

MODUŁY W TECHNOLOGII POŁĄCZEŃ SMARTWIRE Z OGNIWAMI HJT PRZYSZŁOŚCIĄ W BRANŻY FOTOWOLTAICZNEJ

(Alicja Jankowska, UTP Bydgoszcz)

sierpień 2019

Energetyka słoneczna notująca gwałtowny wzrost popularności w ostatnich latach to szansa na ograniczenie zużycia paliw kopalnych. Warunkiem tego jest jej ciągły rozwój oparty na innowacyjnych rozwiązaniach. Jednym z nich jest technologia połączeń SmartWire szwajcarskiej firmy Meyer Burger wypierająca stopniowo stosowane powszechnie Busbary. Dzięki licznym zaletom pozwala ona na średnio do 8% większą produkcję energii w skali roku w stosunku do modułów łączonych w technologii Busbar.

Ogromną rolę w dalszym rozwoju fotowoltaiki odegrają także ogniwa HJT, których budowa pozwala na mniej skomplikowany proces produkcji, przy wzroście wydajności. Ogniwa monokrystaliczne typu-N HJT charakteryzują się mniejszą degradacją, która pozwala na średnio 2% większą produkcję energii po roku pracy, w stosunku do ogniw polikrystalicznych.

Ogniwa HJT gwarantują mniejszą wrażliwość na wysokie temperatury. W stosunkowo chłodny letni tydzień zauważono prawie 4% różnicę w produkcji energii na korzyść modułu z ogniwami HJT. W gorące dni możliwa jest nawet i 6,5% większa produkcja w stosunku do standardowych ogniw.

Na podstawie rzeczywistych obserwacji i znanych różnic między technologiami, można dojść do wniosku, że około 15% większa wydajność modułów z technologią połączeń SmartWire z ogniwami HJT powinna być praktycznie osiągalna.

1 POZYCJA FOTOWOLTAIKI NA ŚWIATOWYM RYNKU ENERGII

W związku z dynamicznym rozwojem rynku energetycznego, poszukiwane są coraz bardziej wydajne rozwiązania technologiczne, które pozwolą na zwiększenie udziału OZE w światowej produkcji energii elektrycznej. Dzięki prostocie wdrożenia instalacji fotowoltaicznych, zyskują one na popularności umacniając pozycję energii słonecznej. Szacuje się, że do 2050 roku będzie ona stanowiła 16% bilansu energetycznego świata. Warto zaznaczyć, że już rok 2018 był przełomowy dla tej branży, ze względu na rekordowy wzrost udziału fotowoltaiki w produkcji energii elektrycznej, który od 2015 roku wyniósł aż 31%. Jednak elementem decydującym o jej popularności jest w dużej mierze stosowana technologia wpływająca zarówno na cenę, jak i na wydajność modułów fotowoltaicznych.

