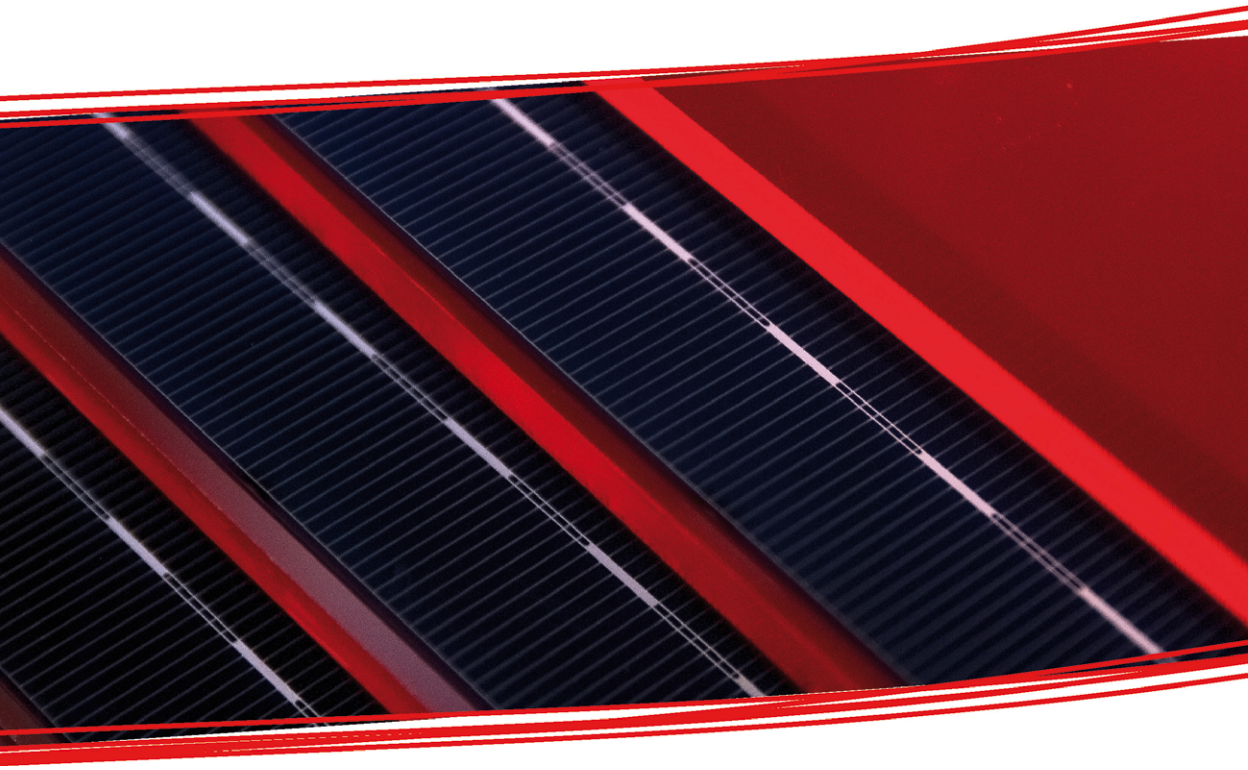
Ministerstwo Edukacji i Nauki

INSTYTUT METALURGII I INŻYNIERII MATERIAŁOWEJ POLSKIEJ AKADEMII NAUK

DIALOG

Instytut Metalurgii i Inżynierii Materiałowej
Polskiej Akademii Nauk

Foresight technologiczny polskiej branży PV w perspektywie do 2025



Praca pod redakcją
Dr hab. inż. Kazimierza Drabczyka

Kraków, Kozy
2021

INSTYTUT METALURGII
I INŻYNIERII MATERIAŁOWEJ
POLSKIEJ AKADEMII NAUK

Foresight technologiczny polskiej branży PV w perspektywie do 2025

Instytut Metalurgii i Inżynierii Materiałowej
im. A. Krupkowskiego Polskiej Akademii Nauk
Kraków, maj 2021

Redakcja
Dr hab. inż. Kazimierz Drabczyk, prof. IMIM PAN

Zespół Redakcyjny
Dr hab. inż. Kazimierz Drabczyk, prof. IMIM PAN
Prof. dr hab. inż. Paweł Zięba, członek korespondent Polskiej Akademii Nauk
Mgr Artur Michałek
Mgr Daniel Szymonik

Patronat medialny: magazyn fotowoltaika

magazyn fotowoltaika

Copyright © Instytut Metalurgii i Inżynierii Materiałowej Polskiej Akademii Nauk

ISBN: **978-83-60768-51-8**

Zdjęcie na okładce: Krzemowe ogniwa fotowoltaiczne w układzie z luminescencyjnym koncentratorem energii promieniowania słonecznego

Skład i druk:
HIRONDELLE Andrzej Grzegorczyk

Spis treści

Streszczenie **7**

Wstęp **9**

Analiza światowych trendów rozwoju fotowoltaiki **15**

Redukcja konsumpcji srebra 26

Rozwój ogniw perowskitowych 29

Zaostrzenie kryteriów dotyczących badań modułów fotowoltaicznych 32

Agrofotowoltaika 35

Udoskonalenie technologii produkcji ogniw 37

Nowe materiały do produkcji ogniw PV 39

Kierunki rozwoju krajowego sektora PV do 2025 roku **41**

Projekty w obszarze fotowoltaiki 49

Planowane kierunki rozwoju 58

Podsumowanie 62

Oferta polskich jednostek naukowych **63**

AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA, KRAKÓW 64

AKADEMIA WOJSK LĄDOWYCH, WROCŁAW 66

CENTRUM MATERIAŁÓW POLIMEROWYCH I WĘGLOWYCH PAN, ZABRZE 67

INSTYTUT FIZYKI PAN, WARSZAWA 70

INSTYTUT KATALIZY I FIZYKOCHEMII POWIERZCHNI PAN, KRAKÓW 70

INSTYTUT METALI NIEŻELAZNYCH ODDZIAŁ W POZNANIU
CENTRALNE LABORATORIUM AKUMULATORÓW I OGNIW 71

INSTYTUT METALURGII I INŻYNIERII MATERIAŁOWEJ PAN – LABORATORIUM
FOTOWOLTAICZNE, KRAKÓW-KOZY 71

KEZO – Konwersja Energii i Źródła Odnawialne – Centrum Badawcze PAN,
Jabłonna 75

Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Mikroelektroniki i Fotoniki Oddział
w Krakowie – Centrum Mikroelektroniki Hybrydowej i LTCC 76

POLITECHNIKA GDAŃSKA 76
POLITECHNIKA ŁÓDZKA 78
POLITECHNIKA RZESZOWSKA 79
POLITECHNIKA ŚLĄSKA, GLIWICE 80
POLITECHNIKA WARSZAWSKA 87
POLITECHNIKA WROCŁAWSKA 88
UNIWERSYTET RZESZOWSKI 90
UNIWERSYTET ŚLĄSKI, KATOWICE 93
UNIWERSYTET TECHNOLOGICZNO-HUMANISTYCZNY, RADOM 94
WOJSKOWY INSTYTUT TECHNIKI INŻYNIERYJNEJ, WROCŁAW 94
Krajowy sektor przedsiębiorstw branży PV 95
ABRAXAS 95
Aluron sp. z o.o. 97
BRUK-BET Fotowoltaika 97
Columbus Energy SA 99
Hanplast sp. z o.o. 100
Hard Chris Krzysztof Tomera 101
HELIOENERGIA sp. z o.o. 101
HEWES 103
Hymon Fotowoltaika sp. z .o.o. 103
JBGPV 104
MAXCOM 104
ML SYSTEM SA 105
Oświecony sp. z o.o. 105
Projekt Solartechnik Group 106
SAULE SA 107
SELFA GE SA 108
XDISC SA 111
Analizy i Raporty
Analiza SWOT dla polskiej branży PV w 2021 roku 115
Analiza otoczenia społeczno-gospodarczego (analiza makro-otoczenia) branży PV w Polsce w 2021 roku 118

Szanowni Państwo,

żywimy szczerą nadzieję, że opracowanie *Foresightu technologicznego polskiej branży PV w perspektywie do 2025 roku* przyczyni się do poprawy efektywności współpracy nauki z otoczeniem gospodarczym w sektorze polskiej fotowoltaiki oraz pozwoli stymulować procesy przepływu wiedzy i wyników badań naukowych pomiędzy krajowymi jednostkami naukowymi, a polskim sektorem dostawców towarów oraz usług PV.

Instytut Metalurgii i Inżynierii Materiałowej Polskiej Akademii Nauk od kilku już dekad aktywnie wpiera te procesy poprzez działalność swojej wyspecjalizowanej jednostki – akredytowanego Laboratorium Fotowoltaicznego w Kozach k. Bielska-Białej, które oprócz badań podstawowych aktywnie wspiera procesy innowacyjności i komercjalizacji wyników badań naukowych, w tym promuje dobre praktyki w zakresie innowacji. Działania te pozwoliły m.in. na prezentację podczas II Krajowej Konferencji Nauki i Przemysłu „Fotowoltaika 2025", która odbyła się w dniach 31 maja – 3 czerwca 2021 roku, dorobku oraz potencjału krajowych jednostek naukowych w obszarze zaawansowanych badań naukowych i prac rozwojowych w dziedzinie fotowoltaiki. Naukowcy z LF IMIM PAN posiadają bogate portfolio realizacji projektów B+R+I, często zakończonych sukcesami wdrożeniowymi i zawsze chętnie podejmują ambitne wyzwania badawcze. Zapraszamy do lektury i współpracy.

Publikacja niniejsza powstała dzięki dofinansowaniu udzielonemu przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego w ramach Projektu *Organizacja Krajowej Konferencji Nauki i Przemysłu „Fotowoltaika 2025" oraz opracowanie „Foresight 2025"* (Program DIALOG).

Serdecznie dziękujemy tym wszystkim osobom, które przyczyniły się do powstania niniejszej publikacji. W szczególności pracownikom naukowym i przedstawicielom przedsiębiorstw, którzy przesłali materiały na temat rodzaju działalności i oferty swoich jednostek.

Zespół Redakcyjny
Dr hab. inż. Kazimierz Drabczyk, prof. IMIM PAN
Prof. dr hab. inż. Paweł Zięba, członek korespondent Polskiej Akademii Nauk
Mgr Artur Michałek
Mgr Daniel Szymonik

Streszczenie

Niniejsze opracowanie dotyczy szeroko rozumianej fotowoltaiki w ujęciu krajowym i koncentruje się na perspektywach rozwoju polskiej branży PV. We wstępie pokazano ogólnie, jaki jest stan tej dziedziny w Polsce.

Następnie dokonano analizy światowych trendów w rozwoju fotowoltaiki. Przedstawiono i omówiono wybrane światowe kierunki badań, w które mogłyby, a nawet powinny, włączyć się krajowe ośrodki badawcze i przedsiębiorstwa.

Na przykładzie realizowanych projektów badawczych oraz planów na przyszłość pokazano kierunki rozwoju polskiej fotowoltaiki w ośrodkach naukowych.

Opracowanie zawiera także ofertę polskich uczelni i instytutów naukowych dotyczącą fotowoltaiki. Analizę wykonano w oparciu o materiały przesłane przez uczestników II Krajowej Konferencji Nauki i Przemysłu – „Fotowoltaika 2021". W konferencji udział wzięli także przedstawiciele przemysłu. Na podstawie pozyskanych od nich danych zamieszczono opisy ich działalności. Znaleźli się tu zarówno producenci modułów PV, dystrybutorzy a także firmy, które w aktywny sposób włączają się w szeroko pojęte badania naukowe.

Na koniec zamieszczono analizę SWOT oraz analizę otoczenia społeczno-gospodarczego (analiza makro-otoczenia) branży PV w Polsce w 2021.

Wstęp

Rok 2020 – moment rozpoczęcia realizacji projektu *Organizacja II Krajowej Konferencji Nauki i Przemysłu „Fotowoltaika 2025" oraz opracowanie foresightu technologicznego polskiej branży PV w perspektywie do 2025 roku* – okazał się być rokiem szczególnym, zdominowanym przez ogólnoświatową sytuację epidemiologiczną spowodowaną pandemią COVID-19. U progu drugiego kwartału 2021 roku możemy wstępnie ocenić, że jej implikacje dla rozwoju krajowego sektora PV prawdopodobnie nie będą aż tak dotkliwe, jak dla innych dziedzin w mniejszym lub większym stopniu dotkniętych skutkami epidemii.

Według danych branżowego portalu gramwzielone.pl, łączna moc zainstalowanych na terenie Rzeczypospolitej Polski elektrowni PV wynosiła w grudniu 2020 roku 3,96 GW[1]. Oznacza to trzykrotny wzrost mocy tylko w ostatnich dwunastu miesiącach. Z kolei eksperci z portalu wysokienapiecie.pl szacują, że przy aktualnej dynamice rozwoju bieżący rok może przynieść kolejne 6 GW mocy z instalacji PV[2], co dałoby moc całkowitą na poziomie przekraczającym 10 GW. Antycypując, możliwe scenariusze urealniają jednak te estymacje do wzrostu o ok. 2 GW. Nawet takie prognozy znacznie przekraczają wcześniejsze plany strategiczne rozwoju sektora w Polsce[3].

Stale rośnie także i rozwija się potencjał polskiego przemysłu fotowoltaicznego. Według dostępnych danych, krajowym sektorze fotowoltaiki pracowało w 2020 roku ok. 5 tysięcy osób (20% w przedsiębiorstwach produkujących systemy PV)[4]. Według analiz IEO – jeśli uwzględnić wszelkie formy zatrudnienia – wartość ta mogła wynieść nawet 35,5 tysiąca osób[5]. Zdolności wytwórcze polskich przedsiębiorstw w zakresie modułów PV, stanowią ok. 10% europejskich zdolności produkcyjnych[6]. Na uwagę zasługują też liczne inicjatywy tworzenia branżo-

[1] https://www.gramwzielone.pl/energia-sloneczna/104777/moce-w-polskiej-fotowoltaice-wystrzelily-mamy-prawie-4-gw. Data pobrania 23 kwietnia 2021. Całkowita krajowa moc OZE w grudniu 2020 roku = 12,49 GW.

[2] https://wysokienapiecie.pl/33493-moc-fotowoltaiki-w-polsce-przekroczyla-3-gw/, data pobrania 23 kwietnia 2021.

[3] Ibidem

[4] K. Marszałek, K. Dyndał, G. Lewińska „Fotowoltaika", Akademia Górniczo-Hutnicza im. S. Staszica w Krakowie, Kraków 2021

[5] Instytut Energii Odnawialnej – „Rynek Fotowoltaiki w Polsce", IX edycja, maj 2021

[6] https://www.teraz-srodowisko.pl/media/pdf/aktualnosci/8726-Deklaracja-Panelu-Producentow-Urzadzen-Fotowoltaicznych.pdf, data pobrania 23 kwietnia 2021

wych organizacji oraz innych form współdziałania w obszarze polskiego sektora PV. W maju 2020 roku deklarację założycielską pod nazwą „Przemysłowy Panel PV" podpisały ML System, Bruk-Bet Solar i Hanplast sp. z o.o. Jak podaje portal GLOBEnergia *Przemysłowy Panel PV to inicjatywa Instytutu Energetyki Odnawialnej. Jej celem jest współpraca krajowych firm, mobilizacja i konsolidacja krajowego łańcucha dostaw dla fotowoltaiki. Celem inicjatywy jest również współpraca z rządem i administracją nad strategią przemysłową i wypracowaniem propozycji wkładu polskiego przemysłu w Europejski Zielony Ład*[7]. W deklaracji tej[8], objętej patronatem honorowym Wiceministra Klimatu, Pełnomocnika Rządu ds. Odnawialnych Źródeł Energii, czytamy m.in.: *Ponad 90 firm i instytucji badawczych z 15 krajów UE, podpisało deklarację „Solar Europe Now". Koalicja z silnym poparciem przemysłu, w tym 6 polskich firm, dąży do wykorzystania instrumentów Europejskiego Zielonego Ładu do reindustrializacji i potwierdza zasadność gospodarczą produkcji na terenie UE wszystkich komponentów niezbędnych dla fotowoltaiki. W 2019 roku Polska była piątym rynkiem fotowoltaicznym w UE pod względem przyrostu mocy zainstalowanej (…) Szybki wzrost mocy wywołał zapotrzebowanie rynku krajowego na niezakłócone dostawy nowych technologii fotowoltaicznych oraz na stabilne miejsca pracy. Przedstawiciele 9 krajów UE, w tym przedstawiciele Rządu RP, wystosowali pismo do Komisji Europejskiej w sprawie uznania fotowoltaiki za strategiczny łańcuch wartości dla całej UE i wnoszą o uwzględnienie finansowania rozwoju przemysłu PV w ramach projektów wspólnego europejskiego zainteresowania.*[9] Należy zatem zauważyć, że kluczowi gracze polskiej sceny PV świadomi są możliwości wywierania silnego lobbingu na instytucje krajowe i europejskie w kierunku ograniczania dostępu do rynku wspólnotowego producentów i podwykonawców z innych kontynentów, zwłaszcza zaś głównej konkurencji chińskiej korzystającej z silnego wsparcia Państwa Środka. Sygnatariusze deklarują w tym dokumencie m.in.: wsparcie projektu wpisania fotowoltaiki do projektów wspólnego europejskiego zainteresowania, popierają wprowadzenie „unijnego granicznego podatku węglowego" na wyroby fotowoltaiczne spoza UE oraz obligatoryjnego kryterium, aby dostawy produktów i usług realizowane w ramach krajowych/unijnych systemów wsparcia OZE, musiały być wytworzone w co najmniej 70% na terenie EU. Przedsiębiorstwa, które podpisały deklarację odpowiadają także na rządowe zapowiedzi rozwoju fotowoltaiki deklarując pięciokrotny wzrost własnych zdolności produkcyjnych w latach 2021-2025, rozwój potencjału eksportowego (wkład w poprawę krajowego bilansu handlo-

[7] https://globenergia.pl/przemyslowy-panel-pv-konsorcjum-polskich-firm-z-branzy-fotowoltaicznej/, data pobrania 23 kwietnia 2021

[8] https://www.teraz-srodowisko.pl/media/pdf/aktualnosci/8726-Deklaracja-Panelu-Producentow-Urzadzen-Fotowoltaicznych.pdf, data pobrania 23 kwietnia 2021

[9] Ibidem

wego i konkurencyjności polskiej gospodarki) oraz uznają za realne stworzenie w całym łańcuchu dostaw nawet do dziewięciu tysięcy miejsc pracy[10].

Integracja podmiotów sektora PV w Polsce (przedsiębiorstw i jednostek naukowych) postępuje także poprzez ich aktywny udział w strukturach organizacji branżowych, takich jak Polskie Stowarzyszenie Fotowoltaiki, Instytut Energii Odnawialnej czy też Polska Izba Magazynowania Energii i Elektromobilności. Najnowszą wiedzę dotyczącą rozwoju PV przekazują uczelnie wyższe, instytuty Polskiej Akademii Nauk oraz instytuty badawcze w Sieci Badawczej Łukasiewicz. Wysokiej jakości specjalistyczne szkolenia branżowe, często certyfikowane przez Urząd Dozoru Technicznego (np. dla instalatorów PV) oferują m.in. Laboratorium Fotowoltaiczne Instytutu Metalurgii i Inżynierii Materiałowej Polskiej Akademii Nauk, krakowski KGI FoxKrak, Columbus Energy i in.

Stale rosną także nakłady w polskiej fotowoltaice. Źródłem finansowania wydatków są środki prywatnych inwestorów oraz dotacje pochodzące z krajowych i wspólnotowych środków publicznych. Kapitał ten inwestowany jest w mikroinstalacje prosumenckie, farmy fotowoltaiczne o coraz większej mocy, rozwój potencjału produkcyjnego polskich przedsiębiorstw, a także ambitne projekty B+R. Jak podaje portal wysokienapiecie.pl: *Polskie inwestycje w fotowoltaikę wyniosą tylko w tym roku ponad pięć miliardów złotych. To wydatki na nowe moce, obejmujące zarówno instalacje prosumenckie, jak i większe elektrownie słoneczne. Tempo rozwoju energetyki słonecznej jest szybsze niż przewidywali w raportach polscy i europejscy eksperci.* (…) *największym inwestorem w energetyce słonecznej są Polacy – prosumenci, czyli właściciele mikroinstalacji do 50 kW, którzy zainwestowali w panele fotowoltaiczne, by wykorzystywać energię na własne potrzeby w domach, firmach czy gospodarstwach rolnych. Na koniec ubiegłego roku w Polsce było prawie 150 tys. prosumentów, w tym roku liczba ta wzrośnie co najmniej dwukrotnie*[11]. Eksperci portalu szacują, że krajowe nakłady na instalacje PV wyniosły w ciągu ostatnich pięciu lat ok. 9 miliardów PLN, z czego tylko w ostatnim roku 2/3 tej kwoty. Inwestycje prywatne mają stanowić w tej sumie ok. 5 miliardów złotych[12]. Zwracają też uwagę na stopniowo malejące koszty inwestycyjne oraz rosnącą konkurencję u producentów, dostawców i wykonawców systemów: *O ile w 2016 roku koszt przygotowania projektu, budowy i przyłączenia do sieci farmy fotowoltaicznej o mocy 1 MW wynosił około 3,8 mln zł, to w ubiegłym roku było to o milion złotych mniej. Koszty dalej spadają, na rynku działa wiele małych i średnich firm, które skutecznie konkurują ze sobą w tym polscy producenci paneli fotowoltaicznych, dostawcy konstrukcji, wykonawcy, deweloperzy*[13]. W konsekwencji fotowoltaika

[10] Ibidem
[11] https://wysokienapiecie.pl/32271-polacy-wydali-5-mld-zl-z-wlasnych-kieszeni-na-fotowoltaike/, data pobrania 23 kwietnia 2021
[12] Ibidem
[13] Ibidem

dostarcza do polskich odbiorców coraz więcej energii elektrycznej. Także tutaj obserwujemy gwałtowny wzrost na przestrzeni już nie tyle lat, co miesięcy: *Według danych Forum Energii, w sierpniu fotowoltaika dostarczyła 283 GWh energii. Od kwietnia ta produkcja przekroczyła 1,1 TWh*[14].

Ten sam portal wymienia następujące, kluczowe czynniki prosperity branży PV pomimo pandemii w 2020 roku:

1) wzrost cen energii elektrycznej,
2) dotacje do mikroinstalacji,
3) stosunkowo krótki czas realizacji inwestycji oraz
4) ulgę termomodernizacyjną.

W opublikowanym jeszcze w kwietniu 2020 roku artykule „Nadchodzi najlepszy czas fotowoltaiki. Jak dobrze to wykorzystać?" czytamy m.in. *Nie bez znaczenia jest dostępność technologii – niskie koszty inwestycji przyczyniają się do tego, że jej zwrot następuje już po kilku latach. To wszystko sprawia, że z miesiąca na miesiąc przybywa instalacji słonecznych – od tych najmniejszych, liczących kilka kilowatów, po elektrownie o mocy nawet kilku megawatów (…) Pandemia koronawirusa nie zatrzymała boomu (…)*[15].

Z kolei Marszałek, Dyndał i Lewińska wskazują dodatkowe istotne czynniki wpływające na rozwój rynku PV w Polsce: *W ostatnich latach pojawiły się uwarunkowania stymulujące inwestycje w wytwarzanie energii elektrycznej i cieplnej. Uporządkowano przepisy dotyczące przyłączenia do sieci – zrezygnowano z dokumentacji w formie papierowej, co pozwoliło skrócić czas procedury instalacyjnej. Zrezygnowano także z obowiązku uzyskania koncesji przez właścicieli odnawialnych źródeł energii o mocy do 50 kWp*[16].

W konsekwencji silnych zmian zachodzących w polskim energetycznym miksie, w którym fotowoltaika jest coraz silniejszym elementem, kolejny rok z rzędu obserwujemy spadek udziału kopalnych źródeł w produkcji energii elektrycznej (w 2020 roku węgiel kamienny stanowił 46% jej krajowych źródeł, brunatny 24% – łącznie 70%, co stanowi najgorszy wynik w całej historii polskiej elektroenergetyki). Dzieje się tak kosztem OZE, z kolei wśród tych źródeł najszybciej zyskuje na znaczeniu właśnie fotowoltaika, w tym głównie prosumencka.[17] W roku 2020 nastąpiło ponad 300 tysięcy przyłączeń do sieci prosumentów. Liczba przyłączeń trzykrotnie przekroczyła poziom z 2019 roku.[18] Kluczową rolę w tej zielonej rewolucji odegrała możliwość

[14] Ibidem
[15] https://wysokienapiecie.pl/28314-nadchodzi-najlepszy-czas-fotowoltaiki-jak-dobrze-wykorzystac/#dalej, data pobrania 11 marca 2021
[16] K. Marszałek, K. Dyndał, G. Lewińska „Fotowoltaika", Akademia Górniczo-Hutnicza im. S. Staszica w Krakowie, Kraków 2021
[17] https://wysokienapiecie.pl/35619-zrodla-energii-w-polsce-w-2020-mniej-wegla-wiecej-gazu-oze/, data pobrania 23 kwietnia 2021
[18] https://wysokienapiecie.pl/35802-dzieki-fotowoltaice-polacy-odlicza-ok-miliard-zl-w-pit/, data pobrania 23 kwietnia 2021

wsparcia inwestycji prosumenckich w ramach rządowego Programu „Mój Prąd"[19]. Średnia moc instalacji PV dotowanej w ramach tego instrumentu wsparcia wynosi 5,6kW, średnia roczna produkcja energii to ponad 5 MWh, średni koszt instalacji to ok. 25 tys. PLN (przy dotacji 5 tys. PLN oraz zwrocie z tytułu ulgi termomodernizacyjnej w kwocie 3,7 tys. PLN), zaś szacowany okres zwrotu to w przybliżeniu 7 lat[20].

Warto w tym miejscu zauważyć, że fotowoltaika jako branża zdaje się osiągać także w skali świata „odporność zbiorową" na negatywne implikacje ekonomiczne pandemii COVID-19. Tytułem przykładu wymienić tutaj można gigantyczną hiszpańską inwestycję – farmę fotowoltaiczną Nuñez de Balboa, która oddana została do użytku już w okresie europejskiego lockdownu. Jest to największa farma fotowoltaiczna w Europie (stan na kwiecień 2020) o mocy 500 MW, które rocznie zaopatrzą w energię 225 tysięcy osób. Za realizację tej inwestycji odpowiada Iberdrola, energetyczny potentat z Kraju Basków, który potrzebował niespełna roku na jej budowę. Jak podaje portal Interia (interia.pl) na miejsce lokalizacji wybrano Estremadurę, na południu Hiszpanii – jeden z najbardziej nasłonecznionych obszarów Ziemi. Region ma w ciągu roku 3106 godzin słonecznych, prawie tyle, co Arizona (dla porównania Warszawa ma 1350 godzin, a Kraków 1489) (…) Na ponad tysiącu hektarów (powierzchnia 2000 boisk piłkarskich) zainstalowano prawie półtora miliona paneli słonecznych. Inwestycja ta przyczynia się do niwelowania skutków bardzo wysokiego bezrobocia, które w regionie wynosi 23,5%, dziesięciokrotnie więcej niż w całej Hiszpanii. W Nunez de Balboa zatrudniono 1200 pracowników, rekrutowanych głównie z pobliskich miejscowości. Perspektywiczny jest także model biznesowy przyjęty dla sprzedaży prądu wyprodukowanego przez farmę. Nunez de Balboa jest pierwszą elektrownią w Hiszpanii, która część wyprodukowanej energii sprzedaje w ramach długoterminowych umów typu Power Purchase Agreement (PPA) – czyli bezpośrednio klientom, wśród których występują przedsiębiorstwa sektora telekomunikacyjnego, bankowego, transportowego i inne. Należy przyjąć z prawdopodobieństwem graniczącym z pewnością, że będzie to jeden z wiodących ekonomicznych trendów rozwojowych w fotowoltaice europejskiej, w tym także polskiej.

[19] Ibidem
[20] Ibidem

W opublikowanym w 2021 roku specjalistycznym raporcie „RENEWABLES 2020 GLOBAL STATUS REPORT"[21], w rozdziale poświęconym trendom rynkowym i przemysłowym dla fotowoltaiki autorzy zwracają uwagę na globalny spadek cen systemów PV (s. 116), silny potencjał rozwojowy agriculture PV (agrofotowoltaiki, jednoczesna produkcja prądu i uprawy roślin, s. 116), coraz częstsze praktyki rozszerzania oferty deweloperów z branży energii wiatrowej w zakresie możliwości realizacji inwestycji PV oraz stopniowe przechodzenie w kierunku fotowoltaiki przedsiębiorstw z branży gazowej i ropy naftowej (s. 117). W zakresie technologicznych trendów rozwojowych PV raport podkreśla, że zapotrzebowanie na moduły o wyższej wydajności doprowadziło do przejścia na technologie produkcji ogniw PERC (*Passivated Emitter Rear Cell*), która stała się nowym standardem – dla odmiany – monokrystalicznych ogniw krzemowych. W omawianej publikacji, eksperci dostrzegają także rosnący potencjał ogniw perowskitowych, chociaż zauważają problem stabilności tej technologii. Wśród najbardziej perspektywicznych kierunków badań naukowych i prac rozwojowych wymieniają m.in. eliminację ołowiu z modułów PV. Podkreślają wzrost popytu na rynku paneli *bifacial*. Raport przewiduje także wzrost znaczenia technologii zdalnej konserwacji i kontroli modułów PV, który w przyszłości zapewnić ma poprawę wydajności oraz redukcję kosztów obsługi i utrzymania, a także zmniejszenie przestojów. Niebagatelne znaczenie w jej rozwoju odegra zastosowanie na masową skalę dronów (wykorzystywanych do zdalnego obrazowania termograficznego obiektów). Trwają badania nad opracowaniem pokrycia powierzchni paneli PV, które mogą zmniejszyć osadzanie się pyłu, co w konsekwencji doprowadzi do poprawy wydajność systemów oraz obniży koszty czyszczenia w silnie zapylonym środowisku. Inne aktualne kierunki badań naukowych to m.in. prace podejmujące tzw. opcje drugiego życia (ponownego użycia) oraz konsekwencje wycofania paneli PV z eksploatacji (recykling)[22].

Mgr Daniel Szymonik

[21] RENEWABLES 2020 GLOBAL STATUS REPORT, Paris 2021
[22] Ibidem

Analiza światowych trendów rozwoju fotowoltaiki

Jednym z największych wyzwań XXI wieku jest zatrzymanie rosnącego wzrostu temperatury na Ziemi. Zgodnie z Porozumieniem Paryskim, które weszło w życie 4 listopada 2016 roku należy dołożyć wszelkich starań by ograniczyć średni globalny wzrost temperatury poniżej 2 °C w stosunku do epoki przedindustrialnej. Jak wskazała w 2019 roku International Energy Agency w celu spełnienia założeń *Porozumienia Paryskiego* całkowita dekarbonizacja sektora energetycznego nastąpić musi jeszcze przed rokiem 2050. Niespełnienie tego kryterium, dalsza emisja gazów cieplarnianych, a co za tym idzie wzrost temperatury niesie za sobą skutki trudne do przewidzenia. Najczęściej wskazywanymi są jednak: zmiany opadów, niedobory wody, fale upałów o zwiększonej częstotliwości, wzrost światowego poziomu morza, postępujące wymieranie gatunków w tym zagrożenie rafy koralowej[23,24,25,26]. Prognozuje się, że pod koniec obecnego stulecia świat będzie cieplejszy o 2 °C oraz uboższy o 25% z 80 000 monitorowanych gatunków zwierząt i roślin z obszarów takich jak Amazonia czy Galapagos[27]. Główną przyczyną opisanego stanu rzeczy jest oparcie energetyki na paliwach kopalnych. Szacuje się, że obecnie paliwa te odpowiadają za 68% emisji gazów cieplarnianych[28].

Kluczową technologią w procesie dekarbonizacji jest fotowoltaika. Ze względu na praktycznie niewyczerpalny charakter promieniowania słonecznego energia słoneczna zaliczana jest do źródeł odnawialnych. Typową bazą materiałową dla ogniw słonecznych jest krzem będący drugim po tlenie najczęściej występującym pierwiastkiem na Ziemi.

Fotowoltaika nieprzerwanie od 15 lat jest najszybciej rozwijającym się segmentem energetyki i jedną z najszybciej rozwijających się branż przemysłu na świecie. Można śmiało przyjąć, że dzisiejsze moduły fotowoltaiczne cechuje żywotność na

[23] Cogley J. G. (2017). Climate science: The future of Asia's glaciers. Nature, 549 (7671), pp. 166–167

[24] Schleussner C-F, Lissner T. K, Fischer E. M, Wohland J, Perrette Mahé Golly A, Rogelj J., Childers K. et al. (2016). Differential climate impacts for policy-relevant limits to global warming: the case of 1.5°C and 2°C. Earth System Dynamics 7: pp. 327-351

[25] Schewe J., Heinke J., Gerten D., Haddeland I., Arnell N. W., Clark D. B., et al. (2013). Multimodel assessment of water scarcity under climate change. Proceedings of the National Academy of Sciences, 111(9), pp. 3245–3250

[26] Lelieveld J., Proestos Y., Hadjinicolaou P., Tanarht, M., Tyrlis E., & Zittis G. (2016). Strongly increasing heat extremes in the Middle East and North Africa (MENA) in the 21st century. Climatic Change, 137(1-2), pp. 245–260

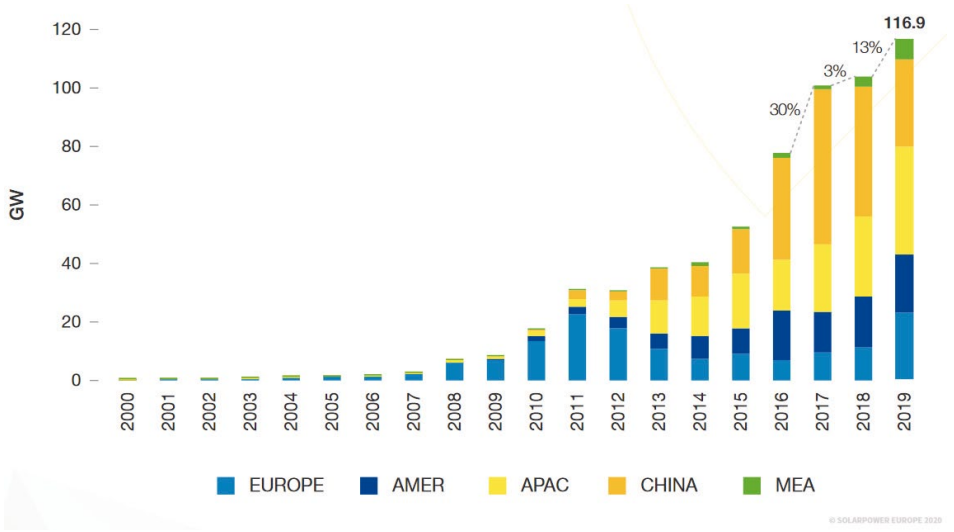
[27] Warren R., Price J., VanDerWal J., Cornelius S., Sohl H. (2018). The implications of the United Nations Paris Agreement on climate change for globally significant biodiversity areas. Climatic Change 147, pp. 395–409

[28] Jäger-Waldau 2019, Jäger-Waldau, A. (2019). PV Status Report 2019, JRC Science for policy report, EUR 29938 EN

poziomie co najmniej 25-30 lat, a co za tym idzie obecnie produkowane moduły będą miały swój udział w zakładanym „miksie" energetycznym bez paliw kopalnych.

Światowe trendy dotyczące rozwoju fotowoltaiki są ściśle związane ze światowym rynkiem produkcji energii elektrycznej. Produkcja i konsumpcja energii elektrycznej jest stałym elementem rozwoju gospodarczego każdego państwa na świecie. Nic nie wskazuje aby miało się to zmienić, nawet w odległej przyszłości.

Fotowoltaika, traktowana całościowo, jest bardzo ważnym elementem rynku energii, gdyż jej celem jest dostarczanie modułów fotowoltaicznych, które przez wiele lat będą źródłem czystej energii elektrycznej. Dlatego światowy rynek fotowoltaiczny mimo kryzysów ekonomicznych oraz światowej pandemii COVID -19 nadal rozwija się bardzo dynamicznie. Tak jak rok 2019 był kolejnym w którym padł rekord mocy dla zainstalowanych modułów PV (jak podaje Global Solar Power w 2019 roku, na całym świcie, zainstalowano moduły o mocy aż 116,9 GW[29]) tak prognozy mówią, iż w 2020 roku padnie kolejny rekord i zostanie zainstalowane kolejne 142 GW[30].



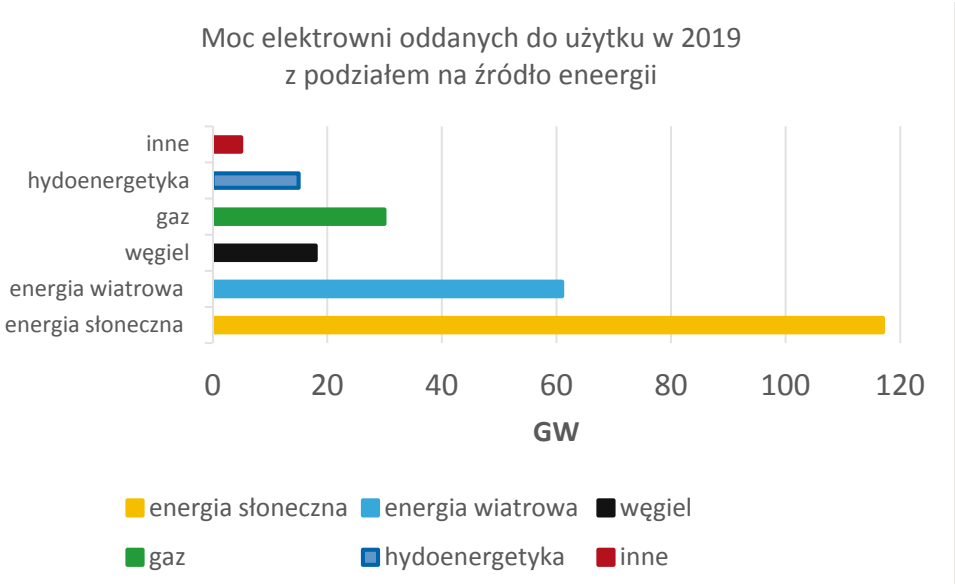
Rys. 1. Moc zainstalowanych modułów fotowoltaicznych z podziałem na lata i regiony świata EUROPE – Europa, AMER – Ameryki, APAC – Rejona Azji i Pacyfiku, CHINA – Chiny, MEA – Bliski Wschód i Afryka[29,30]

W 2019 roku zmienił się nieco udział poszczególnych rejonów świata w ilości zainstalowanych modułów. Rośnie powoli ilość instalowanych modułów na Bliskim Wschodzie i w Afryce. Wyraźnie zmalała dynamika tego procesu w Chinach nato-

[29] Global Market Outlook for Solar Power / 2020 – 2024, Solar Power Europe
[30] HIS Markit, Solar Installations to Grow by Additional 142 GW in 2020 – Seven Times the World's Total Solar Installations a Decade Ago, January 07, 2020

miast po raz pierwszy od 2012 roku widać wyraźny wzrost na obszarze Europy. Tendencja ma szansę się utrzymać, gdyż przemysł fotowoltaiczny na przestrzeni ostatnich lat przeszedł dużą transformację, jeśli chodzi o sposób produkcji modułów PV. W coraz większej liczbie przypadków mamy do czynienia z daleko idącą automatyzacją, co pozwala na konkurencję z chińskimi producentami, gdyż koszty utrzymania pracowników nie są już tak wysokie jak jeszcze dziesięć lat temu.

