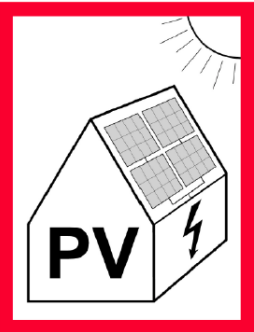


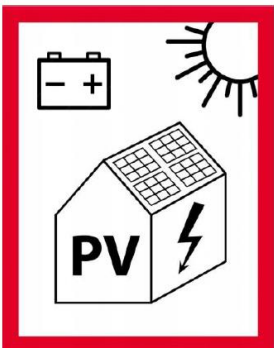
Fotowoltaika w zastosowaniach domowych, zagrożenia pożarowe i metody ich neutralizacji



*„ wg badań niemieckich i brytyjskich liczbę
pożarów wywołanych przez instalacje
fotowoltaiczne w stosunku do wszystkich
pożarów można mierzyć w % ”*

&

*„złączka **MC4** jest najstabszym ogniwem
i najczęściej od niej zaczyna się pożar”*



*dr hab. inż. **Mariusz T. Sarniak***

Politechnika Warszawska Filia w Płocku

Wydział Budownictwa, Mechaniki i Petrochemii

Instytut Inżynierii Mechanicznej

Warszawa, 9.11.2023 r.

20.02.2015 r.

FIT?



USTAWA

z dnia 20 lutego 2015 r.

o odnawialnych źródłach energii¹⁾



> 6,5 kW ?



19.09.2020 r.

... dla inwestycji 30-letnich ?

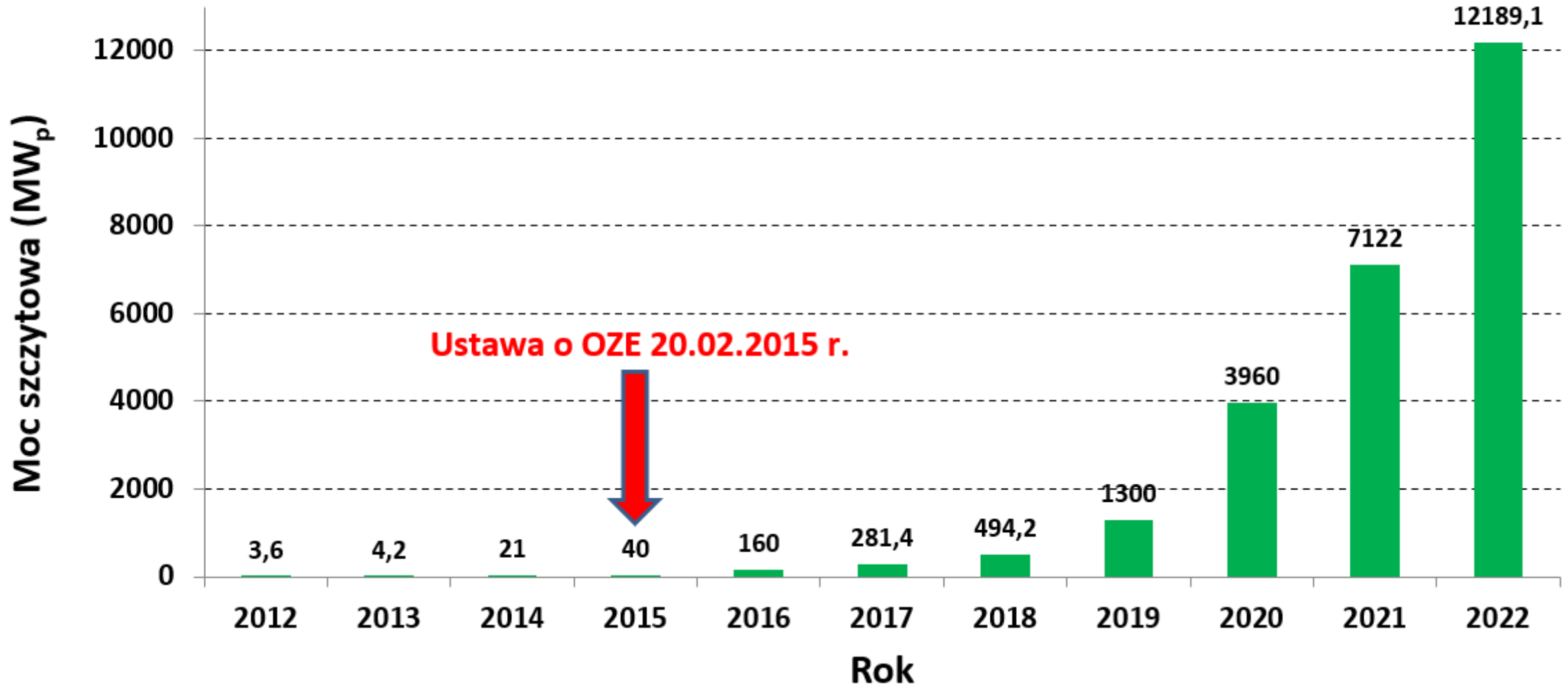
NET-BILLING



01.04.2022 r. → RCEm

⊖ ⊕ ? RCEg ← 01.07.2024 r.

Całkowita moc zainstalowana PV w Polsce

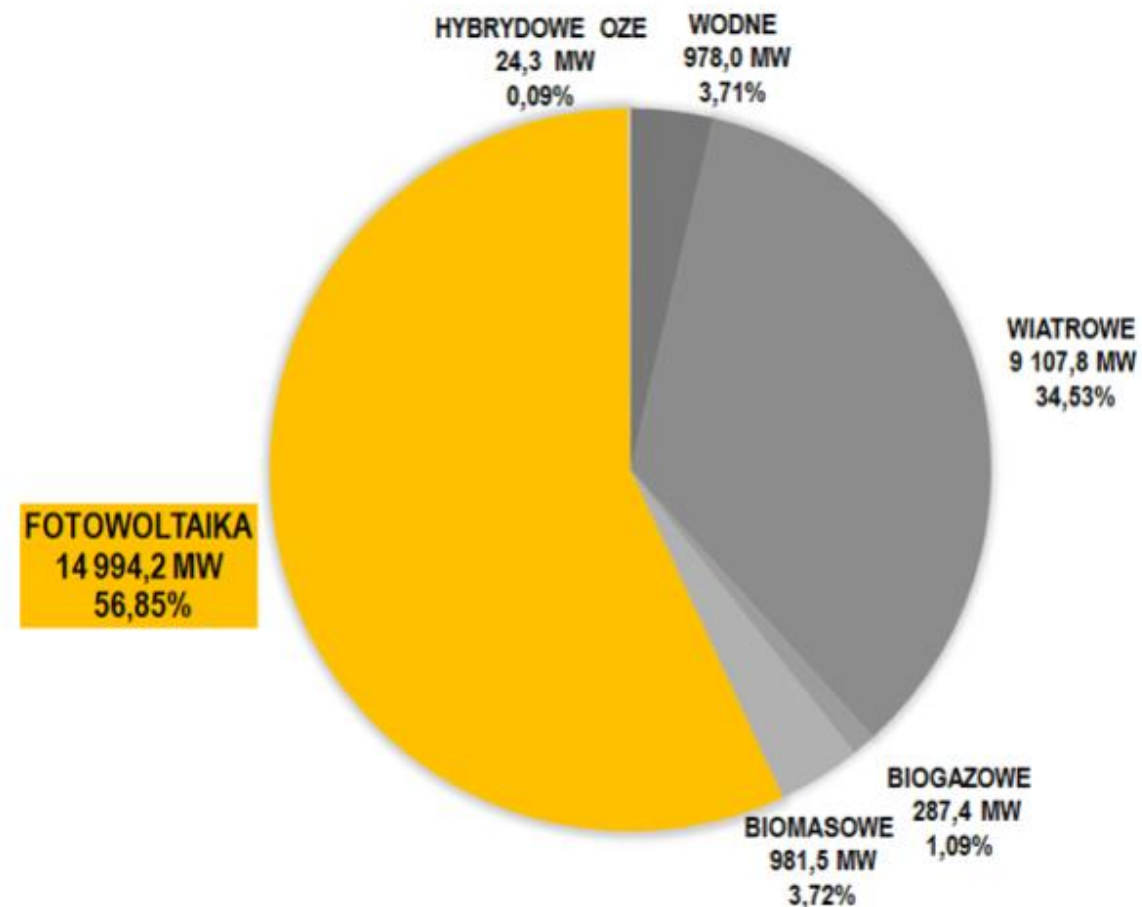


Moc zainstalowana fotowoltaiki w Polsce na koniec sierpnia 2023 r. przekroczyła **15 GW_p** (ok. 57% OZE)

W marcu 2023 prosumenci do sieci OSD wprowadzili o 8% mniej energii rdr, a w sierpniu 2023 już o 10% więcej ?

(Globalna moc PV w kwietniu 2022 roku osiągnęła przełomowy poziom 1 TW_p) <https://www.rynekelektryczny.pl/moc-zainstalowana-fotowoltaiki-w-polsce/>

Stan mocy elektrycznej zainstalowanej dla wszystkich rodzajów źródeł (konwencjonalnych i odnawialnych) w lipcu 2023 r. wyniósł 64 047,9 MW. **Odnawialne źródła energii miały około 41%** (26 373,3 MW). W sektorze OZE **fotowoltaika zajmuje pierwsze miejsce z udziałem 56,85%**



Na koniec sierpnia 2023 r. moc zainstalowana fotowoltaiki w Polsce wyniosła 14 994,2 MWp (15 GWp), w tym:

- zawodowe elektrownie PV – 841,1 MW
- niezależne elektrownie PV – 14 153,1 MW

Liczba instalacji prosumenckich - 1 316 975 sztuk

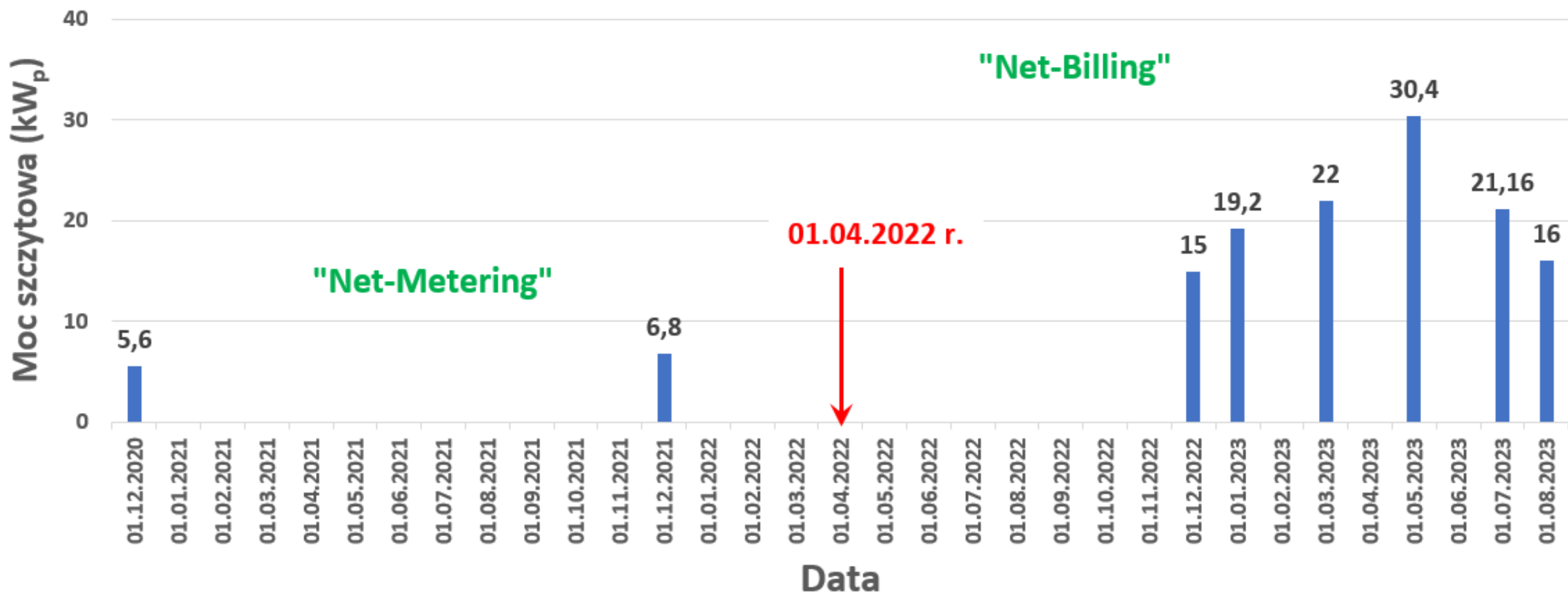
Największa farma PV – **Zwartowo** na Pomorzu – 204 MW – Respect Energy