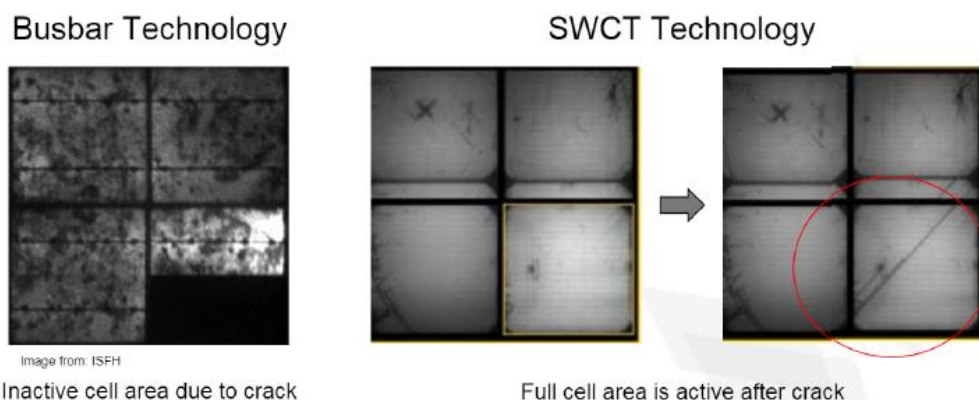
2 DLACZEGO TECHNOLOGIA SMARTWIRE TO PRZYSZŁOŚĆ FOTOWOLTAIKI

- **SmartWire pozwala na znaczną redukcję negatywnych skutków mikropęknięć.**

Ogniwa fotowoltaiczne produkowane są z krzemu, który jest półprzewodnikiem. Gdy promienie słoneczne (fotony) padają na jego powierzchnię, wybijając ze struktury krzemu elektrony. Tworzą one pary nośników ładunków rozdzielanych przez pole elektryczne na złączu p-n, w ogniwie powstaje wtedy napięcie, a dzięki połączeniu ogniw np. stosunkowo szerokimi Busbarami, które umożliwiają przepływ prądu, a w konsekwencji uzyskanie energii ze słońca. Standardowo stosuje się od 3 do 5 Busbarów na ogniwo.

Krzem jest bardzo kruchy, dlatego występowanie mikropęknięć jest powszechne w każdym ogniwie. Ich wpływ na produkowaną energię może być bardzo znaczący, jednak technologia SmartWire pozwala zminimalizować negatywne skutki.

Dzięki zastosowaniu gęstej siatki elektrycznych mikrowłókien, mikropęknięcie nie wyłącza z produkcji znaczącej części ogniwa. W porównaniu do powszechnie stosowanej technologii Busbar obszary, z których nie jest możliwe pozyskiwanie energii mają minimalne rozmiary, co widać na rysunku 1. Ponadto stworzenie dużej ilości punktów zbiorczych na powierzchni ogniwa to, krótsza droga do pokonania dla elektronów.



Rys. 1. Porównanie wpływu mikropęknięć na ogniwo przy wykorzystaniu technologii Busbar, a SmartWire [1]

- **Mniej energochłonny i prostszy proces produkcji.**

Łączenie ogniw za pomocą technologii SmartWire wymaga znacznie niższych temperatur niż lutowanie Busbarów, które odbywa się w temperaturze od około 240°C do nawet 340°C. Sieć SmartWire łączona jest przy jedynie 140°C. Taki proces pozwala na znaczną oszczędność energii, a także uniknięcie

negatywnego wpływu wysokiej temperatury na ogniwo krzemowe, co poprawia jego trwałość, a także zapobiega powstawaniu mikropęknięć związanych z naprężeniami termicznymi podczas produkcji.

Różnice pomiędzy generacją modułów wykonanych w technologii SmartWire i Busbar porównano na przestrzeni 2 lat – od lipca 2017 do sierpnia 2019 - w instalacji badawczej znajdującej się przy ul. Paciorkiewicza w Bydgoszczy. Do porównania wybrano 3 moduły o mocy nominalnej 280 W, które zostały ustawione pod optymalnym kątem 35° w kierunku południowym. Zostały one przedstawione na rysunku 2 wraz z oznaczeniem. Każdy z nich wyposażono w indywidualny optymalizator mocy, który umożliwia monitorowanie produkcji energii na poziomie modułu oraz dodatkowo pozwala na możliwie najwyższą produkcję energii, dzięki wymuszeniu pracy modułu w punkcie mocy maksymalnej.



Rys.2. Instalacja badawcza przy ul. Paciorkiewicza w Bydgoszczy

W tabelach od 1 do 3 umieszczono najważniejsze dane techniczne badanych modułów.

