen elektrische Eigenschaften markant: Der PV-Generator besitzt nun mehrere unterschiedlich „gute" Arbeitspunkte.

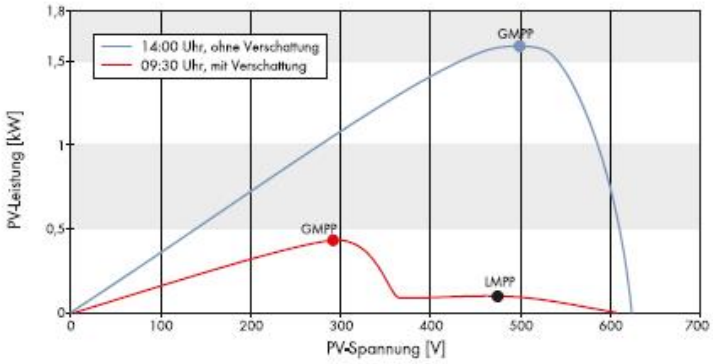


Abb. 1: Leistungs-Spannungs-Diagramm des dargestellten PV-Generators zu 2 verschiedenen Tageszeiten (mit und ohne Teilverschattung). Die Kurven zeigen, dass bei Verschattung 2 unterschiedlich „gute" MPPs entstehen, wobei die Leistung am lokalen MPP deutlich geringer ausfällt als am globalen MPP.

2 Verschattung: Eine besondere Aufgabe für den Wechselrichter

Jeder PV-Wechselrichter verfügt über einen so genannten MPP-Tracker. Dieser sorgt dafür, dass der PV-Generator ständig an seinem optimalen Arbeitspunkt betrieben wird. So gesteuert kann der PV-Generator die bei einer bestimmten Sonneneinstrahlung verfügbare Leistung bestmöglich nutzen. Bei den SMA Wechselrichtern übernimmt die Betriebsführung OptiTrac diese Aufgabe und sichert so den maximalen Energieertrag.

Wenn jedoch, wie oben beschrieben, durch die Verschattung einzelner PV-Module eines PV-Generators 2 verschiedene Arbeitspunkte entstehen, muss der angeschlossene Wechselrichter nun entscheiden, an welchem dieser beiden Arbeitspunkte - dem lokalen MPP (LMPP) oder dem globalen MPP (GMPP) - er den PV-Generator betreiben soll.

Da konventionelle MPP-Tracker aber lediglich den Nahbereich des aktuellen Arbeitspunktes beobachten, um nicht unnötig Energie bei der Suche zu verlieren, wird ein alternativer Arbeitspunkt eventuell nicht wahrgenommen. Die Momentanleistung der PV-Anlage kann dadurch deutlich kleiner sein, als sie aufgrund der Verschattung sein müsste.

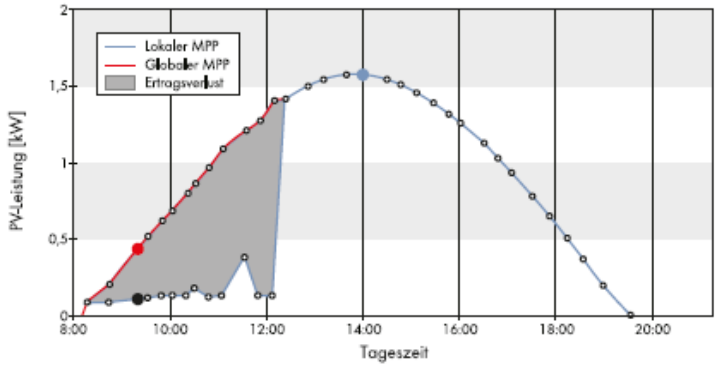


Abb.2: Verlauf der globalen bzw. lokalen MPP-Leistung eines Teilgenerators einer PV-Anlage mit morgendlicher Verschattung. Die graue Fläche zeigt den Ertragsverlust, der durch das Einstellen des lokalen statt des globalen MPPs verursacht werden würde.