Jeśli spojrzymy na dynamikę rozwoju fotowoltaiki w porównaniu do innych źródeł energii to także zobaczymy, że jej wzrost dla fotowoltaiki jest imponujący. W 2019 roku na całym świecie oddano do użytku więcej elektrowni fotowoltaicznych niż dowolnych innych elektrowni. Mowa tu o mocy elektrowni z podziałem ze względu na źródło energii[31].



Rys. 2. Moc elektrowni oddanych do użytku w 2019 roku z podziałem na źródło nergii[31]

Ponadto, jak prognozuje Międzynarodowa Agencja Energetyki (IEA – International Energy Agency), odnawialne źródła energii staną się największym „dostawcą" energii elektrycznej, przewyższającym nawet elektrownie węglowe. W najbliższej perspektywie, IEA przewiduje, że udział odnawialnych źródeł energii w wytwarzaniu energii elektrycznej wzrośnie o rekordowe 2,3 punktu procentowego w stosunku do 2019 osiągając 27% w 2020 r. Produkcja energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych

[31] Global Market Outlook for Solar Power / 2020 – 2024, Solar Power Europe

wzrośnie o prawie 50% w ciągu najbliższych pięciu lat do prawie 9 745 TWh – co odpowiada łącznemu zapotrzebowaniu Chin i Unii Europejskiej. Oczekuje się, że do 2025 r. udział odnawialnych źródeł energii w całkowitej produkcji energii elektrycznej wyniesie 33%, przewyższając produkcję węglową. Energia wodna pozostaje największym źródłem wytwarzania energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych, ale jej udział spadnie poniżej 50% po raz pierwszy w 2024 r. Połączona produkcja energii wiatrowej i fotowoltaicznej wzrośnie w tym czasie prawie dwukrotnie do nieco powyżej 4 000 TWh[32].

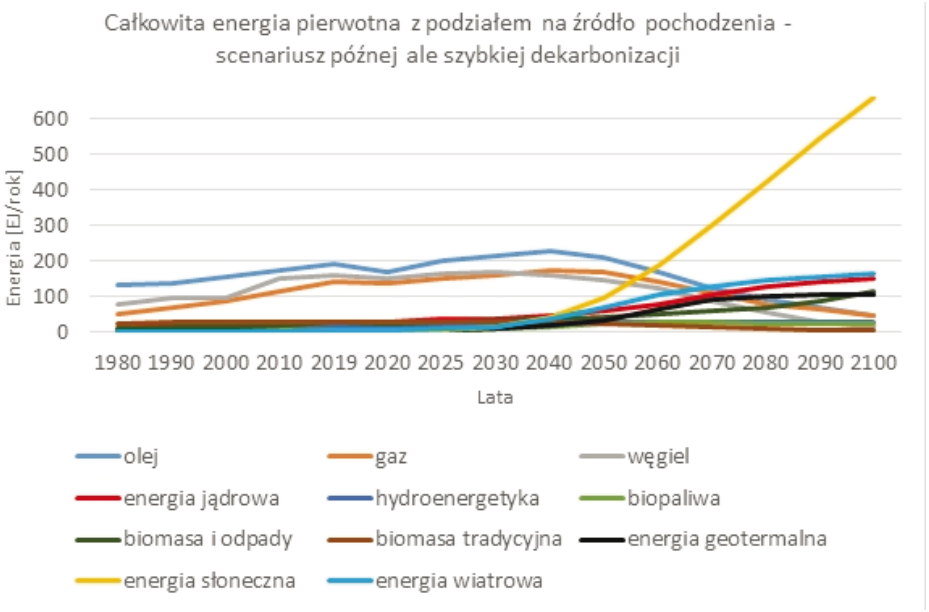
Wśród wielu ciekawych analiz prowadzonych na całym świecie wyróżnia się także pionierska analiza NREL dotycząca wspierania miasta Los Angeles w dążeniu do 100% udziału odnawialnych źródeł w produkcji energii elektrycznej dla tej wielkiej metropolii. Wyniki badań zawarte w raporcie: „Los Angeles 100% Renewable Energy Study (LA100)" pokazują, że osiągnięcie celu dla Los Angeles, jakim jest wytwarzanie energii elektrycznej w 100% z odnawialnych źródeł energii do 2045 roku jest możliwe. Warunkiem jest szybkie wprowadzenie technologii wiatrowych, słonecznych i magazynowania energii w jeszcze w tej dekadzie.

Tak duża dynamika wzrostu wykorzystania fotowoltaiki, zarówno w ujęciu całkowitej mocy instalowanych modułów PV względem lat poprzednich, jak i w porównaniu do innych źródeł energii wynika z kilku faktów:

1. Konwersja fotowoltaiczna wydaje się być dzisiaj najbardziej przyszłościowym sposobem pozyskiwania energii elektrycznej przez ludzkość.
2. W ogniwach fotowoltaicznych wykorzystywane jest powszechnie znane zjawisko, które pozwala na bezpośrednią konwersję energii słonecznej na energię elektryczną.
3. Sprawność konwersji energii w ogniwach fotowoltaicznych, a co za tym idzie, produkowanych na ich bazie modułów PV stale rośnie.
4. Po czwarte, ceny ogniw i modułów PV nadal spadają.

Konwersja fotowoltaiczna wydaje się być dzisiaj najbardziej przyszłościowym sposobem pozyskiwania energii elektrycznej przez ludzkość. Takie twierdzenie jest uzasadnione i znajduje swoje potwierdzenie w prowadzonych analizach. Jedną z nich jest ta przedstawiona przez zespół ekonomistów, ekspertów ds. energetyki, polityki oraz naukowców pracujących dla firmy Shell. Zespół ten rozpatrzył aż trzy możliwe scenariusze rozwoju światowej produkcji i konsumpcji energii do roku 2100. Ten zakładający szybką ale późną dekarbonizację przedstawiono na rysunku nr 3[33].

[32] IEA Report Renewables 2020 Analysis and forecast to 2025
[33] Shell, THE ENERGY TRANSFORMATION SCENARIOS, www.shell.com/transformationscenarios, #ShellScenarios

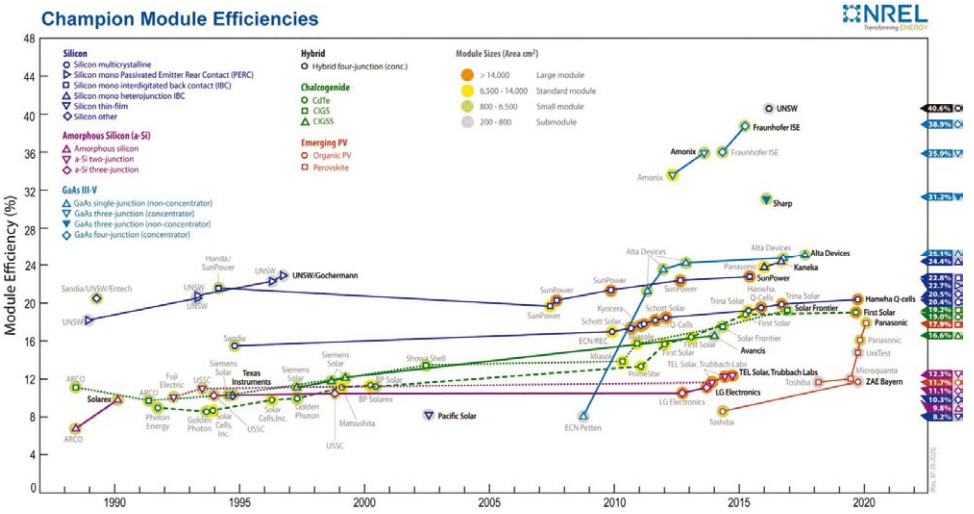


Rys. 3. Całkowita energia pierwotna z podziałem na źródło pochodzenia – scenariusz później ale szybkiej dekarbonizacji[33]

Jak widać przełomowy może być rok 2040 kiedy energetyka oparta na fotowoltaice zacznie odgrywać zdecydowanie wiodącą rolę wśród wszystkich odnawialnych źródeł energii oraz 2060 kiedy może stać się najważniejszym źródłem energii na świecie. Mimo, że opisana perspektywa jest nieco bardziej odległa niż omawiany rok 2025, należy tego typu prognozy traktować bardzo poważnie.

W ogniwach fotowoltaicznych wykorzystywane jest powszechnie znane zjawisko, które pozwala na bezpośrednią konwersję energii słonecznej na energię elektryczną. Taki sposób pozyskiwania energii ma dwie ogromne zalety. Z jednej strony, energia słoneczna jest powszechnie dostępna, a jej ilość pozwala na zaspokojenie potrzeb całej ludzkości. Z drugiej strony, energia elektryczna jest najbardziej pożądanym rodzajem energii przez konsumentów, gdyż jest łatwa do przesyłania na duże odległości oraz łatwa do wykorzystania (zamiany na inne rodzaje energii). Ponadto, wszystkie rozwinięte państwa posiadają sieci energetyczne. Rozwój fotowoltaiki nie pociąga za sobą konieczności wielkich zmian w systemie dystrybucji energii elektrycznej. Dużym wyzwaniem jest natomiast nadal jej magazynowanie.

Sprawność konwersji energii w ogniwach fotowoltaicznych, a co za tym idzie, produkowanych na ich bazie modułów PV stale rośnie. Postęp jaki się dokonał – i nadal dokonuje – dobrze obrazuje tabela sprawności konwersji energii modułów PV z podziałem na rodzaj zastosowanych ogniw publikowana przez NREL (*National Renewable Energy Laboratory*)[34].



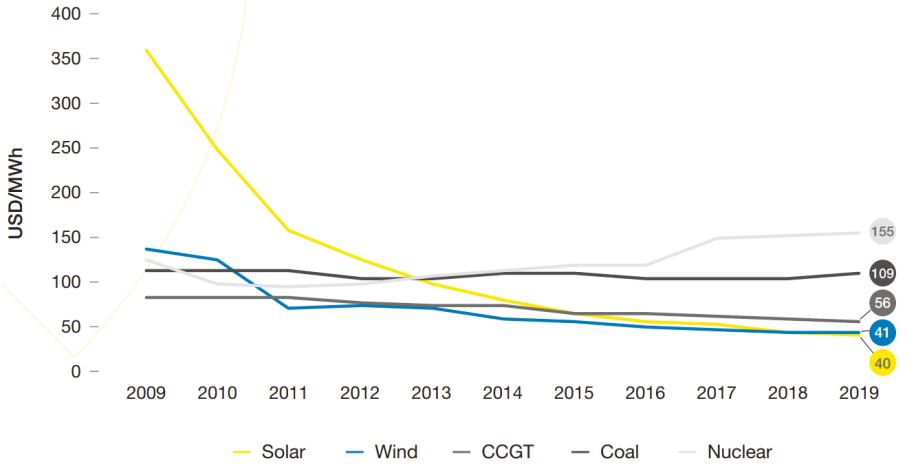
Rys. 4. Tabela sprawności modułów fotowoltaicznych. Zmiany w czasie z podziałem na rodzaj zastosowanej technologii (rodzaj materiału bazowego) wytwarzania ogniw PV. Rev. 07.08.2020. (This plot is courtesy of the National Renewable Energy Laboratory, Golden, CO)[34]

Jak widać ciągle rozwijane i udoskonalane są technologie bazujące na ogniwach krzemowych. Obecny rekord sprawności konwersji energii przez moduły PV wynoszący 22,7% dla ogniw typu PERC i 22,8% typu IBC z krzemu monokrystalicznego pokazują że ta technologia nadal jest wiodąca na świecie. Nie bez znaczenia są inne technologia, a wśród nich ogniwa na bazie perowskitów. Jak widać ich rozwój jest bardzo dynamiczny, a uzyskiwane sprawności biją kolejne rekordy. Obecnie Panasonic oferuje moduły o wielkości pomiędzy 800-6500 cm^2 o sprawności 17,9%.

Ceny ogniw i modułów PV nadal spadają. Bardzo szybka redukcja kosztów produkcji ogniw i modułów fotowoltaicznych w ciągu ostatniej dekady dorowadziła do tego, że w porównaniu z innymi technologiami energetyka słoneczna stała się pod tym względem liderem. Okazuje się, że koszt wytwarzania energii „ze słońca" jest niż-

[34] This plot is courtesy of the National Renewable Energy Laboratory, Golden, CO. Rev. 07.08.2020

szy niż z niesubsydiowanych paliw kopalnych oraz elektrowni atomowych. W niektórych regionach świata koszt ten jest też niższy niż energii pozyskiwanej z wiatru [35].



Rys.5. Koszt wytwarzania energii elektrycznej z energii słonecznej w porównaniu z innymi źródłami[35]

W 2019 roku średni koszt jednej megawatogodziny pozyskanej z energii słonecznej wyniósł około 40 dolarów. Dla przykładu szacuje się, że koszt jednej megawatogodziny wyprodukowanej przez wiatraki to około 41 dolarów, a z węgla to ponad 100 dolarów. Przyczyniły się do tego bardzo niskie ceny ogniw PV, a co za tym idzie także modułów PV.

Jeszcze niedawno, bo w 2016 roku, ceny ogniw i modułów fotowoltaicznych (PV) spadły do poziomu około 0,45 €/Wp[36], a sprawność konwersji energii dla ogniw krzemowych o powierzchni powyżej 100 cm^2 przekraczała 20%[37]. Po krótkim okresie, w którym ceny ogniw były stabilne w roku 2018, znowu osiągnęły kolejne minimum. W lipcu 2018 roku cena za 1 Wp w module wynosiła 0,40 € i dotyczyło to modułów zbudowanych z ogniw o wysokiej sprawności konwersji energii (moc maksymalna modułu PV powyżej 280 Wp) oraz 0,23 €/Wp dla typowych modułów zbudowanych z ogniw o standardowej sprawności i mocy około 250 Wp[38]. W marcu 2021 roku ceny za 1 Wp w typowym module osiągnęły poziom 0,23 €/Wp. To prawie dwa razy mniej na przestrzeni tylko trzech lat. Trzeba też dodać, że typowy moduł PV w chwili obec-

[35] Solar Power Europe, Global Market Outlook For Solar Power / 2020 – 2024 za Lazard (2019)
[36] Schachinger M., 2016. Module price index. PV Magazine [Online] Available at: www.pv-magazine.com/features/investors/module-price-index/
[37] Green M.A., Hishikawa Y., Warta W., Dunlop E.D., Levi D.H., Hohl-Ebinger J., Ho-Baillie A.W.Y., (2017) Solar cell efficiency tables (version 50). *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, July, 25(7), pp. 668–676
[38] https://www.pv-magazine.com/features/investors/module-price-index/

nej (marzec 2021) ma moc od 275 Wp do 325 Wp. Przykładowe ceny za Wp innych popularnych na rynku modułów PV pokazano w tabeli 1[39].

Tabela 1. Ceny modułów z podziałem na rodzaj oraz ich zmiany od stycznia i lutego 2021 do marca 2021 roku[39]

Rodzaj modułu PV	Cena Euro/Wp	Trend od lutego 2021	Trend od stycznia 2021	Opis
Bifacial	0,33	-2,9%	-2,9%	Moduły zbudowane z ogniw bifiacial w układzie szkło-szkło z ramą lub bez
Wysokosprawny	0,32	-3,0%	0%	Moduły zbudowane z ogniw PERC HJT, n-typ lub IBC o mocy minimum 330Wp
Cały czarny	0,33	0%	0%	Moduły z czarnym plastikiem zabezpieczającym, czarną ramą o mocy od 290 do 390 Wp
Typowy	0,23	-4,2%	0%	Typowe moduły zbudowane z 60 ogniw na bazie krzemu, z białym plastikiem zabezpieczającym, aluminiową ramą o mocy od 275 do 325 Wp
Tani	0,18	-5,9%	+12,5%	Moduły o niskiej jakości, niskiej sprawności często bez gwarancji

Podane ceny dotyczą gotowych modułów PV ale podobnie jest z cenami samych ogniw, na bazie których, produkowane są najpopularniejsze moduły PV. W chwili obecnej (marzec 2021) ceny ogniw są na jeszcze niższym poziomie. Według danych z portalu pvinsight.com ogniwa na bazie krzemu polikrystalicznego można już kupić za 0,085 USD/Wp, a koszt jednych z najdroższych obecnie ogniw PECR na krzemie monokrystalicznym to 0,16 USD/Wp[11].

[39] https://www.pvxchange.com/Price-Index dostęp 30.03.2021

Przykładowe ceny średnie, niskie i wysokie dla ogniw krzemowych wykonanych w różnych technologiach pokazano w tabeli nr 2[40].

Tabela 2. Ceny wybranych ogniw fotowoltaicznych. Przyjęto podział cen na poziom wysoki, niski i średni[40].

Rodzaj ogniwa PV	Cena wysoka USD/Wp	Cena niska USD/Wp	Cena średnia USD/Wp
Poly PERC Cell	0,115	0,085	0,089
Mono PERC Cell	0,145	0,110	0,117
158.75/161.75mm Mono PERC Cell	0,135	0,120	0,126
166mm Mono PERC Cell	0,140	0,110	0,114
182mm Mono PERC Cell	0,155	0,115	0,121
210mm Mono PERC Cell	0,160	0,120	0,124

Jednym z ważniejszych motorów spadku cen jest też efekt skali. Zdolności produkcyjne największych zakładów rosną z roku na rok. Niemniej jednak ważne jest też to, że prawie każde sprawdzone w warunkach rzeczywistych innowacyjne rozwiązanie, które może przyczynić się do spadku cen, jest wdrażane do masowej produkcji.

Ceny żadnego innego generatora energii elektrycznej nie obniżyły się tak bardzo na przestrzeni ostatnich lat jak właśnie ceny ogniw fotowoltaicznych[41].

Przykładowo, cena 1 kWp mocy dla systemu prosumenckiego w 2006 roku wynosiła około 2700 euro, już w 2011 cena ta spadła do 2000 euro, natomiast w 2019 było to około 1200 euro. Gdy spojrzymy na ceny modułów PV w ujęciu historycznym spadek cen robi jeszcze większe wrażenie. W 1980 roku za 1Wp mocy modułu PV trzeba było zapłacić prawie 12 euro. W roku 1990 było to 10 euro, ale w roku 2010 było to już tylko nieco ponad jedno euro. W roku 2015 nieco ponad 40 eurocentów, a w 2019 nieco ponad 20 eurocentów. To aż 50 razy mniej niż w roku 1980. Okazuje się, że przez ostatnie 40 lat za każdym razem gdy podwajała się produkcja modułów PV ich cena spadała o 25%[42].

Reasumując, wszystkie wymienione powyżej powody składają się na tak intensywny rozwój fotowoltaiki na świecie. To determinuje najważniejsze trendy w fotowoltaice, a te pozostają niezmienne od co najmniej dekady.

[40] Solar PV Cell Weekly Spot Price, http://pvinsights.com/, dostęp 30.03.2021
[41] ITRPV – International Technology Roadmap for Photovoltaic 2020, Readiness ITRPV
[42] PHOTOVOLTAICS REPORT, Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems, ISE
[w]ith support of PSE Projects GmbH Freiburg, 16 September 2020 www.ise.fraunhofer.de

Rozwój koncentruje się głównie na dwóch aspektach:

1. obniżeniu kosztów produkcji ogniwa,
2. ciągłym podnoszeniu jego sprawności w zakresie konwersji energii słonecznej na energię elektryczną.

W związku z powyższym największy popyt rynkowy dotyczy innowacyjnych rozwiązań, które nawet w najmniejszym stopniu przyczynią się do obniżenia kosztu produkcji, ogniwa i modułu fotowoltaicznego lub choć minimalnie zwiększą ich sprawność konwersji. Dotyczy to samych ogniw jak również modułów PV. W odniesieniu do ogniw na bazie krzemu prace koncentrują się na każdym elemencie ogniwa. Udoskonalana jest warstwa emiterowa, pasywująca, antyodbiciowa, a także elektrody metalowe.

Obecnie na świecie można wyróżnić wiele celów szczegółowych, które w ostatnim czasie są przedmiotem intensywnych badań. Poniżej przedstawiono kilka wybranych z nich.

1. **Redukcja konsumpcji srebra wykorzystywanego do wykonywania elektrod metalowych**. Na etapie produkcji ogniwa następuje ona głównie przez udoskonalanie technik wytwarzania przedniej elektrody metalowej ogniwa.
2. **Rozwój ogniw perowskitowych.** Poszukiwanie nowych, dotąd nieznanych rodzajów ogniw fotowoltaicznych. W przypadku ogniw perowskitowych kluczowa jest dalsza poprawa trwałości oraz zwiększenie powierzchni aktywnej. Przykładem poszukiwania nowych rodzajów ogniw są takie rozwiązania, jak choćby zastosowanie nanosłupków ZnO w architekturze ogniw fotowoltaicznych[43].
3. **Zaostrzenie kryteriów dotyczących testowania modułów fotowoltaicznych.** Rosnące wymagania dotyczące jakości wprowadzanych na rynek modułów PV. Ma to na celu jeszcze bardziej ugruntować pozycję fotowoltaiki jako pewnego i wydajnego źródła energii elektrycznej. Związane jest to także z oczekiwaniami inwestorów, którzy chcą mieć pewność, że przez wiele lat zainstalowane przez nich moduły będą pracować bezawaryjnie.
4. **Udoskonalenie technologii produkcji ogniw o najwyższej sprawności w tym typu HJT oraz BC**. Prace koncentrują się głównie na dopracowy-

[43] E. Placzek-Popko, K. Gwozdz, Z. Gumienny, E. Zielony, R. Pietruszka, B.S. Witkowski, Ł. Wachnicki, S. Gieraltowska, M. Godlewski, W. Jacak and Liann-Be Chang, Si/ZnO nanorods/Ag/AZO structures as promising photovoltaic plasmonic cells, Journal of Applied Physics 117, 193101 (2015)

waniu technologii, a co za tym idzie na ciągłym podnoszeniu sprawności tego typu ogniw. W skali laboratoryjnej wytworzono ogniwa o sprawności konwersji wynoszącej 26,6%, co jest rekordem dla krystalicznych, ogniw fotowoltaicznych[44].

5. **Agrofotowoltaika** – łączenie uprawy roślin z produkcją energii. To stosunkowo młody trend, który z jednej strony zorientowany jest na wykorzystywanie powierzchni upraw do instalacji modułów PV, a z drugiej pozwala na wspomaganie wzrostu roślin przez zastosowanie specjalnych modułów PV.
6. **Poszukiwanie nowych rodzajów ogniw bądź materiałów do ich produkcji**.

Należy wyraźnie podkreślić, że nie są to jedyne kierunki w jakich przebiega obecnie rozwój fotowoltaiki na świecie, ale wybrane obszary badawcze, w których znajdują się, lub mogły by się znaleźć prace polskich jednostek naukowych. Podobnie ma się sprawa z polskimi przedsiębiorstwami. Także dla nich jest miejsce w każdym z tych obszarów.

Rozwój przebiega w wielu kierunkach i obejmuje zagadnienia od produkcji materiałów dla fotwoltaiki przez produkcje ogniw aż po produkcję modułów oraz tematy związane z ich zastosowanie oraz testowaniem. Pojawiają się także bardzo ciekawe projekty pokazujące jak różne mogą być zastosowania dla ogniw fotowoltaicznych.

Jednym z nich jest projekt RoLA – FLEX. Jest to projekt branżowy, którego celem jest opracowanie innowacyjnych w oparciu o wytwarzanie i skalowanie organicznych półprzewodników o dużej ruchliwości ładunku (do 10 cm^2/Vs) i wysokiej sprawności konwersji mocy (16% w ogniwie PV i 12% w module PV). Ponadto w projekcie założono opracowanie tlenków metali oraz nanotuszów metali do wytwarzania ścieżek elektrod przewodzących o wysokiej stabilności i zwiększonej odporności na warunki środowiskowe. W projekcie planuje się wykorzystanie technik laserowych do produkcji modułów elastycznych. Finalnie powstaną prototypy na piątym poziomie gotowości technologicznej. Wyniki projektu powinny pozwolić na zastosowanie elastycznych ogniw organicznych o zwiększonej stabilności środowiskowej w elastycznych ekranach zegarków typu *smart watch*. Pozwoli to na ich pracę w warunkach słabego oświetlenia. Co ciekawe projekt RoLA-FLEX stworzy szansę na roczny wzrost przychodów o prawie 400 mln euro już

[44] NREL, 2017. Best Research-Cell Efficiencies, Rev. 30-10-2017, National Center for Photovoltaics

6 lat po jego zakończeniu. Przyczynić się ma także do zwiększenia liczby nowych miejsc pracy oraz znacznie zwiększyć konkurencyjność UE na świecie[45] [46].

Nadal rozwijana jest także fotowoltaika zintegrowana z budownictwem. Dobrym przykładem jest projekt BOOSTER finansowany ze środków UE (budżet 8.2 miliona Euro start projektu 01/09/2020). W projekcie tym nie są wykorzystywane ogniw na bazie krzemu krystalicznego ale planowane jest wykorzystanie elastycznych organicznych folii fotowoltaicznych (OPV), które uważa się za obiecujace do zastosowania w BAPV (*Building Applied Photovoltaics*). Moduły OPV charakteryzują się krótkim czasem zwrotu energii włożonej w ich produkcję oraz powstają w oparciu o materiały, które są łatwo dostępne i nietoksyczne. Celem projektu jest doprowadzenie technologii wytwarzania organicznych ogniw fotowoltaicznych do siódmego poziomu gotowości technologicznej (TRL 7), zwiększając sprawność i żywotność modułów oraz optymalizując koszty produkcji. Wynikiem projektu ma być moduł „gotowy do przyklejenia" oraz moduł zintegrowany z tkaniną[47] [48].

Redukcja konsumpcji srebra

Redukcja srebra w procesie produkcji ogniwa jest bardzo opłacalna, a z punktu widzenia konsumpcji srebra na świecie wręcz niezbędna.

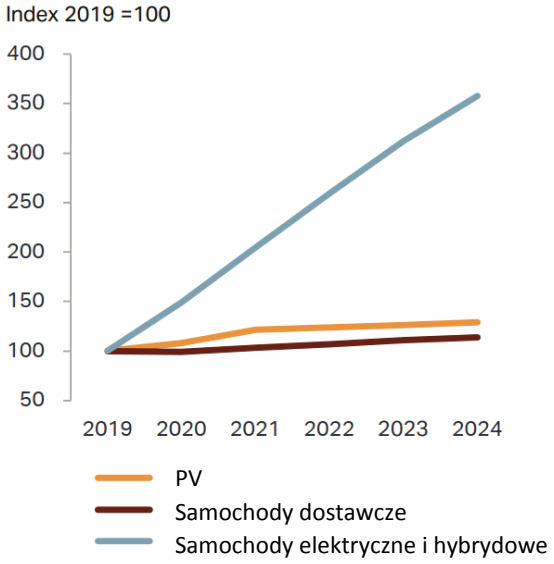
Światowy popyt na srebro wzrósł o 0,4% w 2019 roku do 991,8 mln uncji (30848 ton),przy czym wyższe inwestycje w srebro zostały skompensowane przez niższy popyt na biżuterię i srebro stołowe. Produkcja przemysłowa pozostała na prawie niezmienionym poziomie rok do roku w 2019 i wyniosła 510,9 mln uncji (15 891 ton) tym samym była tylko o 1% niższa od rekordu z roku 2017 r. Gałęzią przemysłu, w której odnotowano wyraźny wzrost była fotowoltaika. Zapotrzebowanie na srebra do produkcji ogniw słonecznych wyniosło 98,7 mln uncji i było o 6,2 mln uncji większe niż rok wcześniej[49].

[45] https://cordis.europa.eu/project/id/862474/pl
[46] Horizon 2020 – *Roll-2-Roll and Photolithography post-processed with LAser digital technology for FLEXible photovoltaics and wearable displays*
[47] https://cordis.europa.eu/project/id/952911/pl
[48] Horizon 2020 – Boost Of Organic Solar Technology for European Radiance

Tabela 3. Popyt na srebro na świecie z podziałem na źródło popytu i lata – w milionach uncji[49].

Źródło popytu	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020 Foresight
Przemysł	450,5	460,8	449,6	456,2	490,3	517,2	511,5	510,9	475,4
… w tym fotowoltaika	55,0	50,5	48,4	54,1	93,7	101,8	92,5	98,7	96,1
Fotografia	52,5	45,8	43,6	41,2	37,8	35,1	34,2	33,7	30,5
Biżuteria	159,2	187,1	193,5	202,6	189,2	196,3	203,1	201,3	187,5
Srebro stołowe	40,1	45,7	52,4	56,6	52,3	57,7	65,4	59,8	54,3
Inwestycje w srebro netto	240,8	300,1	282,6	310,4	213,9	156,2	165,7	186,1	215,8
Całkowity popyt	983,5	1,068,9	1,021,6	1,067,0	995,5	964,7	988,3	991,8	963,4

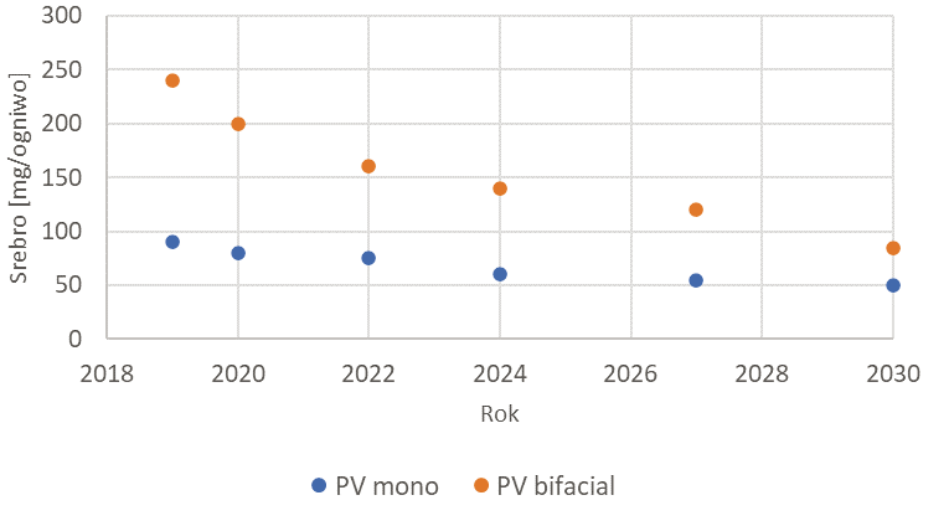
W perspektywie do roku 2025 fotowoltaika uważana jest za jedno z trzech znaczących źródeł popytu na srebro obok samochodów dostawczych oraz elektrycznych i hybrydowych[50].



Rys. 6. Zapotrzebowanie na srebro w perspektywie roku 2024 dla trzech wybranych gałęzi przemysłu[50]

[49] WORLD SILVER SURVEY 2020, The Silver Institute 1400 I Street, NW, Suite 550, Washington, D.C. 20005
[50] Metals Focus, LMA Automotive (total vehicles data from April update, BEV and hybrid detail from January 2020)

Jak widać największy popyt na srebro w najbliższych latach może dotyczyć rozwoju właśnie tych pojazdów. Jednak jeśli wziąć pod uwagę, iż prawdziwe przyspieszenie w rozwoju fotowoltaiki rozumiane jako wzrost produkcji i ilości instalacji, które ma mieć miejsce po 2040 roku, to problem użycia srebra w ogniwach fotowoltaicznych wydaje się być kluczowy. Na chwilę obecną, oraz w niedalekiej przyszłości, tendencja wzrostowa nie jest bardzo duża, ale w przyszłości może się okazać, że możliwości wytwarzania (pozyskiwania) srebra na potrzeby fotowoltaiki mogą być niewystarczające. Dlatego wyzwanie, aby jeszcze bardziej obniżyć konsumpcje srebra na etapie produkcji, wydaję się jednym z najważniejszych dla technologii ogniw na bazie krzemu krystalicznego. Jeszcze większym wyzwaniem jest całkowita redukcja konsumpcji srebra, jednak w perspektywie roku 2025 wydaje się to nierealne. Obecnie do produkcji ogniwa o wymiarach 158,75 x 158,75 mm^2 zużywa się około 90 mg srebra. W przypadku ogniwa o tych samych wymiarach, ale typu bifacial czyli takiego, w którym na obu jego stronach wykonuje się metalową elektrodę na bazie srebra – zużycie wynosi aż 200 mg.



Rys. 7. Prognozy redukcji konsumpcji srebra przy produkcji typowych ogniw fotowoltaicznych oraz ogniw bi-facial[51]

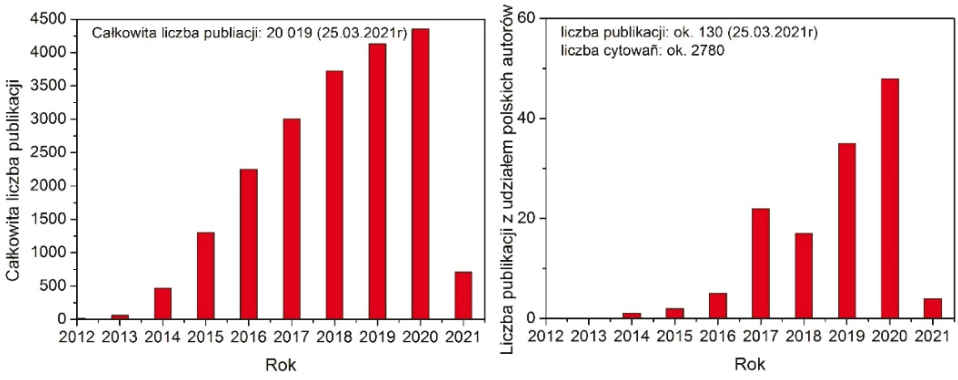
Prognozy zakładają możliwość redukcji konsumpcji srebra do poziomu 50 mg na ogniwo jednak ma to nastąpić dopiero około 2030 roku[51].

[51] ITRPV – International Technology Roadmap for Photovoltaic 2020, Readiness ITRPV

Rozwój ogniw perowskitowych

Innym aspektem ciągłego postępu w zakresie udoskonalania technologii wytwarzania ogniw krzemowych jest poszukiwanie nowych materiałów, które można wykorzystać do ich produkcji. Okazuje się, że bardzo popularne są badania nad ogniwami fotowoltaicznymi na bazie perowskitów[52,53], które – w ostatnich latach – przyniosły ich spektakularny wzrost sprawności.

Śmiało można powiedzieć, że ogniwa perowskitowe należą do najbardziej dynamicznie rozwijanych w ostatnim dziesięcioleciu nowego typu ogniw (*emerging photovoltaics*) zaliczanych do ogniw trzeciej generacji. Świadczy o tym wzrost liczby publikacji dotyczących ogniw perowskitowych na świecie. Co ważne da się zauważyć duży wzrost publikacji z udziałem polskich naukowców[54].



Rys. 8. Liczba publikacji dotyczących ogniw perowskitowych (a) wszystkich na świecie (ok. 20 019), (b) z udziałem polskich autorów ok. (130) (dane z Web of Science).

Technologia ogniw perowskitowych dokonała kilka lat temu przełomu w fotowoltaice. W przeciągu ostatnich dziesięciu lat rekordowa sprawność tych ogniw wzrosła od ok. 10% do 25,5% (PCE= 25,5 ± 0,8%, powierzchnia = 0,0954 cm^2, V_{oc} =1,1885 V, J_{sc}= 25,74 mA/cm^2, FF= 83,2% w przypadku ogniw jednozłączowych[55].

[52] Malinkiewicz O., Yella A., Lee Y.H., Espallargas G.M., Graetzel M., 2014. Perovskite solar cells employing organic charge-transport layers. *Nature Photonics*, 8, pp. 128-132

[53] Gawlińska K., Iwan A., Starowicz Z., Kulesza-Matlak G., Stan-Głowińska K., Janusz M., Lipiński M., Boharewicz B., Tazbir I., Sikora A., 2017. Searching of new, cheap, air- and thermally stable hole transporting materials for perovskite solar cells. *Opto-Electronics Review*, 25(4), pp. 274-284

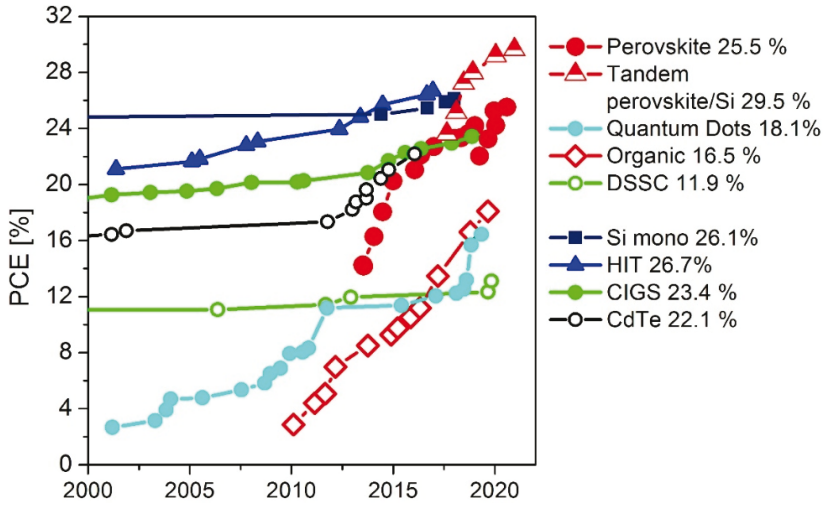
[54] Web of Science 2021

[55] Green MA, Dunlop E, Hohl-Ebinger J, et al. Solar cell efficiency tables (Version 56). Prog Photovolt Res Appl. 2020; 28 p:629-638

Perowskit jest materiałem, w którym można sterować przerwą energetyczną. Można więc go używać w ogniwach tandemowych np. perowskit/Si, perowskit/CIGS. Ogniwa takie mogą przekroczyć limit Shockley'a, a ich sprawność osiągnąć wartość ponad 30%. Uzyskanie wysokich sprawności jest równie ważne, jak i obniżenie kosztów ich produkcji żeby cena energii w przeliczeniu na Wp (kWh/zł) była mniejsza od energii elektrycznej wytwarzanej ze źródeł kopalnych.

Dla ogniw tandemowych perowskit/krzem uzyskiwane sprawności przekraczają już 29%. W 2020 roku najpierw naukowcy z *Instytutu Helmholtz-Zentrum Berlin* (HZB) zaprezentowali ogniwo tandemowe o sprawności 29,15% na małej próbce powierzchni ok. 1 cm^2. Niedługo potem Oxford PV ogłosił nowy rekord 29,52% (powierzchnia 1,12 cm^2). Ogniwa te przekraczają więc rekordowe sprawności ogniw z krzemu monokrystalicznego 26,6% (PCE=26,6± 0.5% powierzchnia= 179,74 cm^2, V_{oc}= 0,7403 V, J_{sc}= 42,5mA/cm^2, FF= 84,7% *Kaneka*, n-type rear IBC) (Rys. 9) i wydaje się, że nigdy ogniwa krzemowe jedno-złączowe nie osiągną tak dużej sprawności.

Należy jednak zaznaczyć, że rekordowe ogniwa perowskitowe mają bardzo małe powierzchnie. Sprawności tych ogniw ulegają znacznemu zmniejszeniu, jeśli wykonuje się je na większych powierzchniach. Ponadto ich trwałość nie dorównuje obecnie produkowanym ogniwom krzemowym. Jest to więc duże wyzwanie dla opracowania technologii przemysłowej o dużych powierzchniach wysokosprawnych ogniw perowskitowych.



Rys. 9. Rekordowe sprawności wybranych typów ogniw słonecznych (na podstawie danych opublikowanych przez National Renewable Energy Institute[56]

[56] https://www.nrel.gov/pv/cell-efficiency.html

Na stabilność ogniwa mają również wpływ wszystkie inne warstwy wchodzące w skład ogniwa perowskitowego: warstwa ETL, HTL i elektrody. Warstwą ETL najczęściej jest TiO_2, która powoduje degradację perowskitu pod wpływem promieniowania UV. Warstwa HTL, która najczęściej jest wykonana ze Spiro-OMeTAD domieszkowanym litem, jest higroskopijna i powoduje degradację perowskitu pod wpływem wilgoci. Z kolei elektroda tylna wykonana jest ze złota, który dyfunduje w głąb przez HTL do perowskitu pogarszając jego właściwości elektryczne. Niedawno w 2018 r pojawiła się praca, której autorami byli naukowcy z NREL (*National Renewable Energy Laboratory, Golden, USA*), w której zademonstrowali ogniwa perowskitowe o sprawności ponad 18% i stabilności >1000 godzin pracy[57] Ogniwa te bez zabezpieczenia miały sprawność 94% początkowej wartości po 1000 godzinach pracy w temperaturze ok. 30 ^oC i wilgotności 15% i ciągłym oświetleniu o mocy 1000 W/m^2.