Moc zainstalowana fotowoltaiki na tle OZE na koniec sierpnia 2023

Po **19.09.2020 r.** konieczne jest potwierdzenie przez rzeczoznawcę w formie uzgodnienia, że spełnione są wymagania ochrony przeciwpożarowej nowoprojektowanej instalacji fotowoltaicznej, gdy łączna moc modułów będzie większa niż **6,5 kW_p**. Innymi słowy, ***projekt takiej instalacji będzie wymagał obowiązkowego uzgodnienia pod względem zgodności z wymaganiami ochrony przeciwpożarowej*** z uwagi na Art. 29 ust. 2. 6kt. 16. (Dz. U. 2020 poz. 1333).

Dlaczego - 6,5 kW_p ?

Średnia moc prosumenckiej instalacji PV



01.07.2024 r. - ?



NET-BILLING



Autokonsumpcja



Produkcja energii elektrycznej



Nadmiar energii elektrycznej



Sprzedaż nadwyżki energii elektrycznej wdg. RCE

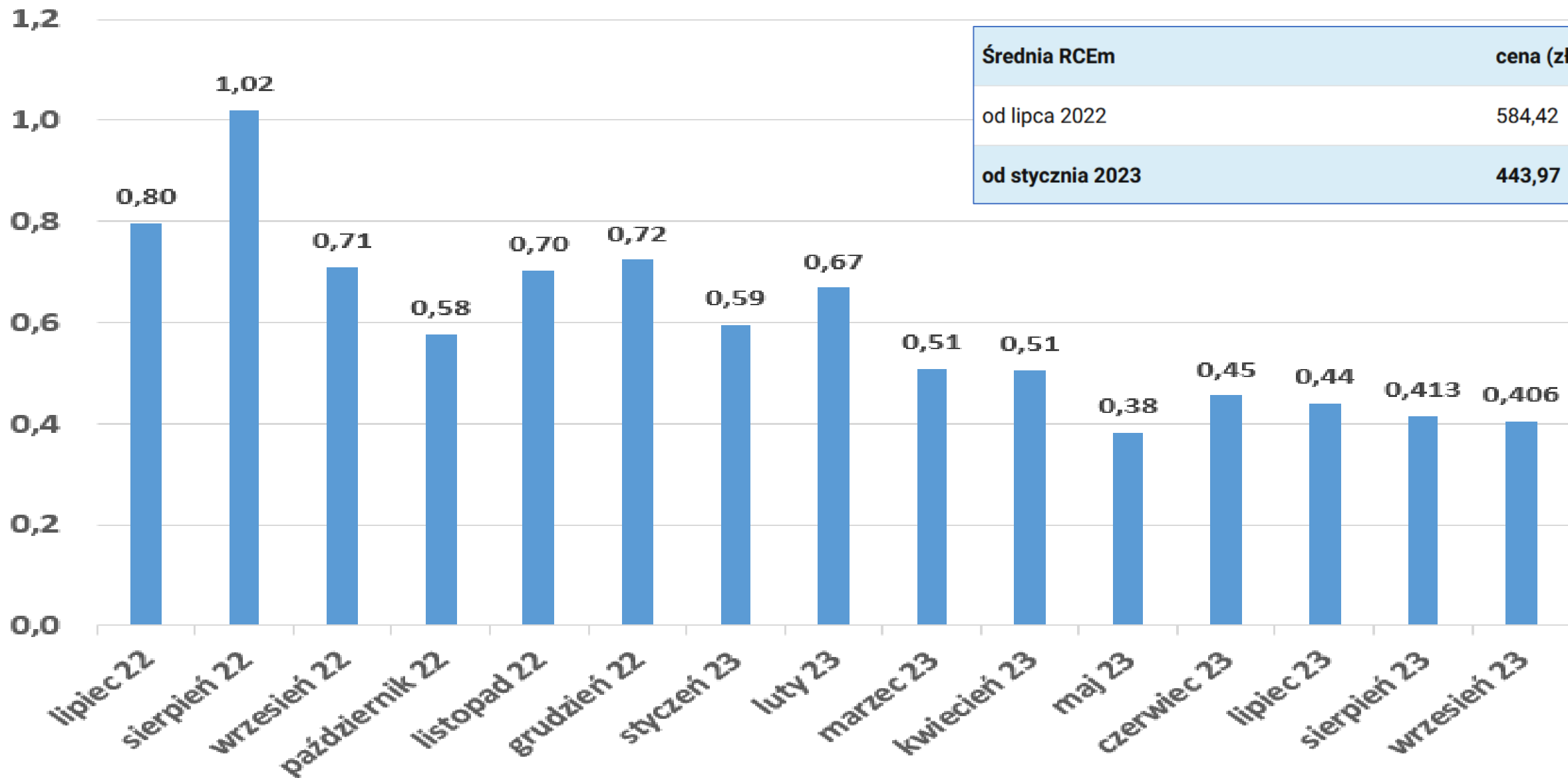


Rozliczenie wartościowe energii w wirtualnym depozycie



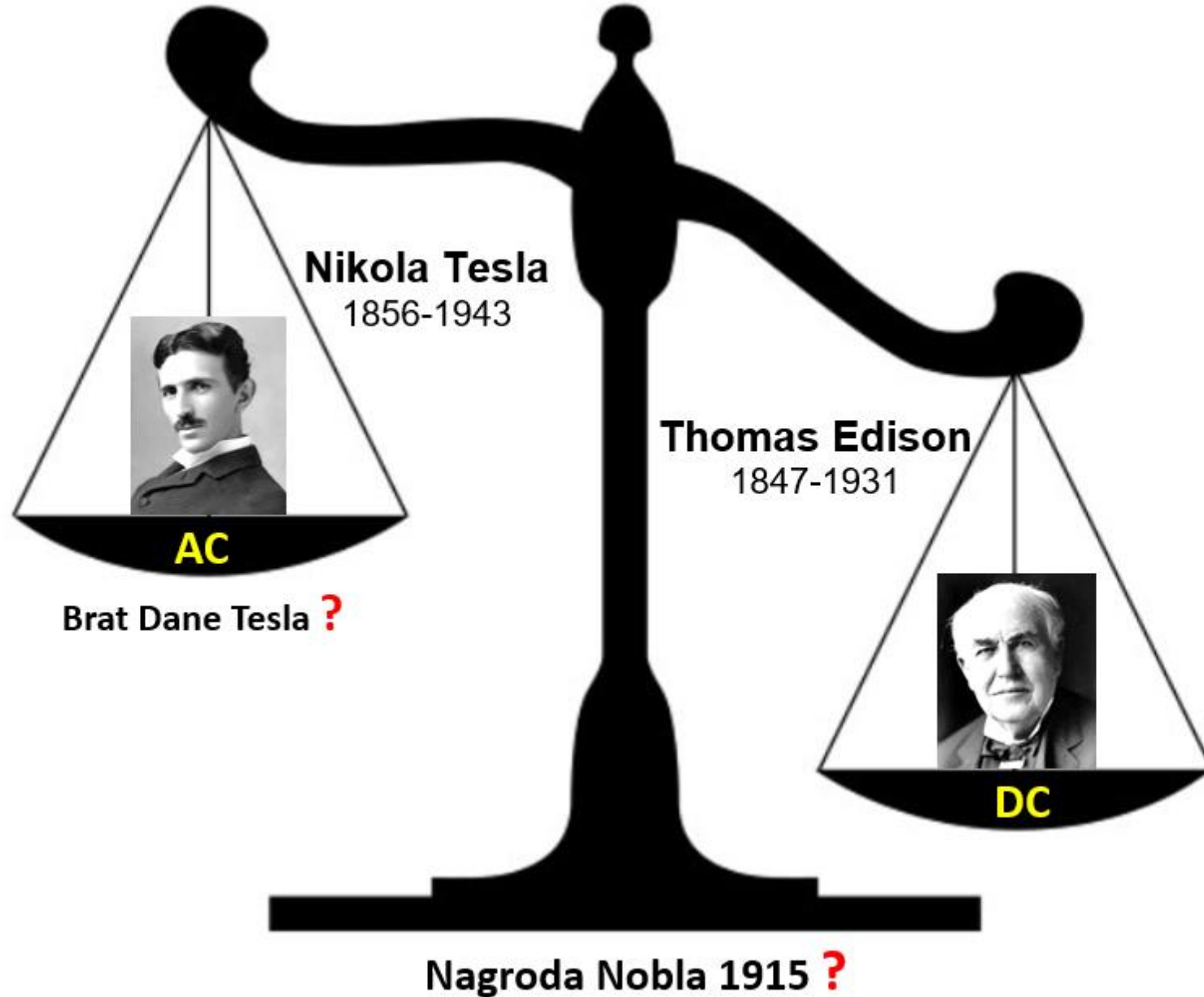
Zakup energii elektrycznej ze środków zgromadzonych na depozycie

Cena RCE zł/kWh



Średnia RCEm	cena (zł/MWh)
od lipca 2022	584,42
od stycznia 2023	443,97

Fotowoltaika jako kompromis DC/AC w dziejowym sporze Edison-Tesla



Napięcie bezpieczne – jest to największa wartość napięcia dotykowego lub roboczego, którego długotrwałe utrzymywanie się nie stanowi żadnego zagrożenia dla zdrowia lub życia człowieka w danych warunkach otoczenia. Obecnie termin „napięcie bezpieczne” został zastąpiony terminem „napięcie dotykowe dopuszczalne długotrwałe”.