Tabela 1. Dane techniczne Modułu 1

Moduł	Moduł 1
Rodzaj ogniwa	Si polikrystaliczny
Liczba ogniw	60
Technologia łączenia ogniw	Busbar (4BB)
Napięcie w MPP	31,3 V
Natężenie prądu w MPP	8,95 A
Moc znamionowa	280 W
Napięcie obwodu otwartego	38,2 V
Prąd zwarciov	9,52 A
Wsp. temperaturowy mocy	-0,40%
Degradacja (moc zachowana po 10 latach w stosunku do mocy znamionowej)	90%

Tabela 2. Dane techniczne Modułu 2

Moduł	Moduł 2
Rodzaj ogniw	Si polikrystaliczny
Liczba ogniw	60
Technologia łączenia ogniw	Busbar (4BB)
Napięcie w MPP	31,67 V
Natężenie prądu w MPP	8,84 A
Moc znamionowa	280 W
Napięcie obwodu otwartego	38,97 V
Prąd zwarciov	9,41 A
Wsp. temperaturowy mocy	-0,40%
Degradacja (moc zachowana po 10 latach w stosunku do mocy znamionowej)	92%

Tabela 3. Dane techniczne Modułu 3 - Hanplast Solar™ SW PREMIUM PLUS (Mono)

Moduł	Moduł 3
Rodzaj ogniw	Si monokrystaliczny
Liczba ogniw	60
Technologia łączenia ogniw	SmartWire
Napięcie w MPP	31,60 V
Natężenie prądu w MPP	8,90 A
Moc znamionowa	280 W
Napięcie obwodu otwartego	39,40 V
Prąd zwarciov	9,40 A
Wsp. temperaturowy mocy	-0,40%
Degradacja (moc zachowana po 10 latach w stosunku do mocy znamionowej)	92%

W tabeli 4 zamieszczono dane dotyczące sumarycznej energii generowanej przez moduły w pierwszym i drugim roku pracy, której porównanie pozwala określić degradację produkcji ogniw w module.

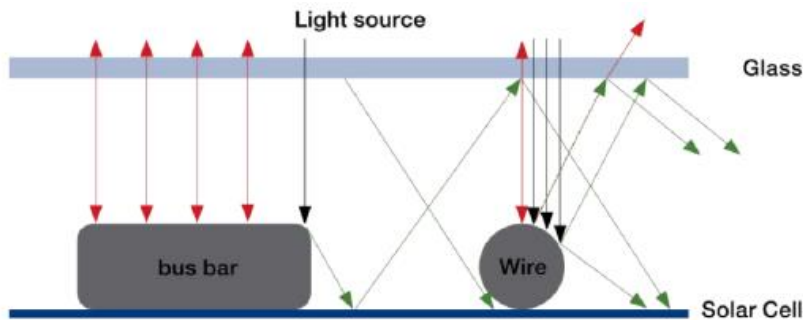
Tabela 4. Produkcja energii przez moduły

Moduł	Moduł 1 - 4BB	Moduł 2 - 4BB	Moduł 3 - SmartWire
Energia wytworzona w 1 roku [Wh]	273139,75	282199,75	292751,00
Energia wytworzona w 2 roku [Wh]	296376,75	305012,50	323781,50
Procentowa różnica między energią generowaną w roku 2 a 1	8,51%	8,08%	10,60%

W drugim roku występowały warunki intensywniejszego nasłonecznienia, zatem generacja wszystkich modułów była wyższa w stosunku do roku pierwszego. Moduł SmartWire wyprodukował o 10,6% więcej energii. W przypadku modeli wykorzystujących Busbary produkcja zwiększyła się w obu przypadkach o około 8%. Wszystkie moduły były poddane identycznym warunkom atmosferycznym, zatem można stwierdzić, że ogniwa połączone w technologii SmartWire charakteryzują się niższą degradacją związaną z czasem użytkowania od ogniw łączonych Busbarami i wytwarzają średnio minimum o 2,1% więcej energii po pierwszym roku eksploatacji.