Ganz anders verhält sich OptiTrac Global Peak: Um auch bei teilverschatteten PV-Anlagen immer den optimalen Arbeitspunkt zu finden, wurde das bewährte MPP-Tracking der SMA Wechselrichter um eine Zusatzfunktion ergänzt. OptiTrac Global Peak kann den PV-Generator zeitweise in großer Distanz vom bekannten Arbeitspunkt betreiben. Damit findet der Wechselrichter jederzeit den Arbeitspunkt mit der aktuell höchsten Leistung und kann auf diese Weise das Energieangebot der PV-Module unter allen Bedingungen nahezu vollständig nutzen [1].

Durch dieses Vorgehen sind Verluste während des Suchvorgangs unvermeidlich. Allerdings ist OptiTrac Global Peak ein Suchverfahren, das darauf spezialisiert ist, in Zeiten ohne Verschattung die Verluste durch die Suche nach einem eventuellen zweiten Leistungsmaximum bei maximal 0,2 % zu halten. Um diese Suchverluste noch geringer zu gestalten, kann es in Einzelfällen sinnvoll sein, in PV-Anlagen mit langsam auftretenden Verschattungen die Häufigkeit der Suchvorgänge (Zykluszeit) individuell anzupassen und zu verringern [2].

3 Planung teilverschatteter PV-Anlagen

Um die Wirtschaftlichkeit zeitweilig verschatteter PV-Anlagen nicht zu gefährden, müssen die verschattungsbedingten Ertragsverluste bereits in der Planungsphase minimiert werden.

Als Hilfestellung für den Anlagenplaner werden nachfolgend die wichtigsten Planungsregeln aufgezeigt.

3.1 Auswahl der Dachfläche

Die Minimierung der energetischen Verluste bei teilverschatteten Modulstrings basiert immer darauf, den Wechselrichter in die Lage zu versetzen, verschattete Solarzellen elektrisch zu umgehen und so die mit ihnen in Reihe geschalteten unverschatteten PV-Module desselben Strings optimal zu nutzen. Die ohnehin verminderte Leistung der verschatteten Solarzellen kann in dieser Zeit nicht genutzt werden. Bei der Auswahl der Dachfläche für eine PV-Anlage sollte deshalb sichergestellt sein, dass keine dauerhaften Verschattungen entstehen und insbesondere in Zeiten hoher Einstrahlung (Mittagszeit, Sommermonate) möglichst keine Schatten auf den PV-Generator fallen. Zur Abschätzung der Eigenschaften der jeweiligen Schatten, wie deren Größe und Veränderung im Verlauf eines Jahres, können spezielle Simulationsprogramme genutzt werden.

3.2 Auswahl der Anlagenverschaltung

Die Verschaltung des PV-Generators beeinflusst den erzielbaren Energieertrag erheblich. SMA Solar Technology AG hat daher die Regeln eines „Schattenmanagements" ausgearbeitet und veröffentlicht [3]. Die Analyse des Schattenverlaufs steht immer am Anfang einer Anlagenauslegung. Der Anteil der verschatteten PV-Module im Verhältnis zum Gesamtgenerator und der zeitliche Verschattungsverlauf sind wichtige Charakteristika einer PV-Anlage mit Teilverschattung. Folgende Handlungsempfehlungen sind für den Umgang mit teilverschatteten PV-Anlagen wichtig:

- Bei einer Verschattung einzelner bzw. eines sehr geringen Anteils der PV-Module (z. B. < 10 % der Gesamtanzahl) kann der Schatten gleichmäßig auf die Strings verteilt werden. Da sich die MPP-Spannung in diesen Fällen immer im Nahbereich der nominalen MPP-Spannung befinden wird, ist eine spezielle Betriebsführung (OptiTrac Global Peak) nicht notwendig.