W zależności od warunków środowiskowych wynosi:

- dla prądu przemiennego (AC):

50 V – warunki środowiskowe normalne (pomieszczenia suche)

25 V – warunki środowiskowe specjalne (pomieszczenia mokre i gorące)

12 V – warunki zagrożenia ekstremalnego (w basenie, w wannie)

(graniczna wartość natężenia prądu przemiennego to 30 mA)

- dla prądu stałego (DC):

120 V – warunki środowiskowe normalne (pomieszczenia suche)

60 V – warunki środowiskowe specjalne (pomieszczenia mokre i gorące) PV ?

30 V – warunki zagrożenia ekstremalnego (w basenie, w wannie)

(graniczna wartość natężenia prądu stałego to 70 mA)

Powszechnie **przyjmuje się, że w normalnych warunkach oporność ciała człowieka ma wartość około 1 kΩ**. Przepływ prądu przemiennego o wartości powyżej 50 mA zaczyna powodować nieodwracalne szkody. Dlatego też, z prawa Ohma wynika, że „bezpieczna” wartość napięcia to: **1 kΩ · 50 mA = 50 V**. Z tego też względu wyłączniki różnicowoprądowe typu AC (najpopularniejsze) są zbudowane tak, aby wyłączać obwód w przypadku przekroczenia połowy znamionowej wartości prądu różnicowego (najczęściej równego **30 mA**) – gwarantuje to odpowiednią czułość urządzenia równocześnie skutecznie zabezpieczając człowieka.

Prąd stały jest mniej szkodliwy niż prąd przemienny, dlatego też **dopuszczalne są około dwukrotnie większe wartości napięć** dotykowych stałych niż przemiennych. W warunkach specjalnych (np. praca podczas deszczu) następuje obniżenie rezystancji układu człowiek-urządzenie, co powodować może zwiększenie potencjalnego prądu, a w konsekwencji poważniejsze konsekwencje ewentualnego uszkodzenia izolacji elektrycznej. Dlatego też stosuje się **dwukrotne obniżenie** wartości napięcia dotykowego dopuszczalnego długotrwale (w porównaniu do warunków normalnych). W warunkach ekstremalnych (np. w basenie, w wannie) panuje największe zagrożenie, więc napięcia są **ponownie dwukrotnie obniżone**.

Od czego to zależy oddziaływania prądu elektrycznego na organizm ludzki?

- 1. Rodzaju prądu (stały, przemienny) i jego wartości** - prąd stały jest generalnie bezpieczniejszy (wartości podano wcześniej)
- 2. Częstotliwości prądu** - prądy o wyższych częstotliwościach są uważane za bardziej bezpieczne. Wynika to z tzw. efektu naskórkowości, czyli ze zjawiska polegającego na tym, że im większą częstotliwość ma prąd tym płycej wnika w materiał (w tym w ciało ludzkie). Dzięki temu jest szansa, że prąd nie dotrze do serca, ale pozostanie tylko w wierzchniej warstwie ciała.
- 3. Czasu przepływu** – przytoczono wcześniej wartości dopuszczalne długotrwale. Oczywiście człowiek jest w stanie przeżyć więcej, ale wszystko zależy wówczas od czasu oddziaływania energii elektrycznej na organizm. Jak podpowiada logika, im krótszy czas tym „zniesiemy” większe wartości. W tym kontekście **napięcia i prądy oraz czasy powinny być rozpatrywane łącznie** a analiza wpływu np. samego czasu przepływu prądu w oderwaniu od jego wielkości nie ma większego sensu. Z tej przyczyny tworzy się specjalne wykresy czasowo-prądowe zarówno dla prądu stałego jak i zmiennego, na których dodatkowo zaznaczane są strefy przynoszące określone oddziaływania (o czym później).
- 4. Drogi przepływu** - najniebezpieczniejsze są te prądy, które płyną przez serce, a jak wiemy prąd zawsze płynie najkrótszą (o najmniejszym oporze) drogą. Dlatego też porażenie w przypadku gdy np. trzymamy przewód fazowy w jednej ręce a neutralny w drugiej niesie dużo większe zagrożenie niż sytuacja gdy prąd płynie z przewodu fazowego trzymanego w ręce przez ciało do ziemi. W pierwszym przypadku droga przepływu wiedzie przez serce, a w drugim istnieje spora szansa że ten organ zostanie ominięty.
- 5. Indywidualne cechy człowieka** - człowiek, z punktu widzenia prądu elektrycznego, stanowi jakąś impedancję. O ile **dla prądu stałego jest to jedynie rezystancja**, o tyle **dla przemiennego wchodzi jeszcze w grę pojemności (reaktancje)**. Impedancja ciała nie jest stała i zależy m.in. od wilgotności powietrza, stanu naskórka (wilgotność, uszkodzenia), napięcia dotykowego (dlatego można stwierdzić że **człowiek jest w pewnym sensie... warystorem**), częstotliwości prądu, drogi przepływu itd. W dodatku impedancja ta nie jest jednakowa dla wszystkich i wykazuje dużą zmienność osobniczą. Dla większości populacji przy częstotliwości technicznej (50-60Hz) zawiera się ona przedziale 1500-4500 Ω .
- 6. Warunki środowiskowe i cechy otoczenia** - na to, że warunki środowiskowe są ważne, wskazuje chociażby to, że na impedancję ciała człowieka wpływa także wilgotność powietrza. Dodatkowo można powiedzieć że otoczenie (podłoże) wnosi własną rezystancję (tzw. rezystancję przejścia) stanowiącą dodatkową przeszkodę dla przepływu prądu i zależną od rodzaju podłoża (np. 1 G Ω dla drewna czy tylko 100 Ω dla betonu).

Łuk elektryczny – największy „wróg” fotowoltaiki

Największe niebezpieczeństwo pożarowe stanowi łuk elektryczny, który może palić się przy zwarcjach. Może być tak, że rezystancja łuku będzie stosunkowo duża i prąd zwarciovowy będzie miał tak małą wartość, że nie zadziałają zabezpieczenia.

Łuk elektryczny to przepływ prądu przez powietrze, który odbywa się za pośrednictwem zjonizowanego gazu (plazmy) pomiędzy dwoma przewodami elektrycznymi. W kontrolowany sposób, zjawisko to wykorzystuje się m.in. w sektorze przemysłowym. Powstająca przy okazji łuku elektrycznego wysoka temperatura (w zależności od warunków, temperatura łuku elektrycznego osiąga nawet kilka tysięcy stopni Celsjusza!) znajduje zastosowanie przy spawaniu czy w piecach łukowych.

W fotowoltaice wyróżniamy dwa rodzaje stałoprądowych łuków elektrycznych:

- **Łuki elektryczne szeregowe** - to najbardziej prawdopodobne zjawisko, które trudno zidentyfikować. W instalacji PV istnieje wiele punktów, w których występuje połączenie szeregowe (a zatem gdzie może pojawić się łuk) np.: połączenia między ogniwami, na złączach przewodów (MC4), w skrzynkach przyłączeniowych DC i inne.
- **Łuki elektryczne równoległe**, pojawiają się między dwoma pobliskimi przewodami o przeciwnej biegunowości, w tym samym obwodzie prądu stałego.

Łuk elektryczny w fotowoltaice jest zatem realnym zagrożeniem. Jego pojawieniu sprzyjają następujące problemy i niedociągnięcia:

W obrębie wtyczek DC:

- niedopasowane wtyczki MC4 (od różnych producentów),
- źle lub słabo zaciśnięte zaciski elektryczne, lub wtyczki,
- niecałkowicie wciśnięte wtyczki,
- uszkodzone mechanicznie wtyczki,
- niska jakość wtyczki (uszkodzenia i niedoróbki z etapu produkcji).

W obszarze zacisków śrubowych (rozdzielnica, falownik po stronie DC):

- niedokładnie dokręcone styki,
- niedbale włożone przewody,
- zbyt mocne dokręcanie gwintów powodujące ich zerwanie,
- zbyt blisko ułożone przewody.

Przy połączeniach lutowanych:

- nieprecyzyjne lutowanie,
- starzenie się połączeń.

Przy diodach obejściowych:

- przepięcia wywołane np. wyładowaniem elektrostatycznym (piorun),
- długotrwałe przegrzewanie się.

W modułach:

- uszkodzenia ogniw PV, związane np. mikropęknięciami,
- oderwane złącza ogniw,
- pęknięcia szyby lub ogniw.

Przy bezpiecznikach DC:

- nieprawidłowy dobór lub instalacja.

Na przewodach:

- zniszczenie związane z warunkami atmosferycznymi (światło, wilgoć, zmiany temperatur),
- uszkodzenia wywołane przez zwierzęta,
- problemy wynikające ze złego montażu (uszkodzenia mechaniczne na luźno zwisających przewodach, złamanie izolacji lub przewodu).

Inne problemy:

- wilgoć, zanieczyszczenia, itp.

W praktyce, jeśli chodzi o instalację PV, łuk elektryczny może pojawić się praktycznie w każdym miejscu, m.in. w połączeniach wewnątrz modułu, w okolicy złącz przyłączeniowych do modułów PV czy przy połączeniach w falowniku. ***Z pojawieniem się łuku elektrycznego w fotowoltaice zwykle wiąże się bardzo wysoka temperatura (4000-5000 °C).*** Oznacza to, że bardzo szybko może dojść do zapłonu elementów znajdujących się w jego pobliżu. Z badań przeprowadzonych przez m.in. TÜV Rheinland i Instytut Systemów Energetyki Słonecznej im. Fraunhofera (2015) oraz z raportu BRE National Solar Center (2017) wynika, że ***łuk elektryczny będący następstwem błędów montażowych jest jedną z najczęstszych przyczyn powstawania pożarów fotowoltaiki.*** Łuk elektryczny ***może być również bezpośrednim zagrożeniem dla ludzi. Może powodować rozległe oparzenia, uszkodzenia oczu, słuchu, płuc, a także uszkodzenia ciała wywołane ewentualnym wybuchem.*** Również dla osób prowadzących akcję gaśniczą, praca w warunkach obecności wysokiego napięcia prądu stałego jest niebezpieczna.

Metody wykrywania i przerywania łuku elektrycznego w fotowoltaice

Podstawowym narzędziem do wykrywania łuku elektrycznego oraz jego przerywania jest tzw. **moduł AFCI**. AFCI (*ang. Arc-Fault Circuit Interrupter*) to inaczej **przerywacz obwodu łuku zwarciovego**. Jest to rozwiązanie, które wykrywa i wygasza łuk elektryczny. Jednocześnie moduł AFCI informuje użytkownika o wystąpieniu niebezpiecznej sytuacji. Dzięki temu, ma on szansę znaleźć i usunąć potencjalnie niebezpieczny element instalacji fotowoltaicznej. Koncepcja AFCI nie jest ściśle związana z branżą fotowoltaiczną. Wyłączniki AFCI są stosowanego w różnego rodzaju instalacjach elektrycznych, jako zabezpieczenie przed łukiem elektrycznym. W Stanach Zjednoczonych i Kanadzie są koniecznym elementem instalacji chroniącym gniazda elektryczne. **Jedną z pierwszych firm, która wykorzystwała AFCI w falownikach była marka SMA**, która w 2012 roku zaprezentowała model inwertera ze wbudowanym modułem AFCI. Produkt został opracowany na rynek amerykański - miał m.in. odpowiadać wprowadzonych w 2011 roku normom National Electrical Code (NEC). **Pojawienie się zwarcia łukowego DC nie pozostaje bez wpływu na napięcie i natężenie prądu w instalacji fotowoltaicznej. Przeprowadzając pomiary we właściwym, miejscu można wykryć odkształcenia we wzorcowych przebiegach natężenia i napięcia prądu, wskazujące na wystąpienie łuku elektrycznego.** Uzyskane dane są następnie analizowane przez specjalny przetwornik i porównywane do próbek danych zebranych podczas normalnej pracy oraz podczas występowania łuku zwarciovego. Dzięki temu możliwe jest ustalenie, czy i gdzie występuje łuk elektryczny w instalacji fotowoltaicznej. Następnie falownik odcina drogę powstawania łuku i wysyła do użytkownika informację o wykryciu problemu. Wszystko odbywa się w ułamkach sekund, dzięki czemu łuk zwarciovowy nie ma szans dokonać większych zniszczeń.