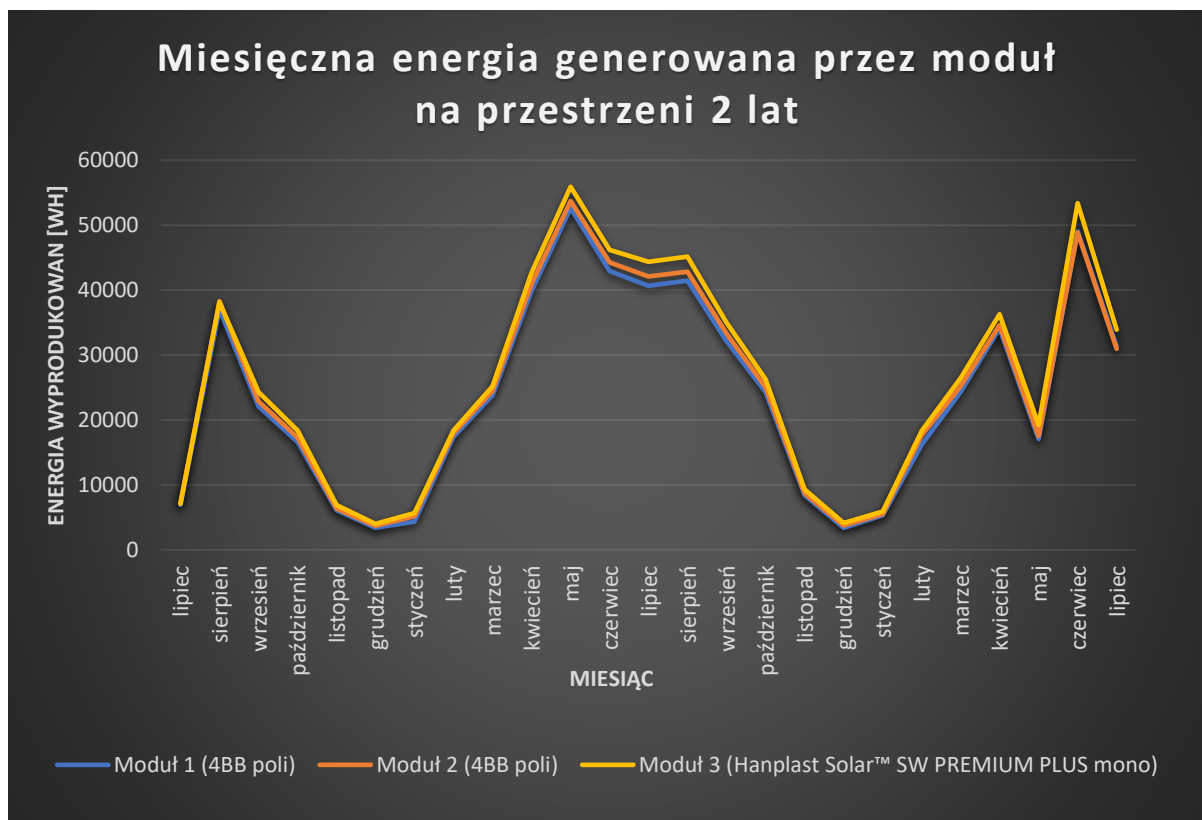
- **Ograniczenie efektu cieniowania ogniwa.**

Dzięki zastosowaniu mikrowłókien w technologii SmartWire, ogniwa są w stanie produkować energię z promieni światła padających pod nieoptymalnym kątem, co widać na rys. 3. Takie warunki występują przez dużą część doby, kiedy nawet przy najbardziej efektywnym, pod kątem nasłonecznienia, ustawieniu modułów część promieniowania pada na ogniwo pod dużym kątem np. rano i po południu. W takim przypadku, szerokie Busbary zasłaniają jego część, która przy zastosowaniu okrągłych włókien SmartWire posiada większą zdolność do absorpcji światła. Pozwalając tym samym na wyższą produkcję energii.



Rys. 3. Absorpcja światła przez ogniwo w technologii Busbar i SmartWire [1]

Na rysunku 4 przedstawiono wykres sumarycznej energii wytworzonej w danym miesiącu przez każdy z modułów.