Opracowanie taniej metody wytwarzania struktur planarnych jest szczególnie istotne dla wykorzystania w przyszłej produkcji, ze względu na uproszczony proces wytwarzania ogniw bez konieczności nanoszenia mezoporowatej warstwy TiO_2, którą łatwiej można zaadaptować do procesu produkcyjnego. Dużym osiągnięciem była metoda opracowana przez KRICT znana pod nazwą *inżynieria rozpuszczalnika* (z j. ang. *solvent engineering)*.

Jeśli chodzi o produkcję ogniw perowskitowych to najbardziej perspektywiczne wydają się być metody drukowania. Firma Saule Technologies opracowała w zespole Olgi Malinkiewicz innowacyjną technologię *druku atramentowego z użyciem drukarek typu ink-jet*. Techniką tą wytwarza się ogniwa na elastycznych podłożach. Niestandardową metodę opracował Dr inż. Daniel Prochowicz z zespołu prof. Janusza Lewińskiego z Instytutu Chemii Fizycznej Polskiej Akademii Nauk (IChF PAN) oraz Wydziału Chemicznego Politechniki Warszawskiej (WCh PW). Metoda ta polega na wytworzeniu perowskitów poprzez ucieranie proszków w wyniku reakcji *mechanochemicznych*. Metoda ta jest przyjazna dla środowiska, szybka i nadaje się do produkcji przemysłowej. Materiał został przetestowany w znanym zespole prof. Michaela Grätzela z EPFL w Szwajcarii. Okazało się, że metoda ta nadaje się do wytworzenia perowskitów o mieszanym składzie. To pozwoliło na zwiększenie sprawności z 18% na 19%[58].

Jest kilka firm na świecie, które przystępują do produkcji ogniw perowskitowych. W Polsce jest to znana firma Saule Technologies, która uruchomiła produkcję we

[57] Christians, J.A., Schulz, P.,. Tinkham, J.S., Schloemer, T.H., Harvey, S.P., Tremolet de Villers, B.J., Sellinger, A., Berry, J.J. and Luther, J.M., 2018, Tailored interfaces of unencapsulated perovskite solar cells for >1,000 hour operational stability, Nature Energy, 3, 68–74

[58] Kubicki, D., Prochowicz, D., Hofstetter, A., Saski, M., Yadav, P., Bi, D., Pellet, N. , Lewinski, J., Zakeeruddin, S.M. , Grätzel, M. and Emsley L., (2018), Formation of stable mixed guanidinium–methylammonium phases with exceptionally long carrier lifetimes for high-efficiency lead iodide-based perovskite photovoltaics, J. Am. Chem. Soc., 140, 3345–3351.

Wrocławiu w oparciu o innowacyjną technologię modułów ultracienkich, elastycznych i transparentnych. Moduły te będą mogły być integrowane z fasadami budynków i pokryciami dachów oraz będą mogły być wykorzystane w urządzeniach elektronicznych typu *Internet of Things* (IoT – *Internet Rzeczy*), zarówno na zewnątrz, jak i w pomieszczeniach, co wyeliminuje konieczność wymiany baterii. Znajdzie się również wiele zastosowań takich jak markizy fotowoltaiczne, rolety i żaluzje. Technologia ta posiada potencjalnie olbrzymi zakres zastosowań, gdyż można drukować na różnych materiałach niezależnie od kształtu i rodzaju np. na foliach, tkaninach i dachówkach[59]. Przykładem zastosowań w budownictwie są pokrycia na fasadach budynków szwedzkiej firmy budowlanej Skanska. Przykładem zastosowań w urządzeniach elektronicznych są obroże telemetryczne wyposażone w czujnik GPS wykorzystywane do śledzenia dzikich zwierząt. Pierwsze testy przeprowadzane są dla żubrów w Styr Hunting Enterprise w Obwodzie Lwowskim na Ukrainie. Firma Oxford PV kierowana przez prof. Snaitha buduje fabrykę w Niemczech ogniw tandemowych perowskit/Si. Już w tym roku na rynku mają się pojawić pierwsze panele fotowoltaiczne zbudowane z ogniw tandemowych perowskit/krzem. Produkcja ogniw na liniach dostarczonych przez szwajcarską firmę Meyer Burger ruszy w fabryce powstającej w niemieckim mieście Brandenburg an der Havel pod Berlinem. W pierwszym etapie ma ruszyć linia produkcyjna o łącznej mocy sięgającej 125 MW w ciągu roku. Produkcja ta ma być rozszerzona do skali gigawatów w 2024 roku[60]. Panele te będą dostarczać nawet o 1/3 więcej energii w porównaniu do tradycyjnych krystalicznych modułów PV.

Trzecią firmą w Europie, która przygotowuje się do produkcji ogniw perwskitowych jest szwedzka firma Evolar**.** Firma ta chce produkować ogniwa tandemowe typu perowskit/krzem podobnie jak Oxford PV. Szwedzcy naukowcy spodziewają się uzyskać zwiększenie sprawności ogniw o 5% w stosunku do ogniw krzemowych.

Zaostrzenie kryteriów dotyczących badań modułów fotowoltaicznych

Coraz wyższe wymagania stawiane są modułom fotowoltaicznym. Związane jest to także z oczekiwaniami inwestorów, którzy chcą mieć pewność, że przez wiele lat zainstalowane przez nich moduły będą pracować bezawaryjnie. Z jednej strony trwałość typowych modułów PV jest od wielu lat na bardzo dobrym poziomie. Najlepiej świadczy o tym liniowa gwarancja mocy udzielana przez większość produ-

[59] https://www.rynekelektryczny.pl/ produkcja-perowskitow-saule-technologies
[60] https://pv-magazine-usa.com/2020/11/15/)

centów na okres aż 25 lat. Z drugiej strony pogoń za obniżaniem cen związana jest często z zastępowaniem sprawdzonych (często kosztownych) materiałów tańszymi odpowiednikami. To często prowadziło do sytuacji, że na rynku oferowane są zarówno moduły bardzo dobrej jakości, jak również znacznie gorsze moduły zaliczane do kategorii *low cost*.

Nowe rygorystyczne kierunki w certyfikowaniu modułów fotowoltaicznych mają na celu podniesienie ich trwałości tak, aby przekraczała ona 30 lat. Od samego początku kiedy moduły PV zaczęły być montowane w postaci instalacji i elektrowni fotowoltaicznych rozwijano problem ich certyfikacji. Certyfikacja miała na celu:

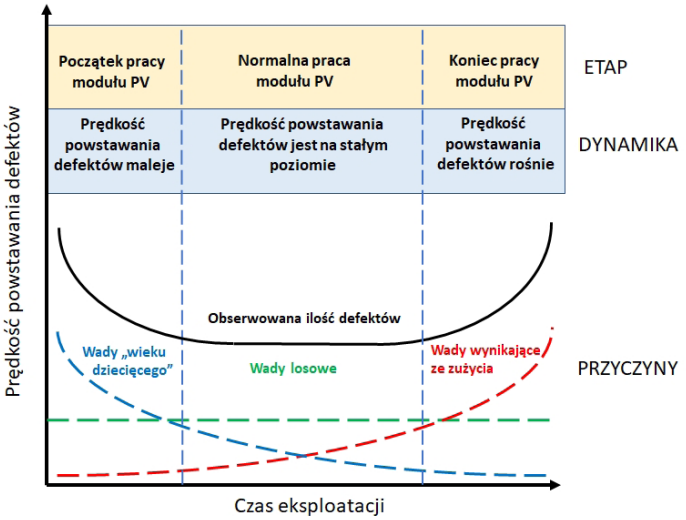
- potwierdzić, iż moduły i użytkowanie jest bezpieczne,
- potwierdzić zadeklarowane przez producenta parametry elektryczne
- potwierdzić ich długoterminową trwałość w odniesieniu do parametrów mechanicznych, jak i elektrycznych
- potwierdzić, że konstrukcja i zastosowane materiały gwarantują niezmienną w czasie estetykę modułu.

Certyfikat ma także pozwolić przewidzieć potencjalnemu użytkownikowi nie tylko jak długo moduł będzie pracował, ale też ile wyprodukuje energii elektrycznej. Obecnie najczęściej podstawowa gwarancja udzielana na moduł PV przez producenta mówi, iż będzie on prawidłowo działał przez 10 lat, a spadek sprawności do ok. 80% nastąpi w ciągu 20-25 lat. Pojawiają się już gwarancje rozszerzone, które zapewniają 25 lat (i więcej) prawidłowego działania sprzętu.

Ten kierunek badań związany jest ściśle z problem powstawania defektów w modułach fotowoltaicznych podczas ich pracy. Wykres tak zwanej „krzywej wannowej" (rys. 10) dobrze odzwierciedla ten problem i jest często stosowany w inżynierii defektów produktów i urządzeń[61]. Badania w obszarze fotowoltaiki potwierdzają, że może być stosowany także przy ocenie ilości defektów pojawiających się w modułach PV[62] .

[61] Nse S Udoh, (2018), *A reliability analysis of 8hp-pml gold engine coupled locally fabricated cassava grinding machine,* International Journal of Statistics and Applied Mathematics 3(6): 28-35

[62] Fedorova, Anna & Jelle, Bjørn & Andenæs, Erlend & Imenes, Anne Gerd & Aunrønning, Ole & Schlemminger, Christian & Geving, Stig. (2017). Large-Scale Laboratory Investigation of Building Integrated Photovoltaics – A Review of Methods and Opportunities.



Rys. 10. Krzywa „wannowa" pokazująca prędkość pojawiania się defektów w modułach PV[61, 62]

Jak widać na tym wykresie tylko wady losowe modułów PV pozostają na niezmienionym poziomie podczas ich eksploatacji. Zarówno wady „wieku dziecięcego", jak i te wynikające ze zużycia, mają zmienną intensywność. Zaostrzenie kryteriów badań modułów PV ma się przyczynić do minimalizacji tych pierwszych i wydłużenia czasu życia modułu.

Podstawową normą stosowaną przy badaniach i certyfikacji modułów PV jest IEC 61215 (a także IEC 61646). Zakłada ona między innymi: inspekcję wizualną, test odporności na promieniowanie UV, test wytrzymałości w wysokiej temperaturze przy wysokiej wilgotności, test odporności na gwałtowne wymrażanie, test odporności na obciążenia mechaniczne, test odporności na cykliczne zmiany temperatury oraz test odporności na gradobicie. Pomimo tak dużego i wymagającego zakresu badań okazuje się, że może być ona niewystarczająca jeśli chcemy aby moduły PV pracowały bezawaryjnie przez minimum 25 lat. Powodów takiego stanu rzeczy jest kilka[63]:

1. IEC 61215 nie gwarantuje trwałości w odpowiednio długim okresie eksploatacji,
2. audyty procesu produkcyjnego są niespójne i niekonsekwentne,
3. gwarancje często są mało użyteczne i niejednoznaczne,

Okazuje się że moduły PV, które pozytywnie przeszły testy zgodnie z normą IEC 61215 mogą ulec uszkodzeniom przed upływem 25 lat. Przyczyn jest kilka, a w wśród nich:

1. defekty konstrukcyjne (zarówno projektowe, jak i wykonawcze),

[63] T. Żdanowicz, *Trwałość >30 lat nowe, rygorystyczne kierunki w certyfikowaniu jakości modułów fotowoltaicznych*, Krajowa Konferencja Nauki i Przemysłu „Fotowoltaika 2020", Rytro 12-15.04.2018

2. słabe punkty procesu produkcyjnego (niedostateczna kontrola w trakcie),
3. defekty związane z bezpieczeństwem użytkowania,
4. błędy związane z instalacją modułów.

Dlatego ten obszar badań jest tak ważny i przyszłościowy dla całej fotowoltaiki. Już dzisiaj pojawiają się propozycje nowych rodzajów badań oraz rozszerzenia już istniejących w tym[64]:

1. Program „Qualification Plus" – NREL.
2. Thresher Test – TŰV-SŰD.
3. Sekwencja testowa VDE.
4. Protokół testowy CalLab ISE-FhG.
5. Protokół testowy CEA / Gsolar /PV- magazine.
6. Rozszerzony protokół testowy firmy Suniva.
7. Sekwencja testowa DuPont MAST test.
8. DNV GL's PV Module Product Qualification Program.
9. Sekwencja testowa PVDT – ISE-FhG.
10. PV+Test – ISE-FhG + Solarpraxis AG.
11. Atlas 25+.

Zmienia się także podejście do sposobu prowadzenia pomiarów parametrów modułów. Do tej pory rozwijane i udoskonalane były symulatory światła słonecznego. Biorąc pod uwagę widmo i moc najczęściej stosowano lampy błyskowe. W przypadku modułów zbudowanych w oparciu o ogniwa z dużą pojemnością wewnętrzną zbyt krótki błysk (trwający od około 10 ms do 20 ms) mógł znacząco wpływać na uzyskane wyniki. Poprawne wartości można uzyskać stosując błysk o czasie trwania około 100 ms. Producenci symulatorów starali się wydłużyć czas błysku tak, aby pomiary dawały jak najlepsze wyniki. Najnowsze symulatory błyskowe firmy Spire mają czas błysku wynoszący minimum 170 ms[65]. Jednak nowym – a dokładnie na nowo rozwijanym – kierunkiem badań w obszarze diagnostyki parametrów elektrycznych modułów jest coraz większe zainteresowanie pomiarami w warunkach rzeczywistych czyli takimi, gdzie źródłem światła jest naturalne światło słoneczne.

Agrofotowoltaika

Agrofotowoltaika to stosunkowo nowy kierunek w obszarze badań związanych z szeroko pojętą fotowoltaiką. Dzisiaj termin ten ma już dwa znaczenia. Z jednej strony agrofotowoltaika to badania nad wykorzystywaniem powierzchni upraw rolnych

[64] T. Żdanowicz, *Trwałość >30 lat nowe, rygorystyczne kierunki w certyfikowaniu jakości modułów fotowoltaicznych,* Krajowa Konferencja Nauki i Przemysłu „Fotowoltaika 2020", Rytro 12-15.04.2018
[65] https://eternalsunspire.com/product/5100slp-aaa-single-long-pulse-flasher/

do instalacji modułów PV, a z drugiej to rozwój takich innowacyjnych modułów PV, które będą wspomagały wzrost roślin.

W tym pierwszym ujęciu można powiedzieć, że agrofotowoltaika oznacza takie podejście, w którym jednocześnie wykorzystuje się tereny rolnicze do produkcji żywności i wytwarzania energii elektrycznej z modułów PV. W ten sposób agrofotowoltaika zwiększa efektywność użytkowania gruntów rolnych i umożliwia rozbudowę instalacji fotowoltaicznych na dużych obszarach.

Technologia agrofotowoltaiczna rozwinęła się w ostatnich latach bardzo dynamicznie i można ją znaleźć niemal we wszystkich regionach świata. Zainstalowana moc modułów PV wzrosła wykładniczo z ok. 5 MW w 2012 roku do ok. 2,9 GW w 2018 r. Pojawiły się też krajowe programy finansowania tej dziedziny w wielu państwach w tym w Japonii (od 2013 r.), Chinach (ok. 2014 r.), Francji (od 2017 r.), USA (od 2018 r.), a ostatnio także w Korei[66].

W Europie jednym z pionierów badań w tym obszarze jest niemiecki instytut Fraunhofera. Prowadzi on projekt APV-RESOLA[67]. W projekcie założono trzy różne sposoby instalacji modułów PV.

1. Instalacja modułów PV na glebie, a w przestrzeniach pomiędzy nimi zasadzenie roślin,
2. montaż paneli na konstrukcji napowietrznej tj. dedykowanym szkielecie, pod którym mogą rosnąć swobodnie rośliny różnej wysokości,
3. instalacja modułów na dachu szklarni.

Bardzo ciekawe są pierwsze wyniki uzyskane w ramach tego projektu. Podczas badań wykorzystano gospodarstwa rolne nad jeziorem Bodeńskim. Na terenie trzech hektarów, zajętym pod uprawy rolne, zamontowano moduły fotowoltaiczne zbudowane z ogniw typu bifacial. W projekcie wykorzystano instalację fotowoltaiczną o mocy 194 kW. Po pierwszym roku zbiory koniczyny z terenu, na którym umieszczono panele fotowoltaiczne, były mniejsze niż z analogicznego terenu niezasłoniętego przez panele o 5,3%. Wyższe straty na poziomie 18-19% odnotowano także w przypadku zbioru pomidorów, pszenicy i selera. W 2018 roku nasłonecznienie w badanej lokalizacji wyniosło 1319,7 kWh/m2 i było wyższe o 8,4 proc. niż to, które było w roku 2017. Produkcja energii elektrycznej wyniosła w skali roku 249,85 MWh. Natomiast w przypadku upraw selera zbiory były wyższe o 12% w porównaniu do zbiorów z referencyjnej uprawy. Także zbiory pszenicy ozimej były wyższe o 3%, a w przypadku pomidorów zbiory były wyższe o około 40%. Natomiast zbiory koniczyny znowu były niższe tym razem o 8%[68]. Ponadto odnotowano wyższą wilgotność gleb w czasie upałów.

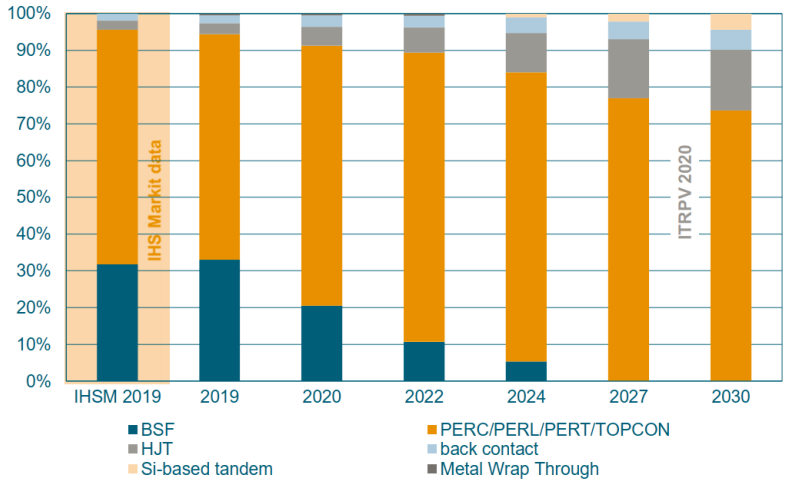
[66] https://www.ise.fraunhofer.de/en/key-topics/integrated-photovoltaics/agrivoltaics.html
[67] https://www.ise.fraunhofer.de/en/research-projects/apv-resola.html
[68] https://www.ise.fraunhofer.de/en/research-projects/apv-resola.html

Ten i inne projekty pokazują, że to właściwy kierunek, gdyż agrofotowoltaika ma szereg zalet. Systemy agrofotowoltaiczne niwelują częste konflikty związane z eksploatacyjnym (innym niż uprawa roślin) użytkowaniem gruntów rolnych. Moduły fotowoltaiczne mogą chronić plony przed gradem, mrozem, suszą oraz palącym słońcem.

Biorąc pod uwagę, iż produkcja żywności w skali globalnej jest jednym z największych wyzwań ludzkości takie interdyscyplinarne podejście pozwoli na jej udoskonalenie w wielu miejscach na Ziemi.

Udoskonalenie technologii produkcji ogniw

Dążenie do podnoszenia sprawności konwersji energii powoduje, że rozwijane są ogniwa na bazie krzemu krystalicznego o zmodyfikowanej strukturze takie jak: HIT (ang. *Heterojunction with Intrinsic Thin Layer*)[69], ogniwa BC (ang. *Back Contact*)[70] oraz ogniwa o aktywnej powierzchni przedniej i tylnej – BF (ang. *BiFacial*)[71]. Pomimo tego, że każde w wymienionych ogniw wymaga srebra do wytworzenia elektrod, to jednak ich udział w globalnej produkcji będzie wzrastać[72].



Rys. 11. Prognozy kierunków rozwoju technologii produkcji ogniw PV z podziałem na ich rodzaj[72]

[69] Green M.A., 2003. Crystalline and thin-film silicon solar cells: state of the art and future potential. *Solar Energy*, 74(3), pp. 181-192

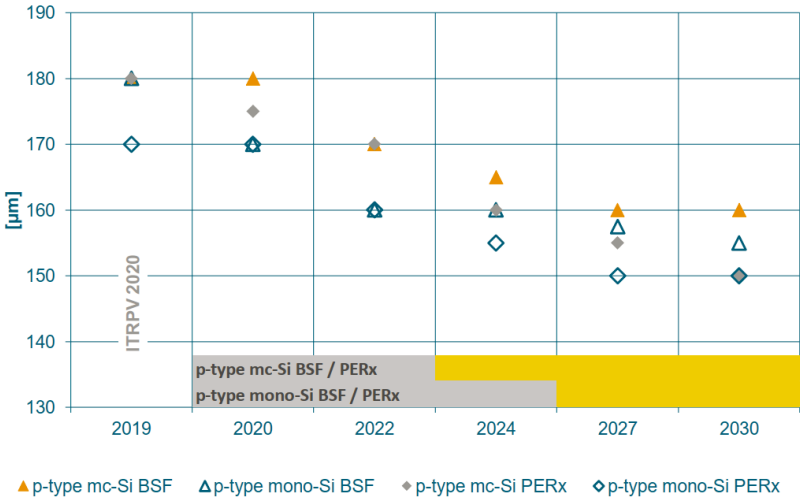
[70] Van Kerschaver E., Beaucarne G., 2006. Back-contact Solar Cells: A Review. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 14, pp. 107-123

[71] Frey A., Fritz S., Engelhardt J., Hahn G., Terheiden B., 2016. Influence of contact firing conditions on the characteristics of bi-facial n-type silicon solar cells using Ag/Al pastes. Energy Procedia, 92, pp. 919-924.

[72] ITRPV – International Technology Roadmap for Photovoltaic 2020, Readiness ITRPV

Jak wynika z analiz zawartych w raporcie ITRPV (International Technology Roadmap for Photovoltaic) po 2024 roku należy liczyć się z całkowitym zaprzestaniem produkcji typowych ogniw z BSF. Dominującą rolę przejmą ogniwa typu PERC, a udział technologii BC i HJT będzie się zwiększać. Nowością w tym zestawieniu są ogniwa tandemowe, ale te także bazują na ogniwa z krzemu krystalicznego.

Równolegle prowadzone są cały czas badania nad redukcją kosztów produkcji tego rodzaju ogniw. Dobrym przykładem jest trend dalszej redukcji grubości płytek krzemowych stosowanych do produkcji ogniw PV.



Rys. 12. Prognozy redukcji grubości płytek krzemowych stosowanych do produkcji ogniw PV[73]

Jak widać (rys. 12) obecnie typowa grubość płytki krzemowej stosowanej do produkcji ogniwa fotowoltaicznego to dla krzemu mono-Si 170 µm. Jest to standard dla ogniw typu PERC. Natomiast dla ogniw na bazie krzemu polikrystalicznego nadal preferowana jest grubość na poziomie ≥ 175 µm. Jak pokazują wyniki zebrane w raporcie ITRPV dalsza redukcja grubości płytek krzemowych będzie możliwa i prognozuje się uzyskanie wartości 155 µm. Konkretne rozwiązania są już gotowe do realizacji, ale na razie nie zostały wdrożone do masowej produkcji. Szybkie wdrożenie będzie silnie zależeć od ostatecznej sprawności konwersji ogniw bazujących na tak cienkich płytkach krzemowych. Zakłada się jednak, że grubość płytek PERC mc-Si będzie powoli zbliżać się do minimalnej wartości między 160 a 150 µm do 2027 roku. Ostatecznie grubość płytki z krzemu mono-Si dla ogniw PERC osiągnie 150 µm w 2027 r.

Redukcja grubości płytek idzie w parze ze zwiększaniem ich powierzchni. W 2015 roku standardem były płytki o wymiarach 156x156 mm^2. W roku 2019 na runku naj-

[73] ITRPV – International Technology Roadmap for Photovoltaic 2020, Readiness ITRPV

więcej było ogniw o wymiarach 156,75 x 156,75 mm^2 (M2). Obecnie często spotykane są ogniwa na bazie płytek oznaczanych jako G1 (158,75 x 158,75 mm^2) i M4 (161,7 x 161,7 mm^2). W przyszłości dominować będą prawdopodobnie trzy jeszcze większe rozmiary takie jak: 161,75 x 161,75 mm^2 (M4), 166 x 166 mm^2 (M6) i 210 x 210 mm^2 (M12). W ciągu najbliższych 3 lat zniknie z rynku format M2. W 2020 roku jego udział wynosił tylko 30% w całej produkcji ogniw PV. Ogniwa o wymiarach M4 i M6 są już produkowane, a format M12 będzie wprowadzany w najbliższym czasie.

To tylko wybrane elementy ogniw fotowoltaicznych, jakie są nadal przedmiotem badań. Na ich przykładzie widać, że rozwój krystalicznych ogniw krzemowych trwa nadal. Każda opisywana zmiana ma na celu dalszą redukcję kosztów, podniesienie sprawności konwersji, a najlepiej jedno i drugie jednocześnie. Niezmienne jest natomiast to, że w zdecydowanej większości przypadków rozwój ogniw krystalicznych to ciągła ewolucja, a bardzo rzadko rewolucja.

Nowe materiały do produkcji ogniw PV

Nowe materiały, które mogłyby zostać zastosowane przy produkcji ogniw PV badane są na całym świecie. Pomijając perwoskity trudno wskazać tu jednego lidera czy jeden najbardziej obiecujący materiał. Dobrym przykładem mogą być także pionierskie prace prowadzone są także w naszym kraju. Zespół Profesora Marka Godlewskiego z Instytutu Fizyki PAN od lat rozwija technologię produkcji ogniw na bazie słupków ZnO wytwarzanych metodą hydrotermalną. Opracowano także technologię wybranych nanostruktur tlenkowych do zastosowań w przemyśle fotowoltaicznym (FW). Nanostruktury takie mogą być stosowane w nowej generacji ogniw krzemowych[74], arsenkowych (GaAs)[75] i miedziowych (CuO)[76] ogniw słonecznych, w szczególności jako trójwymiarowe przezroczyste elektrody, ale także jako warstwy antyrefleksyjne i warstwy barierowe w organicznych ogniwach FW.

Warto podkreślić, że od kilku lat prace ukierunkowane są tak, aby miały one charakter prac ściśle wdrożeniowych. W ciągu ostatnich kilku latach prace dotyczą technologii przezroczystych elektrod i warstw barierowych (we współpracy z firmą Saule). W chwili obecnej realizowany jest projekt w ramach programu TechMatStrateg, w którym partnerem przemysłowym jest firma MLSystem. W tym przypadku

[74] Pietruszka, R. , Witkowski, B. S., Gieraltowska, S., Caban, P., Wachnicki, L., Zielony, E., Gwozdz, K., Bieganski, P., Placzek Popko, E., Godlewski, M., 2015, New efficient solar cells structures based on Zinc Oxide nanorods, Solar Energy Materials & Solar Cells 143, 99–104

[75] Caban, P., Pietruszka, R., Kopalko, K., Witkowski, B.S., Gwozdz, K., Placzek-Popko, E., Godlewski M., 2018, ZnO/GaAs heterojunction solar cells fabricated by the ALD method, Optik – International Journal for Light and Electron Optics 157, 743-749

[76] Ozga, M., Kaszewski, J., Seweryn, A., Sybilski, P., Godlewski, M., Witkowski, B.S., 2020, Ultra-fast growth of copper oxide (II) thin films using hydrothermal method, Materials Science in Semiconductor Processing 120, 105279

rozwijana jest technologia warstw CuO oraz prowadzone są prace nad nową architekturą ogniw krzemowych, jak i technologią warstw barierowych dla ogniw perowskitowych[77].

W ujęciu krajowym największy popyt na innowacje dotyczy produkcji modułów PV. Wynika to z faktu, iż w Polsce w skali masowej produkuje się tylko moduły PV. Przedsiębiorstwa są zainteresowane zarówno innowacjami technologicznymi, jak i produktowymi. Wszystkie badania procesów laminacji prowadzone w polskich jednostkach naukowych są bardzo interesujące dla producentów modułów. Ten sektor zainteresowany jest także zaawansowanymi technikami pomiarowymi, którymi dysponują polskie jednostki naukowe, co pozwala na kontrolę jakości produktów oraz kontrolę powtarzalności technologii. Także badania nad udoskonaleniem technologii są interesujące dla polskich przedsiębiorców gdyż mogą otworzyć przed nimi nowe ploa działalności. Należą do nich między innymi badania nad redukcją ilości srebra wykorzystywanego do produkcji ogniw oraz dotyczące możliwości zastąpienia srebra miedzią. W obszarze badań nad nowymi materiałami trzeba wyróżnić ogniwa perwoskitowe oraz zupełnie nowe struktury oparte na słupkach ZnO. W obszarze nowych kryteriów dotyczących badań jakości wyprodukowanych modułów PV polskie ośrodki naukowe oferują szeroką ofertę badań laboratoryjnych a także testów prowadzonych w warunkach rzeczywistych.

Różnice w popycie na innowacje w skali europejskiej i globalnej mogą natomiast dotyczyć miejsca wykorzystania modułów PV. W ostatnich latach otwiera się wiele rynków w podzwrotnikowych strefach klimatycznych. Wymagania stawiane modułom PV w obszarach, gdzie roczna energia promieniowania słonecznego przekracza 2000 kWh/m^2/rok, są znacznie wyższe. Doskonałym przykładem oferty polskich jednostek badawczych są tu prace B+R nad nowymi materiałami do laminacji, modułami w układach szkło-szkło oraz badania materiałowe.

Dr hab. inż. Kazimierz Drabczyk, Prof. IMIM PAN

[77] Godlewski M., Pietruszka R., Sewery A., Ożga M., Caban P., Witkowski B.S., 2021, Tlenki szerokoprzerwowe dla fotowoltaiki, Fotowoltaika 2025 II Krajowa Konferencja Nauki i Przemysłu, Materiały konferencyjne, 15-16

Kierunki rozwoju krajowego sektora PV do 2025 roku

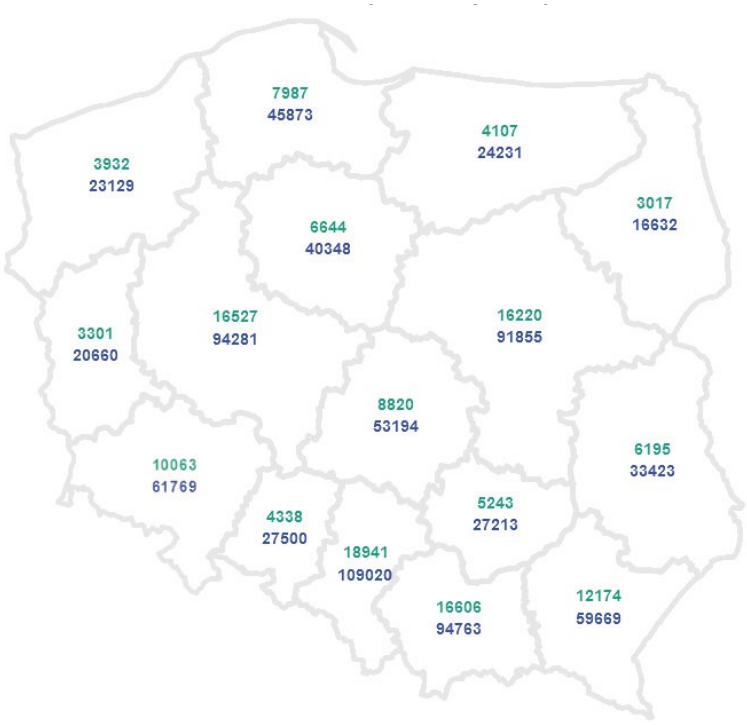
Kierunki rozwoju polskiej fotowoltaiki są ściśle związane z sytuacją w kraju, jak również w całej Unii Europejskiej. Podczas szczytu Rady Europejskiej szefowie rządów krajów członkowskich Unii Europejskiej przyjęli nowy cel w redukcji CO_2 dla Unii Europejskiej na rok 2030. Rada zadecydowała, że cel ten wyniesie co najmniej 55% w stosunku do roku 1990. Dotychczas wynosił on 40% i choć przyjęcie nowego celu redukcji CO_2 nie jest zaskoczeniem – taki zamiar Ursula von der Leyen przedstawiła już we wrześniu 2020 r. – to zwiększenie celu redukcji emisji do poziomu 55% może doprowadzić do wzrostu cen uprawnień do emisji CO_2 nawet do 41 euro/EUA w 2025 i 76 euro/EUA w 2030 roku. To z kolei wymusza podejmowanie konkretnych i zakrojonych na dużą skalę przedsięwzięć, które pozwolą realnie zwiększyć udział energii ze źródeł odnawialnych.

Oczekuje się, że wzrost mocy instalacji fotowoltaicznych w Polsce osiągnie rekordowy poziom 1,4 GW w 2020 r., czyli o 44% więcej niż w 2019 r. Taka dynamika wzrostu były możliwa głównie dzięki szybko poszerzającej się ofercie polskich firm zajmujących się montażem instalacji fotowoltaicznych, jak również wprowadzonym w 2019 roku programie „Mój Prąd". Ponadto inny program wspierający termomodernizację domów również przewidywał preferencyjne pożyczki na instalację systemów PV. Krajowy Plan na Rzecz Energii i Klimatu ma na celu osiągnięcie produkcji energii z źródeł odnawialnych na poziomie 32% w 2030 roku. Prognozy dla Polski zakładają znaczne przyspieszenie procesu zwiększania udziału energii ze źródeł odnawialnych w latach 2023-2025[78]

Program „Mój Prąd" jest bardzo dobrym przykładem na to, jak szybko może rozwijać się rynek prosumenckich instalacji fotowoltaicznych. Z jednej strony przyczynił się on wzrostu świadomości obywateli zarówno jeśli chodzi o wiedzę na temat fotowoltaiki, jak również ze względu na budowanie świadomości ekologicznej. Program priorytetowy „Mój Prąd" stanowi unikatowy na dotychczasową skalę w Polsce instrument dedykowany wsparciu rozwoju energetyki prosumenckiej, a konkretnie wsparciu segmentu mikroinstalacji fotowoltaicznych (PV). Program wystartował w połowie 2019 r. Łączna moc instalacji ze złożonych wniosków to 1,2 GW. Instalacje

[78] IEA Renewables 2020 Analysis and forecast to 2025

te rocznie wyprodukują ok. 1200 GWh/rok energii elektrycznej. Pierwsze dwa nabory „Mojego Prądu" przyczynią się do redukcji CO_2 aż o 1 000 000 000 kg/rok[79]. Co ciekawe największa liczba instalacji nie przypadła na jedno czy dwa województwa ale znalazła odbiorców w całym kraju (rys. 13).



Rys. 13. Liczba przyznanych dofinansowań do projektów instalacji PV (zielony). Łączna moc instalacji w kW (granatowy). Stan na dzień 2021-03-22 [https://mojprad.gov.pl/]

Kwota alokacji w postaci bezzwrotnych form dofinansowania wyniosła 1 100 000 tys. zł[80]. To jeden z największych w Europie programów finansowania mikroinstalacji fotowoltaicznych o mocy 2-10 kW dla osób fizycznych, które wytwarzają energię elektryczną na własne potrzeby.

Ogromy sukces tego programu spowodował, że będzie on kontynuowany. Jak zapowiada wiceprezes Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej Paweł Mirowski *„Rozpoczęcie nowego naboru planujemy od 1 lipca br."*

Wytwarzanie i zużywanie energii elektrycznej z mikroinstalacji fotowoltaicznych na własne potrzeby, przedział mocy 2-10 kW, inwestycje podłączone do sieci OSD,

[79] https://www.gov.pl/web/klimat/sukces-ii-edycji-programu-moj-prad-nowy-nabor-w-2021-r
[80] https://mojprad.gov.pl/informacje-szczeg%C3%B3%C5%82owe-o-programie-m%C3%B3j-pr%C4%85d/

koszty kwalifikowane od dnia 1 lutego 2020 r. oraz poziom dofinansowania zależny od zakresu rzeczowego inwestycji – to zasady, które będą obowiązywały w trzeciej odsłonie programu „Mój Prąd". Program „Mój Prąd" będzie finansowany ze środków unijnych z instrumentu, w którym koszty kwalifikowane stanowią wydatki poniesione w okresie od 1.02.2020 r. do 31.12.2023 r. Zatem wnioskodawcy, którzy zakupili instalację przed ogłoszeniem naboru – ale po 31.01.2020 r. – będą mogli skorzystać z dofinansowania po spełnieniu innych warunków określonych w programie. Finansowane będą projekty zakończone i podłączone do sieci OSD (Operator Systemu Dystrybucyjnego).