<https://enerad.pl/aktualnosci/afci-na-luk-elektryczny-w-fotowoltaice-co-to-za-zabezpieczenie/>

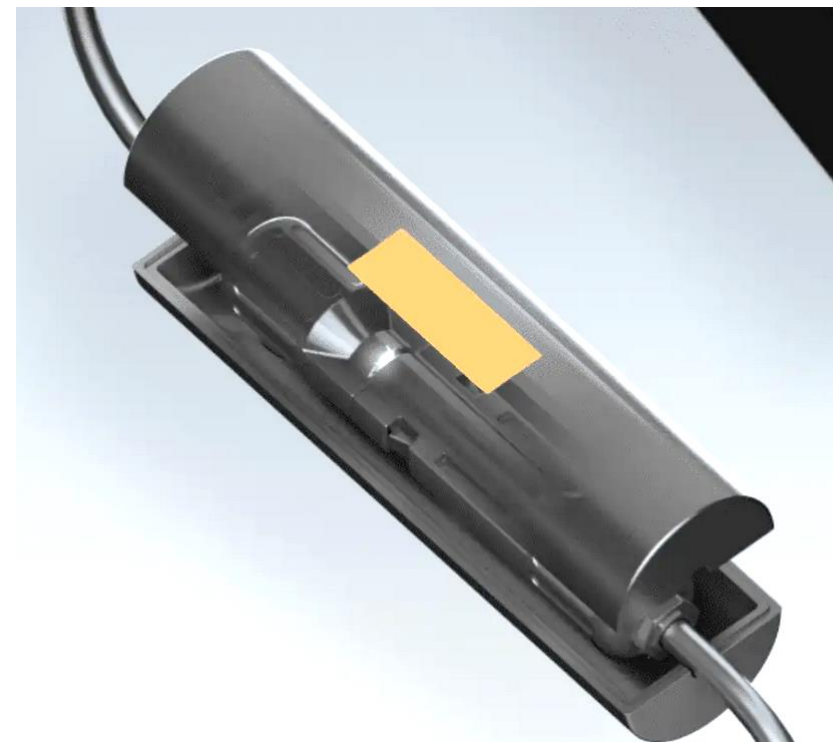
Nowa generacja AFCI – Arc-Fault Circuit Interrupter

GoodWe, dostawca falowników fotowoltaicznych, wprowadził nową generację ochrony przed łukiem elektrycznym **AFCI**, zatwierdzonych przez TÜV Rheinland, w celu rozwiązania problemu wyłączeń łukowych prądu stałego w systemach PV.

Dzięki integracji zaawansowanej sztucznej inteligencji (AI) technologia ta wykrywa wyłączenia łukowe z niezwykłą precyzją. Ma zasięg wykrywania łuku wynoszący **200 m** i osiąga szybkie wyłączenie w ciągu **500 ms** (przekraczając wymagania normy UL 1699B dotyczące szybkości wyłączenia wynoszącej 2,5 s). We współpracy z TÜV Rheinland, GoodWe wydało również białą księgę skupiającą się na kwestiach **bezpieczeństwa związanych z wyłączeniami łukowymi prądu stałego w instalacjach PV**. AFCI firmy GoodWe spełnia techniczne standardy rynkowe dotyczące postępowania w przypadku **zwarc łukowych prądu stałego w systemach fotowoltaicznych** w rozwiązaniach mieszkaniowych, komercyjnych i przemysłowych

W przeciwieństwie do tradycyjnego podejścia opartego na osobistym doświadczeniu, nowa technologia AFCI firmy GoodWe łączy w sobie **sztuczną inteligencję** oraz **głębokie uczenie się**, umożliwiając **analizę charakterystyk łuków w różnorodnych scenariuszach**. Umożliwia to utworzenie biblioteki charakterystyk łuku, eliminując fałszywe i pominięte raporty spowodowane hałasem otoczenia. Systemy fotowoltaiczne GoodWe zintegrowane z tą funkcją AFCI mogą osiągnąć precyzyjną dokładność wykrywania, co zostało potwierdzone przez TÜV Rheinland.

Wewnątrz osłony umieszczona jest taśma samogasząca (sticker Columbus Safe), który firma już od blisko dwóch lat stosuje do zabezpieczeń skrzynek DC. – Urządzenie Columbus Safe 2.0 – zatrzyma ogień i go ugasi.



gaśnica proszkowa 4 kg ABC (GP-4x)

Posiadaczom instalacji fotowoltaicznej zaleca się również zakup gaśnicy proszkowej zawierającej co najmniej 4 kg proszku gaśniczego. Proszek gaśniczy umożliwia bezpieczne gaszenie instalacji elektrycznych z odległości co najmniej 1 m. Gaśnica ta powinna znaleźć się obok falownika i urządzenia zabezpieczającego instalację.

Złącze MC4 – najslabszy element instalacji PV

W zakresie doboru złącz MC4 (podobne wytyczne dotyczą sporadycznie występujących złącz starszego typu MC3) należy stosować dwa główne zalecenia:

- złącza **MC4** (męskie/żeńskie) muszą być *tego samego typu i producenta*,
- należy dążyć do *minimalizacji liczby połączeń DC* w instalacji PV.

Szczególną uwagę na zagadnienie kompatybilności złącz MC4 należy zwrócić przy podłączaniu do modułów PV zewnętrznych urządzeń **MPL** (ang. *Module Level Power Electronics*), takich jak *mikrofalowniki* lub *optymalizatory mocy*. Niezastosowanie złącz tego samego typu i producenta w modułach PV i urządzeniach MLPE może potencjalnie prowadzić do zwiększenia ryzyka powstania łuku elektrycznego, a co za tym idzie – ryzyka powstania pożaru.



Początkowa rezystancja kontaktu **MC4** po połączeniu nigdy nie przekroczyła **0,35 mΩ**

Najczęściej stosowane są przewody o przekrojach **4 mm²** (rezystancja właściwa = **4,6 Ω/km**) oraz **6 mm²** (rezystancja właściwa = **3,1 Ω/km**). Dopuszczalny spadek napięcia **1%** (strony DC i AC).



Siła wyrywania: 454N

Brak dostępu powietrza do żyły przewodu

Długotrwała wytrzymałość

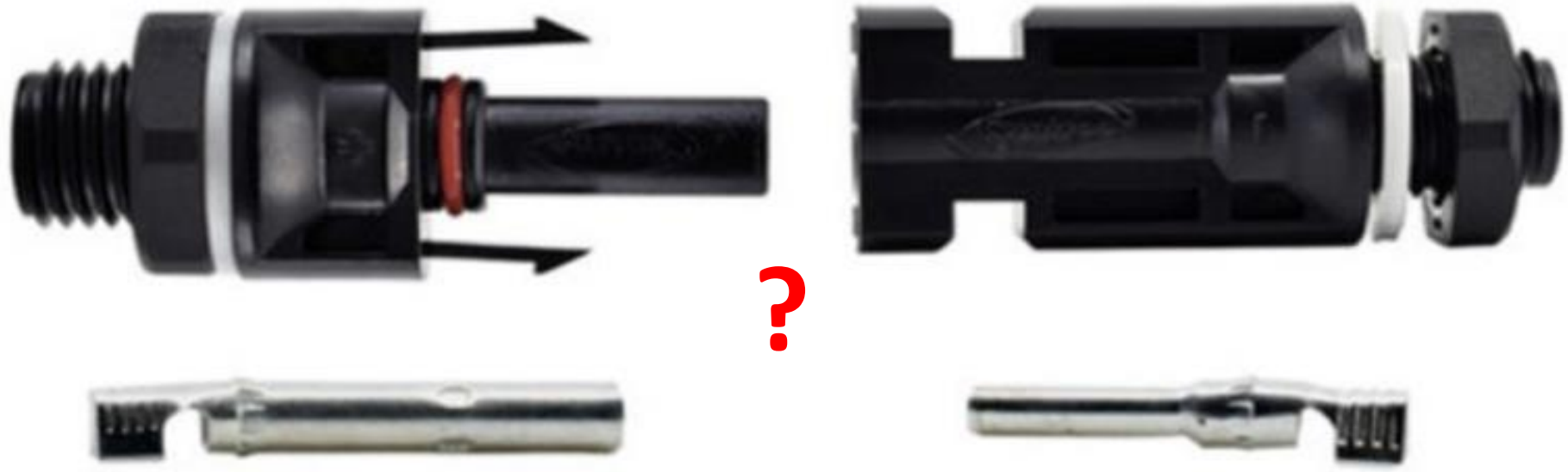
**Wymóg normy PN-EN 60352-2:
siła wyrywania (4mm²) >310N**



Siła wyrywania: 94N

Dostęp gazu do żyły przewodu

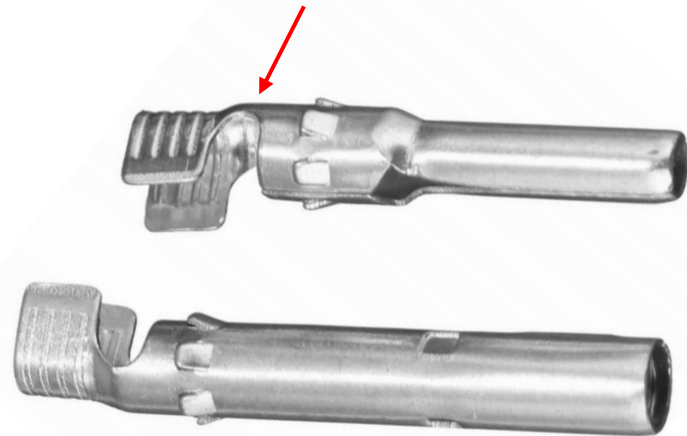
→ korozja, niebezpieczeństwo porażenia prądem i pożaru



Amphenol H4

IP68
40A
1kV...

Słaby punkt **MC4** – no
i uniwersalność – na
średnice 4-10 mm² ?