Rys. 4. Wykres sumarycznej energii wyprodukowanej w danym miesiącu przez badane moduły

Tabela 5. Porównanie produkcji badanych modułów

Porównanie produkcji w okresie 2 lat 07.2017 - 07.2019		
Porównywane moduły	SmartWire vs Moduł 1	SmartWire vs Moduł 2
Różnica w produkcji energii [Wh]	49598,75	32256,50
Różnica w produkcji energii [%]	8%	5%

W tabeli 5 porównano o ile większa była produkcja energii z modułu **Hanplast Solar™ SW PREMIUM PLUS (Mono)** od produkcji modułów stworzonych w technologii Busbar: Moduł 1 i Moduł 2.

Zastosowanie technologii SmartWire z ogniwami monokrystalicznymi pozwala na wytworzenie średnio minimum 5-8% większej ilości energii w stosunku do modułów o tej samej mocy znamionowej z ogniwami polikrystalicznymi. Przy braku istotnych różnic w parametrach elektrycznych i temperaturowych badanych modułów można stwierdzić, że zwiększona produkcja jest efektem zastosowania technologii łączenia ogniw SmartWire. Część dodatkowej generacji może być wytłumaczona zwiększoną odpornością na mikropęknięcia, co zaobserwowano w poprzednim badaniu, a pozostała część, zgodnie z przewidywaniami, może być wytłumaczona redukcją efektu cieniowania tych połączeń na aktywną powierzchnię ogniwa.

SmartWire daje więc znaczącą przewagę w dążeniu do zwiększenia efektywności na jednostkę powierzchni w stosunku do technologii Busbar. Dodatkowo dzięki niskotemperaturowemu procesowi produkcji, SmartWire umożliwia zastosowanie w module ogniw monokrystalicznych typu-N nowej generacji - HJT (heterozłącza).

3 OGNIWA HJT – NOWE MOŻLIWOŚCI

Ogniwa HJT (Heterojunction Technology) to innowacyjny i rozwojowy produkt, którego wydajność jest znacznie wyższa od stosowanych powszechnie ogniw polikrystalicznych oraz monokrystalicznych typu-P. W modułach HJT dzięki połączeniu zalet monokrystalicznego krzemu ze świetną absorpcją światła krzemu amorficznego, możliwe jest osiągnięcie nawet 24% wydajności pojedynczego ogniwa.

- **Posiadają niższy współczynnik temperaturowy mocy (-0,28%/C) w porównaniu do ogniw monokrystalicznych typu-P i polikrystalicznych.**

Wykorzystując instalację przedstawioną na rysunku 2, porównano rzeczywistą produkcję energii z modułu HANPLAST SOLAR™ SW Premium Plus (HJT) 315W i mono SmartWire 285W w pierwszym tygodniu sierpnia 2019 roku i przedstawiono w tabeli 6. Oba użyte moduły były fabrycznie nowe.

Tabela 6. Porównanie produkcji energii w pierwszym tygodniu sierpnia 2019 roku

Moduł	HANPLAST SOLAR™ SW Premium Plus (HJT) 315W	SmartWire Mono 285W
Moc znamionowa modułu [W]	315	285
Energia wyprodukowana [Wh]	8591	7396
Energia wyprodukowana (przeskalowana do mocy znamionowej 285W) [Wh]	7686	7396

Moduł z ogniwami HJT wytworzył w tym czasie o 1195 Wh więcej energii, co po przeskalowaniu mocy daje 3,78% różnicy. Potwierdza to wyższą wydajność ogniw HJT w rzeczywistych warunkach temperaturowych. Należy zaznaczyć, że pierwszy tydzień sierpnia był stosunkowo chłodnym tygodniem i należy spodziewać się

znacznie większej różnicy w upalne dni, które wraz ze zmianami klimatycznymi mogą zdarzać się coraz częściej.

- **Zniwelowanie efektu LID i PID.**

Istotną zaletą ogniw HJT jest ograniczenie efektu LID, czyli degradacji wywołanej pierwszą ekspozycją na światło słoneczne. Degradacja ta może trwale obniżyć produkcję energii po pierwszych godzinach użytkowania ogniwa nawet do 3 %. Dzięki innowacyjnej budowie ogniw monokrystalicznych typu-N HJT są one znacznie bardziej odporne na efekt LID.