Krajowy rynek PV staje się coraz bardziej atrakcyjnym celem inwestycyjnym dla kapitału krajowego, ale także zagranicznego. Według analiz ekspertów portalu wysokienapiecie.pl *Polska jest oceniana teraz jako jeden z najatrakcyjniejszych rynków dla rozwoju energetyki słonecznej i nie chodzi tylko o boom na rynku mikroinstalacji prosumenckich, ale też o budowę elektrowni o mocy megawata i większych. W ostatnich latach w aukcjach wsparcie przyznano na budowę 1664 MW nowych mocy w fotowoltaice. Większość to instalacje do 1 MW, ale nierzadko skupione w duże farmy słoneczne. Do marca tego roku wybudowano ok. 340 MW* (…).[81] Wśród kluczowych inwestorów wymienić tutaj należy bawarski BayWa r.e (aktualnie spółka realizuje budowę farmy fotowoltaicznej w województwie lubuskim o mocy 65 MW. Deweloper docelowo zamierza w ciągu pięciu najbliższych lat przeprowadzić inwestycje o mocy zainstalowanej powyżej 1 GW, ale obejmą one także energetykę wiatrową). Kolejnym inwestorem jest duński Better Energy. Tutaj łączne plany wszystkich polskich projektów z lokalizacją w północno-zachodniej części kraju, także szacowane są na poziomie powyżej 1 GW). *Jak podaje portal o portfelu projektów rzędu gigawata mocy informował w sierpniu także notowany na New Connect Columbus Energy. „W portfelu Columbus Energy znajduje się już ponad 1000 MW mocy w farmach. Spółka zakończyła budowę farm o mocy kilkunastu MW i jest w trakcie realizacji kolejnych kilkudziesięciu MW"* (…) *zabezpieczamy właśnie finansowanie na 0,5 mld zł z zielonych obligacji, aby sfinansować je i zostawić w naszych aktywach na 39 lat minimum. Szukając teraz projektów skupiamy się głównie na takich, które mają warunki przyłączeniowe" – mówi Dawid Zieliński, prezes Columbus Energy.*[82]

Tempa nabiera także rozmach inwestycyjny w projekty z obszaru fotowoltaiki realizowane przez energetyczne spółki Skarbu Państwa. PGNiG zamierza zwiększyć moce w fotowoltaice (oraz energii wiatrowej) do 900 MW, z kolei PGE do 2030 roku zamierza z samej fotowoltaiki uzyskać 2,5 GW mocy – *Zabezpieczyliśmy już na potrze-*

[81] https://wysokienapiecie.pl/31882-farmy-sloneczne-w-polsce-kto-je-buduje-kto-kupuje/, data pobrania 23 kwietnia 2021
[82] Ibidem

by tego programu ponad 1000 hektarów gruntów. Na takiej powierzchni można zbudować farmy słoneczne o mocy przeszło 500 MW – zapewniał w lipcu (2020 roku – przypis IMIM PAN) Marcin Karlikowski, prezes PGE Energia Odnawialna.[83] Spółka ta buduje aktualnie jedną z największych farm fotowoltaicznych w Polsce. Projekt realizowany jest na Podkarpaciu w gminie Grębów z wykorzystaniem ok. 152 ha rekultywowanych gruntów poeksploatacyjnych spółki Siarkopol Tarnobrzeg. *Farma fotowoltaiczna o mocy 77 MW uzyskała warunki techniczne przyłączenia* (…) *W kolejnym kroku rozpoczną się prace nad projektem budowlanym, farma powstanie do końca 2022 r.*[84]

Stale rośnie znaczenie oraz wartość przedsiębiorstw polskiego sektora PV. Tytułem przykładu, Columbus Energy w 2020 roku był drugą najdroższą spółką na New Connect. Jak podaje wysokienapiecie.pl *Kapitalizacja polskiego lidera rynku mikroinstalacji fotowoltaicznych zbliża się do 1 mld zł. Columbus Energy jest wart na giełdzie już niemal połowę tego co Tauron, jeden z największych państwowych koncernów energetycznych. Publikacja wyników finansowych za pierwszy kwartał 2020 roku, pokazała pięciokrotny wzrost przychodów (r/r) i siedmiokrotny wzrost zysku brutto.*(…) *Tym samym wycena Columbus Energy jest niemal dwukrotnie wyższa od wyceny BOŚ (państwowego baku finansującego „zielone" inwestycje), ale też i dwóch innych banków: Getin oraz Idea, czy holdingu ZE PAK (jednego z największych producentów energii elektrycznej z węgla w Polsce) oraz dziesięciokrotnie wyższa od wyceny Rafako (budującej m.in. jeden z największych w Polsce bloków węglowych).*[85] Dawid Zieliński, największy udziałowiec oraz Prezes Columbus Energy przekonuje w rozmowie z portalem wysokienapiecie.pl, że firma już dzisiaj zmienia się z przedsiębiorstwa sprzedażowego w technologiczne – *spółka zajmuje się wyłącznie przyszłościowymi technologiami – fotowoltaiką, pompami ciepła, magazynami energii, stacjami ładowania samochodów elektrycznych i rozwojem oprogramowania, które to wszystko ma spinać. Po drugie, bardzo dynamicznie rośnie. W 2019 roku jej przychody (202 mln zł) były trzykrotnie wyższe niż w 2018 roku (62 mln zł), a te z kolei były dwa razy wyższe niż w 2017 roku, który z kolei był trzykrotnie lepszy od 2016 roku. W czwartym kwartale 2019 roku przychody spółki na poziomie 94 mln zł przewyższały m.in. przychody Giełdy Papierów Wartościowych (80 mln zł) i państwowego Polskiego Holdingu Nieruchomościowego (65 mln zł). Jednocześnie stanowiły niemal połowę przychodów najdroższej spółki na dużym parkiecie warszawskiej giełdy – CD Projektu (213 mln zł). Z kolei w pierwszym kwartale tego roku Columbus wypracował już ponad połowę tego, co w całym ubiegłym roku (125 mln zł) (…) Po czwarte, w żagle Columbusa wieje polityka regulacyjna i zmiany rynkowe.*[86]

[83] Ibidem
[84] Ibidem
[85] https://wysokienapiecie.pl/28916-columbus-energy-wart-tyle-co-pol-taurona/, data pobrania 26 kwietnia 2021
[86] https://wysokienapiecie.pl/28916-columbus-energy-wart-tyle-co-pol-taurona/, data pobrania 26 kwietnia 2021

W kwietniu 2021 roku portal forsal.pl przekazał informację o 10,18 mln zł skonsolidowanego zysku netto w 2020 r. wobec 3,47 mln zł zysku rok wcześniej innego krajowego potentata na rynku PV – rzeszowskiego ML System.[87] W tym samym miesiącu wysokienapiecie.pl informowało z kolei, że roczny portfel zamówień tej spółki przekroczył 100 milionów złotych.[88] ML System klasyfikowana jako spółka z obszaru wysokich technologii, oferuje innowacyjne rozwiązania fotowoltaiczne głównie z obszaru BIPV. Produkty te stanowią realną alternatywę dla tradycyjnych materiałów budowlanych. Spółka debiutowała na rynku głównym GPW w 2018 roku. Jej skonsolidowane przychody ze sprzedaży sięgnęły 127,27 mln zł w 2020 r.[89]

Inny polski potentat w segmencie wysokich technologii – Saule Technologies, który rozwija projekty ogniw perowskitowych deklaruje uzyskanie pierwszych przychodów ze sprzedaży takich modułów fotowoltaicznych jeszcze w tym roku. Co-CEO Saule Artur Kupczunas informował o tym już w 2020 roku, tak uzasadniając rynkowe prognozy zysków: (…) *będą związane ze sprzedażą modułów do małych urządzeń elektronicznych w zakresie IoT. To będą niespecyficzne zastosowania do małych sensorów, czujników, małych urządzeń, które również pracują wewnątrz budynków. Perowskit jest o wiele bardziej efektywny wewnątrz budynków niż krzem".*[90] Kolejny etap ekspansji rynkowej przedsiębiorstwa obejmie zwiększenie skali produkcyjnej oraz wejście w obszar wielkopowierzchniowych farm fotowoltaicznych z ich docelową lokalizacją na zadaszeniach magazynów i hal produkcyjnych, co zdaniem Kupczunasa będzie przewagą konkurencyjną nad panelami krzemowymi, których waga wyklucza takie lokalizacje. Technologia oferowana przez Saule otwiera opcje druku dowolnych kształtów modułów na folii oraz ich integracji z dowolną powierzchnią.[91] Warto nadmienić w tym miejscu, że w 2020 roku Saule Technologies podpisał z Columbus Energy umowę inwestycyjną pozwalającą na przejęcie przez tę ostatnią spółkę 20% udziałów w Saule oraz wniesienie wkładu inwestycyjnego w kwocie 10 mln euro. Portal wysokienapiecie.pl tak charakteryzuje działalność tego przedsiębiorstwa: *Obecnie Saule Technologies to zespół ponad 50 naukowców, inżynierów i pracowników administracyjnych z ponad 17 krajów. Saule Technologies przez ostatni rok, przy współpracy inżynierów z Korei, Malezji, Wielkiej Brytanii, Singapuru i Japonii, konstruowała unikatową, pierwszą na świecie linię produkcyjną drukowanych ogniw perowskitowych.*[92]

[87] https://forsal.pl/biznes/energetyka/artykuly/8136984,ml-system-mial-1018-mln-zl-zysku-netto--1154-mln-zl-zysku-ebit-w-2020-r.html, data pobrania 26 kwietnia 2021
[88] https://wysokienapiecie.pl/feeds/portfel-zamowien-ml-system-to-ponad-100-mln-zl-na-2021-r/, data pobrania 26 kwietnia 2021
[89] Ibidem
[90] https://wysokienapiecie.pl/feeds/saule-technologies-zaklada-pierwsze-przychody-ze-sprzedazy-na-poczatku-2021-r/
[91] Ibidem
[92] https://wysokienapiecie.pl/feeds/saule-technologies-zaklada-pierwsze-przychody-ze-sprzedazy-na-poczatku-2021-r/

Rozwój rynku PV w Polsce nie pozostaje bez wpływu także na inne sektory gospodarki oraz dziedziny życia. Oprócz oczywistych zalet zielonej technologii, takich jak jej innowacyjny oraz ekologiczny charakter, możliwość dużego ekonomicznego zysku zarówno korporacyjnego, jaki i prosumenckiego, generowanie nowych miejsc pracy w branży etc., fotowoltaika wpływa np. na wzrost cen nieruchomości – *Polska staje się wielkim terenem budowy farm fotowoltaicznych o mocy rzędu megawata i większych. Inwestorzy prześcigają się w pozyskiwaniu gruntów. Stawki za dzierżawę rosną wraz z coraz większymi planami dużych graczy. (…) Umowy zawierane są na 20 lat i dłużej. PGE ma w planach do 2030 roku posiadanie 3 GW mocy ze słońca. Największa spółka energetyczna w Polsce pozyskała jak dotąd ok. 2 tys. ha gruntów. – To wystarczy do zbudowania ponad 1250 MW – mówi Marcin Gelberg z biura komunikacji korporacyjnej PGE Energia Odnawialna.*[93]

Fotowoltaika, jako coraz bardziej kluczowa technologia sektora OZE wpływa też w znaczący sposób na procesy transformacji energetycznej zachodzące i planowane w najbliższych dekadach w Polsce. Znajduje to realne, a nie jedynie deklaratywne odzwierciedlenie w strategicznych dokumentach rządowych Rzeczypospolitej Polskiej. Jest ona istotnym elementem przyjętej w lutym 2021 roku „Polityki Energetycznej Polski do 2040 roku". W dokumencie tym czytamy m.in. *W 2030 r. moc zainstalowana może wynieść ok. 5–7 GW łącznie w mikroinstalacjach i w dużych instalacjach, zaś w 2040 r. aż 10–16 GW. Instalacja paneli fotowoltaicznych stanowi alternatywę dla wykorzystania terenów poprzemysłowych i słabej jakości gruntów, jak również dachów budynków, także prywatnych.*[94] Zapisy tego dokumentu są z kolei jedną z determinant Krajowego Planu Odbudowy. W jego komponencie E.1.1.1., którego wdrażania nadzorować będzie Ministerstwo Klimatu i Środowiska zaplanowano m.in. budowę fabryki ogniw fotowoltaicznych.[95]

Krajowa branża PV mierzy się także z poważnymi problemami, których rozwiązanie nie będzie łatwe, pewne, ani oczywiste. Jednym z najpoważniejszych, pilnych wyzwań krajowego sektora PV są odmowy przyłączenia od operatorów sieci. Jak podaje wysokienapiecie.pl tylko w 2019 roku takie decyzje zapadły dla ponad 400 instalacji PV[96], co oznacza prawie siedmiokrotny wzrost odmów wydania warunków przyłączenia do sieci o napięciu powyżej 1 kV w stosunku do roku 2018. Eksperci portalu tak analizują stan faktyczny: *Enea Operator, w roku 2019 udzielono łącznie 108 odmów – 105 do sieci średniego napięcia oraz 3 do sieci 110 kV. Odmowy przyłączenia źródeł do sieci średniego napięcia wynikała z braku możliwości spełnienia kryterium zapasu mocy na węźle WN/*

[93] https://wysokienapiecie.pl/33507-sloneczna-goraczka-ogarnia-rolnikow-diecezje-spolki-grunty-poszukiwane/
[94] Polityki Energetycznej Polski do 2040 roku
[95] Krajowy Plan Odbudowy
[96] https://wysokienapiecie.pl/28040-elektrownie-sloneczne-wpadly-w-siec-negatywnych-decyzji/, data pobrania 24 kwietnia 2021

SN. Zapas ten to jeden z wielu elementów oceny możliwości przyłączania źródła. W zakresie odmów na napięciu 110 kV podstawą był brak technicznych możliwości odbioru wygenerowanej energii elektrycznej przez źródło. Jeszcze więcej odmów wydała Energa Operator – to 213 przypadków w roku 2019. Większość dotyczyła źródeł fotowoltaicznych o mocy poniżej 1 MW. Odnotowano również pojedyncze przypadki dotyczące farm wiatrowych o mocach z zakresu 22-50 MW. Odmowy wydano po wykonaniu indywidualnych ekspertyz wpływu pracy źródła na sieć. Natomiast operator PGE Dystrybucja przedstawił 116 przypadków odmownych. Tu także odmowę przyłączenia uzasadniała indywidualna ekspertyza wpływu pracy źródła na sieć. Najczęściej odpowiedź odmowną uzasadniano niespełnieniem kryterium dopuszczalnych zmian napięcia, jedynie w 24 przypadkach operator dysponował mocą przyłączeniową na wnioskowanym obszarze. W sumie daje to liczbę 437 przypadków odmowy przyłączenia. Rok wcześniej tych pięciu operatorów wydało 64 odmowy – wynika z raportu URE za 2018 r.[97] Zdaniem Wojciecha Cetnarskiego, prezesa Wento, spółki inwestującej w projekty PV, problemy odmów przyłączeń do sieci *(…) biorą się również z tego, że deweloperzy, w większości, nie mają narzędzi, by robić analizy sieciowe. Nie posiadają wiedzy, gdzie są, a gdzie nie ma warunków przyłączenia do sieci. Co więcej, projekty są często terytorialnie koncentrowane, co wynika np. z dostępności nieruchomości. Wtedy na danym terenie sieć zaczyna się „zapychać" i OSD wydaje odmowy warunków przyłączenia.*[98] Z kolei Christian Schnell z kancelarii Solivan *uważa, że coraz trudniej jest uzyskać warunki przyłączenia farm fotowoltaicznych o mocy ok. 1 MWp na sieciach średniego napięcia. Ograniczeniem są warunki techniczne. – Przez to, że mamy już bardzo dużo takich instalacji przyłączonych do linii średniego napięcia nastąpi powoli koniec możliwości przyłączenia nowych. Sieci średniego napięcia z dala od odbiorców mają ograniczone możliwości* (…) . Opinie te uzupełnia diagnoza postawiona przez Jana Franię, wiceprezesa PGE Dystrybucja, który w zorganizowanej w 2021 roku przez Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej oraz portal wysokienapiecie.pl debacie mówił, *że energia, która powstaje na sieciach o niskim napięciu, powinna być na tym niskim napięciu konsumowana. – Duży boom fotowoltaiki powoduje, że są to źródła rozproszone i z punktu widzenia operatora sieci nieprzewidywalne. Nie jesteśmy w stanie przewidzieć, gdzie i ile pojawi się nowych mocy. A założenie jest takie, że my musimy swoją sieć na przyjęcie takich mocy przygotować – tłumaczył.*[99]

Kolejnym problemem w rzeczywistości polskiej energetyki, z jakim zderzają się inwestorzy, jest rozproszenie odbiorców prądu zwłaszcza na terenach wiejskich, które są coraz częstszym obszarem ich działania – *Sprzedanie nawet jednej gigawa-*

[97] Ibidem
[98] Ibidem
[99] https://wysokienapiecie.pl/28040-elektrownie-sloneczne-wpadly-w-siec-negatywnych-decyzji/, data pobrania 24 kwietnia 2021

togodziny rocznie wymaga wykorzystania kilometrów kabli. Można wykorzystać istniejącą sieć, ale ta jest zwykle w kiepskim stanie, a zarządzająca nią spółka dystrybucyjna wykorzystuje swoją pozycję monopolisty. Sprzedaż sąsiadowi po drugiej stronie płotu jest przez prawo energetyczne traktowana tak samo jak wysłanie prądu na drugi koniec Polski. Propozycją rozwiązania tego problemu wydają się być w chwili obecnej klastry energetyczne – centra aktywności gospodarczej zasilane z własnych źródeł prądu, z reguły generowanego z OZE w dystrybucji siecią niskiego lub średniego napięcia.[100] Zgodnie z zapisami Ustawy z dnia 20 lutego 2015 roku o odnawialnych źródłach energii klaster energii klaster energii to cywilnoprawne porozumienie, w skład którego mogą wchodzić, osoby fizyczne, osoby prawne, podmioty, o których mowa w art. 7 ust. 1 pkt 1, 2 i 4–8 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce lub jednostki samorządu terytorialnego, dotyczące wytwarzania i równoważenia zapotrzebowania, dystrybucji lub obrotu energią z odnawialnych źródeł energii lub z innych źródeł lub paliw, w ramach sieci dystrybucyjnej o napięciu znamionowym niższym niż 110 kV, na obszarze działania tego klastra nieprzekraczającym granic jednego powiatu w rozumieniu ustawy z dnia 5 czerwca 1998 r. o samorządzie powiatowym lub 5 gmin w rozumieniu ustawy z dnia 8 marca 1990 r. o samorządzie gminnym. Klaster energii reprezentuje koordynator, którym jest powołana w tym celu spółdzielnia, stowarzyszenie, fundacja lub wskazany w porozumieniu cywilnoprawnym dowolny członek klastra energii. Na mocy zapisów tej samej ustawy operator systemu dystrybucyjnego elektroenergetycznego, z którym zamierza współpracować klaster energii, jest obowiązany do zawarcia z koordynatorem klastra energii umowy o świadczenie usług dystrybucji. Obszar działania klastra energii ustala się na podstawie miejsc przyłączenia wytwórców i odbiorców energii będących członkami tego klastra. Działalność klastra energii nie może obejmować połączeń z sąsiednimi krajami. Mariusz Kłos z Instytutu Elektrotechniki Politechniki Warszawskiej zauważa: *Jeśli krajowy sektor elektroenergetyczny nie będzie chciał wspierać energetyki obywatelskiej, klastrowej czy spółdzielczej (nazywajmy to jak chcemy), to transformacja sektora na poziomie odbiorcy końcowego – już prosumenta, odbędzie się samoistnie jako inicjatywa społeczna. Coraz więcej odbiorców będzie rezygnowało z usług systemowych w zakresie dostaw energii elektrycznej w ujęciu klasycznym budując własne instalacje wytwórcze i magazyny energii, a w niedalekiej przyszłości zaczną się łączyć i tworzyć lokalne samobilansujące mikrosystemy elektroenergetyczne. Dojrzałość techniczna dostępnych rozwiązań energetycznych i teleinformatycznych w tym obszarze umożliwia pełną kontrolę generacji i dystrybucji energii elektrycznej w ujęciu lokalnym. Wydaje się, że znaczną przeszkodą w transformacji krajowego sektora ener-*

[100] Zgodnie z zapisami Ustawy o OZE z 22 czerwca 2016 roku, klastry energetyczne działają lokalnie – na terenie max. 5 gmin lub 1 powiatu.

getycznego w tym podsektora elektroenergetycznego, mającej na celu jego rozwój poprzez wyprowadzenie z technologicznego zastoju, również w kierunku jego stopniowej decentralizacji, jest istniejące prawo energetyczne, które reguluje funkcjonowanie systemu scentralizowanego.[101] Diagnozy te potwierdza Wiceprezes Zarządu Polskiej Izby Magazynowania Energii i Elektromobilności – Krzysztof Kochanowski: *Szybki rozwój technologii „smart grid" sprawił, że sieci wyspowe bardzo szybko rozprzestrzeniają się w wielu miejscach świata. Największym rynkiem jest Afryka. Brak istniejących linii energetycznych sprawia, że tworzone są lokalne sieci, od razu przy wykorzystaniu najnowszych technologii.*[102]

Projekty w obszarze fotowoltaiki

Najważniejsze kierunki badań prowadzonych w Polsce przez jednostki naukowe obejmują wiele zagadnień. Szczegółowo opisano je w rozdziale: Oferta polskich jednostek badawczych. Warto podkreślić, że wśród wielu aktywności naukowych, motorem napędowym rozwoju są projekty naukowo-badawcze. Dotyczy to zarówno tych koncentrujących się na zagadnieniach podstawowych, jak i tych w których celem jest opracowanie rozwiązań interesujących dla przedstawicieli przemysłu. Tym samym, kierunki badań prowadzonych w obszarze fotowoltaiki przez polskie jednostki naukowe są ściśle związane z realizowanymi projektami badawczymi. Wybrane z nich opisano poniżej.

Akademia Górniczo Hutnicza, Kraków

Pracownicy naukowi Akademii Górniczo-Hutniczej pod kierownictwem dr hab. inż. Barbary Swatowskiej, prof. AGH realizowali projekt w ramach konkursów Narodowego Centrum Nauki pt. „Pasywująco-antyrefleksyjne warstwy podwójne Al_2O_3/TiO_2 dla ogniw fotowoltaicznych o podwyższonej sprawności" (2018/02/X/ST5/01587).

Akademia Wojsk Lądowych, Wrocław

Wydział Nauk o Bezpieczeństwie Akademii Wojsk Lądowych we Wrocławiu jest partnerem w projekcie z obszaru fotowoltaiki pt. „Samoczyszczące, wydajne panele fotowoltaiczne na podłożu elastycznym zintegrowane z ekranem akustycznym i inteligentnym systemem monitorowania". w ramach Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój 2014-2020 (Wspólne Przedsięwzięcie NCBR i PKP PLK S.A. BRIK, Oś prioryte-

[101] https://wysokienapiecie.pl/33775-czy-duza-energetyka-wpada-w-spirale-smierci/, data pobrania 19 kwietnia 2021
[102] Ibidem

towa *Zwiększenie potencjału naukowo-badawczego* Działanie *Badania naukowe i prace rozwojowe* Poddziałanie *Strategiczne programy badawcze dla gospodarki*).

Instytut Fizyki PAN, Warszawa

Pracownicy Instytutu Fizyki Polskiej Akademii Nauk w Warszawie pod kierownictwem Profesora Marka Godlewskiego prowadzą obecnie kilka projektów, których wyniki w przyszłości mogą być wykorzystane w fotowoltaice. Należą do nich miedzy innymi: projekty w ramach konkursu TECHAMSTRATEG

- „Wydajne i lekkie układy zasilające złożone z ogniwa słonecznego i baterii litowo-jonowej oraz z ogniwa słonecznego i superkondensatora przeznaczone do zastosowań specjalnych – projekt BV-SLJ-S.C.",
- „Przestrajalne metamateriały hiperboliczne na potrzeby nowej generacji przyrządów fotonicznych". Ponadto w IF PAN zrealizowano projekt pt. „Nanostruktury tlenkowe do zastosowań w elektronice, optoelektronice i fotowoltaice" oraz projekt pt. „Modyfikacja promieniowania słonecznego przez down-konwersję na bazie materiałów tlenkowych domieszkowanych iterbem do zastosowań fotowoltaicznych" (pod kierownictwem Profesora Andrzeja Suchockiego).

Instytut Katalizy I Fizykochemii Powierzchni PAN, KRAKÓW

W instytucie Katalizy i Fizykochemii Powierzchni Polskiej Akademii Nauk prowadzony jest projekt obejmujące swym zakresem zagadnienia z obszaru fotowoltaiki pt. „Rozwinięcie metodologii syntezy i stabilizacji nanocząstek metali w celu otrzymywania materiałów przewodzących" (projekt FNP Homing nr 03/2017).

W związku z unikatowymi właściwościami nanocząstek metali oraz możliwością ich zastosowania w wielu gałęziach przemysłu, obserwuje się znaczny wzrost zainteresowania metodami ich wytwarzania. Jednym z zastosowań nanocząstek metali są przewodzące tusze, które mogą być wykorzystane do wytwarzania „drukowanych" ścieżek oraz urządzeń elektronicznych. W związku z tym głównym celem projektu było otrzymanie oraz wykorzystanie nanocząstek metali jako funkcjonalnych składników tuszów do ulepszenia właściwości przewodzących drukowanych ścieżek. Dotychczas najczęściej stosowanym komponentem przewodzących tuszów były nanocząstki srebra. Pomimo, iż posiadają one oczywiste zalety takie jak wysokie przewodnictwo oraz stabilność odnośnie utleniania, ich wysoka cena ogranicza ich wykorzystanie na szeroką skalę przemysłową. Zatem, istotnym aspektem projektu było zastąpienie nanocząstek srebra materiałem posiadającym wciąż dobre przewodnictwo, a jednocześnie niewymagającym dużych nakładów finansowych. Warunki te spełniają nanocząstki miedzi (Cu), niklu (Ni) oraz cyny (Sn). Jednakże,

wadą wspomnianych nanocząstek jest ich szybki proces utleniania w środowisku atmosferycznym, dlatego ważnym celem projektu było utworzenie warstwy ochronnej na ich powierzchni w postaci srebra (Ag), czego wynikiem były nanocząstki typu „core-shell" (gdzie core – Cu, Ni lub Sn, shell – Ag). Ostatecznie, otrzymane bimetaliczne nanocząstki rdzeń-powłoka zostały wykorzystane do przygotowania tuszów, co wymagało optymalizacji ich właściwości zwilżających, procesu rozprowadzania oraz przyczepności do podłoża, w celu uzyskania wysokiej jakości przewodzących obwodów drukowanych. Tusze o optymalnych właściwościach poddano procesowi spiekania termicznego w celu uzyskania ścieżek o wysokim przewodnictwie.

Instytut Metalurgii i Inżynierii Materiałowej PAN

Laboratorium Fotowoltaiczne IMIM PAN realizuje projekt FLEXPVSCREEN w ramach Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój 2014-2020 (Wspólne Przedsięwzięcie NCBR i PKP PLK S.A. BRIK, Oś priorytetowa *Zwiększenie potencjału naukowo-badawczego* Działanie *Badania naukowe i prace rozwojowe* Poddziałanie *Strategiczne programy badawcze dla gospodarki*). Projekt zostanie zrealizowany w okresie 1/09/2018 – 31/08/2021 przez konsorcjum naukowe: 1) Instytut Metalurgii i Inżynierii Materiałowej PAN w Krakowie 2) Wydział Nauk o Bezpieczeństwie Akademii Wojsk Lądowych we Wrocławiu oraz 3) Wydział Elektroniki Politechniki Wrocławskiej (Katedra Akustyki i Multimediów oraz Katedra Automatyki, Mechatroniki i Systemów Sterowania). Główną innowacją będącą rezultatem realizacji sekwencji prac B+R w Projekcie będzie opracowanie nowego produktu – modułu PV na podłożu elastycznym w postaci tkaniny wraz z systemem monitoringu, zabezpieczeniami antykradzieżowymi oraz powłoką o obniżonej adhezji dla zabrudzeń (powłoką „samoczyszczącą"). Moduł ten wraz z wymienionymi elementami będzie dedykowany do zabudowy na ekranach akustycznych umieszczonych na sieci zarządzanej prze PKP PLK S.A. Wykorzystanie tego rozwiązania możliwe będzie także po niewielkich modyfikacjach na ekranach akustycznych zabudowanych wzdłuż innych ciągów komunikacyjnych (np. autostrady). Istotną nowością będzie zastosowanie tkaniny elastycznej jako podłoża nośnego oraz podział modułu PV na submoduły (moduł ma nie tylko produkować energię elektryczną, ale ma także stanowić w tym wypadku element ekranu akustycznego, a tym samym nie może w znaczącym stopniu zmieniać jego parametrów akustycznych). Innowacją będzie także zastosowanie sensora (czujnika) termo(elektro)chromowego na przewodzącym podłożu elastycznym, który będzie zintegrowany z panelem PV i posłuży do monitorowania uszkodzeń/kradzieży. Wdrożenie wyników Projektu nastąpi w formie udzielenia PLK S.A. bezterminowej, nieodpłatnej i otwartej licencji do wyników prac B+R uzyskanych w Projekcie. Kolejną innowacją będzie zastosowanie powłok „samoczyszczących" na

zewnętrznej części szyby wierzchniej. Specjalny sposób pokrywania paneli warstwą TiO_2 zapewni zdolność systemu do samooczyszczania paneli bez używania specjalnych technik czyszczących czy detergentów.

Ponadto w ramach programu TECHMASTRATEG realizowany jest projekt pt. „Opracowanie technologii wytwarzania materiałów funkcjonalnych do zastosowań w bezkrzemowych ogniwach fotowoltaicznych" (TECHMASTRATEG2/409122/3/NCBR/2019), a w ramach programu OPUS projekt pt. „Otrzymywanie i charakterystyka nowych materiałów do perowskitowych ogniw słonecznych" (2018/31/B/ST8/03294). Niedługo ruszy także projekt finansowany w ramach konkursu Small Grant Scheme 2020 (III edycja Funduszy Norweskich i EOG) pt. „Doping of metal oxides with particular emphasis on copper oxide, by spray coating method to reduce its resistivity for use in a thin-film heterojunction and perovskite solar cells".

Politechnika Gdańska

Do najważniejszych projektów z branży PV realizowanych przez pracowników Politechniki Gdańskiej wspólnie z przedsiębiorstwami w okresie 2015-2020 należą:

OLTRA sp. z o.o. z siedziba w Olsztynie – wdrożenie wynalazku „Urządzenie do odzysku materiałów krzemowych z ogniw fotowoltaicznych" – Patent Nr 215770 z dnia 24 stycznia 2014r.: Ewa Klugmann-Radziemska, Piotr Ostrowski, Franciszek Kozera, w ramach budowy linii do recyklingu chemicznego modułów fotowoltaicznych – 2017-obecnie

„Bezemisyjna metoda i układ do suszenia płodów rolnych i biomasy energetycznej z wykorzystaniem układu hybrydowego: słoneczny kolektor powietrzny – fotowoltaika" Fabryka Lodów Jan Januszewski z siedzibą w Koszalinie; NCBIR POIR.01.01.01-00-1118/15-01, 2016-2017

„Budowa zbilansowanego energetycznie rekreacyjnego domu pływającego"; Przedsiębiorstwo Usługowo Handlowe Ekosun Paweł Czupajło. Projekt finansowany z Funduszy Europejskich w ramach Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój na lata 2014-2020. Oś priorytetowa 1: Wsparcie prowadzenia prac B+R przez przedsiębiorstwa. Działanie 1.1. Projekty B+R przedsiębiorstw, POIR.01.01.01-00-0466/17, 2017.

Politechnika Łódzka

Pracownicy Politechniki Łódzkiej realizują projekt SolarHybrid – Systemy hybrydowe do konwersji energii słonecznej, w ramach konkursu NCBiR – POIR.04 przez Politechnikę Łódzką w latach 2019-2022 przy współpracy z FLEXIPOWER GROUP sp. z o.o. sp.k.

W projekcie zaangażowane są jednostki z Wydziału Elektrotechniki Elektroniki Informatyki i Automatyki PŁ jak również z Wydziału Mechanicznego zaś jego głów-

nym celem jest wygnanie i przebadanie nowej konstrukcji urządzeń hybrydowych z grupy PVT, łączących cechy słonecznych kolektorów termicznych i modułów fotowoltaicznych.

Urządzenia PVT są ciekawym i obiecującym rozwiązaniem kogeneracyjnym, umożliwiającym dzięki synergii konstrukcji obu czynników składowych uzyskanie sprawności konwersji wyższej od sumy sprawności części fotowoltaicznej i termicznej. Jednocześnie oferują one znaczące zmniejszenie nakładów na wykonanie konstrukcji urządzenia, zmniejszenie sumarycznej wagi oraz zajmowanej powierzchni. Aby jednak uzyskać takie parametry w produkowanych seryjnie urządzeniach niezbędne jest rozwiązanie szeregu istotnych zagadnień naukowych i technicznych dotyczących zarówno konstrukcji urządzeń jak i odpowiedniej konfiguracji roboczej instalacji z nich złożonych.

Głównym celem projektu jest opracowanie i wdrożenie nowego systemu przejmowania ciepła w układzie hybrydowym, który dzięki wykorzystaniu zoptymalizowanych przepływów czynnika roboczego umożliwi podniesienie sprawności części termicznej przy jednoczesnej redukcji temperatury absorbera w postaci zestawu fotowoltaicznego. Zadaniem zespołu jest zaproponowanie konstrukcji, przebadanie i wdrożenie do produkcji innowacyjnych urządzeń PVT na bazie unikalnego systemu wymiennika ciepła. W trakcie badań przeprowadzone zostaną zarówno prace koncepcyjne, modelowanie przepływów termicznych przy użyciu dedykowanego oprogramowania, eksperymenty technologiczne, pomiary laboratoryjne i terenowe jak również opracowanie technologii produkcyjnej. Firma FLEXIPOWER GROUP, posiadając wieloletnie doświadczenie z zakresu produkcji modułów fotowoltaicznych jak również montażu instalacji solarnych i PVT planuje wykorzystać w swojej ofercie nabytą w procesie wiedzę i procedury technologiczne oraz poszerzyć asortyment oferowanych usług i wyrobów.

Ponadto jednostka realizuje także projekt: „Elektrody transparentne na bazie związków organicznych do przemysłowych zastosowań w elastycznych ogniwach słonecznych", wspólny projekt NCN i NCBiR Tango Umowa TANGO1/266537/NCBiR/2015 01.06.2015 – 31.11.2016. Projekt ten obejmował opracowanie technologii komercjalizacji elastycznych, transparentnych warstw nowej konstrukcji, przeznaczonych do wykorzystania w ogniwach słonecznych i przyrządach optoelektronicznych i optycznych.

Aktualnie realizowany projekt dotyczący opracowania nowej konstrukcji urządzeń zintegrowanych, wyposażonych w nowego typu system odbioru i konwersji energii cieplnej o zwiększonej sprawności oraz układy przekształcenia i optymalizacji produkcji energii elektrycznej.

Politechnika Śląska

Katedra Elektroniki Elektrotechniki Mikroelektroniki, Wydział Automatyki Elektroniki Informatyki

Pracownicy Katedry Elektroniki współpracują z firmą Hybryd („HYBRYD" Sp. z o.o. ul Sikorskiego 28, 44-120 Pyskowice) w obszarze badań nad wytwarzaniem i projektowaniem systemów fotowoltaicznych, oświetlenia awaryjnego jak również elektroniki samochodowej czy użytkowej. Współpraca ma formę konsultacji naukowych, udziału w realizowanych przez firmę projektach jak również formę realizacji wytypowanych przez firmę zadań w ramach prac dyplomowych czy projektów inżynierskich. Ważnym elementem współpracy jest również pomoc firmy w szkoleniu studentów w dziedzinie mikroelektroniki i nanotechnologii poprzez udostępnienie własnych pracowni w tym przede wszystkim nowoczesnych pracowni montażu elementów elektronicznych. W ramach współpracy studenci kierunku elektronika i telekomunikacja mają również możliwość odbycia praktyk przemysłowych, co stwarza możliwości późniejszego zatrudnienia w firmie.

Wydział Mechaniczny Technologiczny

Na Wydziale Mechanicznym Technologicznym Politechniki Śląskiej wykonano lub aktualnie realizuje się następujące projekty badawcze z zakresu fotowoltaiki:

- Nowe konstrukcje polimerowe do budowy ogniw fotowoltaicznych, 2017-2021
- Własności optoelektryczne fotoanody barwnikowego ogniwa słonecznego z nanocząsteczkami ZnO/NiO syntezowanymi metodą zol-żel, 2017-2018
- Interakcja między nanostrukturalnymi warstwami powierzchniowymi z nanoelementami węglowymi a podłożem zintegrowanych barwnikowych ogniw fotowoltaicznych, 2014-2017
- Wpływ parametrów technologicznych na własności cienkich warstw organicznych osadzanych metodą naparowania próżniowego, 2010-2013
- Oddziaływanie wiązki laserowej małej mocy w osłonie gazów obojętnych na strukturę i własności powierzchni krzemu polikrystalicznego żłobionego w celu wytworzenia tekstury zwiększającej absorpcję promieniowania słonecznego przez ogniwa fotowoltaiczne, 2009-2012,
- Wpływ mikroobróbki laserowej na strukturę i własności elektrody przedniej oraz strefy jej połączenia z podłożem krzemowych ogniw fotowoltaicznych, 2010-2011,
- Kształtowanie powierzchni krzemu polikrystalicznego dla zastosowań fotowoltaicznych przez teksturyzację z wykorzystaniem lasera neodymowego Nd:YAG oraz nanoszenie powłok antyrefleksyjnych, 2005-2007.

Wydział Elektryczny

Na Wydziale Elektrycznym realizowany jest projekt badawczy finansowany ze środków NCBiR i NFOŚiGW w ramach programu GEKON: (GEKON1/02/213877/31/2015). Do tej pory opracowano przekształtniki do współpracy z siecią dystrybucyjną, będące elementami składowymi interfejsu energoelektronicznego, który integrował we wspólnym obwodzie DC zasobnik energii, łańcuch paneli PV oraz mikroturbinę wiatrową. Rozwiązanie zapewnia możliwość sterowania pracą wybranych odbiorników w celu lepszego wykorzystania energii u prosumenta, zarządzanie energią zgromadzoną w akumulatorze, pracę off-grid / on-grid, kontrolę mocy w punkcie przyłączenia instalacji prosumenta do sieci, redukcję mocy biernej oraz eliminację harmonicznych wprowadzanych przez odbiorniki pracujące w instalacji, a także zasilanie instalacji prosumenta w przypadku zaniku napięcia.

Ponadto prowadzone są prace badawcze w tym:

- Opracowanie i adaptacja zmian testowego układu magazynu energii. Opracowano układ wieloprzekształtnikowy o mocy 3 kW, integrujący: łańcuch paneli PV z zasobnikiem akumulatorowym (LiePo4), zasilający w sposób bezprzerwowy odbiorniki prądu przemiennego i zapewniający współpracę z siecią dystrybucyjną, przy blokowaniu przepływu energii do sieci oraz zapewnieniu właściwych parametrów jakości energii. Rozwiązanie zapewniało bilansowanie mocy/energii oraz odpowiednie zarządzanie stanem naładowania zasobnika.
- Opracowanie i adaptacja zmian testowego układu optymizera mocy. Opracowano układ przekształtnikowy (power optimizer) współpracujący z pojedynczymi panelami PV, zapewniający separację galwaniczną. Separacja pozwalała na zastosowanie układu w rozwiązaniach z panelami PV, w których jeden z biegunów jest uziemiony. Opracowano autorskie rozwiązania prototypowe (500 W), mogące być łączone w szereg do napięcia 1000 V, zapewniające komunikacją po przewodach PV.
- Opracowanie i adaptacja zmian testowego układu kontrolera ładowania. Opracowano przekształtnik do współpracy z dwoma panelami PV, zapewniający ładowanie akumulatorów wykonanych w różnych technologiach (np. Li-Ion, LiFePo4, AGM), z dwoma niezależnymi wejściami MPPT (500 W na wejście), zapewniający ochronę zasobnika energii, wyposażony w wyjście USB z obsługą standardu QuickCharge oraz wyjście do sterowania pracą odbiorników DC.

Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Metali Nieżelaznych Oddział w Poznaniu

W dziedzinie fotowoltaiki w Sieci Łukasiewicz-IMN Oddział w Poznaniu realizowano prace badawczo-rozwojowa stanowiące elementem projektu „Innowacyjne elastyczne pokrycie fotowoltaiczne" dofinansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju oraz Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w ramach Programu Gekon – Generator Koncepcji Ekologicznych, realizowanego przez konsorcjum Instytutu Metalurgii i Inżynierii Materiałowej Polskiej Akademii Nauk w Krakowie, Wojskowego Instytutu Techniki Inżynieryjnej (WITI) oraz firmę LUBAWA S.A. Celem prac było zaprojektowanie i przeprowadzenie badań magazynu energii do elastycznego pokrycia fotowoltaicznego (EPF). Podstawową zaletą takiego rozwiązania będzie możliwość zwijania (np. na bębnie) i rozwijania EPF na dowolnej powierzchni, łatwa obsługa oraz lekka konstrukcja. W latach 2017-2020 realizowano również projekt HYBDUAL – Hybrydowy system magazynowania i buforowania energii podwójnego zastosowania, którego celem było opracowanie hybrydowego układu przetwarzania i gromadzenia energii przeznaczenia cywilnego oraz specjalnego (głównie wojskowego) przeznaczonego do pracy w szerokim zakresie warunków klimatycznych i środowiskowych.

Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Mikroelektroniki i Fotoniki Oddział w Krakowie – Centrum Mikroelektroniki Hybrydowej i LTCC

W Instytucie Mikroelektroniki i Fotoniki realizowany jest projekt po tytułem „Drugie życie baterii trakcyjnych samochodów elektrycznych dla zastosowań w magazynach energii instalacji bazujących na odnawialnych źródłach energii. Akronim: DRUZYBAT."