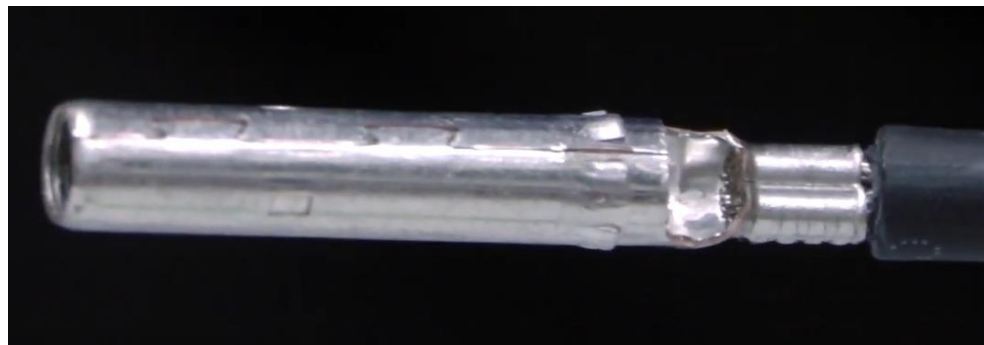
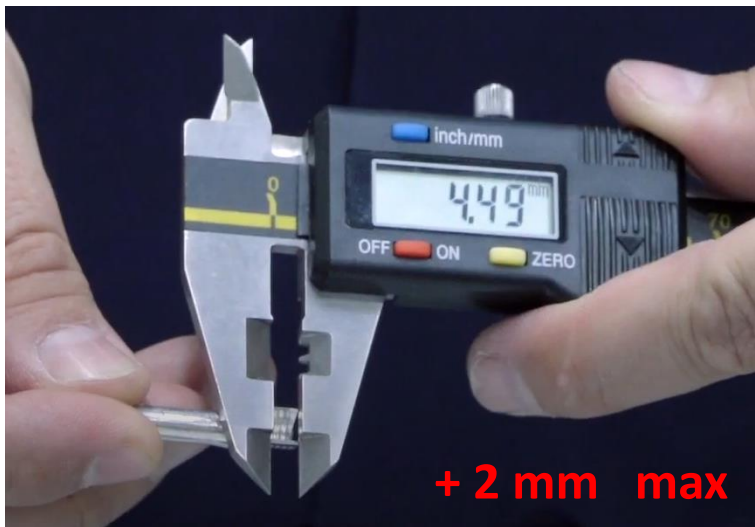


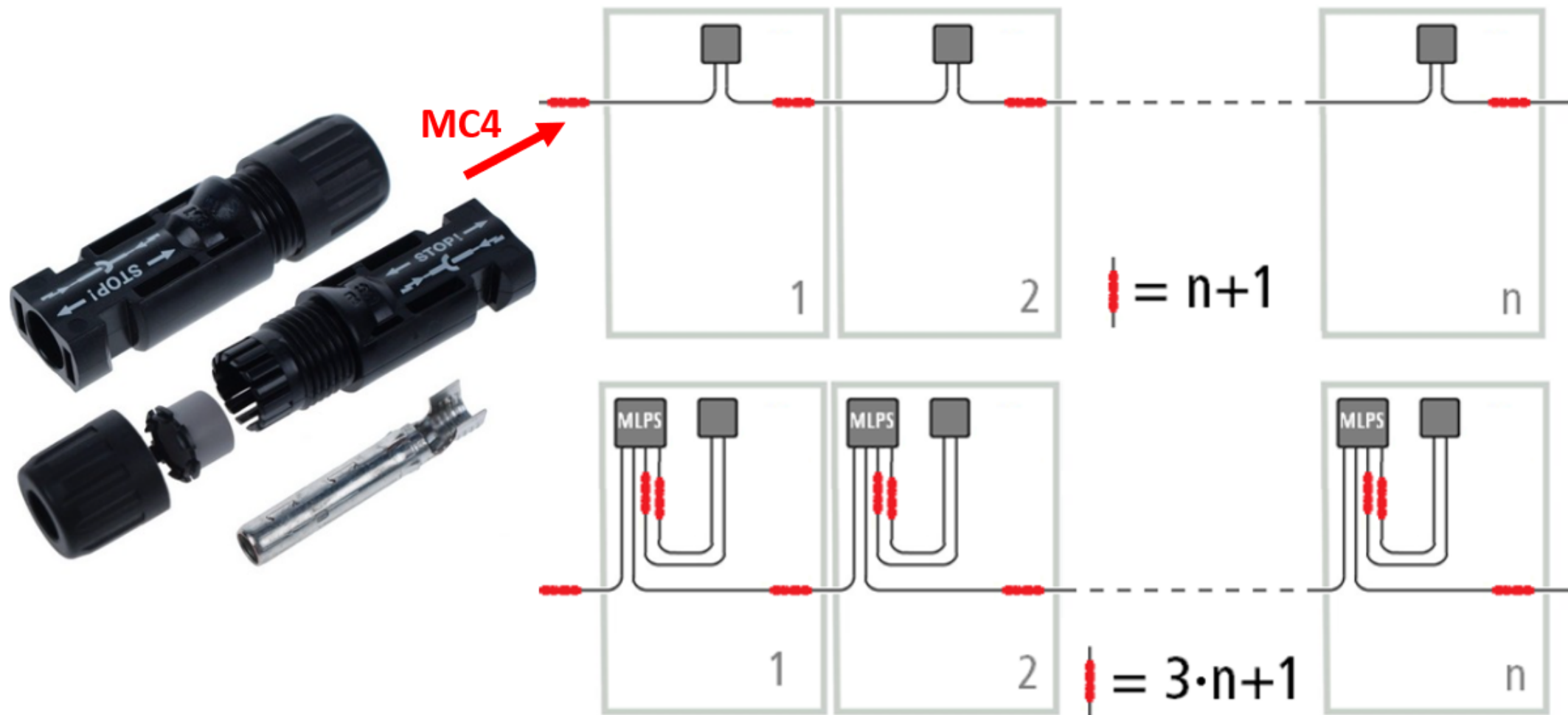
dla przekrojów 4 i 6 mm² PV – dedykowane oddzielnie !



<https://elektrykapradnietyka.com/36213/czym-charakteryzuja-sie-zlaczta-h4-amphenol/>

<https://fastons.pl/product/zlaczta-toczne-zlaczta-solarne-amphenol-helios-h4-meskie-i-zenskie-dla-przekrojow-4-mm%2b2-pv-komplet-h4cmc4dm-i-h4cfc4dm/>



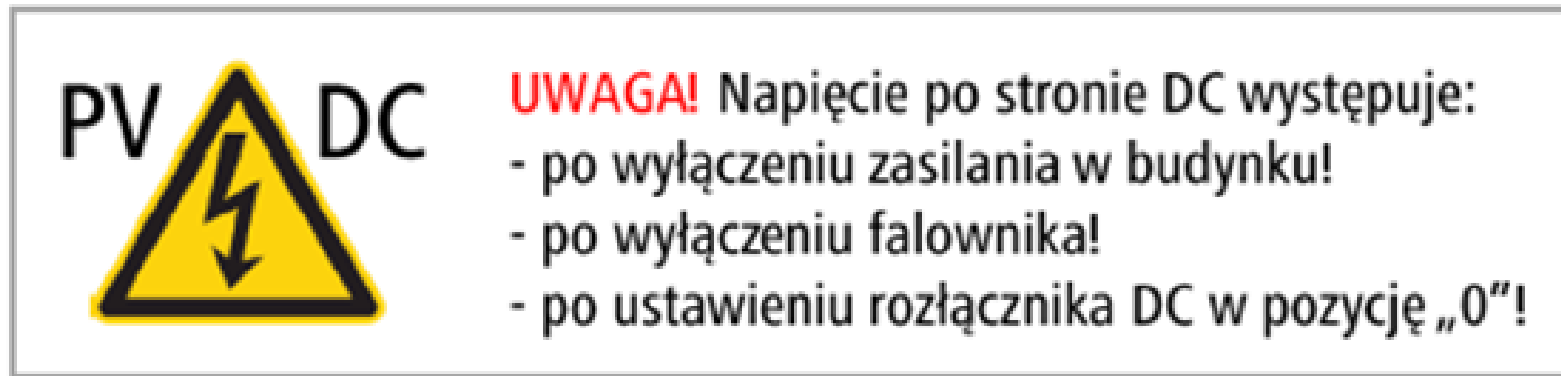


Liczba złącz **MC4** w instalacji PV z optymalizatorami zwiększa się trzykrotnie. Dobrą praktyką instalatorską jest również *wymiana skrajnych złącz MC4*, aby były one kompatybilne na przewodach łączących (tzw. powrotnych) stringi z falownikiem.

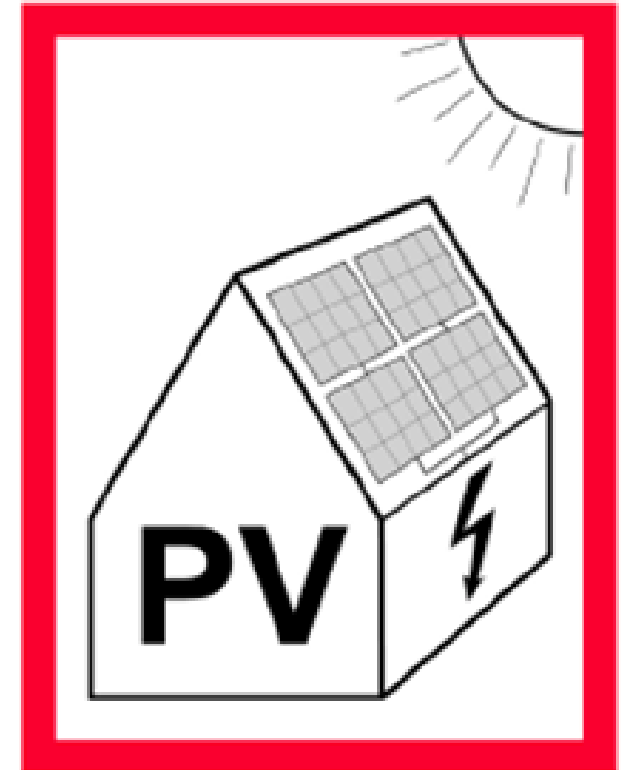
W celu zapewnienia odpowiedniego bezpieczeństwa dla ekip ratowniczo gaśniczych należy odpowiednio oznakować obiekt wyposażony w PV (zgodnie z normą PN-EN 60364-7-712). Naklejka (**rysunek b**) z wizerunkiem modułów PV na dachu budynku powinna być umieszczona:

- w miejscu przyłączenia instalacji PV,
- w rozdzielni głównej budynku,
- przy liczniku,
- przy głównym wyłączniku zasilania.

a)