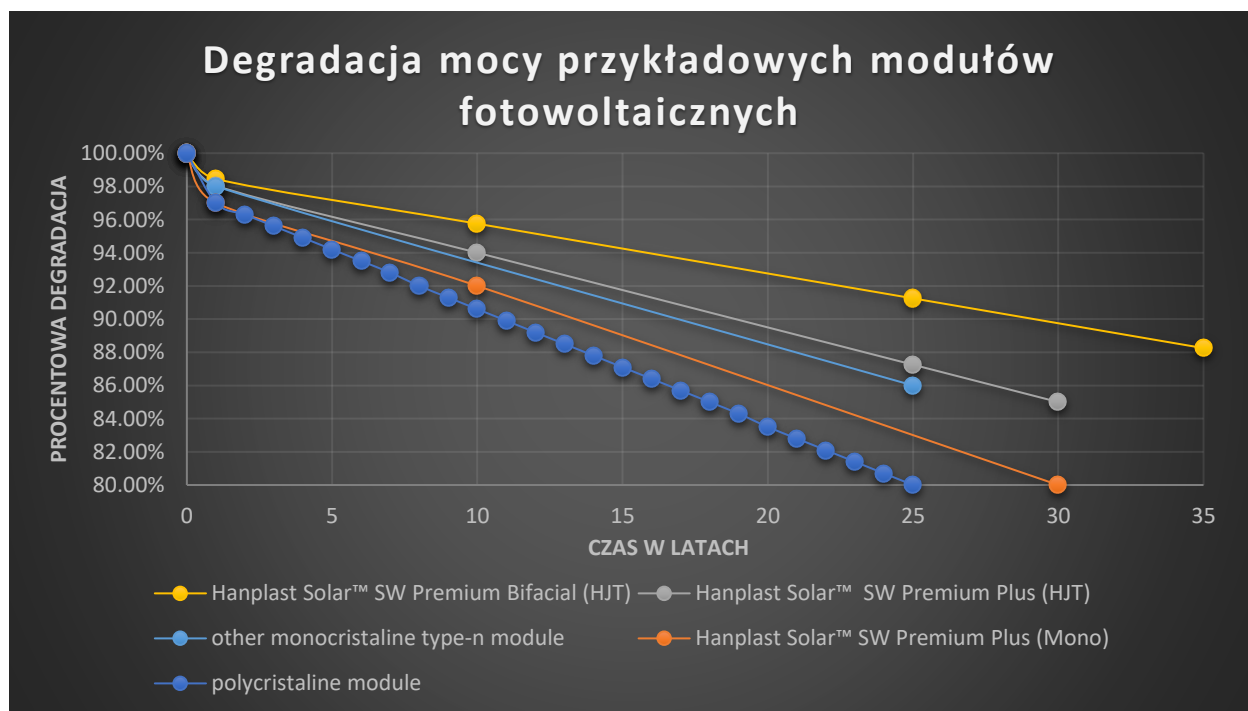
Ogniwa HJT są także znacznie mniej narażone na wystąpienie efektu PID, czyli degradacji wywołanej różnicą potencjałów pomiędzy ogniwami, a uziemioną ramą modułu.

- **Możliwość tworzenia efektywniejszych modułów Bifacial, umożliwiających produkowanie energii ze światła odbitego, padającego na tylną stronę modułu.**

Stosowana obecnie w modułach dwustronnych technologia ogniw monokrystalicznych typu-p PERC pozwala na osiągnięcie około 60-70% współczynnika bifacialności. Dla ogniw HJT wynosi on aż 92,7%. Ma to o tyle istotne znaczenie, że energia światła odbitego jest niewielka i im sprawniejsze ogniwo na jego tylnej stronie, tym więcej energii można z odbitego światła odzyskać.