Uniwersytet Rzeszowski

Do najważniejszych projektów realizowanych w obszarze fotowoltaiki (w tym wspólnie z przedsiębiorstwami) w okresie 2015-2020 należą:

Realizacja współpracy badawczej z ML SYSTEM S.A. (jako podwykonawca) w ramach: projektu opracowanie zeroenergetycznego systemu KWANTUM wyposażonego w aktywne pakiety zespolone, POIR.01.01.01-00-0407/16, projekt realizowany przez ALURON Sp. z o.o. Projekt dotyczy opracowania optymalnego składu chemicznego past i morfologii ścieżek przewodzących ogniw fotowoltaicznych z maksymalnym ograniczeniem strat wydajności elementu fotowoltaicznego, początek realizacji 2016 rok. Realizacja współpracy badawczej w zakresie wykonywania charakterystyk pracy ogniw fotowoltaicznych – QS130CA i modułów fotowoltaicznych – QS830A w STC z jednostkami współpracującymi z Uniwersytetem Rzeszowskim poprzez Uniwersyteckie Centrum Transferu Technologii, współpraca od 2014 roku. Charakterystyka struktury oraz metody wyzna-

czania transmisyjności nanostrukturyzowanych pokryć ochronnych elementów fotowoltaicznych, WMP/GD-04/2017", grant dziekański Wydziału Matematyczno-Przyrodniczego UR na rok 2017.Charakteryzowanie szkieł solarnych (właściwości pułapkowania światła, badania strukturalne, morfologia) produkowanych przez D.A. GLASS w ramach formalnej współpracy naukowo-badawczej pomiędzy Wydziałem Matematyczno-Przyrodniczym a firmą D.A.GLASS.Polietylenowe pokrycie ochronne krzemowych ogniw fotowoltaicznych o cechach szkła niskożelazowego z warstwą antyrefleksyjną, INF/GDINF-4/2020, grant dyrektora Instytutu Nauk Fizycznych (właściwości pułapkowania światła przez układ szkło-wielowarstwy cienkiej folii polietylenowej).Współpraca naukowo-badawcza w zakresie opiniowania i wykonywania ekspertyz naukowych w zakresie odnawialnych źródeł energii z członkami Stowarzyszenia Podkarpacka Ekoenergetyka, Podkarpacki Klaster Energii Odnawialnej PKEO.

Prowadzone są też prace badawczo-rozwojowe nad nowoczesnymi materiałami stosowanymiw fotowoltaice, wytwarzanie struktur na bazie tlenku tytanu i tlenku miedzi. Należą do nich projekty:

Projekt pt.„Zwiększenie sprawności struktur fotowoltaicznych na bazie tlenku tytanu i tlenku miedzi poprzez optymalizację procesu wytwarzania metodą reaktywnego rozpylania magnetronowego" realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Podkarpackiego na lata 2014–2020.

Projekt pt. „Cienkowarstwowe struktury fotowoltaiczne TiO_2:ZnO/Cu_2O" realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Podkarpackiego na lata 2014–2020.

Projekty badawcze realizowane są także przez przedsiębiorstwa z branży fotowoltaicznej lub przez konsorcja składające, które łączą naukę i przemysł. Oto kilka wybranych przykładów technologii rozwijanych przez polski sektor PV. Obejmują one między innymi*:* technologię utrzymania na stałym poziomie efektywności energetycznej z całej instalacji (firma iGrid Technology), technologię produkcji innowacyjnych inwerterów (Spirvent), zgłoszenia patentowe dotyczące absorbera oraz enkapsulantu ogniwa fotowoltaicznego perowskitowego, ogniw DSSC, warstwy grzewczej na panelu fotowoltaicznym, fotonicznych szyb zespolonych oraz zintegrowanych lamp fotowoltaicznych (ML System), badania laboratoryjne nad innowacyjną technologią submikronowych linii przewodzących mogących pełnić rolę niewidzialnych dla światła elektrod w strukturze ogniwa PV (technologia umożliwiająca zwiększenie wydajności ogniw fotowoltaicznych, a także ich użyteczność ze względu na elastyczność i transparentność struktury – przedsiębiorstwo XTPL).[103]

[103] Ibidem.

Z analiz własnych krajowego rynku PV prowadzonych przez Laboratorium Fotowoltaiczne Instytutu Metalurgii i Inżynierii Materiałowej im. A. Krupkowskiego Polskiej Akademii Nauk wynika, że bardzo perspektywiczne kierunki rozwoju proponuje śląska Helioenergia sp. z o.o., która specjalizuje się głównie w produkcji i sprzedaży wyrobów opartych na bazie nanosrebra (farb, past i tuszów). Produkty te mogą być wykorzystane do wykonywania elektrod na ogniwach PV w procesach niskotemperaturowych. Zakres prac badawczo-rozwojowych skupia się na ulepszaniu już istniejących produktów i tworzeniu nowych wyrobów. Działania obejmują także wspomaganie fotowoltaiki za pomocą efektu luminescencyjnego. W laboratorium firmy powstały modele paneli PV wspomaganych LSC. Firma dysponuje również zgłoszeniem patentowym P.402953 Moduł fotowoltaiczny.

Planowane kierunki rozwoju

Przewidywane kierunki rozwoju i obszary badań naukowych w PV w wybranych jednostkach naukowych w perspektywie do 2025 roku obejmują swym zakresem badania, które dobrze się wpisują w europejskie i światowe trendy w tej dziedzinie. Wybrane kierunki badań w polskich jednostkach naukowych, na podstawie opisów przesłanych przez pracowników tych jednostek, przedstawiono poniżej.

Akademia Górniczo-Hutnicza

W latach 2021 – 2025 planowane są dalsze prace związane z modyfikacją ogniw słonecznych pierwszej i drugiej generacji. Działania będą dotyczyć: opracowania nowych materiałów elektrodowych z użyciem technik próżniowych; transparentnych elektrod na bazie nietoksycznych materiałów; warstw antyrefleksyjnych o regulowanej wartości współczynnika odbicia; warstw pasywujących defekty. Przeprowadzane będą prace nad nie-krzemowymi strukturami fotowoltaicznymi. Opracowywane będą struktury PV, możliwe do wytworzenia w niskich temperaturach. Planuje się też badania podstawowych właściwości optycznych, elektrycznych, strukturalnych i mechanicznych materiałów warstwowych dla fotowoltaiki wszystkich generacji.

Instytut Metalurgii i Inżynierii Materiałowej Polskiej Akademii Nauk

W Laboratorium Fotowoltaicznym IMIM PAN w najbliższych latach planowane jest prowadzenie badań utylitarnych dotyczących opracowywania nowych rodzajów modułów PV do zastosowań w pokryciach dachowych i elewacjach budynków. Moduły będą bazowały na pokryciach z blachy, szkła lub elementów betonowych. Dopracowywane będą nowe rodzaje materiałów do hermetyzacji jak i łączenia wymienionych elementów ze sobą.

Nadal rozwijane będą ogniwa perwoskitowe a także bazujące na nich ogniwa tandemowe oparte na krystalicznych ogniwa krzemowych.

Planowane są dalsze praca nad koncentratorami luminescencyjnymi do zastosowań w agrofotowoltaice.

Kolejnym obszarem badań będą praca nad tlenkami metali do zastosowań w ogniwach PV w tym nad tlenkami miedzi.

Instytut Katalizy i Fizykochemii Powierzchni im. Jerzego Habera Polskie Akademii Nauk (IKiFP PAN)

W najbliższych latach planowane są badania w obszarze szeroko rozumianej fotowoltaiki, planuje badania ukierunkowane na opracowanie lub rozwinięcie metod modyfikacji powierzchni komponentów oraz elementów ogniw PV. W związku z tym, badania będą ukierunkowane na opracowanie materiałów/komponentów niezbędnych do wytwarzania ścieżek elektrycznych (pasty, atramenty, głównie na bazie różnych nanocząstek metalicznych), które są istotnym elementem ogniw fotowoltaicznych. W IKiFP PAN bada się procesy syntezy i stabilizacji układów koloidalnych o wysokim stężeniu jednorodnych cząstek metalicznych. Prowadzone są prace nad zwiększeniem przewodnictwa ścieżek elektrycznych wytworzonych z wymienionych zawiesin poprzez modyfikację zarówno warunków procesu ich wytwarzania jak i ich składników.

Politechnika Gdańska

W najbliższych latach na Politechnice Gdańskiej kontynuowane będą badania nad recyklingiem zużytych, czy też uszkodzonych modułów fotowoltaicznych. Opracowywane będzie pokrycie antypyłowe z zastosowaniem w energetyce solarnej, jak również prowadzone będą dalsze prace w tematyce kondensatorów elektrochemicznych oraz baterii litowo-jonowych.

Politechnika Łódzka

Przewiduje się dalsze prace nad konstrukcjami ogniw III generacji. Kontynuowane będą badania nad polimerowymi powłokami konwertującymi padające widmo światła. Planowane jest poszerzenie możliwości nakładania takich powłok i przejście z aktualnie stosowanych, metod laboratoryjnych (spin-coating, napylanie aerografem) na bardziej przemysłowe (piroliza aerozolowa, sitodruk). Planowane jest połączenie dwóch obszarów badawczych, jakim jest wytwarzanie polimerowych powłok konwertujących z opracowanymi już metodami teksturyzacji powierzchni, które mają na celu udaremnić ucieczkę wygenerowanego promieniowania z urządzenia. Planowane jest przetestowanie aktualnie najbardziej efektywnych oraz nietoksycznych materiałów lumine-

scencyjnych jako konwerterów promieniowania, takich jak węglowe i krzemowe kropki kwantowe czy nanocząstki tlenku cynku w polimerowej otoczce. Planowane jest pochylenie się również nad innymi rodzajami hybryd, jak np. ogniwo krzemowe+perowskit. W dziedzinie transparentnych elektrod przewodzących planowany jest rozwój kontaktów z tlenku cynku domieszkowanego aluminium nakładanych różnorakimi metodami elektroniki elastycznej. Planowany jest także rozwój możliwości miniaturyzacji ogniw i rozpoczęcie badań w kierunku tworzenia mikroogniw dla zastosowań np. w inteligentnych szkłach kontaktowych dzięki rozwojowi techniki umożliwiających nanoszenia z dużą precyzją na małych obszarach. W ramach współpracy z przemysłem planowane jest uzyskanie nowego typu hybrydowych urządzeń PVT opierających swoje działanie o układy przekazywania ciepła o zwiększonej wydajności. Ponadto prowadzone będą prace zmierzające do praktycznej implementacji zestawów superkondensatowych w wybranych konstrukcjach instalacji PV, jak również badania dotyczące optymalizacji produkcji i przesyłu energii w instalacjach fotowoltaicznych.

Politechnika Śląska

W kolejnych latach w Zespole Mikroelektroniki i Nanotechnologii przewidziane są prace nad modelowaniem procesów i zjawisk w mikro i nanoelektronice w tym w technologii krzemowych struktur fotowoltaicznych i technologią domieszkowania półprzewodników, w tym krzemu, przy wykorzystaniu specjalnych roztworów i past domieszkowych bazujących na związkach krzemoorganicznych w zastosowaniu do krzemowych jednozłączowych struktur fotowoltaicznych. Ponadto prowadzone będą badania nad technologią wytwarzania i charakteryzacją krzemowych jednozłączowych ogniw fotowoltaicznych wykorzystywanych do budowy paneli słonecznych oraz badania starzeniowe ogniw fotowoltaicznych.

Badania pracowników Wydziału Mechanicznego Technologicznego Politechniki Śląskiej (MTPŚ) będą koncentrowały się na nowoczesnych strukturach fotowoltaicznych, ich zastosowaniu w budownictwie jako BIPV (z ang. *Building Integrated Photovoltaics*) i BAPV (z ang. *Building Applied Photovoltaics*). BAPV BIPV oraz BAPV mają szansę stać się w niedalekiej przyszłości poważną alternatywą dla paliw kopalnych.

Badania nad ogniwami fotowoltaicznymi będą szły w kierunku podniesienia ich sprawności i obniżenia kosztów produkcji. Postęp jest możliwy poprzez doskonalenie złącz, kontaktów i cech geometrycznych ogniw, metod obróbki ich powierzchni oraz stosowanie nowych materiałów inżynierskich o unikatowych własnościach. Na Wydziale MTPŚ realizowane są badania nad zwiększeniem sprawności krzemowych, organicznych oraz barwnikowych ogniw fotowoltaicznych. Przyszła działalność związana z fotowoltaiką dotyczyć będzie aspektów między innymi wytwarzania organicznych ogniw fotowoltaicznych z nanoelementami węglowymi oraz cienki-

mi warstwami z objętościowym złączem p-n, rozszerzenia możliwości zastosowania barwnikowych ogniw fotowoltaicznych przez wykluczenie ciekłego elektrolitu i zastąpienie go polielektrolitem, aplikacji technologii laserowych do wytwarzania ogniw fotowoltaicznych, nanoszenia warstw antyrefleksyjnych metodami zol-żel oraz atomowego osadzania warstw ALD.

Uniwersytet Rzeszowski

Główny nurt przyszłych badań dotyczyć będzie optymalizacji polietylenowych pokryć ochronnych dla krzemowej fotowoltaiki o cechach szkła z warstwą antyrefleksyjną. Innymi rozwijanymi kierunkami będą optymalizacja technologii wytwarzania cienkowarstwowych tlenkowych struktur fotowoltaicznych, a także rozwój modeli i systemów nadzoru oraz zarządzania energią.

Należy podkreślić, że to nie jedyne kierunki badań w obszarze fotowoltaiki jakie są realizowane w Polsce. Dobrym przykładem jest też pomysł stworzenia Narodowego Laboratorium Fotowoltaiki w ramach Polskiej Mapy Infrastruktury Badawczej. W przedsięwzięciu tym biorą udział:

1. Uniwersytet Warszawski
2. Politechnika Warszawska
3. Politechnika Wrocławska
4. Uniwersytet Łódzki
5. Politechnika Łódzka
6. Uniwersytet Śląski w Katowicach
7. Politechnika Śląska
8. Instytut Fizyki Polskiej Akademii Nauk
9. Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Technologii Materiałów Elektronicznych
10. Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Technologii Elektronowej
11. Wojskowy Instytut Techniki Inżynieryjnej

Celem NLF jest integracja środowiska naukowego w zakresie wykorzystania energii słonecznej do produkcji czystej energii, a poprzez rozwijanie potencjału ludzkiego i zaplecza aparaturowego, prowadzenie prac badawczo-rozwojowych na poziomie światowym. Struktura rozproszona NLF odpowiada założeniu Strategii na rzecz Odpowiedzialnego Rozwoju, dotyczącego rozwoju zrównoważonego terytorialnie – jednostki NLF obejmują swym zasięgiem znaczną część Polski, a polityka otwartości, która jest elementem strategii NLF, umożliwi dołączenie innym grupom badawczym[104].

[104] Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego, Polska Mapa Infrastruktury Badawczej 2020

Podsumowanie

Światowa fotowoltaika rozwija się bardzo dynamicznie. Dotyczy to zarówno ilości instalowanych modułów PV jak i zdolności produkcyjnych zakładów, które je produkują. Motorem rozwoju jest nie tylko ogromny popyt na ekologiczne generatory energii, ale także szybki postęp w obszarze technologii i innowacji. Postęp ten dokonuje się dzięki badaniom prowadzonym w wielu ośrodkach na całym świecie. W głównej mierze ma on charakter ewolucyjny ponieważ dopracowywane są wszystkie kroki technologiczne w procesie produkcji oraz wszystkie elementy ogniw i modułów PV. To pociąga za sobą, z jednej strony, spadek cen, a z drugiej wzrost sprawności konwersji energii produkowanych ogniw PV. Nie brakuje też charakteru ewolucyjnego. Odkrywane są nowe materiały a także obszary dla zastosowania fotowoltaiki. Dobrym przykładem są ogniwa perowskitowe oraz agrofotowoltaika, w szczególności taka, która może wspomagać wzrost roślin.

Polskie jednostki badawcze oraz przedsiębiorstwa już dzisiaj skutecznie działają w tym obszarze. Dotyczy to zarówno firm zajmujących się wyłącznie produkcją jak choćby największy polski producent Bruk-Bet Fotowoltaika jak również firm, które wyniki najnowszych badań naukowych przenoszą do produkcji, przykładowo firma Saule S.A.. W obu przypadkach wsparcie ze strony jednostek naukowych jest konieczne.

Mając na względzie wszystkie przytoczone przykłady badań i innowacyjnych aktywności aktualne wydaje się być stwierdzenie, że rozwój krajowego sektora fotowoltaiki (rozumieny jako kreowanie innowacyjnych rozwiązań) jest mocno uzależniony od wyników prac B+R+I realizowanych przez jednostki naukowe, przedsiębiorstwa lub ich konsorcja. **Jeżeli branża ta nie chce pełnić roli odtwórczej – winna kreować i wdrażać własne innowacje produktowe i procesowe.**

Dr hab. inż. Kazimierz Drabczyk, Prof. IMIM PAN
Mgr Daniel Szymonik

Oferta polskich jednostek naukowych

Badaniami nad ogniwami słonecznymi zajmuje się wiele ośrodków naukowych z całego świata. Jak przedstawiono już wcześniej fotowoltaika, pomimo negatywnych implikacji pandemii COVID-19 oraz silnej konkurencji ze strony innych OZE (i nadal ze strony konwencjonalnych źródeł pozyskiwania energii) jest jedną z najszybciej rozwijających się gałęzi przemysłu. Intensywne badania prowadzone są na uczelniach i w instytutach naukowych w całej Polsce.

Wśród polskich jednostek znajdują się między innymi:

Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków,

Akademia Wojsk Lądowych, Wrocław,

Centrum Materiałów Polimerowych i Węglowych PAN, Zabrze,

Instytut Fizyki PAN, Warszawa,

Instytut Katalizy i Fizykochemii Powierzchni PAN, Kraków,

Instytut Metali Nieżelaznych Oddział w Poznaniu Centralne Laboratorium Akumulatorów i Ogniw,

Instytut Metalurgii i Inżynierii Materiałowej PAN, Kraków – Laboratorium Fotowoltaiczne, Kozy,

KEZO – Konwersja Energii i Źródła Odnawialne – Centrum Badawcze PAN,

Politechnika Gdańska,

Politechnika Łódzka,

Politechnika Rzeszowska,

Politechnika Śląska, Gliwice,

Politechnika Warszawska,

Politechnika Wrocławska,

Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa, Tarnów,

Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Mikroelektroniki i Fotoniki Oddział w Krakowie – Centrum Mikroelektroniki Hybrydowej i LTCC,

Uniwersytet Rzeszowski,

Uniwersytet Śląski, Katowice,

Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny, Radom,

Wojskowy Instytut Techniki Inżynieryjnej, Wrocław.

Badania naukowe prowadzone w wymienionych jednostkach obejmują szerokie spektrum zagadnień z obszaru nauk ścisłych ukierunkowanych na badania podstawowe, jak również praktyczne aplikacje w fotowoltaice.

Wykorzystując informacje przekazane przez naukowców prowadzących badania w obszarze fotowoltaiki i biorących udział w II Krajowej Konferencji Nauki i Przemysłu „Fotowoltaika 2025" oraz na podstawie informacji ogólnodostępnych przedstawiono poniżej kierunki badań prowadzonych w polskich jednostkach naukowych oraz ich ofertę badawczo-edukacyjną.

Należy wyraźnie podkreślić, że zestawienie ma charakter informacyjny, a kierunki badań prowadzonych w polskich ośrodkach naukowych mogą obejmować inne, niewymienione tutaj zagadnienia oraz inne jednostki.

AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA, KRAKÓW

Wśród wielu kierunków badań prowadzonych przez naukowców z AGH są także te dotyczące długoterminowego badania modułów PV w ich naturalnych warunkach pracy. Przykładowo, prace dotyczą porównania pracy dwóch instalacji fotowoltaicznych: jednej zbudowanej z wykorzystaniem klasycznego inwertera string'owego i drugiej, wykorzystującej optymizery mocy. Obie instalacje posiadają identyczne moduły PV (krzem polikrystaliczny), zamontowane z takim samym kątem azymutu i elewacji i znajdują się obok siebie na dachu budynku C-3 (w obrębie Kampusu Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie). Badania stanowią demonstrację technologii w warunkach zbliżonych do rzeczywistych (poziom TRL=6) i pozwalają formułować nowe wskaźniki efektów w programach dotacyjnych (RPO, NFOŚiGW). Wiedza uzyskana w wyniku badań może być również pomocna dla firm instalatorskich z branży PV. Wyniki pokazały że zastosowanie optymizerów mocy podnosi koszt systemu fotowoltaicznego o ok. 15%, co w pewnym stopniu rekompensowane jest zwiększoną produkcją energii. Jednak ważniejsze w tym przypadku okazuje się zwiększenie poziomu bezpieczeństwa pracy instalacji PV. Badania obecnie są rozszerzane o moduły cienkowarstwowe CIGS.

Dodatkowo dzięki urządzeniu I-V Curve Traser for Solar Cells Qualification, v. 4.1.1, regularnie są wykonywane pomiary laboratoryjne ogniw słonecznych na bazie krzemu mono- oraz multikrystalicznego w zmiennych warunkach temperaturowych, a także dla różnych wariantów zacienienia, z uwzględnieniem rezystancji szeregowej ogniw.

Aktywnie działają także koła naukowe, realizujące projekty związane z zastosowaniem ogniw słonecznych, jak np. AGH Solar Plane czy AGH Solar Boat.

Zespół Prowadzone są badania w obszarze fotowoltaiki i struktur energetycznych. W ramach tych badań testowane są różne materiały jako pokrycia antyrefleksyjne lub pasywująco-antyrefleksyjne. Ponadto analizowane są warstwy ZnO i ZnO:Al (AZO), nanoszone metodą ALD, które wykazują istotne właściwości fotowoltaiczne. Pod uwagę są brane zarówno właściwości optyczne warstw (spektrofotometr Perkin Elemer Lambda 19 oraz elipsometr firmy J.A.Woollam Co. Inc.), jak strukturalne (dyfraktometr X'Pert MPD Philips PANalytical, SEM oraz XPS). Określa się korelację położenia pików dyfrakcyjnych oraz rozmiaru ziaren z parametrami technologicznymi procesu. Współczynnik załamania światła dla tych materiałów zależy od składu i struktury warstw. Dodatkowo dzięki urządzeniu I-V Curve Traser for Solar Cells Qualification, v. 4.1.1, regularnie są wykonywane pomiary laboratoryjne ogniw słonecznych na bazie krzemu mono- oraz multikrystalicznego w zmiennych warunkach temperaturowych, a także dla różnych wariantów zacienienia, z uwzględnieniem rezystancji szeregowej ogniw.

Instytut Elektroniki, Wydziału Informatyki, Elektroniki i Telekomunikacji AGH, posiada około 100 pracowników, z czego 5 realizuje badania powiązane z tematyką fotowoltaiczną. Głównym urządzeniem IE do charakteryzacji ogniw jest I-V Curve Traser for Solar Cells Qualification, v. 4.1.1, umożliwiający pomiary charakterystyk prądowo-napięciowych ogniw, rezystancji szeregowej, a także badania temperaturowe w zakresie od ok. 5 do 60°C. Ponadto w Instytucie znajduje się stanowisko z monochromatorem ORIEL-a, do badania fotoczułości prądowej i napięciowej ogniw, a także elipsometr firmy J.A.Woollam Co. Inc., do pomiarów współczynnika absorpcji, współczynnika załamania oraz ekstynkcji materiałów, testowanych do aplikacji fotowoltaicznych.

W okresie 2015-2020 Instytut Elektroniki prowadził pomiary wzorcowe, testowe i porównawcze ogniw PV na indywidulane zlecenia.

W kwietniu 2019 roku podpisano porozumienie o współpracy z firmą Columbus Energy Spółka Akcyjna w zakresie realizacji przedsięwzięć o charakterze badawczo-rozwojowym oraz z zakresu kształcenia w obszarze odnawialnych źródeł energii, w szczególności fotowoltaiki.

W obszarze tematyki fotowoltaicznej prowadzone są następujące przedmioty:

- Optoelektronika i Fotonika, kierunek Elektronika i Telekomunikacja (EiT), 4 semestr I stopnia
- Optoelektronika, kierunek EiT, 4 semestr I stopnia, studia niestacjonarne
- Alternatywne Źródła Energii, kierunek EiT, 7 semestr I stopnia
- Alternatywne Źródła Energii, kierunek Elektronika, 5 semestr I stopnia
- Systemy Fotowoltaiczne, kierunek EiT, specjalność Systemy Wbudowane, 3 semestr II stopnia
- Pojedyncze wykłady dedykowane dla doktorantów

Oprócz wymienionych przedmiotów, realizowane są prace dyplomowe inżynierskie i magisterskie. Przykładowe tematy (opiekun wymienionych prac: dr hab. inż. Barbara Swatowska.

- Badanie wpływu wybranych właściwości materiałowych ogniw słonecznych na ich parametry eksploatacyjne.
- Wpływ mikropęknięć w krzemowych ogniwach słonecznych na ich sprawność.
- Realizacja regulatora śledzenia maksymalnego punktu pracy MPPT ogniw słonecznych.
- Instalacja fotowoltaiczna do zasilania domu jednorodzinnego.
- Przemiana energii oraz jej magazynowanie z wykorzystaniem energii odnawialnych – stanowisko laboratoryjne.
- Optymalizacja parametrów optycznych elementów optoelektronicznych na przykładzie ogniw słonecznych.
- Analiza możliwości uzyskiwania energii elektrycznej ze słonecznej dla różnych regionów Polski z uwzględnieniem warunków klimatycznych.
- Projekt i realizacja układu zasilania mini pojazdu kołowego z wykorzystaniem modułu fotowoltaicznego

Pracownicy Instytutu Elektroniki są zapraszani jako wykładowcy na różne warsztaty i konferencje. Ponadto, corocznie pracownicy Instytutu Elektroniki biorą czynny udział w Festiwalu Nauki na Rynku w Krakowie oraz Małopolskiej Nocy Naukowców na terenie uczelni, gdzie przedstawiane są pokazy i prezentacje z tematyki fotowoltaicznej. Pokazy cieszą się ogromnym zainteresowaniem, zarówno ludzi młodych, jak i starszych, a prowadzący dostają mnóstwo pytań.

AKADEMIA WOJSK LĄDOWYCH, WROCŁAW

Wśród głównych kierunków prac badawczych realizowanych w Akademii Wojsk Lądowych imienia generała Tadeusza Kościuszki w obszarze fotowoltaiki należy wyróżnić prace związane z:

- wytwarzaniem warstw samoczyszczących dla zastosowań w ogniwach krzemowych (aspekty ekologiczne i ekonomiczne),
- konstrukcją czujników jako elementów zintegrowanych z krzemowym ogniwem/panelem słonecznym,
- modelowaniem teoretycznym wybranych aspektów technicznych dla fotowoltaiki elastycznej,
- syntezą nanomateriałów o właściwościach fotokatalitycznych,
- charakterystyką optyczną wytwarzanych warstw z uwzględnieniem procesów

starzeniowych,
- analizą możliwości zastosowania fotowoltaiki w wojsku,
- analizą możliwości zastosowania fotowoltaiki jako narzędzia dla bezpieczeństwa ekologicznego i energetycznego.

Potencjał naukowy Uczelni to 38 profesorów i doktorów habilitowanych i 96 doktorów. AWL posiada zaplecze laboratoryjne do wytwarzania warstw organicznych i nieorganicznych oraz ich podstawowej charakterystyki, w tym urządzenia do naparowywania cienkich warstw oraz zestawy do nanoszenia warstw metodą natryskową, metodą listwy rozwijającej, a także nanoszenia wirowego, oraz spektrofotometr UV-Vis.

Ponadto uczelnia posiada unikalne w skali Europy Laboratorium Przywództwa, przeznaczone do kształtowania kompetencji przywódczych dowódców pododdziałów oraz kadry zarządzającej.

AWL dysponuje również Laboratorium zarządzania dronami w działaniach taktycznych dedykowanym do prowadzenia interdyscyplinarnych badań naukowych z wykorzystaniem bezzałogowych statków i systemów powietrznych, a także do wspomagania ćwiczeń i działań wojskowych różnego typu oraz zajęć dydaktycznych realizowanych w uczelni.

Prowadzone w Akademii Wojsk Lądowych imienia generała Tadeusza Kościuszki badania naukowe są zbieżne ze specjalizacją naukową uczelni. Zasadniczym obszarem specjalizacji badawczej uczelni jest problematyka związana z szeroko pojętymi naukami o bezpieczeństwie, naukami o zarządzaniu i jakości oraz wybranymi zagadnieniami dotyczącymi nauk inżynieryjno-technicznych, które mają bezpośredni wpływ na rozwój technologii na rzecz obronności i bezpieczeństwa państwa. Jednocześnie prowadzone są badania których wyniki mogą znaleźć zastosowanie w fotowoltaice.

CENTRUM MATERIAŁÓW POLIMEROWYCH I WĘGLOWYCH PAN, ZABRZE

Główne kierunki badań, prowadzonych w CMPW PAN w Zabrzu, w obszarze fotowoltaiki to:
- projektowanie i synteza nowych organicznych materiałów π–sprzężonych, do zastosowania w organicznych ogniwach fotowoltaicznych jako warstwa aktywna,
- charakterystyka otrzymanych związków metodami spektroskopii optycznej (UV-Vis-NIR, i fotoluminescencja), metodami elektrochemicznymi (CV) oraz analizy termicznej,

- modyfikacja struktury chemicznej otrzymanych materiałów, poprzez domieszkowanie lub protonowanie, mające na celu modyfikację parametrów elektronowych lub morfologii warstw,
- badania cienkich warstw wytworzonych z otrzymanych materiałów z wykorzystaniem pomiarów elipsometrycznych oraz technik mikroskopowych (AFM, SEM) lub dyfrakcji rentgenowskiej,
- wytwarzanie organicznych ogniw fotowoltaicznych o heterozłączu objętościowym (BHJ) oraz ogniw barwnikowych (DSSC). Wyznaczanie parametrów PV z charakterystyk prądowo-napięciowych przy naświetleniu AM1.5,
- modyfikacja struktury fotoanody oraz sposobu przygotowania ogniw DSSC oraz BHJ.

Badania te realizowane były w ramach trzech tematów statutowych:

- Nowe sprzężone związki organiczne, zawierające pierścienie heterocykliczne – projektowanie synteza i charakterystyka.
- Charakterystyka i modyfikacja morfologii i właściwości termo-optycznych cienkich warstw materiałów organicznych, pod kątem ich zastosowania w elektronice.
- Ogniwa fotochemiczne – wpływ struktury ogniwa (składu i sposobu przygotowania fotoanody i rodzaju elektrolitu oraz katody) na parametry fotowoltaiczne.

Ponadto realizowana aktualnie w Centrum Materiałów Polimerowych i Węglowych PAN tematyka badawcza koncentruje się na badaniach nad termosterowalnymi polimerami biozgodnymi, jako nośnikami do kontrolowanego wytwarzania i oddzielania arkuszy komórek skóry i nabłonka, resorbowalnymi systemami kontrolowanego uwalniania leków nowej generacji, tworzywami sztucznymi przyjaznymi środowisku, nowymi polimerowymi materiałami kompozytowymi modyfikowanymi grafenami, nowymi materiałami dla optoelektroniki, a także badaniach technologii nanoszenia cienkich warstw oraz syntezy monolitycznych, porowatych materiałów węglowych jako prekursorów materiałów ekologicznych.

W prowadzonych obecnie w CMPW PAN badaniach zaangażowanych jest 71 pracowników, w tym 7 pracowników z tytułem profesora, 11 pracowników ze stopniem doktora habilitowanego, 26 pracowników ze stopniem doktora i 24 pracowników z tytułem zawodowym magistra inżyniera lub magistra.

Centrum Materiałów Polimerowych i Węglowych Polskiej Akademii Nauk w Zabrzu świadczy usługi badawcze w takich obszarach jak:

- Charakterystyka struktury chemicznej materiałów polimerowych (dostępne techniki badawcze: Spektroskopia fluorescencyjna, Analiza elementarna, Wysokosprawna chromatografia cieczowa (HPLC), Chromatografia cieczowa,

Chromatografia żelowa GPC, Inkrement współczynnika załamania światła, Chromatografia żelowa, Spektrometria mas ESI-MSn, Spektroskopia FT-IR ATR, Spektrometria magnetycznego rezonansu jądrowego (NMR), Spektroskopia Ramana, Spektroskopia UV-VIS-NIR).

- Charakterystyka właściwości fizyko-chemicznych materiałów polimerowych (Sorpcja par organicznych, Perwaporacja – membranowy rozdział mieszanin cieczy, Permeacja gazów i par przez folie polimerowe, Mikrowaga kwarcowa, Dyfrakcja rentgenowska szerokokątowa (WAXD), Pomiary kąta zwilżania, Elipsometria spektroskopowa, Termograwimetria (TGA), Różnicowa kalorymetria skaningowa (DSC), Analiza dynamicznych właściwości mechanicznych (DMTA), Analiza dielektryczna (DEA), Badania elektrochemiczne – woltamperometria cykliczna, Pomiary elektryczne, Dynamiczne rozpraszanie światła, Statyczne i dynamiczne rozpraszanie światła)
- Charakterystyka właściwości mechanicznych materiałów polimerowych (badania wytrzymałościowe)
- Techniki obrazowania (Mikroskopia sił atomowych (AFM), Tomografia elektronowa, Elektronowa mikroskopia transmisyjna w trybie mrożeniowym (krio-TEM), Elektronowa mikroskopia transmisyjna (TEM), Elektronowa mikroskopia skaningowa w trybie środowiskowym (ESEM), Energodyspersyjna spektroskopia promieniowania rentgenowskiego (EDS), Elektronowa mikroskopia skaningowa (SEM)
- Przetwórstwo materiałów polimerowych. Wykonywanie elementów metodą druku 3D FDM. Analiza granulometryczna na sucho i na mokro, Mielenie na młynku kriogenicznym. Przetwórstwo metodą elektroprzędzenia. Prasowanie na prasie termostatowanej. Wytłaczanie na dwuślimakowej wytłaczarce. Wytłaczanie na jednoślimakowej wytłaczarce. Wtrysk na wtryskarce do mikrowtrysku. Wtrysk na mini-wtryskarce.
- Badania degradacji i biodegradacji materiałów polimerowych. Badanie biodegradacji materiałów polimerowych w warunkach kompostowania przemysłowego. Badanie biodegradacji materiałów polimerowych w warunkach laboratoryjnych. Badanie degradacji hydrolitycznej materiałów polimerowych.

Opracowane w CMPW PAN i przygotowane do wdrożenia rozwiązania technologiczne i tematy ekspertyz:

- materiały dla zastosowań w ochronie zdrowia,
- materiały dla zastosowań w ochronie środowiska,
- materiały konstrukcyjne i kompozyty,
- syntezy materiałów.

INSTYTUT FIZYKI PAN, WARSZAWA

W Instytucie Fizyki PAN w Warszawie prowadzi się badania nad innowacyjnym typem ogniw słonecznych opartych na heterostrukturach ZnO/Si. Ogniwa fotowoltaiczne opracowane w IF PAN wytwarzane są dzięki połączeniu ze sobą dwóch technologii. W pierwszym etapie na powierzchni płytki krzemowej metodą hydrotermalną wzrastane są nanosłupki ZnO (ZnO_{NR}). Następnie próbki przenoszone są do reaktora ALD, gdzie na słupkach osadza się cienką warstwę $Zn_{1-x}Mg_xO$, a następnie przewodzącą warstwę TCO na bazie ZnO:Al[105]. Obecnie prace badawcze koncentrują się nad możliwością dalszej poprawy wydajności ogniw fotowoltaicznych ZnO/Si. Dzięki zastosowaniu nanosłupków ZnO oraz warstw $Zn_{1-x}Mg_xO$ osiągnięto sprawność fotowoltaiczną na poziomie 14%. Dodatkowo wytwarzane ogniwa fotowoltaiczne ZnO/Si zawierają kontakty elektryczne wykonane z aluminium (zamiast srebra), co w znaczący sposób obniża koszt finalnego produktu. Nowy typ ogniw fotowoltaicznych ZnO/Si jest przedmiotem patentów, zgłoszeń patentowych oraz licznych publikacji naukowych. Dzięki prostej w wytwarzaniu architekturze ogniwa ZnO/Si mogą stanowić alternatywne rozwiązanie dla obecnie stosowanej technologii. Omawiany proces produkcji jest przyjazny dla środowiska naturalnego oraz zdrowia człowieka. W IF PAN badane są także same sposoby zarodkowania i wzrostu nanosłupków tlenku cynku otrzymywanych metodą hydrotermalną wspomaganą mikrofalowo. Badane są nanosłupki ZnO zarodkowane albo submonowarstwą tlenku cynku (osadzoną na podłożu techniką osadzania warstw atomowych (ALD)) lub złota (osadzoną za pomocą napylania katodowego). Otrzymane wyniki tych badań wykazały występowanie wzmocnienia świecenia nanostruktur zarodkowanych złotem. Oba typy zarodkowania mogą być użyte do wytwarzania strukturyzowanych górnych elektrod do komórek fotowoltaicznych.

INSTYTUT KATALIZY I FIZYKOCHEMII POWIERZCHNI PAN, KRAKÓW

W Instytucie Katalizy i Fizykochemii Powierzchni im. Jerzego Habera PAN w Krakowie prowadzi się badania dotyczące optymalizacji metody syntezy nanocząstek bimetalicznych jako komponentów materiałów przewodzących. Materiały takie mogą z powodzeniem znaleźć zastosowanie także w fotowoltaice. W wyniku prowadzonych badań otrzymano cząstki bimetaliczne o odpowiednich właściwościach (rozmiar, kształt, stopień agregacji), które mogą służyć jako komponent przewodzą-

[105] B.S. Witkowski, L. Wachnicki, S. Gieraltowska, P. Dluzewski, A. Szczepanska, J. Kaszewski, M. Godlewski, *Ultra-fast growth of the monocrystalline zinc oxide nanorods from the aqueous solution*, Int. J. Nanotechnol. 11 (2014) 758–772.

cych tuszy oraz past. Wyniki są istotne w odniesieniu do poszukiwania nowych nanomateriałów oraz ich wykorzystania w drukowanych urządzeniach elektronicznych, a także w fotowoltaice. Zakłada się, iż zaproponowane podejście do wytwarzania tuszy i past na bazie nanocząstek metali typu *core-shell* przyczyni się do udoskonalenia, bądź rozwoju innowacyjnych metod wytwarzania sprzętów elektronicznych, w tym ogniw fotowoltaicznych, co jest niezmiernie ważne z ekonomicznego punktu widzenia. Przewiduje się, iż uzyskane wyniki mogą przyczynić się do obniżenia kosztów produkcji.

INSTYTUT METALI NIEŻELAZNYCH ODDZIAŁ W POZNANIU CENTRALNE LABORATORIUM AKUMULATORÓW I OGNIW

Instytut Metali Nieżelaznych Oddział w Poznaniu Centralne Laboratorium Akumulatorów i Ogniw jest wyspecjalizowaną jednostką naukową o wieloletnim doświadczeniu w dziedzinie chemicznych źródeł prądu. Prowadzi prace badawcze i aplikacyjne dotyczące wytwarzania i modernizacji układów prądotwórczych oraz badania właściwości baterii, akumulatorów i ogniw paliwowych. Prace te dotyczą nowych surowców, materiałów elektrodowych i półproduktów oraz technologii wytwarzania nowych typów baterii i akumulatorów, a także ich recyklingu.

W dziedzinie fotowoltaiki w Instytucie Metali Nieżelaznych-oddział w Poznaniu prowadzi się badania, których celem jest zaprojektowanie i przeprowadzenie testów magazynu energii do elastycznego pokrycia fotowoltaicznego (EPF) opracowanego przez IMIM PAN i WITI. Badania koncentrują się na doborze akumulatorów, które pełnią rolę magazynu energii do wykorzystania przy braku oświetlenia lub niedostatecznego oświetlenia elastycznej powłoki fotowoltaicznej oraz na zaprojektowaniu i wykonaniu układów zarządzania energią i ładowania akumulatorów.