- Bei einer starken Verschattung ist der getrennte Betrieb der verschatteten und unverschatteten PV-Module sinnvoll. Hierbei gilt:
  - Generatorteile mit ähnlicher Einstrahlung zusammenfassen.
  - Keine Parallelschaltung von Strings mit unterschiedlicher Einstrahlung, sondern für jeden String einen separaten MPP-Tracker vorsehen. Hierfür können viele kleine Wechselrichter oder solche mit Multi-String-Technik verwendet werden.
  - Zur Maximierung des Energieertrags ist OptiTrac Global Peak notwendig.

Aber auch bei der oben beschriebenen geringfügigen Verschattung stellt die Konzentration der verschatteten PV-Module auf einen eigenen MPP-Tracker eine Alternative zur gleichmäßigen Verteilung des Schattens auf alle Strings dar. Auch bei dieser Auslegung der Anlage ist zur Minimierung der Ertragsverluste OptiTrac Global Peak erforderlich.

3.3 Auswahl der Wechselrichter

Wie im „Schattenmanagement" [3] beschrieben, beeinflusst die Wahl des Wechselrichters ebenfalls die verschattungsbedingten Ertragsverluste. 3 Punkte sind bei der Wahl des Wechselrichters zu beachten:

- Wechselrichter mit großem Eingangsspannungsbereich können auch bei Verschattung und dem daraus resultierenden Rückgang der MPP-Spannung weiterhin den optimalen Arbeitspunkt einstellen.
- Durch Wechselrichter mit Einzelstring-Regelung lässt sich ein teilverschatteter PV-Generator nahe am Optimum betreiben und ein Großteil der möglichen Verluste vermeiden.
- Um verschattungsbedingte Ertragsverluste möglichst gering zu halten, ist es erforderlich, für teilverschattete Strings einen Wechselrichter einzusetzen, dessen MPP-Tracking die Existenz mehrerer Arbeitspunkte erkennt (z.B. OptiTrac Global Peak).

Die von SMA Solar Technology AG entwickelten Multi-String-Wechselrichter Sunny Boy 4000TL und 5000TL mit ihrem weiten Eingangsspannungsbereich und ihrer neuen Betriebsführung OptiTrac Global Peak sind daher für den hocheffizienten Betrieb teilverschatteter PV-Anlagen ideal geeignet.

4 OptiTrac Global Peak

Die SMA Wechselrichter Sunny Boy 3000TL, 4000TL und 5000TL sind ab der Firmware-Version 3.01 (ab April 2010) serienmäßig mit OptiTrac Global Peak ausgerüstet. Bereits installierte Wechselrichter dieser Gerätefamilie lassen sich per Firmware-Update nachrüsten. Das Firmware-Update ist kostenlos im Downloadbereich unter www.SMA.de erhältlich.

OptiTrac Global Peak ist eine Zusatzfunktion des bewährten MPP-Trackings OptiTrac und standardmäßig deaktiviert. Zur Unterstützung des Installateurs bei der Aktivierung und Einstellung von OptiTrac Global Peak ist im Downloadbereich unter www.SMA.de die Technische Beschreibung „OptiTrac Global Peak" in der Kategorie „Technische Beschreibung" des jeweiligen Wechselrichters erhältlich.

5 Quellen

[1] J. Iken: „Leistungsgipfel mit Geheimnissen"; Sonne Wind & Wärme, 17/2009, S. 160

[2] SMA Solar Technology AG: „SUNNY BOY 3000TL / 4000TL / 5000TL - Parameter und Messwerte", www.SMA.de

[3] G. Bettenwort, J. Laschinski: „Schattenmanagement – Der richtige Umgang mit teilverschatteten PV-Generatoren"; 23. Symposium Photovoltaische Solarenergie, 2008, Bad Staffelstein

[4] SMA Solar Technology AG: Technische Beschreibung „OptiTrac Global Peak - SUNNY BOY 3000TL / 4000TL / 5000TL" , www.SMA.de