4 DŁUGOTRWAŁA DEGRADACJA OGNIW W CZASIE

Jednym z ważniejszych czynników wpływających na energię generowaną przez instalację fotowoltaiczną po latach eksploatacji, jest degradacja mocy zainstalowanych w niej modułów. Częściowo efekt ten można było zaobserwować już w poprzednio omawianych badaniach na przestrzeni 2 lat. Wykres na rys. 5 przedstawia natomiast, jak kształtuje się on w dłuższym okresie użytkowania dla przykładowych modułów (na podstawie kart katalogowych producentów)



Rys.5. Wykres degradacji mocy wybranych modułów fotowoltaicznych

W tabeli 7 przedstawiono różnicę w poziomie degradacji ogniw zastosowanych w poszczególnych modułach, w porównaniu do ogniw HJT (na podstawie kart katalogowych producentów).

Tabela 7. Porównanie degradacji różnych modułów z modelem Hanplast wykorzystującym ogniwa HJT

Moduły porównywane z Hanplast Solar™ SW Premium Plus (HJT)	Różnica w degradacji	
	Po 10 latach	Po 25 latach
Przykładowy moduł z ogniwami polikrystalicznymi	3,40%	7,25%
Inny moduł z ogniwami monokrystalicznymi typu-N znanego producenta	0,50%	1,25%

Korzyści płynące z zastosowania modułów Hanplast Solar™ SW Premium Plus (HJT) będą jeszcze bardziej widoczne po 10 i 25 latach użytkowania instalacji fotowoltaicznej, gdy różnica w degradacji mocy może dochodzić nawet do 7,25% w porównaniu do modułów polikrystalicznych.

5 OGNIWA HJT POŁĄCZONE TECHNOLOGIĄ SMARTWIRE - PRZYSZŁOŚĆ

Połączenie zalet technologii SmartWire z nowoczesnymi ogniwami HJT pozwala na zwiększenie wydajności i zmniejszenie degradacji modułów. SmartWire to także energooszczędny proces produkcji, który w kontekście Odnawialnych Źródeł Energii ma dodatkowy pozytywny wpływ na ograniczenie emisji gazów cieplarnianych.

Porównanie wyników rzeczywistych badań, wskazuje, że moduły, w których ogniwa HJT łączone są w technologii SmartWire, charakteryzują się większą generacją energii od modułów wykorzystujących tradycyjne rozwiązania. Ponadto po upływie kilkunastu lat pracy instalacji fotowoltaicznej, różnice w produkcji energii będą jeszcze bardziej widoczne ze względu na degradację, która w większej mierze dotyka modułów z ogniwami polikrystalicznymi i monokrystalicznymi typu-P dostępnymi na rynku.

Fotowoltaika dążąca do jak najwyższej wydajności modułów oraz uproszczenia procesu ich produkcji stale poszukuje najkorzystniejszych rozwiązań. Na ten moment najlepszym wyborem pod tym względem wydają się być ogniwa HJT łączone w technologii SmartWire, zapewniające szereg korzyści względem powszechnych rozwiązań. Ponadto możliwość tworzenia modułów Bifacial to szansa na nawet 30% większą produkcję energii w sprzyjających warunkach.

Wykorzystanie modułów HJT Bifacial w technologii SmartWire to przyszłość fotowoltaiki, która dąży do jak najwyższej wydajności instalowanych modułów oraz uproszczenia procesu produkcji.

Referencje

[1] M. Sobieniecki, Meyer Burger, „Potencjał Technologii SmartWire i HJT oraz ich aplikacja w Polsce oraz na rynkach zagranicznych”, Świdnica 25.11.2015 .

[2] G. Roters, J. Krause, S. Leu, A. Richter, B. Strahm, Meyer Burger, „Heterojunction Technology – The Solar Cell of the Future”.

[3] M. Xiajie, LONGi Solar, „The complexity of LID, LeTID and HID”.

[4] Solar Frontier, „LID – another abbreviation you should know – and why Solar Frontier CIS technology comes up trumps here too”.