INSTYTUT METALURGII I INŻYNIERII MATERIAŁOWEJ PAN – LABORATORIUM FOTOWOLTAICZNE, KRAKÓW-KOZY

Instytut Metalurgii i Inżynierii Materiałowej im. A. Krupkowskiego Polskiej Akademii Nauk w Krakowie posiada wyodrębnioną w swojej strukturze specjalistyczną jednostkę prowadzącą prace B+R w obszarze PV – Laboratorium Fotowoltaiczne w Kozach – LF IMIM PAN. W Laboratorium tym prace badawcze dotyczące wykorzystania energii słonecznej prowadzone są od końca lata siedemdziesiątych ubiegłego wieku. Główny ciężar badań położono na dopracowanie technologii, których koszt wdrożenia jest jak najniższy. Początkowo badano procesy pozwala-

jące na wytworzenie ogniw na bazie krzemu krystalicznego. Obecnie w LF IMIM PAN prowadzi się badania zarówno dotyczące krzemowych ogniw słonecznych, jak również badania nad ogniwami perwoskitowymi oraz innowacyjnym elementami modułów PV.

W pierwszym obszarze badania koncentrują się na procesach teksturyzacji, dyfuzji i wytwarzania elektrod metalowych ogniwa. Teksturyzacja powierzchni krzemu prowadzi do rozwinięcia powierzchni płytki krzemowej, a tym samym pozwala na zatrzymanie większej ilości promieniowania słonecznego poprzez wielokrotne odbicie od wytworzonych struktur powierzchniowych. Do najefektywniejszych metod teksturyzacji należą te, polegające na trawieniu chemicznym, ponieważ są szybkie (prowadzone na wielu waflach jednocześnie) i tanie (nie wymagają skomplikowanej i drogiej aparatury) w porównaniu do technik laserowych, plazmowych czy też elektrochemicznych. Z tego względu trawienie chemiczne jest najczęściej wykorzystywane w masowej produkcji ogniw. Badania dotyczą procesów dwuetapowych prowadzących do powstania struktur typu *black silicon*. W pierwszym etapie następuje przygotowanie powierzchni wafla krzemowego w procesie trawienia chemicznego w roztworach alkalicznych lub kwasowych. Podczas tego etapu powstaje tekstura powierzchniowa (piramidalna bądź jamkowa) lub powierzchnia zostaje wypolerowana. Drugi etap polega na wytrawieniu drutów metodą *metal assisted etching (MAE)* z użyciem srebra jako katalizatora. Wyniki badań pokazały, że możliwa jest redukcja odbicia promieniowania elektromagnetycznego w zakresie długości fali 400-1100 nm do wartości efektywnej ok. 4%. Taki rezultat pozwala na wyeliminowanie jednego z procesów produkcji ogniwa jakim jest nanoszenie warstwy antyrefleksyjnej. Problemem pozostaje jednak pasywacja powierzchni oraz wytworzenie elektrod metalowych ogniwa. Procesy dyfuzyjnego formowania złącz półprzewodnikowych są jednym z etapów produkcji ogniw fotowoltaicznych. Dotyczy to wytwarzania złącza typu n^+/p lub p/p^+ na powierzchni teksturowanego krzemu. Etap ten, wymaga obecnie stosowania toksycznych odczynników jak $POCl_3$[106] lub BBr_3 [107]. Wyniki badań pokazały, że możliwe jest zastąpienie toksycznych odczynników wodną mieszaniną kwasów H_3PO_4 lub H_3BO_3 z dodatkiem dedykowanych związków organicznych, które mogą być nanoszone na powierzchnię krzemu metodą natrysku, co pozwala zastosować wymieniona metodę w procesie taśmowego otrzymywania ogniw. Wytwarzanie elektrod ogniwa ściśle związane jest z materiałami takimi jak pasty na bazie proszków metali. Dominujące są pasty na bazie srebra, jednak cena skłania do

[106] P. Panek, M. Lipiński, E. Bełtowska-Lehman, K. Drabczyk, R. Ciach, *Industrial Technology of Multicrystalline Silicon Solar Cells*, Opto-Electr. Rev., 11, (2003), str. 269-275

[107] A. M. Slade, C. B. Honsberg, S. R. Wenham, *Passivated boron emitters for n-type buried contact solar cells*, Proc. of the 28th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, 15-22 September, 2000, Anchorage, str. 268-271

badania innych materiałów. Jednym z nich jest miedź. W LF IMIM PAN prowadzone są badania nad specjalnym komponentem pasty do wytwarzania przedniej elektrody ogniwa krzemowego. Prace zrealizowane są w ramach projektu pt. „Opracowanie technologii wytwarzania komponentu i pasty miedziowej wykorzystywanej w procesie produkcji kontaktów elektrycznych ogniw krzemowych" (POIR.01.01.01-00-1598/15). Pierwsze wyniki pokazują, że pasta z 51% wag. udziałem miedzi może być wykorzystana do produkcji ogniw słonecznych za pomocą powszechnie stosowanego procesu sitodruku.

W obszarze innowacyjnych technologii i rozwiązań dla modułów fotowoltaicznych w LF IMIM PAN we współpracy z firmą Helioenergia sp. z o.o. prowadzone są badania technologii wytwarzania modułów fotowoltaicznych z zastosowaniem wspomagania luminescencyjnego. W położeniu geograficznym, w którym znajduje się Polska, nawet 60% pierwotnego promieniowania ulega rozproszeniu w drodze przez atmosferę. Ponadto większość fotonów po tym przejściu charakteryzuje się przesunięciem widma w stronę światła niebieskiego[108]. Atrakcyjnym rozwiązaniem może być koncentrator oparty na efekcie luminescencyjnym zwanym Luminescencyjnym Koncentratorem Energi (LSC – ang. *Luminescent Solar Concentrator*). W rozwiązaniu tym fotony padające pod różnym kątem są absorbowane przez barwnik fluoroscencyjny zamknięty w matrycy szklanej lub polimerowej. Następnie są one emitowane i zgodnie z efektem światłowodowym odbijają się wielokrotnie od powierzchni wewnętrznej koncentratora, aż dotrą do połączonego optycznie z koncentratorem ogniwa fotowoltaicznego[109] [110] [111]. W laboratorium badawczym firmy powstały już pierwsze modele paneli PV wspomaganych LSC, jednak w celu wdrożenia technologii wymagane są dalsze badania.

Innym obszarem badawczym dotyczącym innowacyjnych modułów fotowoltaicznych są badania nad skonstruowaniem innowacyjnego elastycznego pokrycia fotowoltaicznego wykonanego w oparciu o polikrystaliczne ogniwa krzemowe. Zaproponowane elastyczne pokrycie fotowoltaiczne (EPF) jest formą pośrednią pomiędzy sztywnym krzemowym ogniwem fotowoltaicznym, a fotowoltaiką organiczna i cienkowarstwową, w aspektach elastyczności, trwałości oraz sprawności ogniwa. EPF cechuje się dobrą elastycznością oraz wieloletnim okresem użytkowania (około 15-20 lat). Podstawową zaletą takiego rozwiązania jest możliwość zwijania (np. na bębnie) i rozwijania na dowolnej powierzchni, łatwa obsługa oraz lekka konstrukcja. Podsta-

[108] E. Klugman, E. Klugmann-Radziemska, *Ogniwa i moduły fotowoltaiczne*, Wydawnictwo Ekonomia i Środowisko, 2005, 142-143

[109] J.C. Goldschmidt, M. Peters, A. Bosch, H. Helmers, F. Dimroth, S.W. Glunz, G. Willeke, *Increasing the efficiency of fluorescent concentrator systems*, Solar Energy Materials & Solar Cells 93 (2009) 176–182

[110] V. Wittwer, et al., *Theory of fluorescent planar concentrators and experimental results*, J. Lumin. 24/25 (1981) 873–876

[111] P.P.C. Verbunt, A. Kaiser, K. Hermans., C.W.M. Bastiaansen, D.J. Broer, M.G. Debije, *Controlling Light Emission in Luminescent Solar Concentrators Through Use of Dye Molecules Aligned in a Planar Manner by Liquid Crystals*, Advenced Functional Material 2009, 19, 2714–2719

wowym odbiorcą elastycznych pokryć fotowoltaicznych (EPF) mogą być Siły Zbrojne RP, a także instytucje takie jak: Policja, Straż Graniczna, Służby Ratownicze, a także odbiorca indywidualny. Omawiane prace B+R prowadzone były w latach 2016-2018 w Projekcie *Innowacyjne elastyczne pokrycie fotowoltaiczne* (w ramach wspólnego przedsięwzięcia Narodowego Centrum Badań i Rozwoju oraz Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej „GEKON – Generator Koncepcji Ekologicznych"; GEKON2/O4/268473/23/2016; projekt realizowany w konsorcjum naukowo-przemysłowym: Lubawa S.A., IMIM PAN, Wojskowy Instytut Techniki Inżynieryjnej im. prof. Józefa Kosackiego we Wrocławiu oraz firma AK Consulting z Katowic).

W LF IMIM PAN wytwarzane i badane są ogniwa perowskitowe. Ogniwa perowskitowe zaliczane są do grupy ogniw cienkowarstwowych ze złączem p-i-n lub n-i-p. W takich układach półprzewodnik samoistny zamknięty jest między dwiema warstwami o przeciwnym typie półprzewodnictwa. Rozwiązanie to pozwala na efektywną separację wytworzonego eksytonu, a tym samym sprzyja wysokiej sprawności ogniwa. Podobnie jak w ogniwach organicznych, perowskit może zostać osadzony na wielu typach podłoży. Przy wyborze materiału bazowego należy jednak pamiętać, iż kryształy perowskitu wzrastają w różny sposób na różnych podłożach. Prowadzone badania dotyczą osadzenia prekursora perowskitowego na różnych warstwach podłożowych celem określenia ich wpływu na morfologię $CH_3NH_3PbI_3$. Perowskit naniesiono na ITO/Spiro-OMeTAD, ITO/PEDOT:PSS, FTO/TiO_2 i FTO/PCBM, a także bezpośrednio na ITO oraz FTO. Inny aspekt badań ogniw perwoskitowych dotyczy struktury fotowoltaicznej na bazie metalo-organicznych perowskitów halogenkowych. Badania eksperymentalne obejmują zarówno symulacje komputerowe, które mają na celu zbadanie wpływu poszczególnych warstw wchodzących w skład ogniwa na jego sprawność, jak również wytwarzanie samych ogniw. Przeprowadzone symulacje numeryczne z wykorzystaniem programu SCAPS 3.3 (*Solar Cell Capacitance Simulation*) dały w wyniku maksymalną sprawność 24,9% dla ogniwa idealnego bez rekombinacji S-R-H i 21,9% przy założeniu rekombinacji Shockley'a-Read'a-Hall'a (S-R-H) i czasu życia nośników 1 µs. Wytworzone ogniwa perowskitowe ze strukturą mezoskopową z wykorzystaniem perowskitu $CH_3NH_3PbI_3$ osiągnęły sprawność konwersji 15%.

W LF IMIM PAN prowadzone są także badania nad zastosowaniem dwutlenku tytanu jako rusztowania i warstwy selektywnie przewodzącej jeden typ ładunków w ogniwie perowskitowym. Wykonano próbne symulacje za pomocą programu SCAPS analizując wpływ parametrów TiO_2 w aspekcie dopasowania do warstw sąsiadujących w ogniwie, czyli FTO oraz perowskitu. Określono wpływ poziomów energetycznych, poziomu domieszki donorowej oraz mobilności elektronów na parametry wyidealizowanych ogniw. Badania znajdują się jeszcze na poziomie badań podstawowych, jednak mają one duży potencjał komercyjny, zwłaszcza w aspekcie

redukcji kosztów. Warunkiem jest uzyskanie stabilności ogniwa na poziomie około 15 lat oraz powtarzalnej wielkoskalowej produkcji.

Pracownicy LF IMIM PAN od wielu lat współpracują z przemysłem fotowoltaicznym. Obecnie wspólne badania planowane są z firmą Bruk-Bet Fotowoltaika, Aluron Sp. z o.o. oraz Blachotrapez Sp. z o.o. Wszystkie one dotyczą innowacyjnych sposobów łączenia fotowoltaiki z elementami i materiałami wykorzystywanymi w budownictwie.

Zespół Laboratoriów Badawczych Instytutu Metalurgii i Inżynierii Materiałowej, im. A. Krupkowskiego PAN w Krakowie liczy 9 Laboratoriów Badawczych, posiadających CERTYFIKAT AKREDYTACJI LABORATORIUM BADAWCZEGO nr AB 120 ważny do dnia 17.07.2023 r. nadany przez Polskie Centrum Akredytacji. Jednym z 9 laboratoriów akredytowanych jest Laboratorium Fotowoltaiczne specjalizujące się w pomiarach charakterystyk prądowo-napięciowych zarówno ogniw słonecznych jak i całych modułów w warunkach STC (Standard Test Conditions). Ponadto Laboratorium wykonuje badania właściwości optycznych materiałów przez wyznaczenie współczynników odbicia i transmisji.

KEZO – Konwersja Energii i Źródła Odnawialne – Centrum Badawcze PAN, Jabłonna

Centrum Badawcze Polskiej Akademii Nauk Konwersja Energii i Źródła Odnawialne jest zakładem zamiejscowym Instytutu Maszyn Przepływowych im. Roberta Szewalskiego PAN. Główne zadania naukowe, które stanowią jednocześnie podstawę badawczą Instytutu Maszyn Przepływowych, koncentrują się na konwersji energii pochodzącej ze źródeł odnawialnych. Kompleks laboratoriów Centrum stanowi zaplecze naukowe i technologiczne Mazowsza, regionu północnego oraz całego środowiska naukowego Polski, w dziedzinach badań ściśle powiązanych z bezpieczeństwem energetycznym kraju. Podstawowym zadaniem Centrum jest prowadzenie prac badawczych dotyczących energii ze źródeł odnawialnych oraz jej konwersji.

Laboratorium Ogniw Fotowoltaicznych i Kolektorów Słonecznych jest poświęcone badaniom pojedynczych ogniw fotowoltaicznych, a także całych paneli słonecznych i układów solarno-termicznych (kolektorów) w obecności promieniowania wytwarzanego przez symulator słoneczny. Laboratorium jest wyposażone w wysokiej jakości symulatory słoneczne klasy AAA, urządzenie do pomiaru wydajności kwantowej oraz system do symulacji degradacji zachodzącej pod wpływem promieniowania UV.

Wielkopowierzchniowy symulator słoneczny dostarczony przez firmę Eternal Sun jest pierwszym tego typu symulatorem w Polsce i jednym z kilku w Europie, który generuje ciągłe i jednorodne promieniowanie identyczne z naturalnym widmem słonecznym. Urządzenie to zostało uznane w 2015 przez PV Magazine jako

najbardziej zaawansowana technologia fotowoltaiczna na świecie. Układ ten pozwala również na dokonywanie pomiarów dla ogniw trzeciej generacji, które charakteryzują się tzw. efektem wysycenia ładunku elektrycznego.

Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Mikroelektroniki i Fotoniki Oddział w Krakowie – Centrum Mikroelektroniki Hybrydowej i LTCC

Główne kierunki badań naukowych oraz prac rozwojowych realizowanych przez jednostkę w obszarze fotowoltaiki to: modelowanie, monitorowanie i walidacja projektów hybrydowych autonomicznych instalacji fotowoltaicznych oraz prowadzenie różnorodnych eksperymentów i badań naukowych, a ponadto projektowanie, wytwarzanie i badania komponentów dla potrzeb hybrydowych instalacji fotowoltaicznych.

W oddziale w Krakowie tematyką PV zajmuje się zespół czteroosobowy, w tym jeden ze stopniem naukowym doktora.

Oferta dla przedsiębiorstw to:

- Zdalne modelowanie, monitorowanie i walidacja projektów hybrydowych autonomicznych instalacji fotowoltaicznych oraz prowadzenie różnorodnych eksperymentów i badań naukowych.
- Projektowanie, wytwarzanie i badania wybranych komponentów dla potrzeb hybrydowych instalacji fotowoltaicznych.
- Badania elektryczne i technoklimatyczne komponentów elektronicznych.

POLITECHNIKA GDAŃSKA

W Katedrze Konwersji i Magazynowania Energii prowadzone są badania nad odzyskiem (recykling) poszczególnych materiałów z typowych modułów PV, które zostały uszkodzone lub wycofane z eksploatacji. Doskonałym tego przykładem jest patent: „Urządzenie do odzysku materiałów krzemowych z ogniw fotowoltaicznych", Patent Nr 215770 z dnia 24 stycznia 2014 r.. Naukowcy z Politechniki Gdańskiej pracują także nad recyklingiem modułów cienkowarstwowych i odzyskiem srebra. Celem prowadzonych prac jest opracowanie technologii recyklingu modułów fotowoltaicznych II generacji. Prace skupiają się głównie na ogniwach wykonanych z CdTe. Opracowana metoda może być zastosowana po wcześniejszej delaminacji termicznej. Badane są szybkość roztwarzania próbek otrzymanych ze zmielenia modułów przez różne roztwory trawiące, w zależności od ich stężenia i temperatury. Sprawdzono również możliwość wykorzystania w procesach recyklingu past trawią-

cych nie zawierających kwasu fluorowodorowego. Dalszym etapem będzie opracowanie technologii odzysku poszczególnych metali z roztworu wymywającego.

Druga realizowana od kilku lat tematyka badawcza obejmuje badania nad wpływem zanieczyszczeń na powierzchni modułów fotowoltaicznych, co prowadzi do spadku współczynnika przepuszczalności zewnętrznej warstwy szklanej, a to z kolei skutkuje zmniejszeniem ilości promieniowania słonecznego docierającego do ogniw fotowoltaicznych. Jednym z proponowanych sposobów zmniejszenia wpływu osadu na pracę modułów PV jest pokrycie ich powierzchni dodatkową warstwą utrudniającą przywieranie molekuł. Podczas badania powłok hydrofobowych dostępnych na rynku zauważono, iż wszystkie powodują spadek natężenia oświetlenia, jakie przenika przez szklaną powierzchnię w porównaniu z płytką niezawierającą żadnego pokrycia hydrofobowego. Niezwykle ważnym jest więc opracowanie odpowiedniego pokrycia, które wykazuje dużą transparentność.

W Katedrze Konwersji i Magazynowania Energii zatrudnionych jest 6 pracowników, realizujących działalność naukową z zakresu badania krzemowych modułów fotowoltaicznych, recyklingu czystego krzemu z ogniw fotowoltaicznych, recyklingu materiałowego, syntezy elektrolitów do kondensatorów elektrochemicznych, wytwarzania baterii litowo-jonowych, odzysku ciepła odpadowego w instalacjach przemysłowych, jak również zastosowania materiałów zmieniających fazę jako akumulatorów energii.

Infrastruktura badawcza Katedry obejmuje dwa laboratoria, w których mieszczą się następujące sprzęty – potencjostat-galwanostat Autolab 302N z modułem FRA, potencjostat-galwanostat Bio-Logik SAS SP200, 6-kananłowe urządzenie do testowania baterii Atlas 0961 Atlas-Sollich, skaningowy kalorymetr różnicowy DSC, spin-coater, kalorymetr do spalania paliw stałych i ciekłych IKA, młyn miksujący i homogenizujący MM200 Retsch, piec rurowy Protherm PTF 12/105/500, komora rękawicowa z kontrolowaną atmosferą Mbraun, pH/Jonometr Mettler Toledo, ultradźwiękowy homogenizator Hielscher, piec próżniowy B'U'CHI, klatka Faradaya, wagi analityczne Santorius, termostat cyrkulacyjny VWR, myjka ultradźwiękowa, demineralizator HRP Smart Hydrolab, mieszadła magnetyczne VWR, Heidolph, Benchmark, suszarka Sup30 Wamed, zestawy kolumn i głowic laboratoryjnych do destylacji, lodówki do odczynników chemicznych, system wentylacji i klimatyzacji, system bezpośredniej dystrybucji gazów technicznych (Tlen/Azot.Argon) do urządzeń, wyposażony w szafę bezpieczeństwa Typ 90.

Prace B+R w dziedzinie fotowoltaiki realizowane przez Katedrę Konwersji i Magazynowania Energii Wydziału Chemicznego Politechniki Gdańskiej obejmują: charakterystyki krzemowych ogniw fotowoltaicznych; określanie parametrów elektrycznych ogniw i modułów fotowoltaicznych w zmiennych warunkach klimatycznych,

w tym wpływu zacienienia i osiadającego kurzu na sprawność fotoelektryczną oraz zastosowania materiałów zmieniających fazę (PCM) jako akumulatorów energii.

Ponadto Politechnika Gdańska aktywnie zajmuje się edukacją w dziedzinie fotowoltaiki. W programie studiów I stopnia na kierunku Zielone Technologie (studia w języku polskim) oraz Green Technologies and Monitoring, prowadzonych w języku angielskim, fotowoltaika wprowadzona jest w formie laboratorium. Poruszane są na nim zagadnienia związane z podstawowymi parametrami elektrycznymi ogniw oraz modułów fotowoltaicznych oraz wpływem czynników zewnętrznych na zmianę charakterystyki prądowo-napięciowej. Na studiach II stopnia fotowoltaika występuje dla kierunku Inżynieria i Technologie Nośników Energii w formie laboratorium i wykładu, jak również dla kierunków Zielone Technologie i Monitoring oraz Green Technologies and Monitoring w formie projektu. Część projektowa zakłada szczegółową analizę paramterów elektrycznych oraz charakterystyk otrzymanych z pomiarów modułu fotowoltaicznego dla kilku zmiennych czynników w warunkach laboratoryjnych oraz zewnętrznych.

W ramach oferty z zakresu działań upowszechniających naukę jednostka prowadzi co roku na Wydziale Chemicznym Interdyscyplinarną Akademicką Konferencję Ochrony Środowiska, na której prezentowane są osiągnięcia w dziedzinie odnawialnych źródeł energii, w tym w fotowoltaice.

POLITECHNIKA ŁÓDZKA

Badania w obszarze fotowoltaiki prowadzi między innymi Katedra Przyrządów Półprzewodnikowych i Optoelektronicznych. Do podstawowych kierunków badań realizowanych w jednostce należą prace związane z rozwojem konstrukcji i technologii produkcji ogniw elastycznych, elastycznych warstw kontaktowych, warstw antyrefleksyjnych oraz konwersujących światło celem zwiększenia sprawności energetycznej ogniw cienkowarstwowych. Ponadto prowadzone są badania nad wykorzystaniem nowych materiałów w fotowoltaice z uwzględnieniem nanoform węgla, tlenków miedzi, pierwiastków ziem rzadkich, oraz perowskitów. Jednocześnie prowadzone są badania dotyczące konstrukcji i eksploatacji urządzeń hybrydowych PVT, a także nowatorskich układów magazynowania i przetwarzania energii w uwzględnieniem konstrukcji mikroinwerterów, optymalizatorów i superkondensatorów w instalacjach sieciowych i off-grid.

Katedra Przyrządów Półprzewodnikowych i Optoelektronicznych zatrudnia wykwalifikowany zespół pracowników naukowych i doktorantów zajmujących się problematyką fotowoltaiki. Wykorzystywane pracownie naukowe obejmują laboratorium wysokiej czystości typu clean-room, laboratorium technologii grubowarstwowych, zespół stanowisk pomiarowych oraz dwie instalacje zewnętrzne. W ramach wspominanych laboratoriów wykorzystywana jest między innymi linia do nanosze-

nia warstw elastycznych metodami fizycznymi jak napylanie, CSVT czy sitodruk, natrysk, czy rozwirowanie a także szereg stanowisk służących do pomiarów parametrów ogniw słonecznych z uwzględnieniem stanowiska pomiarów charakterystyk I-V w warunkach STC AM 1,5 (oświetlacz klasa A+) oraz stanowiska do pomiarów charakterystyk EQE w zakresie 200 – 1200 nm. Ponadto w zasobach laboratorium znajduje się zestaw stanowisk edukacyjno-demonstracyjnych służących do badania wszystkich podstawowych właściwości ogniw i modułów fotowoltaicznych. Ponadto częścią składową laboratorium jest pracownia komputerowa wyposażona w komercyjne oprogramowanie służące do wykonywania projektów i symulacji instalacji fotowoltaicznych zgodnie z aktualnymi wymaganiami technicznymi i formalno-prawnymi. Posiadane, konfigurowalne instalacje demonstracyjne składają się z sześciu typów modułów fotowoltaicznych, obejmujących także konstrukcje CIGS oraz aSi, których parametry są na bieżąco monitorowane na przestrzeni ponad 15 lat.

Jednostka prowadzi także szeroki program kształcenia związany z fotowoltaiką. Zarówno na pierwszym, jak i na drugim stopniu studiów realizowane są bloki przedmiotów specjalnie dedykowane tematyce podstaw fotowoltaiki, projektowania instalacji fotowoltaicznych, wykorzystaniu odnawialnych źródeł energii oraz generacji w systemach rozproszonych. Zajęcia teoretyczne uzupełnione są zestawem praktycznych ćwiczeń laboratoryjnych, samodzielnych projektów oraz zajęć symulacyjnych CAD. W jednostce na przestrzeni 20 lat działalności wykonano kilkadziesiąt prac dyplomowych inżynierskich i magisterskich związanych z tematyką fotowoltaiki, jak również przygotowano jedną prace habilitacyjną i trzy prace doktorskie, a dalsze trzy dysertacje są obecnie w trakcie realizacji. W ramach działalności prowadzone były także konferencje i sesje tematyczne na konferencjach krajowych i międzynarodowych, a także szkolenia komercyjne i warsztaty studenckie i doktoranckie obejmujące tematykę fotowoltaiki.

POLITECHNIKA RZESZOWSKA

Politechnika Rzeszowska prowadzi nietypowe badania nad zapotrzebowaniem energetycznym mieszkalnych obiektów budowlanych hipotetycznie możliwych do stworzenia przez Człowieka na powierzchni Księżyca. Badania, choć ciekawe, mają charakter wybitnie wyprzedzający i dotyczą zagadnień związanymi z wymianą ciepła, nasłonecznieniem oraz innymi warunkami fizycznymi, jakie występują na powierzchni Księżyca i są istotne dla bilansu cieplnego przyszłych budynków księżycowych. Dodatkowo, w pracach porusza się tematykę wpływu ekstremalnych warunków fizycznych na funkcjonowanie ogniw fotowoltaicznych, jako głównego źródła energii elektrycznej w przestrzeni kosmicznej. Ze względu na relatywną bliskość i dostępność zasobów energetycznych i mineralnych, Księżyc wydaje się być

odpowiednim celem pionierskich działań kolonizacyjnych. Specyficzne parametry orbity okołoziemskiej oraz brak atmosfery i zachodzących w niej zjawisk stwarzają na Księżycu wyjątkowo dobre warunki do pozyskiwania energii poprzez fotokonwersję promieniowania słonecznego.

POLITECHNIKA ŚLĄSKA, GLIWICE

Politechnika Śląska to prestiżowy, europejski uniwersytet techniczny, którego misją jest prowadzenie innowacyjnych badań naukowych i prac rozwojowych, kształcenie wysoko wykwalifikowanych kadr na rzecz społeczeństwa i gospodarki opartych na wiedzy, a także aktywne wpływanie na rozwój regionu i społeczności lokalnych. Na Politechnice Śląskiej badania w obszarze fotowoltaiki prowadzone są na kilku wydziałach.

Na wydziale Automatyki Elektroniki i Informatyki w Katedrze Elektroniki Elektrotechniki Mikroelektroniki w zespole Mikroelektroniki i Nanotechnologii prowadzone są badania nad technologią wytwarzania testowych struktur fotowoltaicznych w celu oceny przydatności specjalnych materiałów stosowanych do realizacji poszczególnych operacji technologicznych. Ogniwo fotowoltaiczne jest doskonałym obiektem do badań nad wybranymi procesami technologicznymi ponieważ umożliwia prowadzenie badań nad wpływem poszczególnych modyfikacji technologicznych na ściśle zdefiniowany i mierzalny parametr, jakim jest sprawność przetwarzania energii słonecznej na energię elektryczną. Szczególną uwagę zwrócono na badania nad technologią wytwarzania warstwy emiterowej w strukturze ogniwa fotowoltaicznego metodą dyfuzji ze specjalnych źródeł domieszek, takich jak: rozwirowywane szkliwa domieszkowe, czy pasty domieszkowe. Prace technologiczne nad wytwarzaniem emiterowej warstwy w strukturze ogniwa fotowoltaicznego uzupełniane są o pomiary, w tym pomiary rezystancji powierzchniowej, głębokości położenia złącza oraz rozkładu koncentracji domieszki, jak również pomiary charakterystyk prądowo-napięciowych testowych struktur fotowoltaicznych, pozwalające na ocenę sprawności przetwarzania wytwarzanych ogniw. Realizowane obecnie prace, jak również badania, jakie planowane są do wykonania w przyszłości przy wykorzystaniu aparatury, powinny dać nowe informacje o możliwości wykorzystania tak zwanych „tanich technik" (źródła spin-on, pasty domieszkowe) do wytwarzania krzemowych ogniw fotowoltaicznych.

Prace w dziedzinie fotowoltaiki prowadzone są w Zespole Mikroelektroniki Nanotechnologii, w którym pracuje 4 naukowców.

Prowadzone są także badania oceny wpływu modyfikacji technologicznych takich jak:

- technika formowania warstwy emiterowej ogniwa n+,
- operacje nakładania warstw pasywujących i warstw antyodblaskowych ARC,

- procedury formowania silnie domieszkowanej warstwy p+ umożliwiającej ukształtowanie tylnego pola zawracającego nośniki BSF,
- techniki formowania przedniej elektrody zbierającej ogniwa na sprawność przetwarzania jednozłączowego krzemowego ogniwa fotowoltaicznego wytwarzanego przy wykorzystaniu tanich technologii takich jak: technika rozwirowywania (spin-on) do formowanie warstw dyfuzyjnych ogniwa i warstw poprawiających sprawność przetwarzania oraz technika bezprądowej selektywnej metalizacji do formowania przedniej elektrody zbierającej.

W obszarze dydaktycznym zagadnienia z obszaru fotowoltaiki poruszane są na kursowych zajęciach prowadzonych na kierunku Elektronika i Telekomunikacja na przedmiotach:

- Elementy Elektroniczne (rok 1, sem. 2) studia S1
- Technologie Mikroelektroniczne (rok 3, sem. 5) studia S1
- Fotowoltaika (rok 4 sem. 8) studia S2.

Na wydziale Mechanicznym Technologicznym realizowane są badania w obszarze fotowoltaiki, które łączą ze sobą wiedzę z dziedzin fizyki (mechanika, optoelektronika), chemii, matematyki, inżynierii materiałowej i technologii produkcyjnych. Ukierunkowane są przede wszystkim na poprawę jakości i stylu życia przez efektywną produkcję i wykorzystanie energii elektrycznej z uwzględnieniem ochrony środowiska. Badania te mają charakter interdyscyplinarny i w ich realizację zaangażowane są wszystkie jednostki Wydziału Mechanicznego Technologicznego. Na szeroką skalę poszukiwane są nietoksyczne materiały przewodzące prąd elektryczny, w szczególności materiały polimerowe, które mogą być stosowane w układach optoelektrycznych i fotowoltaicznych. Stale rozwijana jest wiedza na temat polimerów skoniugowanych i domieszkowania materiałów polimerowych, heterostruktur półprzewodnikowych w kontekście zastosowania ich w organicznych ogniwach fotowoltaicznych, koncentratorach promieniowania słonecznego, czujnikach i urządzeniach optoelektrycznych. Aktualnie trwające badania obejmują ogniwa fotowoltaiczne I, II i III generacji. Szczególną uwagę zwrócono na ogniwa słoneczne krzemowe z laserową teksturą i nanowarstwami antyrefleksyjnymi nanoszonymi metodą atomowego osadzania warstw (ALD), barwnikowe ogniwa słoneczne z nanomateriałami (nanorurki, grafen, nanodruty i nanocząstki oraz polielektrolity w postaci stałej) oraz ogniwa polimerowe z nowoopracowanymi materiałami polimerowymi przewodzącymi prąd. Badania prowadzone są także w kierunku podniesienia sprawności konwersji i obniżenia kosztów produkcji, a także rozszerzenia możliwości aplikacji przez ich integrację z budownictwem lub opracowanie wersji elastycznych. Postęp realizowany jest przez doskonalenie złączy, kontaktów i cech

geometrycznych ogniw, metod obróbki ich powierzchni oraz stosowanie nowych materiałów inżynierskich o unikatowych własnościach. Stąd stałe poszukiwanie nowych materiałów i rozwiązań technologicznych, które pozwolą wytworzyć wysokowydajne ogniwo fotowoltaiczne.

Prowadzone badania realizowane są w ramach badań statutowych i własnych, projektów badawczych własnych, rozwojowych, celowych, zamawianych i promotorskich, a częściowo także w formie prac naukowo-badawczych i usługowych. W ostatnich 3 latach zrealizowano ponad 900 projektów B+R, w tym także wspólnie z przedsiębiorcami oraz z innymi jednostkami naukowymi z Polski i zagranicy. W latach 2017-2020 zgłoszono w UPRP 42 wynalazki patentowe, przyznano 37 patentów, z czego 7 związanych z fotowoltaiką, np. patenty krajowe:

- Krzemowe ogniwo fotowoltaiczne i sposób jego wytworzenia, nr 225486;
- Wielowarstwowe barwnikowe ogniwo fotowoltaiczne i sposób jego wytwarzania, nr 225540;
- Barwnikowe ogniwo słoneczne, na podstawie zgłoszenia nr P.415758.

W latach 2017-2019 liczba opublikowanych artykułów w czasopismach z IF wyniosła 348, a w dorobku jednostki naukowej znajduje się ponad 130 publikacji ściśle związanych z tematem fotowoltaiki, m.in.:

- Environmental performance of dye-sensitized solar cells based on natural dyes, Solar Energy 215 (2021)
- Efficient generation of singlet oxygen by perylene diimide photosensitizers covalently bound to conjugate polymers, Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry 388 (2020)
- Study of dye sensitized solar cells photoelectrodes consisting of nanostructures, Applied Surface Science 491 (2019)
- The influence of atomic layer deposition process temperature on ZnO thin film structure, Applied Surface Science 474 (2019)
- Graphene-based layers deposited onto flexible substrates: Used in dye-sensitized solar cells as counter electrodes, Applied Surface Science, (2017)
- Influence of laser texturization surface and atomic layer deposition on optical properties of polycrystalline silicon, International Journal of Hydrogen Energy, 41(18) (2016)

Jednostka posiada zintegrowany kompleks naukowo-badawczy, złożony z ponad 50 specjalistycznych pracowni, z których każda jest zlokalizowana w jednym lub kilku odrębnych pomieszczeniach, wyposażonych i sukcesywnie doposażonych w wysokiej klasy aparaturę naukowo-badawczą i stawiających je wśród laboratoriów o wysokim potencjale badawczym. Wydział Mechaniczny Technologiczny dysponuje wymaganą aparaturą badawczą oraz technologiczną, niezbędną do re-

alizacji badań z zakresu fotowoltaiki, w tym: mikroskop elektronowy S/TEM Titan 80-300kV firmy FEI, mikroskop skaningowy SUPRA 25 firmy ZEISS wraz z systemem analizy składu chemicznego WDS i EDS oraz systemem analizy dyfrakcyjnej na próbce litej EBSD firmy EDAX, dyfraktometr rentgenowski X-PERT PRO, mikroskop sił atomowych (AFM) firmy Park Systems, spektrometr ramanowski zintegrowany z mikroskopem optycznym firmy Renishaw, dwuwiązkowy spektrofotometr UV/VIS, reaktor ALD (model R-200 firmy Picosun), reaktor PE-CVD SPT320-PE firmy Plasmionique, reaktor PVD 75 firmy Kurt J Lesker, system do pomiaru charakterystyk I-U ogniw słonecznych i mini modułów SS I-V CT-02, specjalistyczne urządzenia Sherescan i Corescan firmy SunLab umożliwiające pomiar parametrów elektrycznych wytworzonych ogniw fotowoltaicznych, w tym rezystancji powierzchniowej, rezystancji kontaktu, typu przewodności P/N, odwzorowanie wartości rezystancji przedniej metalizacji, zlokalizowanie upływów prądu np. wzdłuż krawędzi ogniwa, rozkład prądu indukowanego wiązką światła oraz napięcia obwodu otwartego ogniwa fotowoltaicznego, sitodrukarka półautomatyczna S5070, sitodrukarka MS300FRO, piec tunelowy taśmowy PFO-200, piec tunelowy taśmowy PFO-110, piec dyfuzyjny PDO-180M, piec dyfuzyjny PDO-60M.

Na Wydziale Mechanicznym Technologicznym fotowoltaika została wprowadzona do programu studiów jako część podstawowych oraz specjalistycznych zajęć (wykładów, laboratoriów, projektów), które prowadzone są na pierwszym i drugim stopniu kształcenia dla kierunków Inżynieria i Technologie Materiałowe, Nanotechnologia, Mechanika i Budowa Maszyn, Mechatronika Przemysłowa, Inżynieria Produkcji i Zarządzania głównie w ramach przedmiotów Odnawialne źródła energii, Podstawy nauki o materiałach, Materiały funkcjonalne, Zaawansowane materiały inżynierskie, Zaawansowane metody badań, Materiały funkcjonalne i gradientowe, Nanomateriały konstrukcyjne, Materiały funkcjonalne i nanostrukturalne, Innowacyjne materiały i technologie, Nowoczesne materiały polimerowe i nanokompozytowe na osnowie polimerów, Powłoki gradientowe i wielofazowe.

Celem prowadzonych zajęć jest przekazanie uczestnikom studiów profesjonalnej wiedzy z zakresu odnawialnych źródeł energii ze szczególnym uwzględnieniem fotowoltaiki oraz praktycznych umiejętności z zakresu technologii wytwarzania oraz metod charakteryzacji różnego rodzaju materiałów i ogniw fotowoltaicznych.

Ponadto studenci są włączani w badania naukowe dotyczące fotowoltaiki za pośrednictwem kół naukowych oraz nauczania zorientowanego projektowo, w związku z udziałem Politechniki Śląskiej w programie Inicjatywa Doskonałości – Uczelnia Badawcza.

Innym obszarem działalności Politechniki Śląskiej upowszechnianie nauki w obszarze PV. Organizowane są cykliczne seminaria naukowe pt.:„Odnawialne i alternatywne źródła energii oraz energetyka prosumencka" o których informację można znaleźć na

stronie Politechniki Śląskiej. Ponadto w roku 2021 w dniach 15-16.04 organizowana jest I Międzynarodowa Konferencja „Priorytetowe Obszary Politechniki Śląskiej – osiągnięcia i wyzwania". W roku 2019 zorganizowana została Międzynarodowa Konferencja MTS Material Technologies in Silesia oraz planuję się organizacje kolejnych edycji. Przygotowano również wniosek projektu „Zrównoważona gospodarka energetyczna w inteligentnej przestrzeni publicznej na rzecz ochrony klimatu i środowiska naturalnego" w ramach naboru do programu SPINAKER – Intensywne Międzynarodowe Programy Kształcenia ogłoszonego przez Narodową Agencję Wymiany Akademickiej NAWA w ramach którego planowane jest przygotowaniu programu szkoleń dla doktorantów w zakresie alternatywnych źródeł energii w tym fotowoltaiki.