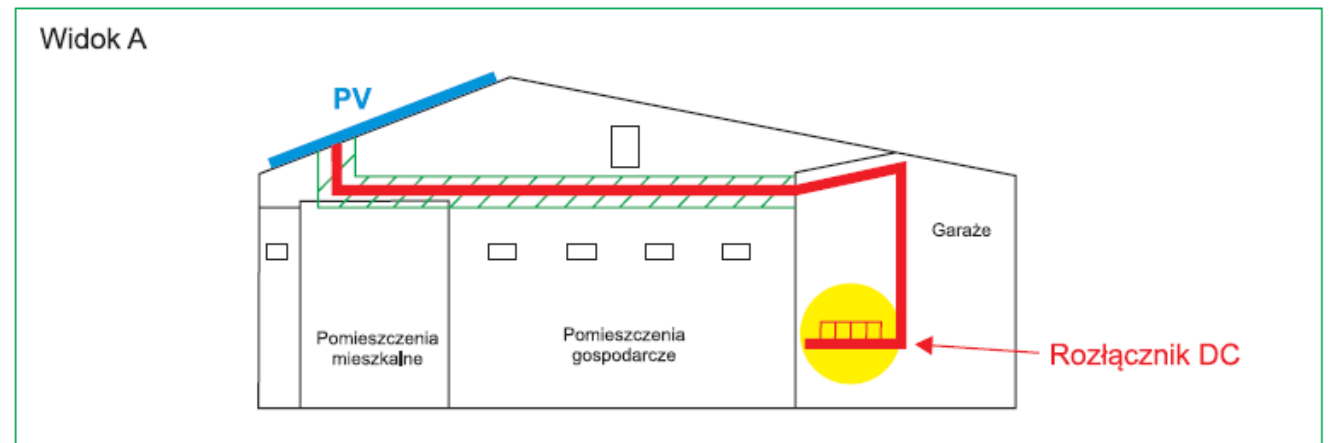
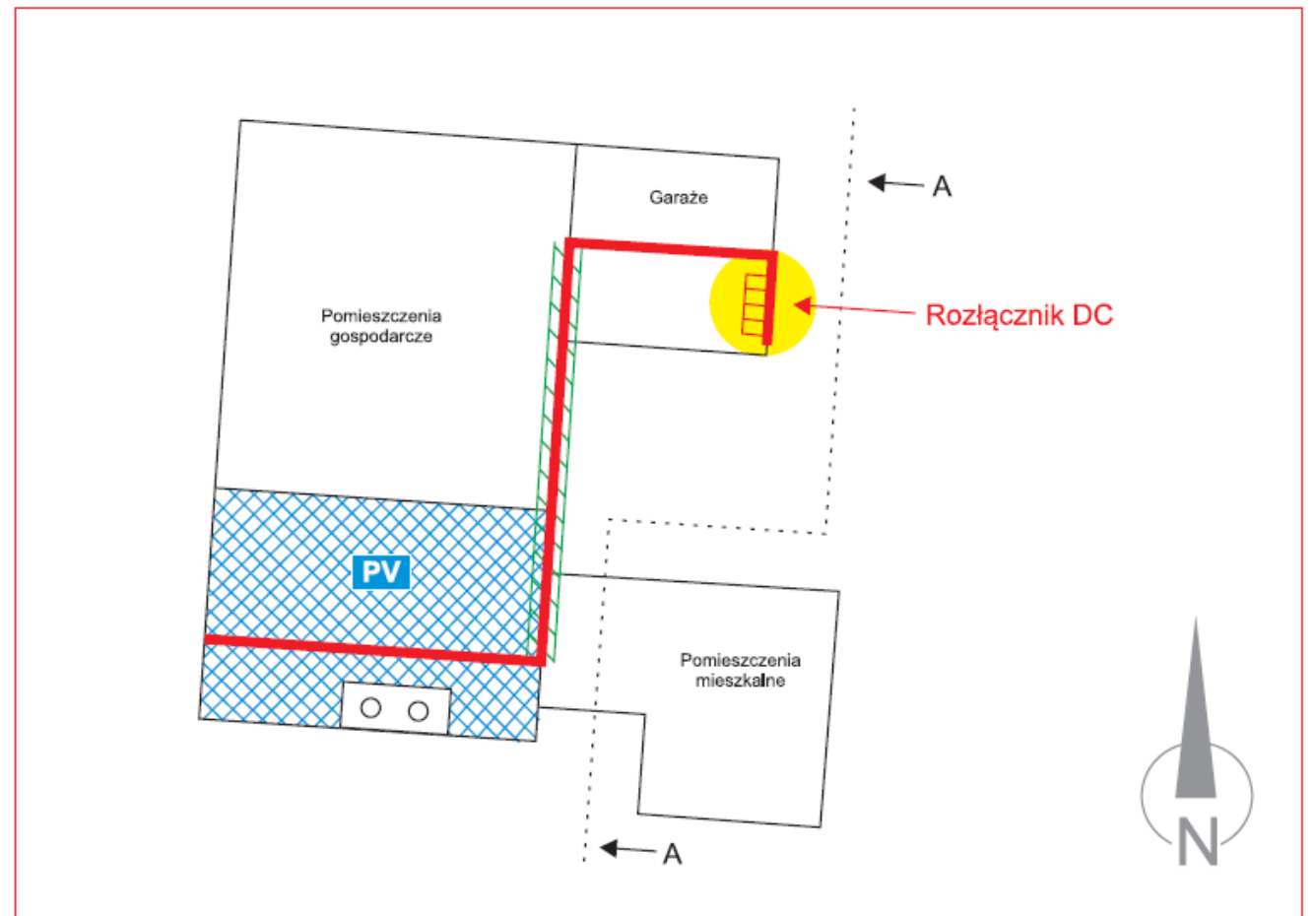


b)



Trasy przewodów oznakować wg wzory na rys. a)

Przykład ogólnego planu domowej instalacji PV dla służb gaśniczych

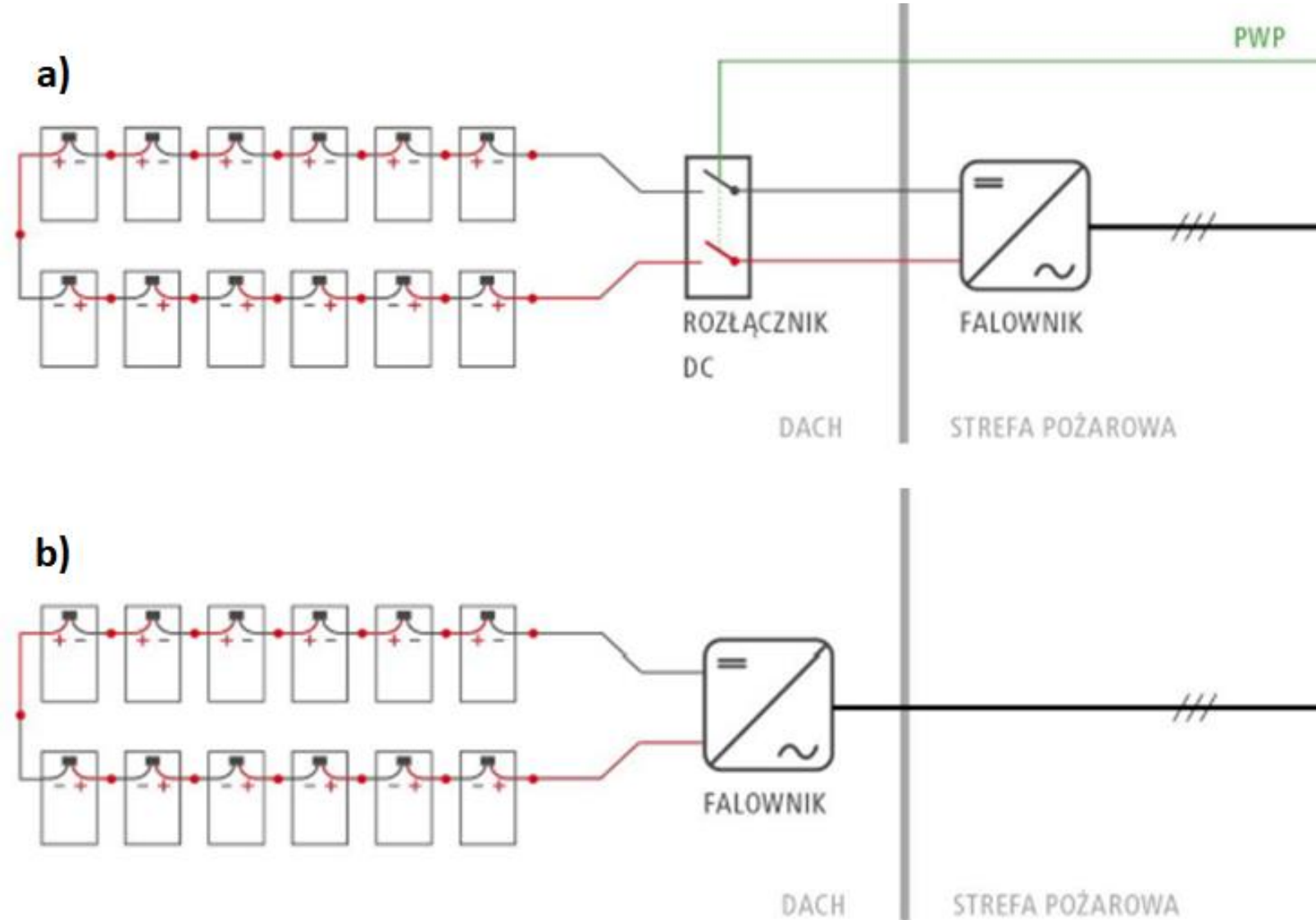


Dwa warianty umożliwiające odłączenie zasilania przewodów prowadzonych przez budynek:

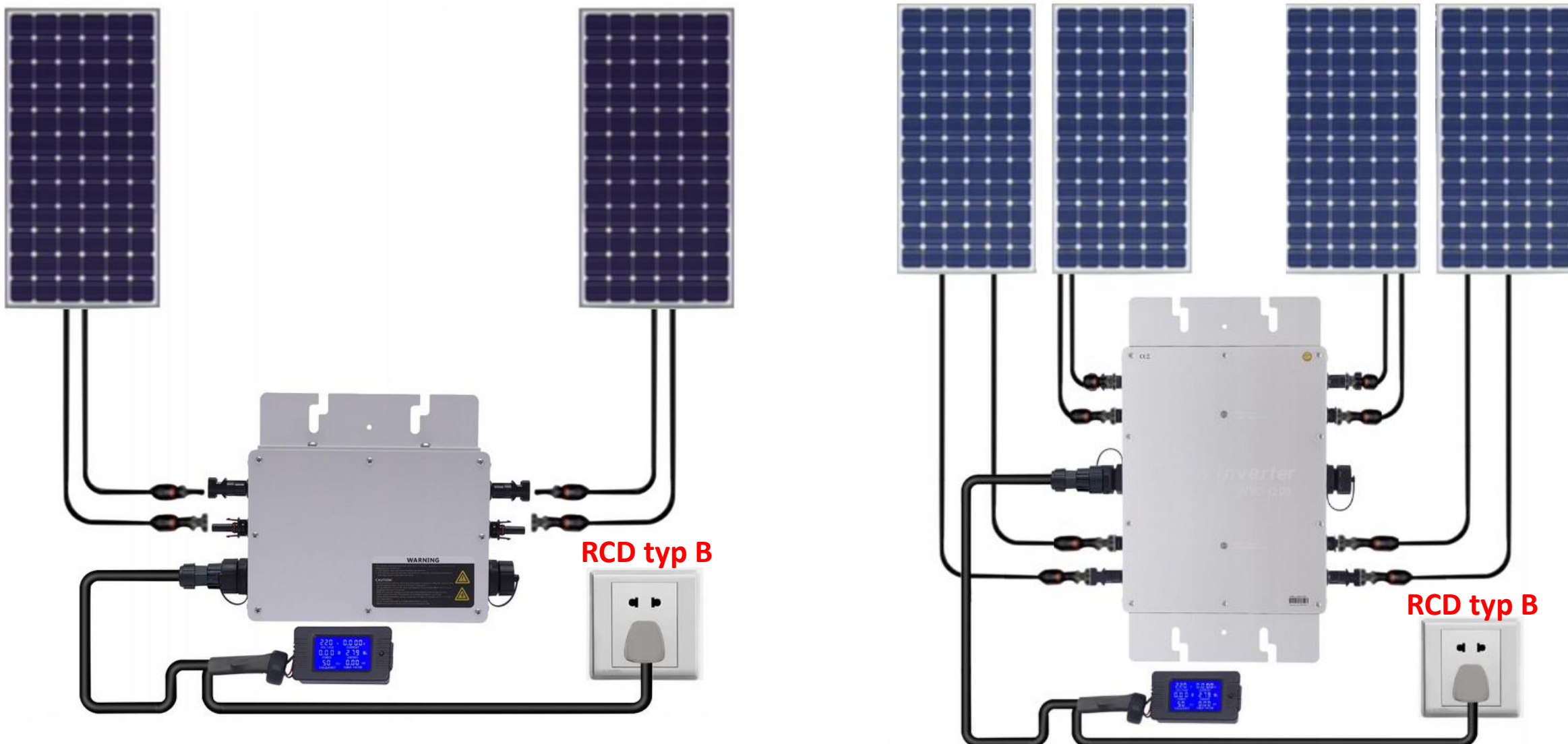
a) wariant z zewnętrznym rozłącznikiem DC

i

b) wariant z umiejscowieniem falownika (oraz obwodów DC) poza strefą pożarową



Mikrofalowniki PV



Mikrofalowniki PV obecnie obsługują od 1 do 6 modułów PV

W niektórych krajach (np. USA) ostatnio w domowych instalacjach PV zaczęto masowo stosować mikrofalowniki PV, które charakteryzują się następującymi zaletami:

- są 1-fazowymi falownikami PV typu on-grid,
- obsługują obecnie od 2 do 6 modułów PV (pierwsze konstrukcje były dla pojedynczych modułów PV),
- każde wejście mikrofalownika PV jest wyposażone w niezależny moduł MPPT, czyli każdy moduł jest niezależnie optymalizowany,
- możliwość niezależnego monitorowania parametrów pracy każdego modułu PV,
- instalacja PV z mikroinwerterami jest wydajniejsza i bardziej odporna na częściowe zacinienie,
- duża dowolność i elastyczność przy wymiarowaniu, rozmieszczeniu i rozbudowie instalacji PV,
- napięcie po stronie DC nie przekracza 60 V, czyli jest w zakresie bezpiecznym nawet w warunkach środowiskowych specjalnych,
- awaria pojedynczego mikrofalownika PV nie wpływa na pracę pozostałej części systemu PV,
- mniejsza awaryjność i dłuższa gwarancja producenta mikrofalowników PV (np. firma Hoymiles udziela gwarancji na 25 lat),
- mniejsze straty na przewodach i złączach,
- wadami są wyższy koszt instalacji, 1-fazowość i brak bezpośredniej współpracy z magazynami energii.

O nienajlepszej opinii o mikrofalownikach PV w Polsce zdecydowały dwa wydarzenia: wprowadzenie w 2014 i wycofanie z rynku w 2015 niezbyt udanych mikrofalowników firmy SMA (SB 240) oraz napływ złej jakości mikrofalowników z Chin w roku 2019. Nowoczesne konstrukcje mikroinwerterów PV są *hermetycznie zamkniętymi, zalanymi żelami elektronicznymi układami niewymagającymi chłodzenia i uziemienia.*

Mikroinwertery:

HM-1500 1F Hoymiles

USA
od 2017
(NEC 2017)
Rapid Shutdown

Typ - **Mikroinwerter**

Moc [VA] - **1500**

Moc maksymalna modułu PV [W] - **470**

Gwarancja na produkt - **12 lat**

Sprawność maksymalna [%] - **96.7**

Napięcie maksymalne [V] - **60**

Maksymalne napięcie MPPT [V] - **48**

Minimalne napięcie MPPT [V] - **36**

Minimalne napięcie startu [V] - **22**

Prąd maksymalny [A] - **11.5**

Liczba faz - **1**

Liczba MPPT - **2**

Masa [kg] - **3.75**

Typ komunikacji - **WiFi**

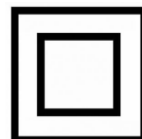
Obsługiwana liczba modułów PV - **4**

Wymiary [mm] - **176 x 280 x 33**



IP67

II klasa ochronności



+ Moduły PV typu:

PERC, TOPCon, HJT...?

(wyk. odbicie, dwustronne n, wielozłączowe)

Deye SUN500G/600G



<https://enphase.com/pl-pl/installers/microinverters>

<https://rokaenergy.com/>

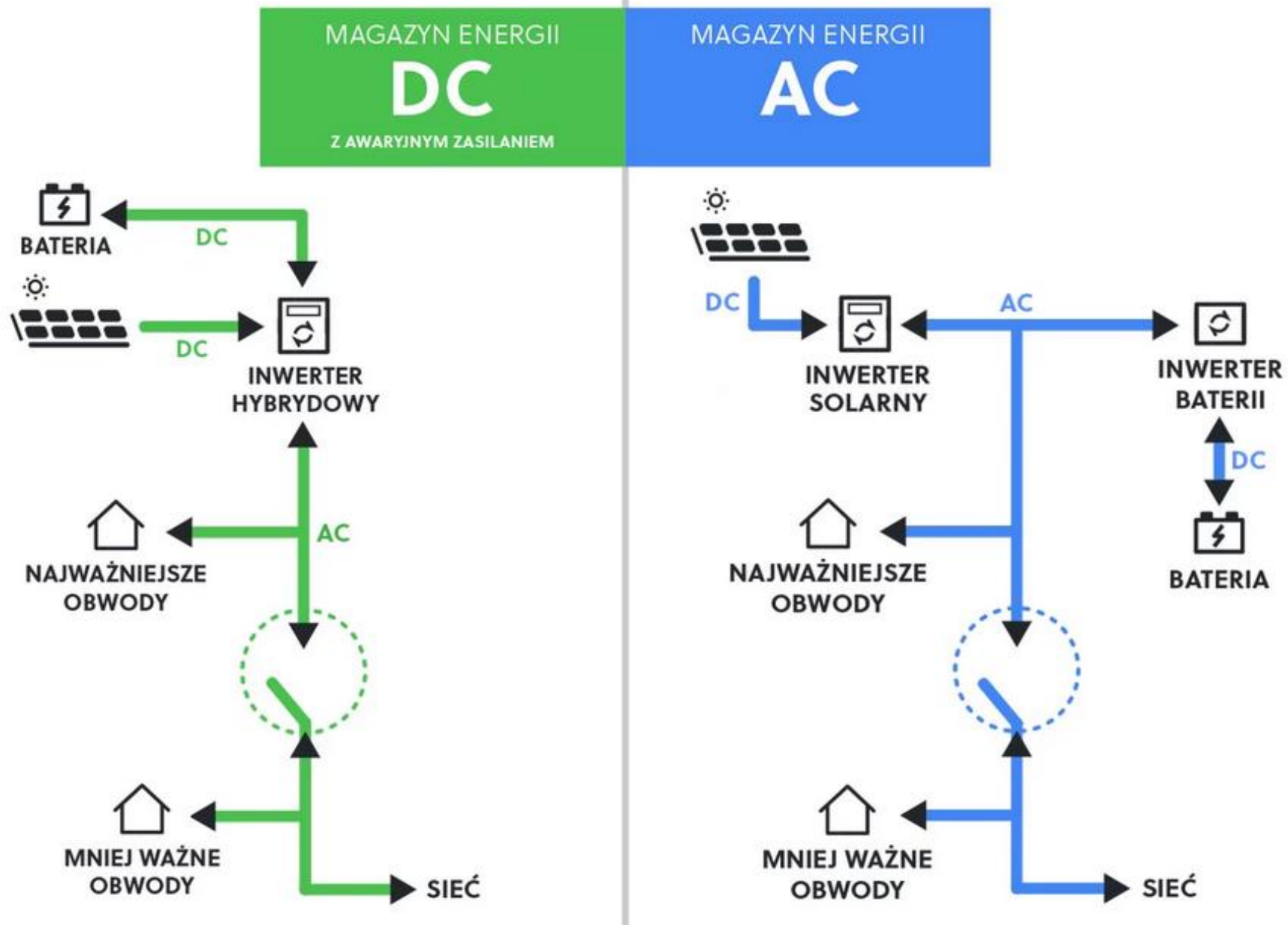
<https://fotowoltaika-niskonapieciowa.pl/>

Nowe wyzwanie – wymagania ppoż. dla magazynów energii

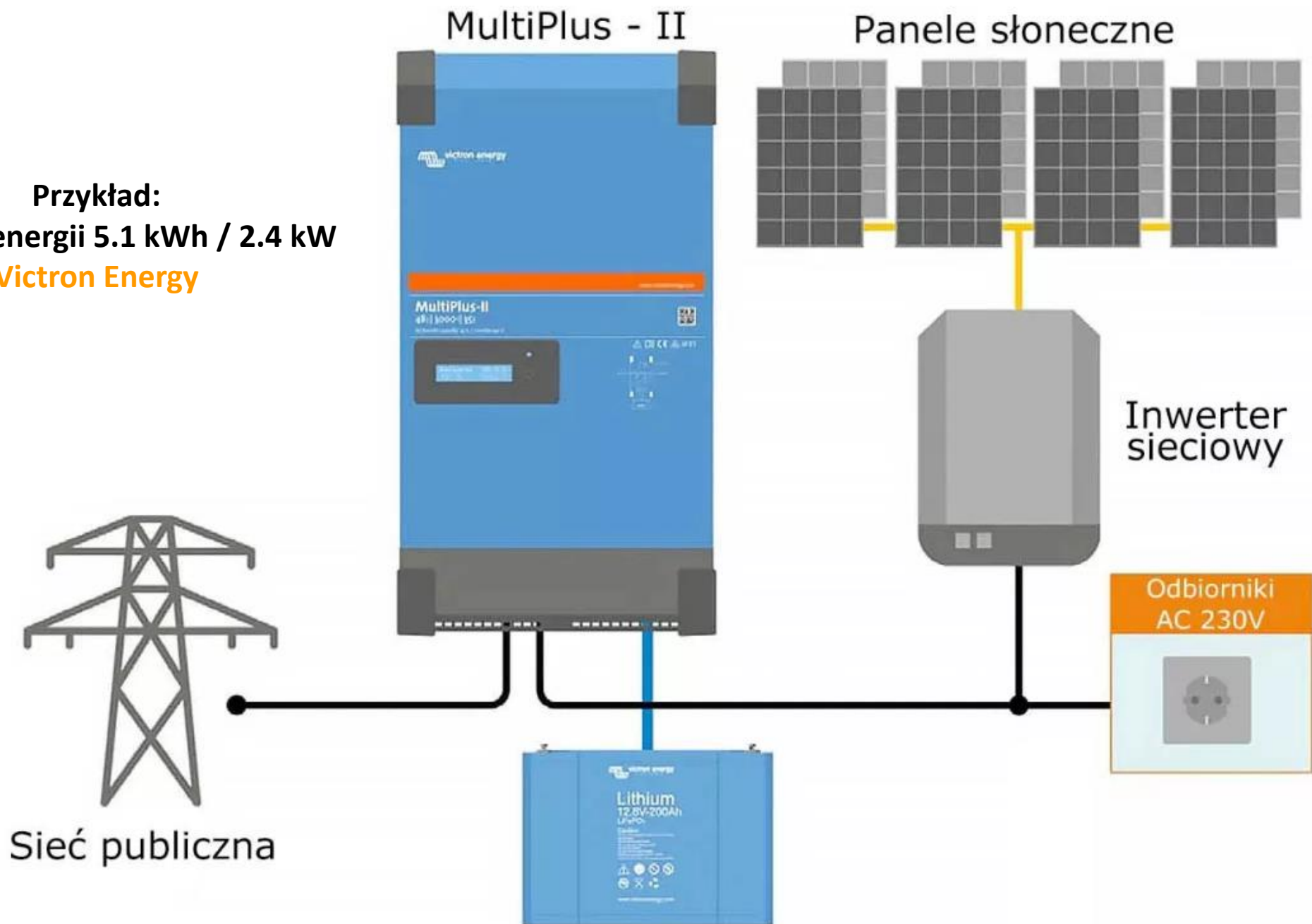
Zbliżający się fakt wprowadzenia rozliczeń godzinowych (RCE) za energię wymusza na prosumentach stosowanie magazynów energii. *Magazyn energii DC od AC różni się typem akumulatora* (wysokonapięciowe dla magazynu DC, niskonapięciowe dla AC) *i liczbą urządzeń, a w konsekwencji ceną*. Magazyn energii DC jest tańszy niż AC, bo dzieli z instalacją PV wspólny *falownik hybrydowy*, a wersja AC wymaga dwóch inwerterów - jednego do fotowoltaiki i drugiego do akumulatora. Niestety musi to być specjalny rodzaj inwertera - inwerter hybrydowy - zatem montaż magazynu najczęściej (ale nie zawsze) musi przebiegać wraz z montażem fotowoltaiki, co wymaga planowania z wyprzedzeniem.