Na Wydziale Elektrycznym prowadzone są badania które obejmują:

- Zagadnienia związane z przetwarzaniem, magazynowaniem i lokalnym wykorzystaniem energii wytworzonej w źródłach PV. W ramach badań opracowano przykładowo wysokosprawne przekształtniki zapewniające uzyskiwanie mocy maksymalnej indywidualnie dla każdego z paneli (tzw. układy Power Optimizer) oraz rozwiązania pozwalające na integrację instalacji PV z zasobnikami energii oraz zarządzaniem pracą odbiorników u prosumenta w celu lepszego lokalnego wykorzystania energii. Badania realizowano w ramach wspólnych projektów oraz prac naukowo-badawczych dla przedsiębiorców.
- Zagadnienia związane z optymalizacją mocy instalacji PV pod względem zużycia energii u odbiorców oraz bilansowania energii (np. w ramach klastra energetycznego). Realizowano również prace w zakresie odpowiedniego doboru mocy źródeł odnawialnych (OZE) do określonego zapotrzebowania.
- Prace koncepcyjne związane z zapewnieniem odpowiedniego miksu energetycznego w Polsce w przyszłości.
- Prace związane z integracją instalacji PV z systemem elektroenergetycznym i wynikających z tego interakcji.
- Badania technologiczne nad opracowaniem struktur warstwowych do zastosowań w fotowoltaice. Badania te zmierzają do opracowania zwierciadeł dielektrycznych i struktur antyrefleksyjnych o zakładanych charakterystykach spektroskopowych i pożądanych właściwościach hydrofobowych. Struktury te wytwarzane są z zastosowaniem opracowanych warstw ditlenu krzemu i ditlenku tytanu, których współczynniki załamania mogą być kształtowane w szerokim zakresie. Warstwy wytwarzane są metodą zol-żel i techniką dip-coating. Zwierciadła dielektryczne, projektowane na określony zakres spektralny do zastosowań w koncentratorach promieniowania słonecznego, natomiast struktury antyrefleksyjne przede wszystkim w szybach zabezpie-

czających ogniwa fotowoltaiczne. Realizowana tematyka badawcza zakłada również opracowanie sposobu modyfikowania powierzchni wytwarzanych struktur w kierunku nadania im właściwości samoczyszczących.
- Badania technologiczne nad opracowaniem elektrod transparentnych do zastosowań w fotowoltaice wytwarzanych z użyciem metody zol-żel. Zakładane jest opracowanie transparentnych polikrystalicznych (TiO2) elektrod o zakładanym współczynniku załamania i wymaganej szerokości optycznej przerwy zabronionej.

Wydział Elektryczny Politechniki Śląskiej jest od lat związany z zagadnieniami dotyczącymi źródeł OZE. Jego kompetencje obejmują m in.:
- Zagadnienia dotyczące projektowania i konstruowania przekształtników przeznaczonych dla źródeł OZE oraz ich układów sterowania.
- Analizy możliwości wykorzystania źródeł OZE w bilansowaniu mocy i optymalizacji ich doboru.
- Analizy wpływu źródeł OZE na działanie systemu elektroenergetycznego.
- Modelowanie obwodowe układów współpracujących ze źródłami OZE, wspomagające ich projektowanie. Modelowanie polowe wybranych komponentów w układach współpracujących ze źródłami OZE.

Infrastruktura obejmuje m. in.:
- Oprogramowanie do modelowania (np. Matlab Simulink, GeckoCIRCUITS, Ansys).
- Oprogramowanie do projektowania obwodów drukowanych.
- Oprogramowanie do tworzenia programów sterujących na sterowniki mikroprocesorowe i bazujące na cyfrowych układach programowalnych.
- Symulatory paneli fotowoltaicznych (do 500 V, do 60A, do 1,5 kW) umożliwiające testowanie układów w stanach statycznych oraz dynamicznych zmian nasłonecznienia, a także badanie działania algorytmów MPPT.
- Analizatory jakości energii elektrycznej.
- Analizatory mocy do badania sprawności przekształtników.
- Stanowiska do badania zaburzeń przewodzonych.

Oferta dotycząca usług B+R dotyczy wyżej wymienionego zakresu. W szczególności obejmuje: badania symulacyjne nowych rozwiązań, opracowywanie algorytmów sterowania, projektowanie i wykonywanie rozwiązań prototypowych w zakresie przekształtników dla źródeł PV oraz ich sterowników, badań laboratoryjnych rozwiązań stosowanych dla instalacji PV. Dodatkowo oferta obejmuje prace koncepcyjne i analizy związane z realizacją określonych instalacji z panelami PV.

Na Wydziale Elektrycznym Politechniki Śląskiej od lat prowadzone są także badania technologiczne nad wytwarzaniem warstw dielektrycznych i układów

wielowarstwowych metodą zol-żel i techniką dip-coating. Dotychczas opracowano:

- technologię wytwarzania mezoporowatych warstw ditlenku krzemu, których współczynniki załamania mogą być skalowane w zakresie od 1,22 do 1,46.
- technologię wytwarzania mezoporowatych warstw ditlenku tytanu o współczynnikach załamania od 1,6 do 2,3.
- technologię wytwarzania kompozytowych warstw SiO2:TiO2, których współczynniki załamania mogą być skalowane w zakresie od 1,46 do 1,95.
- Zwierciadła dielektryczne o maksymalnym współczynniku odbicia 97% i szerokości połówkowej głównego piku 200 nm.
- Jedno- i dwuwarstwowe struktury antyrefleksyjne o całkowitym współczynniku odbicia fotonów promieniowania słonecznego (300-1100 nm) poniżej 4%.
- Krzemionkowe warstwy pasywujące podłoża stalowe, tytanowe i stopów tytanu.

Infrastruktura badawcza obejmuje: laboratorium technologiczne przygotowania zoli i wytwarzania warstw oraz laboratorium pomiarowe charakteryzacji struktur warstwowych, wyposażone w elipsometr monochromatyczny SE 400 SENTECH, spektrofotometry światłowodowe Ocean-Optics HR4000CG na zakres UV-Vis z rozdzielczością 0,75 nm oraz spektrometr NIR-512, spektrometr światłowodowy Avantes AvaSpec-ULS-TEC na zakres spektralny UV-Vis, źródło światła Avantes AvaLight--DH-S-BAL na zakres spektralny UV-Vis-NIR, sfera całkująca ISP-80-8-R, mikroskop sił atomowych Ntegra Prima (NT-MDT, .

Ponadto opracowali własne, specjalistyczne oprogramowanie do analizy i projektowania struktur warstwowych.

Na Wydziale Elektrycznym Politechniki Śląskiej prowadzone są również studia na kierunku Energetyka o specjalności Energetyka Prosumencka. Są to studia I stopnia o profilu praktycznym.

Celem studiów jest nabycie wiedzy i umiejętności niezbędnych inżynierowi w okresie przebudowy wielkoskalowej energetyki opartej na wykorzystaniu paliw kopalnych do rozproszonej energetyki zrównoważonej, która będzie oparta na różnych źródłach energii odnawialnej. Zakłada się, że w przyszłości nowoczesna energetyka będzie zarządzana przez prosumentów za pomocą informatycznych rozwiązań infrastruktury smart grid. Nastąpi bardzo silne związanie wytwarzania energii w mikroźródłach z Internetem, który będzie umożliwiał sprzedaż i kupowanie tej energii.

W ramach studiów na specjalności Energetyka Prosumencka znaczący nacisk położony jest na zagadnienia związane z technologią fotowoltaiczną. Przykładowe przedmioty związane z tymi zagadnieniami to: Technologie odnawialnych źródeł energii (OZE), Podstawy fotoniki i fotowoltaiki, Technologie smart grid, Narzędzia

komputerowe w energetyce OZE, Komputerowe wspomaganie projektowania PME, Przekształtniki energoelektroniczne w instalacjach prosumenckich.

Ze względu na profil praktyczny studiów bardzo istotne są zagadnienia praktyczne. Studenci są zobligowani do odbycia półrocznych praktyk w przedsiębiorstwach związanych z technologią OZE.

POLITECHNIKA WARSZAWSKA

Jednym z obszarów badań prowadzonych na Politechnice Warszawskiej, których wyniki mogą zostać wykorzystane w fotowoltaice, jest opracowanie kompozytu, w którym nanocząstki srebra wraz z odpowiednio skomponowanym nośnikiem tworzą funkcjonalną zawiesinę o odpowiedniej reologii dostosowanej do nanoszenia technikami drukarskimi. Kompozyt ten zbudowany jest na bazie nanocząstek srebra pozyskiwanych metodami termicznej redukcji prekursora, oraz poddawany obróbce termicznej po naniesieniu na podłoże, celem wytworzenia warstwy przewodzącej. Produkt jest przeznaczony do wykorzystania w elektronice przy wytwarzaniu niskospiekalnych ścieżek przewodzących ale także w fotowoltaice do wytwarzania elektrod przednich i tylnych na ogniwach fotowoltaicznych. Unikatowa kompozycja proszku, wraz z fazą funkcjonalną, może stanowić dobrą alternatywę dla procesów elektrochemicznego wytwarzania powłok na podłożach metali nieżelaznych, głównie miedzi i aluminium[112,113]. Jednostka ta prowadzi także aktualnie badania nad metodą druku aerozolowego pozwalającą na wytwarzanie wysoko przewodzących ścieżek na szerokiej gamie podłoży, w tym na podłożach elastycznych. Do głównych zalet tej metody można zaliczyć addytywny charakter procesu, nanoszenie warstw w sposób bezkontaktowy, ciągły oraz wysoce powtarzalny. Dzięki wysokiej rozdzielczości druku aerozolowego możliwe jest wykonywanie skomplikowanych wzorów nawet na niepłaskich podłożach, co zwiększa atrakcyjność metody oraz możliwości jej aplikacji. W szczególności mogą one znaleźć zastosowanie w fotowoltaice do wytwarzania metalowych elektrod grzebieniowych na ogniwach fotowoltaicznych. Ścieżki te mogą być spiekane w stosunkowo niskich temperaturach i charakteryzować się niską szerokością rzędu 10 µm. Aktualnie badania znajdują się na 3 poziomie TRL i prowadzone są rozmowy z przedsiębiorcami celem wybrania partnera lub partnerów do dalszego rozwoju metody. Najbardziej zaawansowane rozmowy dotyczą wytwarzania grzebieniowych elektrod katodowych do ogniw fotowoltaicznych.

[112] K. Kiełbasiński, J. Krzemiński, A. Młożniak, E. Zwierkowska, O. Jeremiasz, M. Jakubowska, J. Szałapak, R. Pawłowski, *New technology of silvering aluminium busbar joints with the use of printable paste containing nano-size Ag particles*, J Mater Sci: Mater Electron (2015) 26:1832–1837, DOI 10.1007/s10854-014-2618-3

[113] M. Jakubowska, M. Jarosz , O. Jeremiasz, A. Młożniak, M. Teodorczyk, *Method of silvering surfaces, especially aluminium surfaces*, *EP2447313*, 2013

POLITECHNIKA WROCŁAWSKA

W Katedrze Technologii Kwantowych Wydziału Podstawowych Problemów Techniki Politechniki Wrocławskiej prowadzi się charakteryzację fotoogniw metodami elektro-optycznymi oraz badania spektroskopowe technikami optycznymi. Jednym z kierunków badań jest charakteryzacja struktur fotowoltaicznych na bazie nanosłupków z tlenku cynku oraz krzemu. Jednocześnie badano wpływ nanocząstek metalicznych (srebra i złota) na sprawność takich ogniw. Efekty plazmoniczne były również badane w ogniwach słonecznych bazujących na krzemie oraz perowskitach. Kolejnym kierunkiem badań jest charakteryzacja głębokich defektów w warstwach i złączach. Przy użyciu metody DLTS badane są między innymi struktury na bazie ZnO/Si, CdTe/ZnTe, CdMgTe/ZnTe, AlN/GaN. W Katedrze Technologii Kwantowych wykonywane są również pomiary spektroskopowe właściwości strukturalnych (spektroskopia Ramana) i emisyjnych (fotoluminescencja), które pozwalają na zbadanie właściwości struktur wykorzystywanych, jako ogniwa fotowoltaiczne oraz na poznanie ich podstawowych parametrów.

Wydział Elektroniki Mikrosystemów i Fotoniki Politechniki Wrocławskiej prowadzi badania naukowe dedykowane PV, które realizowane są w ramach pięciu wydziałowych Zakładów. Główne kierunki i problematyka badań obejmują m.in.: technologię osadzania warstw epitaksjalnych różnych związków półprzewodnikowych, technik obrazowania i pomiarów w nanoskali, mikroinżynierii i techniki sensorowej z wykorzystaniem mikrosystemów, próżniowych procesów osadzania i diagnostyki struktur cienkowarstwowych, technologii grubowarstwowych i LTCC, jak również zagadnień związanych z montażem i eksploatacją aparatury elektronicznej.

We współpracy z naukowcami z Instytutu Fizyki PAN opracowywane są plazmoniczne ogniwa słoneczne na bazie ZnO/Si. Do budowy tego rodzaju ogniw wykorzystywana są nanocząstki metali. Dzięki wzbudzeniom plazmonowym możliwe jest zwiększenie absorpcji fotoogniw. To zjawisko jest powszechnie wykorzystywane w ogniwach krzemowych oraz organicznych[114,115]. W ramach prac udało się wytworzyć ogniwa bazujące na nanosłupkach tlenku cynku oraz krzemie (ZnO NRs-Si)[116]. Wyniki badań pokazały, że dzięki zastosowaniu nanocząstek srebra można zwiększyć ich sprawności[117]. Należy podkreślić, że nanocząstki mogą zostać wykorzystane do zwiększenia sprawności w różnych rodzajach fotoogniw. Jednocześnie można je umieszczać na złączu, w złączu oraz na tylnej elektrodzie. To sprawia, że potencjalne

[114] Starowicz Z. I in., 2017, Solar Energy 158, 610-616
[115] Lipiński M. I in., 2017, Archives of Metallurgy and Materials 62(3), 1733-1739
[116] Pietruszka R. i in., 2017, Solar Energy 155, 1282-1288
[117] Popko E. i in., 2015, Journal of Applied Physics 117(19), 193101

zastosowania nanocząstek są bardzo duże. Jednakże prace optymalizacyjne dotyczące wielkości oraz materiałów nanocząstek wciąż trwają między innymi w ramach projektów wspieranych przez Narodowe Laboratorium Technologii Kwantowych (POIG. 02.02.00-00-003/08-00).

Na Politechnice Wrocławskiej prowadzone są także badania nad funkcjonalnymi powłokami optycznymi, które stanowią obecnie integralną część w większości przyrządów, zarówno stosowanych w optyce, jak i w szeroko rozumianej optoelektronice i fotonice. Odpowiednie ukształtowanie przebiegu charakterystyki transmisji (lub odbicia) światła powłoki nałożonej na optycznie bierne podłoże, umożliwia między innymi wytwarzanie takich przyrządów, jak filtry optyczne, czy lustra interferencyjne. Z kolei, nałożenie odpowiedniej powłoki na powierzchnię gotowego przyrządu optoelektronicznego, np. detektora, czy ogniwa fotowoltaicznego pozwala zminimalizować straty odbiciowe, dzięki czemu zwiększa się sprawność konwersji światła w prąd elektryczny. Innym ciekawym tematem badawczym z obszaru fotwoltaiki są przezroczyste tlenki o właściwościach półprzewodnikowych (*TOS – Transparent Oxide Semiconductors*). Prace prowadzone są w celu znalezienia nowych materiałów typu TOS w postaci cienkich warstw. Do modyfikacji wysokorezystywnych tlenków na bazie TiO_2 stosuje się pallad oraz wanad. Wyniki badań pokazały, że w wytworzonych heterostrukturach typu cienka warstwa TOS-krzem występują w temperaturze pokojowej efekty fotowoltaiczne. Na podstawie analizy wyników badań stwierdzono, że w wytworzonych metodą rozpylania magnetronowego heterostrukturach na bazie tlenków Ti-V typu cienka warstwa TOS-krzem występują w temperaturze pokojowej efekty fotowoltaiczne. Tego typu warstwy mogłyby znaleźć zastosowanie w transparentnej elektronice, ponieważ w zależności od ilości dodatku wanadu charakteryzują się różnym typem przewodnictwa, a także mają dużą przezroczystość dla światła w zakresie widzialnym. Oznacza to, że można je zaliczyć do grupy materiałów typu TOS.

Kolejnym kierunkiem badań są prace nad opracowaniem powłok fotokatalitycznych na bazie TiO_2 do zastosowania na panele fotowoltaiczne. Powłoki te badane są pod kątem właściwości strukturalnych i optycznych w powiązaniu z aktywnością fotokatalityczną cienkich warstw TiO_2 domieszkowanych europem. Powłoki nanosi się w wysokoenergetycznym procesie rozpylania magnetronowego, który pozwala uzyskać bezpośrednio po naniesieniu (bez dodatkowego wygrzewania w wysokiej temperaturze) nanokrystaliczne warstwy dwutlenku tytanu o strukturze rutylu. Domieszkowanie europem pozwala znacząco zmodyfikować strukturę warstw TiO_2 i uzyskać w wysokoenergetycznym procesie strukturę typu anatazu. Dzięki temu możliwe jest, przy zachowaniu bardzo dobrych parametrów optycznych cienkich warstw (np. dużej przezroczystości w zakresie widzialnym), uzyska-

nie powłok o większej aktywności fotokatalitycznej. Wytworzone cienkie warstwy TiO_2:Eu mogą z powodzeniem znaleźć zastosowanie m.in. w fotowoltaice, jako powłoki samoczyszczące na panele szklane. Udało się wytworzyć cienkie warstwy TiO_2 domieszkowanych europem, które mogą zostać zastosowane, jako powłoki samoczyszczące na szyby w panelach fotowoltaicznych. Jest to związane z 2,5 krotnie większa aktywnością fotokatalityczną i odpornością na ścieranie nanokrystalicznych warstw TiO_2:Eu w porównaniu do referencyjnej warstwy TiO_2. Badania dotyczą także analizy mechanizmu przepływu prądu w ogniwie słonecznym typu p-i-n, wykonanym na bazie heterostruktury AlGaAs/GaAs/GaAsN metodą epitaksji z fazy gazowej z zastosowaniem związków metaloorganicznych, przy ciśnieniu atmosferycznym. Badany jest wpływ po-wzrostowego procesu wygrzewania struktury epitaksjalnej na parametry użytkowe wytworzonego ogniwa słonecznego. Szczegółowa analiza zmierzonych charakterystyk j-V-T pozwoli na określenie dominującego mechanizmu przepływu prądu w strukturze badanego ogniwa z absorberem GaAsN.

UNIWERSYTET RZESZOWSKI

Do głównych kierunków badań naukowych oraz prac rozwojowych realizowanych przez jednostkę w obszarze PV zaliczyć należy:

- Fotokonwersja promieniowania elektromagnetycznego przez krzemowe krystaliczne i polikrystaliczne elementy fotowoltaiczne w warunkach naturalnych oraz laboratoryjnych;
- Optymalizacja technologii wytwarzania struktur fotowoltaicznych na bazie tlenku tytanu i tlenku miedzi.
- Badanie materiałów termoizolacyjnych stosowanych w budownictwie pasywnym (współczynnik przewodnictwa cieplnego, rezystancja cieplna, itp.)
- Charakterystyki widmowe punktowych źródeł światła.
- Realizacja współpracy badawczej z ML SYSTEM S.A. (jako podwykonawca) w ramach współpracy badawczej w zakresie wykonywania testów ogniw QS130CA i modułów QS830A fotowltaicznych z jednostkami współpracującymi z Uniwersytetem Rzeszowskim poprzez Uniwersyteckie Centrum Transferu Technologii.
- Współpraca naukowo-badawcza w zakresie opiniowania i wykonywania ekspertyz naukowych z zakresu fotowoltaiki.

Uniwersytet Rzeszowski posiada także odpowiednie zasoby ludzkie, a w tym 2 pracowników w Pracowni Odnawialnych Źródeł Energii, 2 pracowników w Pracowni Technologii Pokryć Ochronnych oraz 4 pracowników w pracowni Mikroskopii Elektronowej i Preparatyki.

Infrastruktura badawcza w Pracowni Odnawialnych Źródeł Energii to:

– System do określania własności optycznych i elektrycznych czujników i modułów fotowoltaicznych wraz z podsystemami: symulatorem Słońca do cechowania modułów fotowoltaicznych oraz do cechowania ogniw fotowoltaicznych. Stanowisko do testowania modułów fotowoltaicznych w warunkach naturalnego nasłonecznienia oraz laboratoryjny układ hybrydowy siłownik wiatrowy-moduł fotowoltaiczny. Spektrometryczny system do badania odpowiedzi spektralnej elementów fotowoltaicznych i energooszczędnych źródeł światła, a w nim spektrometr fotoelektryczny do badania odpowiedzi spektralnej ogniw fotowoltaicznych, stanowisko do wyznaczania widmowych i oświetleniowych charakterystyk energooszczędnych źródeł światła, system do badania własności fotokonwersji promieniowania elektromagnetycznego w warunkach laboratoryjnych oraz system monitoringu i badania własności fotokonwersji promieniowania słonecznego.Zestaw do badania ogniw paliwowych małej mocy z elektrolizerem.

W Pracowni Technologii Pokryć Ochronnych znajduje się ponadto: modularna platforma osadzania PVD z komputerowym systemem kontroli i sterowania z możliwością wytwarzania cienkich warstw i struktur, między innymi do zastosowań w ogniwach fotowoltaicznych. Platforma ta daje także możliwość jedno i wielozródłowego podawania materiału w procesie osadzania metodami PVD w środowisku neutralnym i w środowisku gazów reaktywnych. Ponadto dostępne są techniki wytwarzania to rozpylanie termiczne, rozpylanie magnetronowe RF oraz DC, rozpylanie wiązką elektronową oraz rozpylanie przy użyciu wiązki laserowej.

W Pracowni Mikroskopii Elektronowej i Preparatyki znajduje się:

– Mikroskop FEI Tecnai Osiris – cyfrowy wysokorozdzielczy 200 kV analityczny system transmisyjnego mikroskopu elektronowego (TEM), wyposażony w układ skanujący (STEM) z detektorami HAADF i BF/DF oraz spektrometr energodyspersyjny EDX. Zdolność rozdzielcza mikroskopu – poniżej 0,25 nm (w trybie STEM poniżej 0,18 nm) oraz limit informacyjny poniżej 0,14 nm.Mikroskop SEM/FIB: FEI Quanta 200i – tzw. dual beam operujący dwoma wiązkami: elektronów i jonów. Wiązka elektronów wykorzystywana jest do obrazowania struktury a wiązka jonów do wycinania preparatów oraz obrazowania. Mikroskop SEM/FIB cechuje się zdolnością rozdzielczą dla detektora SE w wysokiej oraz niskiej próżni nie gorszą niż 3 nm przy 30kV, a dla kolumny jonowej nie gorszą niż 7 nm przy napięciu 30 kV a także plasma Cleaner do oczyszczania preparatów w strumieniu plazmy argonu przed obrazowaniem w mikroskopie TEM.

Kompilacja mikroskopu transmisyjnego FEI Tecnai Osiris i mikroskopu jonowo-elektronowego FEI Quanta 3D 200i stanowi unikatową aparaturę wykorzystywaną do charakterystyki materiałów w skali atomowej.

Do zadań badawczych realizowanych przy wykorzystaniu aparatury Pracowni Mikroskopii Elektronowej i Preparatyki należą: określanie morfologii powierzchni, postaci i wielkości wtrąceń badanych preparatów, analiza wad struktury (pęknięcia, niejednorodność składu, dyslokacje) badanych preparatów, analiza składu chemicznego (ilościowa i jakościowa) w mikro- i nanoobszarach, określanie wielkości, kształtu i rozmieszczenia wydzieleń, obrazowanie struktury granic ziarn, wielkości domen antyfrazowych, identyfikacji faz, identyfikacji orientacji kryształów, identyfikacji zależności krystalograficznych między fazami, określanie topografii powierzchni preparatów, przygotowanie preparatów (cienkich folii) do badań strukturalnych i dyfrakcyjnych TEM i SEM.

Uniwersytet Rzeszowski wprowadził fotowoltaikę do programu studiów na wielu poziomach. Wyróżnić tu można studia I stopnia na kierunku Odnawialne Źródła Energii i Gospodarka Odpadami i wstępuje jako część podstawowego wkładu Fizyczne aspekty produkcji energii oraz Technologie w energetyce odnawialnej. Na tym samym kierunku na studiach drugiego stopnia PV wstępuje jako część specjalistycznego wykładu oraz pracowni Modelowanie procesów w energetyce i gospodarce odpadami.

Na kierunku Inżynieria Materiałowa na studiach II stopnia wprowadzono tematykę systemów do badania fotokonwersji promieniowania elektromagnetycznego (i są tu podstawy budowy i zasady działania barierowych ogniw PV, najnowsze informacje o nowoczesnych technologiach wytwarzania wysokowydajnych ogniw PV wraz z aktualizowanymi rekordami wydajności ogniw (raporty NREL), dane dotyczące ogniw na kropkach kwantowych, ogniw barwnikowych, cienkowarstwowych ogniw II i III generacji, szeroko pojęte zastosowanie ogniw PV w badaniach kosmosu, w przemyśle budowlanym, lotniczym, transporcie samochodowym, morskim, w sprzętach gospodarstwa domowego itp., w ramach pracowni studenci testują krzemowe ogniwa fotowoltaiczne i moduły fotowoltaiczne za pomocą symulatorów promieniowania słonecznego.

W ramach specjalistycznego wykładu i ćwiczeń laboratoryjnych Zaawansowane Metody Badań Materiałów dla studiów drugiego stopnia zagadnienia PV stanowią 20% programu wykładu i 20% programu zajęć laboratoryjnych. W ramach Pracowni specjalistycznej na kierunku Fizyka medyczna częściowo zagadnienia fotowoltaiki są wprowadzone w postaci eksperymentalnego badania jakości krzemowych elementów fotowoltaicznych przeprowadzanych w standardowych warunkach testowych, a w ramach wykładu z Nowoczesnych Materiałów Inżynierskich na kierunku

prezentowane są najnowsze informacje na temat wytwarzania i charakteryzowania materiałów pracujących w zakresie podczerwieni i stosowania ich jako ogniwa słoneczne.

Na kierunku Inżynieria Materiałowa wprowadzona będzie od kolejnego cyklu kształcenia Inżynieria Materiałów dla Ekoenergetyki (w brzmieniu roboczym, nie zaakceptowanym jeszcze przez Radę Dydaktyczną Kolegium Nauk Przyrodniczych UR).

Uczelnia posiada w swojej ofercie studia podyplomowe z Zakresu Odnawialnych Źródeł Energii. Kilka lat temu odbyło się kilka edycji takich studiów i ofertę tę ponawiamy od najbliższych cyklów kształcenia w naszym Kolegium.

Ponadto, jednostka na bieżąco prowadzi różnorodne działania upowszechniające we współpracy z Podkarpackim Klastrem Energii Odnawialnej www.energia.rzeszow.pl

UNIWERSYTET ŚLĄSKI, KATOWICE

Instytut Chemii na Wydziale Matematyki, Fizyki i Chemii Uniwersytetu Śląskiego podejmuje w dziedzinie fotowoltaiki tematykę badawczą z zakresu syntezy oraz kompleksowej charakterystyki właściwości nowych materiałów organicznych projektowanych, jako komponenty dla ogniw PV. Syntezy prowadzone są w trzech kierunkach, mających na celu otrzymanie związków dla ogniw (i) o heterozłączu objętościowym (BHJ), (ii) barwnikowych (DSSC) oraz (iii) perowskitowych. Główne zagadnienia badawcze skupiają się na określaniu zależności pomiędzy budową syntezowanych związków chemicznych, a właściwościami nowych materiałów i ogniw zawierających te związki.

Pracownicy naukowi Instytutu Chemii posiadają bogate doświadczenie w zakresie syntezy i charakterystyki małocząsteczkowych związków organicznych oraz polimerów, pozwalające na świadome modyfikowanie budowy chemicznej otrzymywanych materiałów w celu dostosowania ich właściwości do zakładanej funkcjonalności. Ważną część badań stanowią próby wykorzystania wyselekcjonowanych materiałów, jako komponentów warstw aktywnych w ogniwach fotowoltaicznych. W ramach zrealizowanych prac otrzymano w reakcji kondensacji szereg zasad Schiffa, a także azometinodiimidów. Budowę chemiczną syntezowanych związków potwierdzono za pomocą metod spektroskopowych (1H i 13C NMR), FTIR oraz analizy elementarnej. Następnie poddano je szczegółowym badaniom fizykochemicznym: termicznym (DSC, TGA), elektrochemicznym, absorpcyjnym, jak również emisyjnym. Finalnie wyselekcjonowane cząsteczki przetestowano, jako składniki warstw aktywnych w ogniwach fotowoltaicznych o heterozłączu objętościowym (BHJ).

UNIWERSYTET TECHNOLOGICZNO-HUMANISTYCZNY, RADOM

Na Uniwersytecie Technologiczno-Humanistycznym w Radomiu prowadzi się między innymi badania nad autonomicznymi systemami zasilania opartymi na ogniwach fotowoltaicznych. Badania prowadzone są w oparciu o rzeczywiste systemy w warunkach naturalnych. Centrum Kompetencji Fotowoltaicznych oraz Koło Stowarzyszenia Elektryków Polskich działające przy Uniwersytecie Technologiczno-Humanistycznym im. K. Pułaskiego w Radomiu prowadzą także szkolenia przygotowujące do egzaminu na Certyfikowanego Instalatora OZE w zakresie instalacji fotowoltaicznych.

WOJSKOWY INSTYTUT TECHNIKI INŻYNIERYJNEJ, WROCŁAW

Wrocławski Wojskowy Instytut Techniki Inżynieryjnej prowadzi badania nad polimerowymi ogniwami fotowoltaicznymi stosowanymi jako elementy zintegrowanego systemu samoładującego sprzężonego z baterią litowo-jonową. Prace prowadzone są w ramach projektu: Polimery ciekłokrystaliczne jako elektrolity stałe w zintegrowanym samoładującym systemie magazynującym energię elektryczną finansowanego przez Ministerstwo Obrony Narodowej. Projekt zakłada skonstruowanie systemu zawierającego polimerowe ogniwo fotowoltaiczne na bazie pochodnych polimerów tiofenowych jak PTB7 oraz PEDOT: PSS, jako warstwy organiczne. Następnie ogniwo fotowoltaiczne zostanie połączone z baterią litowo-jonową nowym elektrolitem stałym. Jednym z głównych celów tego projektu jest otrzymanie autonomicznego systemu zdolnego wytwarzać i jednocześnie magazynować energię elektryczną z myślą o mobilnych aplikacjach. Prowadzone są także badania nad opracowaniem polimerowych ogniw fotowoltaicznych, które zostaną wykorzystane jako elementy zintegrowanego systemu samoładującego sprzężonego z baterią litowo-jonową.

Krajowy sektor przedsiębiorstw branży PV

W chwili obecnej, głównie dzięki programom wsparcia, polski sektor branży PV to w głównie firmy zajmujące się sprzedażą komponentów i montażem instalacji fotowoltaicznych. Jak podaje Business Insider oraz portal wysokienapiecie.pl w 2021 roku w Polsce działało 20 959 sprzedawców paneli fotowoltaicznych. Dlatego nie sposób opisać szczegółowo wszystkich firm działających na rynku PV w Polsce.

Niemniej jednak, polski rynek PV to nie tylko handel i instalacje PV. W kraju działają także firmy które zajmują się produkcją modułów PV oraz takie, które rozwijają innowacyjne technologie w obszarze fotowoltaiki. Opisanie wszystkich kilkudziesięciu tysięcy podmiotów przekraczałoby ramy niniejszego opracowania dlatego też poniżej znalazły się informacje na temat wybranych firm z branży fotowoltaicznej.

Informacje opracowano na podstawie ogólnodostępnych materiałów znajdujących się na stronach opisywanych podmiotów a w szczególności na podstawie informacji przekazanych bezpośrednio przez wybrane podmioty w związku z organizacja II Krajowej Konferencji Nauki i Przemysłu „Fotowoltaika 2025".

Należy wyraźnie podkreślić, że podobnie jak w przypadku jednostek naukowych zestawienie ma charakter informacyjny, i nie obejmuje wszystkich firm z obszaru PV działających na polskim rynku.

ABRAXAS

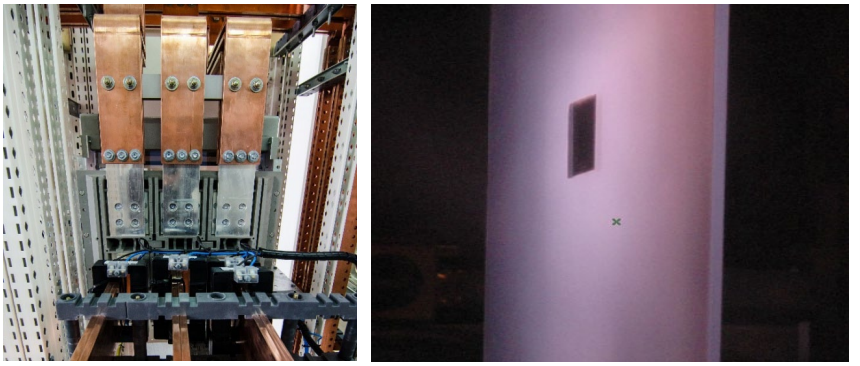
ul. Piaskowa 27, 44-300 Wodzisław Śląski
www.abraxas.com.pl

Firma ABRAXAS Olgierd Jeremiasz obecna jest na rynku od 2003 roku specjalizując się w biznesie branży energetycznej i badawczo-rozwojowej. ABRAXAS aktywnie działa na styku świata polskiej nauki i biznesu, kojarząc podmioty gospodarcze branży energetycznej z jednostkami naukowymi. Firma posiada doświadczony zespół badawczy a prowadzone prace skupiają się na badaniach o dużym potencjale aplikacyjnym i rynkowym. Firma ABRAXAS w badaniach i rozwoju skupia się głównie na przemyśle elektroenergetycznym.

Była zaangażowana w wiele projektów badawczo-rozwojowych, takich jak:

– „Pasty na bazie nanoproszków srebra do zastosowań w elektronice i elektroenergetyce", program Demonstrator+, wsparcie dla prac naukowo-rozwojowych na poziomie demonstracji, numer projektu UOD-DEM-1-215/001, lider projektu

– „Nowa generacja past opartych na nanoproszkach srebra do zastosowań w elektronice", projekt badawczo-rozwojowy nr 02-0088-10/2011, NCBiR – realizowany w Instytucie Technologii Materiałów Elektronicznych, partner/konsorcjant projektu
– „Epitaksjalne warstwy krzemowe oraz fluorescencyjne materiały światłoczułe do fotoogniw nowej generacji", projekt nr 150-0030-04, podwykonawca.
– Projekt „Materiały termoprzewodzące nowej generacji do zastosowań w elektronice". Program INNOCHEM, Projekt nr: POIR.01.02.00-00-0009/16,



Rys. 14. Szynoprzewody pokryte nanosrebrem – z lewej, ma tryca z luminoforem emitującym promieniowanie w zakresie bliskiej podczerwieni – z prawej, (zdjęcia za zgodą Abraxas Olgierd Jeremiasz)

Firma jest także właścicielem patentu na Ogniwo Słoneczne – P. 380136. Dzięki uczestnictwu w projektach badawczo-rozwojowych zespół ABRAXAS osiągnął wszechstronną wiedzę w zakresie nanotechnologii, a w szczególności potencjalnych możliwości jej zastosowania w przemyśle elektroenergetycznym. Wiedza ta skupia się głównie na wyjątkowych własnościach nanosrebra, zwłaszcza jego wysokiej przewodności elektrycznej oraz możliwości uzyskania powłok i kontaktów w procesach niskotemperaturowych.

Firma Abraxas Olgierd Jeremiasz była pomysłodawcą projektu „Fotowoltaiczne nadwozie samochodowe izotermiczne i chłodnicze" oraz zapewniła wszelkie wsparcie merytoryczne niezbędne do jego realizacji. Pracownicy firmy brali udział w wykonawstwie zadań rozpisanych w ramach projektu. Przedmiotem projektu było opracowanie technologii wytwarzania solarnych nadwozi samochodowych będących jednocześnie modułami fotowoltaicznymi z zastosowaniem wspomagania luminescencyjnego, mających potencjał na rynku transportowym i OZE.

Aktualnie firma realizuje własny projekt, którego celem jest opracowanie matrycy o wysokim współczynniku załamania światła. Matryca ta ma zadanie zwiększenie

efektu luminescencyjnego, który dzięki nowym luminoforom może wspierać pracę modułów fotowoltaicznych.

Aluron sp. z o.o.

ul. Podmiejska 11, 42-400 Zawiercie
http://www.aluron.pl

ALURON od 2002 roku wyznacza trendy na rynku stolarki w Polsce i poza jej granicami, przy czym jest jedynym w Polsce producentem systemów aluminiowych dla każdego segmentu rynku stolarki okiennej.

Firma posiada nowoczesny zakład produkcyjny ponieważ park maszynowy oparty jest na energooszczędnych i wydajnych liniach technologicznych. Co ważne ogranicza to negatywny wpływ na środowisko. Rozwiązania systemowe spełniają rygorystyczne wymogi energooszczędności, zapewniają komfort, funkcjonalność oraz bezpieczeństwo. ALURON wykonuje konstrukcje łukowe, gięte, połączenia spawane i zagniatane oraz oferuje szereg możliwości niestandardowych i nietypowych rozwiązań. ALURON prowadzi swoją działalność w oparciu o światowe standardy zarządzania i produkcji, m.in.: ISO 9001, certyfikat Qualicoat. Produkty poddawane są procesom badawczym według najnowszych przepisów i norm wy dawanych przez krajowe i zagraniczne jednostki certy fikujące jak np.: ITB, IFT Rosenheim, LTB, Passiv Hause. Spółka jest laureatem prestiżowych wyróżnień takich jak: Solidna Firma, Teraz Polska, Gazele Biznesu, Diamenty Forbesa, Europejska Firma.

ALURON to także fotowoltaika. Firma zrealizowała projekt: „Opracowanie zeroenergetycznego systemu KWANTUM wyposażonego w aktywne pakiety zespolone." w ramach Działania 1.1 „Projekty B+R przedsiębiorstw", Poddziałania 1.1.1 „Badania przemysłowe i prace rozwojowe" Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój 2014-2020 współfinansowanego ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego. Celem projektu było opracowanie nowej generacji zeroenergetycznego systemu fasadowego KWANTUM w pełni zintegrowanego z aktywnym pakietem szybowo-fotowoltanicznym oraz systemem zarządzania energią.

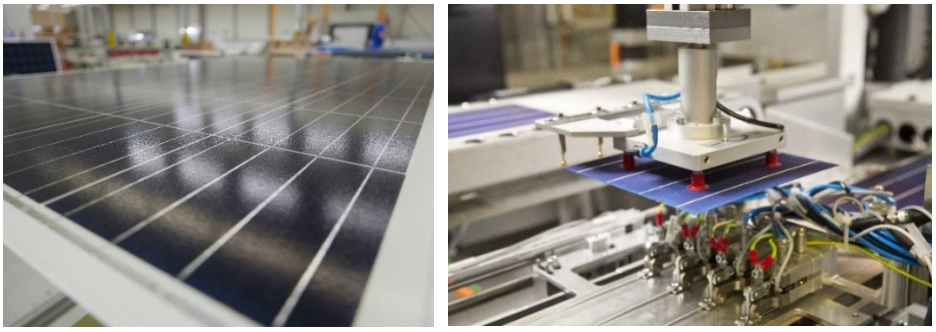
BRUK-BET Fotowoltaika

ul. Mroźna 8, 33-102 Tarnów
https://fotowoltaika.bruk-bet.pl/

Bruk-Bet® Fotowoltaika jest częścią spółki BRUK-BET®, która działa w branży budowlanej od ponad 37 lat. W 2011 roku w Tarnowie uruchomiono nowoczesną fabrykę modułów fotowoltaicznych, opierając strategię marki Bruk-Bet® Fotowolta-

ika na wysokiej jakości produkcji. Pięć lat później zwiększono przepustowość linii w oparciu o rozwiązania technologiczne firmy Meyer Burger. Jako jedyny producent w Polsce i jeden z niewielu na świecie, firma poddała swoje produkty ekstremalnym testom przyspieszonego starzenia, które odzwierciedlają rzeczywiste zużycie modułu przez kilkadziesiąt lat pracy. W 2021 roku, chcąc podkreślić dorobek technologiczny firmy Bruk-Bet® w obszarze fotowoltaiki postanowiono o rebrandingu marki związanym z nadaniem nowej nazwy wraz z logo – Bruk-Bet Fotowoltaika. Zmiana ta uwypukla związek pomiędzy spółką działającą na rynku od 37 lat a marką produkującą moduły PV nieprzerwanie od 2011 roku.