Najważniejsze korzyści z zastosowania magazynu energii:

- zwiększanie autokonsumpcji z instalacji PV,
- lepsze dostosowanie profilu zużycia energii po wprowadzeniu godzinowych zmian RCE,
- zapewnienie zasilania awaryjnego – w przypadku awarii sieci,
- uodpornienie systemu PV na samoczynne wyłączanie się falowników, np. z powodu zbyt wysokiego napięcia w sieci.



Przykład:
Magazyn energii 5.1 kWh / 2.4 kW
Victron Energy



Podczas pożaru po przekroczeniu określonej temperatury następuje ***gwałtowny rozkład termiczny*** systemu magazynowego (*ang. Thermal Runaway*), który zależy od następujących czynników:

- stanu naładowania (największe zagrożenie występuje przy 100% SOC lub podczas przeładowania),
- temperatury otoczenia,
- rodzaju ogniwa,
- konstrukcji ogniwa (rozmiar ogniwa, objętość elektrolitu itp.),
- rozprzestrzenianie się niekontrolowanej temperatury z jednego ogniwa do sąsiednich ogniw.

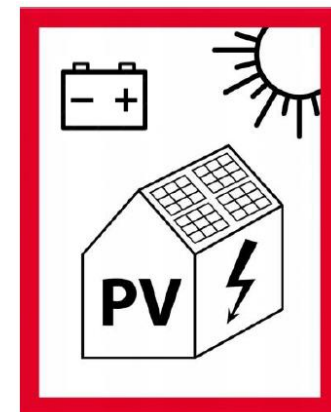
Jednym z najważniejszych parametrów pracy systemów bateryjnych jest ***temperatura pracy***, przekroczenie której może doprowadzić do wybuchu pożaru ogniwa. Dlatego podczas użytkowania systemów magazynowania energii ważne jest, aby zapewnić prawidłowe warunki pracy, w szczególności:

- z reguły ogniwa litowo-jonowe nie są przeznaczone do pracy i przechowywania w temperaturach powyżej 60°C,
- sporadycznie stosowane są akumulatory litowo-jonowe o dopuszczalnej temperaturze pracy 85°C,
- ***optymalna temperatura pracy: 20°C do 40°C*** - w tym zakresie temperatur akumulator litowo-jonowy ma najwyższą wydajność i jednocześnie starzenie jest nadal akceptowalne.

W ***ujemnych temperaturach*** mogą pojawić się groźne mechanizmy starzenia, które mogą prowadzić do nieodwracalnego uszkodzenia ogniw. Większość dostępnych na rynku ogniw litowo-jonowych wykazuje samonagrzewanie do temperatury około 80°C przy 100% SOC.

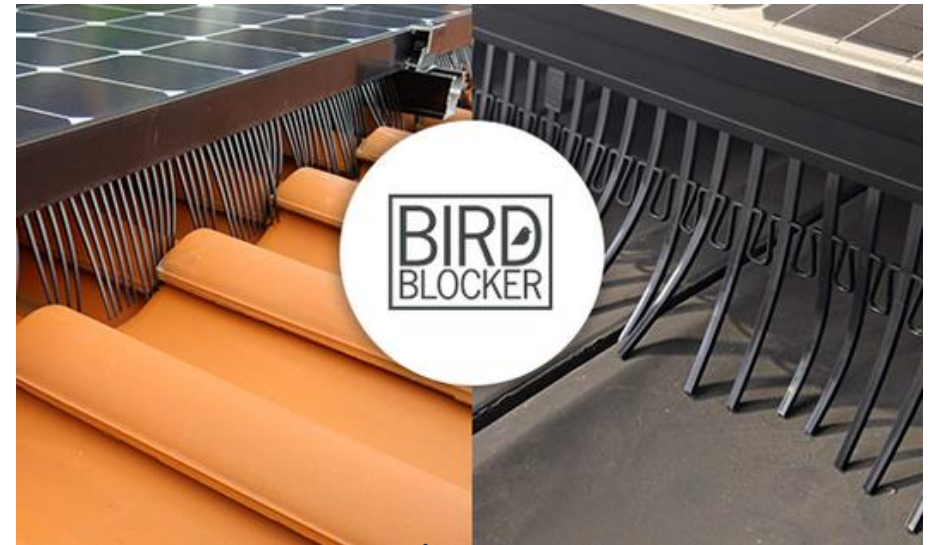
Podczas pożaru akumulatorów litowo-jonowych należy zwrócić uwagę na następujące elementy:

- **Woda lub wodne środki gaśnicze, mogą najskuteczniej spowolnić lub zatrzymać postępujący rozkład termiczny ogniwo litowo-jonowych (ang. *Thermal Runaway*), ponieważ ogniwo Li-Ion zaczyna się rozkładać już w temperaturze ok. 130 °C, dlatego rozkład jednego ogniwa może wywołać rozkład kolejnych ogniwo i w takim przypadku ogniwa znajdujące się w zestawie baterijnym mogą rozkładać się jedno po drugim.**
- Aby zapobiec dalszej degradacji ogniwo, należy je ***natychmiast schłodzić***. Chłodzenie ogniwo/akumulatorów/magazynów powinno trwać wystarczająco długo (nawet kilka lub kilkanaście godzin), aby zmniejszyć prawdopodobieństwo dalszej ich degradacji. Wystarczy regularne zwilżanie wodą. Jeśli temperatury były wcześniej bardzo wysokie lub systemy magazynowe są duże, to ogniwa mogą rozkładać się przez dłuższy czas (akcja ratownicza może trwać nawet 24 godziny). Woda ma również tę zaletę, że wypłukuje z gazów spalinowych niebezpieczny fluorowodor.
- ***Nawet jeśli elementy ogniwa wejdą w bezpośredni kontakt z wodą gaśniczą, to nie ma ryzyka niebezpiecznej reakcji z litem i wynikającego z tego powstania wybuchowego wodoru.*** Niemniej jednak obszar ten powinien być dobrze wentylowany, przy zachowaniu pełnej ostrożności. Stosując gazowe środki gaśnicze nie uzyskamy dostatecznego efektu chłodzenia, co w przypadku pożaru ogniwo bateryjnych jest bardzo istotne (w początkowej fazie pożaru).
- ***Użycie proszku przeciwpożarowego nie jest ani praktyczne, ani konieczne.*** Ponieważ proszek nie ochładza się, ten środek gaśniczy ma niewielki wpływ na dalszy przebieg pożaru. Ponadto uwolniony kwas fluorowodorowy nie zostanie przez niego związany. Środki gaśnicze na bazie proszku dobrze się sprawdzają w przypadku automatycznych systemów gaśniczych.
- ***Zastosowanie środków gazowych, wypierających tlen tłumi pożar elektrolitu organicznego i zmniejsza uwalnianą energię.*** Jednakże w takim przypadku również nie ma efektu chłodzenia, a tlen w ogniwie umożliwia przynajmniej częściowe utlenienie rozpuszczalnika nawet bez zewnętrznego tlenu atmosferycznego.
- ***Mechaniczne zniszczenie ogniwa lub modułu baterijnego może spowodować wyciek elektrolitu ogniwa.*** Ulatniający się elektrolit jest palny i powoduje korozję ze względu na zawartą w nim przewodzącą sól. W zależności od temperatury zapłonu użytego elektrolitu, w rzadkich przypadkach opary mogą tworzyć atmosferę wybuchową.



Dobrym *podsumowaniem* rozważań jest przypomnienie stwierdzenia, że *prawidłowo zaprojektowana i wykonana instalacja PV nie stwarza zagrożenia pożarowego*, a żeby tak było należy stosować, np. *fotowoltaiczny dekalog dobrych* (sformułowany przez Stowarzyszenie Branży Fotowoltaicznej - SBF) praktyk, który obejmuje:

1. Prawidłowe posadowienie instalacji PV na budynku.
2. Wykonanie połączeń za pomocą złącz tego samego typu i producenta.
3. Okresowe badania termowizyjne.
4. Pomiar elektryczny: rezystancji i ciągłości.
5. Momenty dokręcenia zacisków śrubowych.
6. Ochrona kabli i przewodów przed uszkodzeniem.
7. Używanie odpowiednich narzędzi.
8. Oznaczenia instalacji PV.
9. Regularne przeglądy serwisowe.
10. Dodatkowe zabezpieczenia w aspekcie ochrony ppoż. (np. **BirdBlockery** - rzadko stosowane).



WNIOSKI

1. Fotowoltaiczny *dekalog dobrych praktyk* (Białe Księgi ...) - np. Stowarzyszenie Branży Fotowoltaicznej – SBF.
2. Najsłabsze ogniwo zagrożeń pożarowych systemów PV – *złącze MC4 (H4 ?)*
3. Należy rozważyć stosowanie *mikroinwerterów PV* na dachowych niskonapięciowych instalacjach PV, a falowniki centralne (stringowe) w wolnostojących. Takie podejście jest wynikiem trudności z wykonywaniem przeglądów okresowych złącz MC4 „ukrytych” pod modułami na dachu. Takie podejście redukuje do niezbędnego minimum wielkość części DC systemu PV i eliminuje większość zagrożeń pożarowych.
4. Najważniejsze jest jednak to, aby *legislacja* dotycząca systemów PV była *stabilna i długofalowa*, a nie ulegała zmianom wg aktualnych potrzeb i możliwości operatorów sieci dystrybucyjnych, czy preferencji społeczno-politycznych decydentów.

Przyszłość PV ? Rozwiązanie wszystkich „Ziemskich” problemów

(kiedyś - Tesla)
(teraz - Japonia i GB)
Bezprzewodowe
przesyłanie energii?



Technologia generowania energii elektrycznej dzięki panelom fotowoltaicznym znajdującym się na orbicie okołoziemskiej (geostacjonarnej), tj. **ok. 35 km nad Ziemią** (ang. *Space Based Solar Power*). Ich umiejscowienie miałyby tutaj kluczową rolę - na wspomnianej orbicie **promieniowanie słoneczne jest obecne przez 99% czasu**, dzięki czemu możliwe staje się dostarczanie na Ziemię czystej energii przez całą dobę, wszystkie dni w roku i **bez względu na warunki atmosferyczne i porę roku**.