Na jubileusz 10-lecia produkcji Bruk-Bet Fotowoltaika rozbudowuje również park maszynowy, czego finalizacją będzie uruchomienie kolejnej linii produkcyjnej z wykorzystaniem technologii **multibusbar** na całych oraz połówkowych ogniwach PV **z niezależną stacją cięcia laserem**. Dodatkowo swoim Klientom firma proponuje elementy małej architektury z funkcją generowania energii elektrycznej i jej wykorzystywania do zasilania oświetlenia czy też ładowarek do pojazdów elektrycznych.



Rys. 15. Linia produkcyjna w firmie BRUK-BET FOTOWOLTAIKA (za zgodą BRUK-BET FOTOWOLTAIKA)

W ofercie Bruk-Bet Fotowoltaika znajdują się moduły monokrystaliczne z ogniwami typu PERC oraz PERT, co przy zastosowaniu szkła z powłoką ARC (Anti Reflective Coating), zwiększającą przenikanie światła w głąb modułu, pozwala zapewnić uzysk wyższej mocy z mniejszej powierzchni. Serie Extreme, Extreme Plus i Nivo Extreme to linie monokrystalicznych modułów PV plasujące się w segmencie produktów typu premium. Nazwy serii odnoszą się do wysokiej jakości produktów i ich ekstremalnej wytrzymałości oraz odporności na warunki zewnętrzne, co potwierdzają liczne certyfikaty wystawione przez zewnętrzne ośrodki badawcze. Ponadto wszystkie moduły tych serii poddawane są potrójnemu 100% testowi elektroluminescencyjnemu oraz ekstremalnym testom przyspieszonego starzenia, które odzwierciedlają rzeczywiste zużycie modułu przez kilkadziesiąt lat pracy. Moduły mają

odporność na obciążenie statyczne 8000 Pa, na siłę wiatru 5400 Pa oraz na uderzenie kuli gradowej lecącej z prędkością 122km/h.

W serii Nivo Extreme dzięki zastosowaniu ogniw typu PERT (nType , bifacial – dwustronnych) oraz szkła z powłoką ARC (Anti Reflective Coating), zwiększającą przenikanie światła w głąb modułu, produkty uzyskują gwarantowaną, wyższą moc z mniejszej powierzchni. Sprawność tych modułów PV sięga aż 20,32%, co stawia je w światowej czołówce paneli fotowoltaicznych klasyfikowanych ze względu na ich sprawność.

Rys. 16. Realizacje na modułach BRUK-BET FOTOWOLTAIKA (za zgodą BRUK-BET FOTOWOLTAIKA)

Producent z Tarnowa, jako jeden z niewielu w Europie, przeszedł podwojone procedury testów wytrzymałościowych, które odzwierciedlają rzeczywiste zużycie modułu przez 25 lat pracy. Test wilgotności cieplnej przeprowadzany w niezależnej jednostce badawczej potwierdził odporność modułów PV na długotrwałe przenikanie wilgoci, dzięki czemu moduły są odporne na korozję, delaminację oraz uszkodzenia gniazdka przyłączeniowego. Dodatkowo, test cyklu termicznego wykazał brak spadku wydajności modułów pod wpływem ekstremalnych różnic temperaturowych.

Ważną ideą, która przyświeca firmie, jest szeroko pojęta edukacja. Opracowując nowoczesne rozwiązania, marka współpracuje z uczelniami, a także z instytutami naukowymi, jak np. Laboratorium Fotowoltaiczne Instytutu Metalurgii i Inżynierii Materiałowej Polskiej Akademii Nauk w Krakowie. Ponadto Bruk-Bet Fotowoltaika posiada w ofercie szeroki wachlarz szkoleń fotowoltaicznych dla wykwalifikowanych instalatorów PV oraz młodzieży szkół technicznych i uczelni wyższych.

Columbus Energy SA

ul. Jasnogórska 9, 31-358 Kraków
https://columbusenergy.pl/

Przedsiębiorstwo działające w obszarze fotowoltaiki, magazynowania energii, pomp ciepła, i elektromobilności (dane za https://columbusenergy.pl/). Jest polskim

lider rynku mikroinstalacji fotowoltaicznych. Spółka jest także notowana na New Connect (w 2020 roku druga najdroższa spółka tego notowania). Zgodnie z informacjami przedstawionymi na portalu wysokienapiecie.pl przedsiębiorstwo jest właścicielem farm fotowoltaicznych o łącznej mocy ponad 1000 MW. Kierunki rozwoju spółki zakładają jej stopniową transformację z przedsiębiorstwa sprzedażowego w technologiczne. Przedsiębiorstwo inwestuje, oprócz fotowoltaiki, także w technologie związane z pompami ciepła, magazynami energii, stacjami ładowania samochodów elektrycznych i rozwojem oprogramowania dedykowanego do zarządzania tymi produktami. Zwracają uwagę doskonałe wyniki finansowe spółki. Zgodnie z informacjami przedstawionymi przez portal wysokienapiecie.pl (2020) w 2019 roku jej przychody (202 mln zł) były trzykrotnie wyższe niż w 2018 roku (62 mln zł), a te z kolei były dwa razy wyższe niż w 2017 roku, który z kolei był trzykrotnie lepszy od 2016 roku. W pierwszym kwartale 2020 roku Columbus wygenerował przychody przekraczające o 50% przychody z roku poprzedniego (125 mln zł).

Hanplast sp. z o.o.

ul. Wł. Paciorkiewicza 3, 85-862 Bydgoszcz
http://www.hanplast.com/

Zgodnie z informacjami dostępnymi na stronie internetowej przedsiębiorstwa (hanplast.com) Hanplast sp. z o.o. jest pierwszym na świecie producentem paneli fotowoltaicznych wg najnowszej technologii SmartWire Connection Technology (SWCT). Linia produkcyjna o rocznej wydajności 100 MW została zaprojektowana i dostarczona przez szwajcarską firmę R&D Meyer Burger, światowego lidera w dostawie technologii do produkcji wysokowydajnych ogniw i modułów fotowoltaicznych. Przedsiębiorstwo stosuje nowe standardy w ocenie ryzyka instalacji fotowoltaicznych klientów. Dbałość o środowisko naturalne to nasza kluczowa wartość biznesowe. Spółka posiada własną instalację dachową o łącznej mocy ponad 1,3 MW (największa tego typu dachowa instalacja fotowoltaiczna w Polsce i jedna z większych w Europie).

Innowacyjna architektura połączeń oraz najwyższe standardy produkcji modułów SmartWire w fabryce Hanplast sp. z o.o. zapewniają zwiększoną produktywność instalacji, dłuższą żywotność i niezawodność. Technologia SmartWire wykazuje wysoką odporność na naprężenia mechaniczne w porównaniu do klasycznych technologii fotowoltaicznych oferowanych na rynku. Produkty Hanplast sp. z o.o. spełniają wszystkie kryteria jakościowe potwierdzone certyfikatami TUV Rheinland, UL oraz ISO. Strategia rozwoju spółki obejmuje uruchomienie linii do produkcji modułów

zbudowanych z dwóch warstw szyb, glass/glass, które mają wiele zastosowań od terenów pustynnych aż po BIPV.

W maju 2020 roku spółka Hanplast sp. z o.o. podpisała deklarację założycielską pod nazwą „Przemysłowy Panel PV" (z udziałem Bruk-Bet Solar oraz ML System).

Hard Chris Krzysztof Tomera

Ignatki, ul. Kwiatowa 15, 16-001 Kleosin
https://www.tytancoat.com

Firma Hard Chris jest dynamicznie rozwijającą się firmą, w zakresie nano technologii powłok ochronnych. Oferta naszych zastosowań nie ma ograniczeń, obejmuje indoor action (zabezpieczenia wnętrz) auto detailing, budownictwo, meblarstwo a także fotowoltaikę.

W obszarze działalności firmy znalazła się aktywna walka z pandemią oraz ze smogiem jako wyraz troski o ochronę środowiska. Powłoki oferowane przez Hard Chris zmniejszają zanieczyszczenia powietrza, ograniczają zużycie środków myjących, zwiększając wydajność modułów fotowoltaicznych. Powłoki te są także skuteczne w walce z wirusami, bakteriami, pleśniami i drożdżami. Działalność firmy wychodzi naprzeciw ludziom, którym na sercu leży, bezpieczeństwo życia i jego jakość.

HELIOENERGIA sp. z o.o.

ul. Rybnicka 68, 44-238, Czerwionka-Leszczyny
http://heliosmartshelter.com/
https://silvercon.com.pl/

Spółka Helioenergia sp. z o.o. powstała w 2009 roku w Czerwionce-Leszczynach (woj. śląskie). W obszarze fotowoltaiki firma zainteresowana jest w szczególności możliwością jej wspomagania za pomocą efektu luminescencyjnego i budową modułów z LSC (ang. *Luminescent Solar Concentrator*). Swoim klientom oferuje moduły fotowoltaiczne wykonane na wymiar i w nietypowych układach dopasowanych do indywidualnych potrzeb. Firma jest również właścicielem dwóch zgłoszeń patentowych: P.380136, „Ogniwo fotowoltaiczne" oraz P.430739 „Barwnik fotoluminescencyjny, zwłaszcza dla modułów fotowoltaicznych i sposób wytwarzania barwnika fotoluminescencyjnego, zwłaszcza dla modułów fotowoltaicznych".

W dziedzinie fotowoltaiki firma zrealizowała projekt „Autonomiczny przystanek komunikacji publicznej z wbudowanym systemem dynamicznej informacji pasażerskiej". Produkt będący przedmiotem badania uwzględnia wysoki stopień użyteczności poprzez samowystarczalność energetyczną, pełną audio-wizualną informację pasa-

żerską, jak i wzrost poziomu bezpieczeństwa i dostosowanie do potrzeb osób niepełnosprawnych. Projekt realizowany był w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014-2020, Projekt: RPSL.01.02.00-24-06BE/16-00.

Rys. 17. System do badania fotostabilności układów LSC – z lewej, oraz układ do badania wpływu LSC na wzrost roślin uprawnych – z prawej, (zdjęcia za zgodą Helioenergia sp. z o.o.)

W nowoczesnym laboratorium Helioenergii wytwarzana jest również cała gama specjalistycznych produktów marki SilverCon, takich jak nanoproszki srebra, farby, pasty etc. Firma skutecznie realizuje projekty badawcze z dziedziny technologii materiałów grubowarstwowych i fotowoltaiki.

Helioenergia Sp. z o.o. jako członek konsorcjum, wzięła również udział w projekcie w ramach programu Demonstrator+ – wsparcie dla prac naukowo-rozwojowych na poziomie demonstracji, numer projektu UOD-DEM-1-215/001, „Pasty na bazie nanoproszków srebra do zastosowań w elektronice i elektroenergetyce". Nanosrebrowe Pasty i Farby SilverCon są przeznaczone do drukowanych elementów elektronicznych. Pozwalają na osiąganie wysokiej jakości elektrycznych obwodów drukowanych na różnorodnych podłożach. Nanosrebrowe Farby SilverCon są również praktyczną alternatywą dla klasycznego srebrzenia galwanicznego – srebrzenie elementów elektrycznych z ich udziałem odbywa się w kilku prostych krokach. Produkty marki SilverCon są eksportowane do odbiorców na całym świecie. Helioenergia Sp. z o.o. jest także jedynym oficjalnym dystrybutorem okien podczerwieni IRISS w Polsce.

Firma Helioenergia sp. z o.o. z sukcesem zakończyła realizację projektu B+R „Materiały termoprzewodzące nowej generacji do zastosowań w elektronice – MATTER" (POIR.01.02.00-00-0009/16). Jako efekt projektu do oferty firmy włączono wysoko wydajne materiały termoprzewodzące bazujące na unikatowej strukturze połącze-

nia nano- oraz mikro- cząstek – n/μ boost. Ponadto, zespół badawczy Helioenergii wzbogacił się o wiedzę oraz doświadczenie w zakresie projektowania oraz badania materiałów wykorzystywanych w gospodarce cieplnej systemów elektronicznych.

HEWES

ul. Długa 45, 28-305 Sobków
https://hewes.pl

Oferta firmy obejmuje przygotowanie oraz montaż instalacji fotowoltaicznych i skierowana jest do odbiorców prywatnych (gospodarstw domowych), przedsiębiorstw oraz gospodarstw rolnych. Firma HEWES oferuje instalacje szyte na miarę – dopasowane do możliwości oraz indywidualnych potrzeb klienta. Wysoka jakość stosowanych rozwiązań gwarantuje bezpieczeństwo, trwałość i wydajność instalacji PV. W ofercie znajdują się systemy grzewcze przeznaczone dla szerokiego grona odbiorców, od klientów indywidualnych po przedsiębiorstwa. Stanowią doskonałe uzupełnienie instalacji fotowoltaicznych. Firma zapewnia także profesjonalny serwis instalacji fotowoltaicznych i systemów grzewczych.

Firma jest wyłącznym przedstawicielem bardzo zaawansowanych systemów montażu firmy Rauli Brackets oraz producenta modułów firmy JOLYWOOD.

Hymon Fotowoltaika sp. z .o.o.

ul. Dojazd 16A, 33-100 Tarnów
https://hymon.pl

Hymon sp. z o.o. to czołowa polska firma zajmująca się instalacjami fotowoltaicznymi. Została wyróżniona Diamentami Forbesa 2021 – nagrodą dla najdynamiczniej rozwijających się polskich firm. Potencjał i pozycja firmy zostały dostrzeżone przez inwestorów, wśród których znalazł się jeden z najlepszych piłkarzy na świecie – Robert Lewandowski. Firma HYMON zajęła w 2019 roku 1. miejsce pod względem zainstalowanej mocy instalacji fotowoltaicznych wśród firm biorących udział w badaniu rynku PV, które przeprowadził Instytut Energetyki Odnawialnej. Ponadto HYMON wykonuje kompleksowe projekty instalacji pv oraz jest Generalnym Wykonawcą (EPC) elektrowni fotowoltaicznych w Europie. Klient końcowy otrzymuje kompleksowe rozwiązania w zakresie projektowania, finansowania i wykonywania systemów fotowoltaicznych – „pod klucz", dzięki czemu HYMON cieszy się wielkim zainteresowaniem i zaufaniem odbiorcy końcowego. Spółka to również dystrybutor najlepszych na świecie producentów komponentów elektrowni fotowoltaicznych. 100 własnych ekip monterskich i 5 podwykonawczych pozwala zrealizować miesięcznie ponad 1300 instalacji fotowoltaicznych.

JBGPV

al. Jana Pawła II 46, 44-240 Żory
https://jbgpv.pl

Firma JBG-2 znana jest jako solidny producent urządzeń dla chłodnictwa i gastronomii, a także oświetlenia LED czy też kabin kriogenicznych. Wychodząc naprzeciw oczekiwaniom klientów firma rozszerzyła profil działalności o odnawialne źródła energii i stworzyła markę JBGPV. Tym samym, jako producent modułów fotowoltaicznych, oferuje szereg modeli paneli fotowoltaicznych, monokrystalicznych i polikrystalicznych, o różnych parametrach. Marka JBGPV posiada w swej ofercie 11 typów modułów fotowoltaicznych w technologii monokrystalicznej i polikrystalicznej, o różnych parametrach, które produkowane są w zakładadzie w Żorach na Śląsku.

Marka JBGPV znana dobrze w branży jako polski producent paneli fotowoltaicznych, korzysta ze sprawdzonych technologii do produkcji krzemowych modułów fotowoltaicznych i nowoczesnego parku maszyn, w tym z nowej linii do zautomatyzowanej produkcji, zapewniając maksymalną wydajność paneli fotowoltaicznych i ich najwyższą jakość. Kluczowe jest też wykorzystanie najlepszych materiałów, pochodzących od sprawdzonych dostawców. Ponadto firma dysponuje nowoczesnymi metodami testowania modułów fotowoltaicznych i tym samym wszystkie elementy przechodzą restrykcyjną kontrolę jakości na każdym etapie produkcji. Mocną stroną JBGPV jest też zespół wykwalifikowanych pracowników, którzy starannie analizują i optymalizują proces produkcyjny, projektują i testują moduły fotowoltaiczne pod kątem jakości i trwałości, zapewniają nadzór produkcyjny, a także sprawnie realizują zadania logistyczne.

W 2020 roku firma uruchomiła w polskiej fabryce na Śląsku nowoczesną linię do zautomatyzowanej produkcji i testowania modułów fotowoltaicznych. Wszystkie elementy przechodzą restrykcyjną kontrolę jakości na każdym etapie produkcji w postaci 6 stopniowej kontroli jakości. Produkcja stosuje się do międzynarodowej normy IEC-61215 w zakresie projektowania i certyfikacji.

Od 2021 roku firma bierze udział w projekcie ECO AWF. Jacht konstrukcji Stefana Nowaka, z silnikiem elektrycznym zasilanym panelami fotowoltaicznymi.

MAXCOM

ul. Towarowa 23a, 43-100 Tychy
https://maxcom.eco/

Maxcom Eco Energy jest producentem monokrystalicznych modułów w technologii half cut oraz dystrybutorem inwerterów, zabezpieczeń oraz innych komponentów instalacji PV. Przedmiotem działalności firmy są usługi doradcze, sprzedaż oraz montaż instalacji fotowoltaicznych

Zlecone i wykonane były badania laboratoryjne paneli:
- Maxcom ME320 Full Black (3 razy),
- Maxcom ME340 Silver (2 razy).

Przewidywane kierunki rozwoju to wprowadzenie na rynek falowników własnej produkcji. Uruchomienie mobilnej jednostki pomiarowej służącej do pomiaru modułów w warunkach STC bez konieczności transportu modułów do laboratorium stacjonarnego. Wdrożenie do oferty pełnego zakresu usług i produktów w oparciu o technologie fotowoltaiczne a także produktów powiązanych, np. pompy ciepła. Rozwój usług związanych z inteligentnym zarządzaniem energią, w tym magazynowanie energii oraz monitoring.

ML SYSTEM SA

Zaczernie 190 G, 36-062 Zaczernie
https://mlsystem.pl/

Zgodnie z informacjami przedstawionymi na stronie mlsystem.pl przedsiębiorstwo jest producentem oraz dystrybutorem paneli fotowoltaicznych. Jeden z pionierów polskiej branży PV. Firma oferuje projektowanie i wdrażanie systemów fotowoltaicznych zintegrowanych z budynkami (BIPV). Przedsiębiorstwo prowadzi własne badania, tworzy prototypy ogniw fotowoltaicznych i bada nowe materiały, które można wykorzystać w ich budowie. Jednym z kluczowych obszarów działalności firmy są instalacje pv jako komponent *smart city* (w tym obszarze oferuje m.in. takie rozwiązania/produkty jak *carport, smart pylon, smart bus stop, smart light, smart bench*). Przedsiębiorstwo klasyfikowane jest jako spółka z obszaru wysokich technologii. Produkty BIPV ML System te stanowią realną alternatywę dla tradycyjnych materiałów budowlanych. W maju 2020 roku ML System podpisało deklarację założycielską pod nazwą „Przemysłowy Panel PV" razem z Bruk-Bet Solar oraz Hanplast sp. z o.o.

Spółka debiutowała na rynku głównym GPW w 2018 roku. W kwietniu 2021 roku portal forsal.pl przekazał informacje o 10,18 mln zł skonsolidowanego zysku netto spółki w 2020 roku (prawie trzykrotny wzrost r/r). W tym samym miesiącu wysokienapiecie.pl informowało z kolei, że roczny portfel zamówień ML System przekroczył 100 milionów złotych.

Oświecony sp. z o.o.

ul. Kępska 7, 45-129 Opole
https://oswiecony.pl/

Firma Oświecony sp. z o.o. zajmuje się szeroko rozumianą ENERGETYKĄ, przekazuje wiedzę na temat umiejętnego gospodarowania źródłami energii, ich mak-

symalnego wykorzystania oraz optymalizacji zużycia energii elektrycznej, cieplnej i gazu. Sięgając po nowoczesne technologie, tworzy innowacyjne rozwiązania ograniczające zużycie energii, oparte na odnawialnych źródłach energii, łączące korzyści ekonomiczne odbiorców z szacunkiem do środowiska naturalnego.

Doświadczenie firmy oparte jest na 10 latach obecności na rynku energetycznym. Firma stawia na rozwój i najważniejsze w energetyce – przewidywanie. Od dłuższego czasu Oświecony sp. z o.o. poszerza ofertę analizując trendy i sytuację na rynku energetycznym, a także potrzeby naszych klientów.

Firma jest wsparciem zarówno dla odbiorców indywidualnych, jak i przedsiębiorców, oferując kompleksową opiekę i wysokiej jakości urządzenia. Proponuje instalacje fotowoltaiczne najwyższej klasy, o ponadnormatywnych standardach bezpieczeństwa, projektuje i montuje systemy grzewcze na podczerwień. Ma szeroki wachlarz produktów dla przedsiębiorców, poczynając od taryfy dynamicznej, poprzez przemysłowe oświetlenie LED, audyty energetyczne, stacje transformatorowe i systemy kompensujące moc bierną.

Firma zajmuje się także rozwiązaniami opartymi na magazynach energii, które zapewniają NIEZALEŻNOŚĆ ENERGETYCZNĄ.

Oświecony sp. z o.o. już dzisiaj propaguje ENERGETYKĘ JUTRA – przemyślaną, oszczędną i proekologiczną. W roku 2021 nasza firma zdobyła tytuł Dobra Firma w kategorii Innowator.

Projekt Solartechnik Group

ul. Barlickiego 2, 97-200 Tomaszów Mazowiecki
https://projekt-solartechnik.com/

Zgodnie z informacjami przedstawionymi na stronie internetowej spółki (https://projekt-solartechnik.com/o-nas/) P+S Group to jedna z największych europejskich spółek specjalizujących się w odnawialnych źródłach energii. W skład grupy wchodzą firmy realizujące projekty z zakresu energetyki przemysłowej, fotowoltaiki oraz wyspecjalizowane biuro projektowe. Historia Projekt Solartechnik rozpoczęła się w 2008 roku, kiedy to w niemieckim Bahretal dwaj wspólnicy założyli spółkę P+S (Pfäffle + Schüring). Pierwsze lata funkcjonowania spółki zaowocowały powstaniem kilku wielkopowierzchniowych instalacji fotowoltaicznych na terenie Niemiec, spośród których warto wymienić, takie realizacje jak Masterhausen (3,3 MW) czy Oderwitz (1,9 MW). Firma szybko zaznaczyła swoją ważną pozycję na niemieckim rynku co doprowadziło do budowy, którą można uznać za przełomowy moment w historii firmy. W 2012 roku w Budziszynie powstała jedna z największych farm słonecznych

w Europie (38 MW), a P+S odpowiadało za jej kompleksowe wykonawstwo. W czasie jej realizacji zapadła decyzja o pierwszym znaczącym poszerzeniu działalności i otwarciu siostrzanej spółki w Polsce, która była dla branży OZE całkowicie dziewiczym rynkiem. Nowa inicjatywa w kolejnych latach doprowadziła do wybudowania na terenie Polski kilkudziesięciu instalacji fotowoltaicznych o łącznej mocy przekraczającej 50 MW. Taki wolumen budowy w tamtym czasie oznaczał ponad 50% udział w krajowym rynku solarnym. W 2015 roku firma zaangażowała się w realizację programu Prosument, który doprowadził do popularyzacji fotowoltaiki również w obszarze gospodarstw domowych. Właśnie z myślą o wciąż poszerzającym się rynku firma opracowała kolejne koncepcje produktów, takich jak solarne wiaty samochodowe oraz przystankowe czy Future House. Mnogość prowadzonych inicjatyw legła u podstaw decyzji o założeniu w 2017 roku Projekt Solartechnik Group. Rok 2017 to wyjątkowo ważny okres w historii spółki, nie tylko ze względu na założenie grupy. W tym samym roku kilkadziesiąt projektów opracowanych przez biuro projektowe spółki wzięło udział w pierwszej oraz drugiej aukcji OZE. Wszystkie złożone oferty zostały zaakceptowane przez URE co oznaczało realizację kolejnych dużych budów w nadchodzących latach. W wyniku nawiązania kilku kluczowych partnerstw grupa poszerzyła również swój zakres działania o energetykę przemysłową.

SAULE SA

Ulica Postępu 148, 02-676 Warszawa
https://sauletech.com/

Głównym obszarem działalności polskiego potentata w segmencie wysokich technologii – Saule Technologies jest rozwój projektów ogniw perowskitowych. Saule swoje produkty reklamuje hasłem The most adaptable solar cells you can think of (www.sauletech.com). Zgodnie z informacjami przedstawionymi na tej stronie spółka specjalizuje się w produkcji ogniw słonecznych perowskitowych drukowanych na cienkich, elastycznych podłożach w niskich temperaturach. Architektura i proces produkcji tych ogniw słonecznych są oparte na własnej opatentowanej technologii. Unikalne cechy perowskitowych ogniw słonecznych poszerzają możliwości zastosowań fotowoltaicznych. Portfolio produktów Saule obejmuje szkło fotowoltaiczne, markizy solarne, fotowoltaiczne stacje ładowania samochodów, elektroniczne metki cenowe zasilane energią słoneczną i in.

Producent deklaruje uzyskanie pierwszych przychodów ze sprzedaży takich modułów fotowoltaicznych jeszcze w 2021 roku. Co-CEO Saule Artur Kupczunas informował o tym już rok wcześniej, tak uzasadniając rynkowe prognozy zysków: (…) *będą związane ze sprzedażą modułów do małych urządzeń elektronicznych w zakresie IoT. To będą niespe-*

cyficzne zastosowania do małych sensorów, czujników, małych urządzeń, które również pracują wewnątrz budynków. Perowskit jest o wiele bardziej efektywny wewnątrz budynków niż krzem". Kolejny etap ekspansji rynkowej przedsiębiorstwa obejmie zwiększenie skali produkcyjnej oraz wejście w obszar wielkopowierzchniowych farm fotowoltaicznych z ich docelową lokalizacją na zadaszeniach magazynów i hal produkcyjnych (co zgodnie ze strategią spółki będzie przewagą konkurencyjną nad panelami krzemowymi, których ciężar wyklucza takie lokalizacje). Technologia oferowana przez Saule otwiera opcje druku dowolnych kształtów modułów na folii oraz ich integracji z dowolną powierzchnią. W 2020 roku Saule Technologies podpisała z Columbus Energy umowę inwestycyjną pozwalającą na przejęcie przez tę ostatnią spółkę 20% udziałów w Saule oraz wniesienie wkładu inwestycyjnego w kwocie 10 mln euro. Eksperci portalu wysokienapiecie.pl tak charakteryzują działalność tego przedsiębiorstwa: *Obecnie Saule Technologies to zespół ponad 50 naukowców, inżynierów i pracowników administracyjnych z ponad 17 krajów. Saule Technologies przez ostatni rok, przy współpracy inżynierów z Korei, Malezji, Wielkiej Brytanii, Singapuru i Japonii, konstruowała unikatową, pierwszą na świecie linię produkcyjną drukowanych ogniw perowskitowych.*

SELFA GE SA

71-042 Szczecin, ul. Bieszczadzka 14
https://www.selfa-pv.com/

Firma Selfa należy do przedsiębiorstw sektora PV, które zapewniają kompleksową ofertę produktową do instalacji fotowoltaicznych, w której największą rolę odgrywa produkcja modułów fotowoltaicznych. Oferowane przez Selfa GE SA moduły PV cechują się innowacyjnymi rozwiązaniami, takimi jak m.in. technologia multibusbar, half-cut, czy stosowana powierzchnia samoczyszcząca SELF-C. W procesie produkcji modułów PV firma Selfa stosuje innowacyjne technologie m.in. lutowanie bezdotykowe, czy potrójny system kontroli wizyjnej, dzięki czemu ogniwa są wolne od niewidocznych gołym okiem mikropęknięć. Lokalizacja na terenie kraju oraz gęsta sieć sprzedaży i serwisu gwarantuje natychmiastową obsługę klienta zarówno podczas procesu zakupu, jak i ewentualnych działań gwarancyjnych. Selfa Grzejnictwo Elektryczne SA to także największy polski producent elementów grzejnych. Ustabilizowana pozycja (tradycja Selfy sięga 1932 roku), wieloletnie doświadczenie oraz sukcesywnie rosnąca sprzedaż pozwoliły nam na miano lidera dostawcy najwyższej jakości elementów grzejnych w Polsce.

W ramach realizacji przyjętej strategii „Firmy Przyjaznej Środowisku" od połowy 2018 roku nasze moduły fotowoltaiczne produkowane są przy użyciu zielonej energii pochodzącej ze Słońca. Oznacza to, że 100% zapotrzebowania na energię elek-

tryczną dwóch zakładów produkcyjnych oraz ośrodka badawczo-rozwojowego jest pokryte przez źródła energii odnawialnej.

Okresowo od 2015 roku Laboratorium Fotowoltaiczne Instytutu Metalurgii i Inżynierii Materiałowej Polskiej Akademii Nauk (IMIM PAN) prowadzi badania modułów i ogniw fotowoltaicznych dla firmy SELFA. Badania dotyczyły pomiarów parametrów elektrycznych oraz polegały na wyznaczaniu charakterystyki prądowo-napięciowej. IMIM PAN prowadził także wspólne badania z firmą SELFA dotyczące zjawiska mikropęknięć ogniw fotowoltaicznych metodą elektroluminescencyjną. Wyniki badań pozwoliły usprawnić proces produkcyjny w firmie SELFA.

Aby dbać o rozwój nowych technologii oraz możliwości prowadzenia nowoczesnych badań jakościowych i trwałościowych używanych materiałów oraz produktów w 2019 roku został wybudowany i odpowiednio wyposażony Ośrodek Badawczo-Rozwojowy.

Rys. 18. Ośrodek Badawczo-Rozwojowy i główna siedziba firmy Selfa (za zgodą SELFA GE SA)

Aktualnie SELFA finalizuje certyfikację kolejnej wersji stosowanych ogniw i już wkrótce w ofercie pojawią się moduły z ogniwami 10 busbar.

Stawiając na ciągły rozwój oraz podążając za trendami światowymi, oferowane przez SELFĘ moduły fotowoltaiczne są ciągle doskonalone poprzez zwiększanie ich sprawności oraz optymalizację wymiarów. W 2021 roku firma Selfa planuje wdrożenie co najmniej 4 segmentów mocowych: 390W; 400W; 450W; 540W, zastępując tym samym moduły wcześniejszej generacji.

W drugim kwartale tego roku firma zadebiutuje na rynku jako producent falowników fotowoltaicznych *on-grid* oraz pod koniec roku falowników typu hybrydowego. Produkty te cechować się będą nowoczesnym designem, solidnym wykonaniem, konkurencyjną ceną i co najważniejsze zostały przetestowane i zatwierdzone przez polski Ośrodek Badawczo Rozwojowy, symulując długoletnią pracę produktu w lokalnych warunkach. Dodatkowo falowniki zostaną wyposażone w aplikację służącą do pełnego monitorowania pracy urządzenia, zarówno dla użytkownika końcowego, jak i serwisu oraz dystrybutora. Takie rozwiązanie zapewnia możliwość serwisu urządzeń na najwyższym poziomie.

Trendem rozwojowym na następne lata jest osiąganie najwyższych mocy modułów fotowoltaicznych. Rozwijając kompetencję firmy oraz kadrę techniczną w kierunku badań i rozwoju, firma Selfa planuje w przyszłości utrzymać pozycję eksperta i prekursora w dziedzinie odnawialnych źródeł energii.

Rys. 19. Zakład produkcyjny modułów fotowoltaicznych SELFA (za zgodą SELFA GE SA)

Obserwując trendy rynkowe oraz technologiczne, firma SELFA postawiła sobie za cel rozwój portfolio w kierunku produktów zwiększających autokonsumpcję oraz magazynowanie energii elektrycznej dla gospodarstw domowych i małych przedsiębiorstw.

XDISC SA

ul. Jagiellońska 82c, 03-301 Warszawa
http://www.xdisc-panele.pl

XDISC SA to polska firma, która od ponad 15 lat działa na rynkach zaawansowanych technologii. W 2012 roku spółka rozszerzyła swoje zainteresowania o branżę OZE i uruchomiła w Warszawie fabrykę paneli fotowoltaicznych. Firma XDISC nieustannie rozwijając swoje produkty, stosując najnowocześniejsze dostępne technologie i koncentrując się na poprawie ich parametrów, estetyki oraz jakości. Do najważniejszych innowacyjnych rozwiązań w ofercie przedsiębiorstwa należą przede wszystkim elastyczne panele fotowoltaiczne ACTIVESOL.

W każdej dziedzinie działalności XDISC skupia się na tym, aby oferować produkty będące odpowiedzią na potrzeby klientów, oparte o najnowsze rozwiązania technologiczne i przyjazne środowisku. Dlatego firma prowadzi własną działalność badawczo-rozwojową oraz rozwija współpracę z jednostkami naukowo-badawczymi. W wyniku tych działań XDISC – jako pierwsza firma w Polsce – uruchomiła produkcję samodzielnie opracowanych modułów elastycznych; lekkich i trwałych modułów do tzw. zastosowań mobilnych, wykorzystywanych jako źródło energii np. na kamperach, jachtach czy autobusach. Dzisiaj moduły elastyczne ACTIVESOL to flagowy produkt firmy sprzedawany na całym świecie. W fabryce XDISC, obok modułów elastycznych wytwarzane są moduły standardowe oraz zespoły na potrzeby systemów BIPV. Spółka oferuje panele fotowoltaiczne pod własną marką Activesol oraz świadczy usługi typu oem.

XDISC nieustannie poszukuje nietypowych rozwiązań, koncentruje się na niszowych rynkach i pracuje nad nowymi rozwiązaniami technologicznymi. W ramach tych działań firma realizuje projekty współfinansowane z funduszy europejskich z Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Lubelskiego oraz Programu Innowacyjna Gospodarka.

Obecnie firma wytwarza moduły standardowe i elastyczne oraz moduły na potrzeby systemów BIPV. Zatrudnia ponad 80 specjalistów i posiada dwie nowoczesne linie produkcyjne, a roczna produktywność wynosi 65MW. Obsługuje klientów na całym świecie, doradzając, projektując i wspierając podczas instalacji. Oferuje rozwiązania standardowe i nietypowe.

ANALIZY i RAPORTY

Analiza SWOT dla polskiej branży PV w 2021 roku

Tabela Nr 1

Analiza SWOT dla polskiej branży PV wg stanu na kwiecień 2021 roku

Silne strony	Słabe strony
1) Wzrost mocy instalacji PV w Polsce rok do roku. Łączna moc zainstalowanych na terenie Rzeczypospolitej Polski elektrowni PV wynosiła w grudniu 2020 roku 3,96 GW. Oznacza to trzykrotny wzrost mocy tylko w ostatnich dwunastu miesiącach. 2) Zdolności wytwórcze polskich przedsiębiorstw w zakresie modułów PV, stanowiące ok. 10% europejskich zdolności produkcyjnych (wg stanu na 2021). 3) Inicjatywy łączenia potencjałów polskich przedsiębiorców PV (np. Panel Przemysłowy PV), w konsekwencji silny i skuteczny lobbing na publiczne instytucje krajowe oraz europejskie. 4) Uporządkowanie norm prawa dotyczących przyłączenia do sieci – rezygnacja z dokumentacji w formie papierowej, w konsekwencji skrócenie casu procedury instalacyjnej. 5) Rezygnacja ustawodawcy z obowiązku uzyskania koncesji przez właścicieli odnawialnych źródeł energii o mocy do 50 kWp. 6) Rozwój oferty wsparcia polskich jednostek naukowych w obszarze realizacji projektów B+R w konsorcjach naukowo-przemysłowych oraz w formule podwykonawstwa usług B+R. 7) Zorientowanie przedsiębiorstw polskiego sektora PV na inwestycje w B+R (np. casus przechodzenia z modelu przedsiębiorstwa sprzedażowego na firmę w segmencie wysokich technologii). 8) Rozwój kultury innowacyjności – sektor PV „przyciąga" entuzjastów zmiany systemowej w energetyce. 9) Dobry poziom technologiczny czołowych graczy krajowego rynku PV (wysoko wykwalifikowane zasoby ludzkie, nowoczesna infrastruktura, doświadczenie, know-how etc.). 10) Duża liczba realizowanych w branży projektów B+R ukierunkowanych na wdrożenia.	1) Nieprzygotowanie sieci skutkujące odmowami przyłączenia (tylko w 2020 roku ponad 400 decyzji odmownych). 2) Rozproszenie odbiorców prądu zwłaszcza na terenach wiejskich. 3) Panele PV oraz sprzęt powiązany podlegają zapisom ustawy o zużytym sprzęcie elektrycznym i elektronicznym, w tym także obligatoryjnym normowym minimalnych poziomów zbierania (w 2021 roku = 65% wprowadzonego sprzętu liczonego jako średnia z ostatnich trzech lat). Ze względu na bardzo długi cykl życia systemów PV, jednocześnie uwzględniając dynamikę oraz bardzo wysoki volumen instalacji wprowadzonych w tym okresie na rynek osiągnięcie tego poziomu jest niemożliwe. 4) Brak autonomii produkcyjnej polskich przedsiębiorstw PV – uzależnienie od dostawców zagranicznych (głównie azjatyckich). 5) Brak systemowego podejścia do energetyki rozproszonej. 6) Brak krajowego parku technologicznego do produkcji ogniw fotowoltaicznych od podstaw.

Szanse	Zagrożenia
1) Stale malejące koszty inwestycyjne dla instalacji PV. 2) Duża dostępność alternatywnych technologii wewnątrz segmentu PV. 3) Rosnąca konkurencja u producentów, dostawców i wykonawców systemów PV. 4) Wzrost cen energii elektrycznej generowanej z tradycyjnych źródeł. 5) Dotacje do mikroinstalacji, m.in. w ramach rządowego Programu „Mój Prąd". 6) Bardzo duże dotacje do realizacji projektów B+R, szczególnie w ramach programów Narodowego Centrum Badań i Rozwoju, ale także źródeł finansowania na poziomie europejskim, w ramach Programu Horyzont Europa. 6) Ulga termomodernizacyjna. 7) Stosunkowo krótki okres realizacji inwestycji (zarówno dużych inwestycji, takich jak farmy PV oraz małych inwestycji prosumenckich). 8) Dostępność ponad 20 tysięcy wykwalifikowanych instalatorów PV. 9) Wprowadzenie do znowelizowanej Ustawy o odnawialnych źródłach energii instytucji klastrów energii. 10) Wprowadzenie projektu fabryki ogniw do Krajowego Planu Odbudowy. 11) Inicjatywa budowy GIGAfabryki ogniw PV, która w założeniu osiągnie zdolność operacyjną rocznej produkcji ogniw w liczbie pozwalającej na pokrycie ok. 50% średniego rocznego przyrostu nowych mocy w polskiej PV oraz ok. 5% rocznych inwestycji w całej UE. Produkcja w założeniach Instytutu Energetyki Odnawialnej, który powołał spółkę GIGA PV SA, powinna rozpocząć się w 2024 roku. 12) Fotowoltaika w „Polityce Energetycznej Państwa do 2040". 13) Stałe podnoszenie poziomu inwestycyjnego w nowe technologie firm z sektora PV, zwłaszcza w segmencie High-Tech. 14) Stały wzrost liczby przedsiębiorstw branży PV, w konsekwencji wzrost konkurencyjności.	1) Konkurencja zewnętrzna, zwłaszcza azjatycka, silnie dotowana ze środków publicznych (np. Bank of China). 2) Coraz droższe nieruchomości o potencjale budowy farm PV. 3) Groźba „zabetonowania" modelu energetyki korporacyjnej w razie budowy elektrowni jądrowej.

15) Wzrost świadomości społeczeństwa co do znaczenia i korzyści fotowoltaiki jako kluczowego elementu OZE. 16) Wykorzystanie technologii PV jako broni w walce ze smogiem oraz innymi rodzajami zanieczyszczenia powietrza. 17) Stały wzrost zapotrzebowania przemysłu na innowacje. 18) Wzajemna świadomość nauki i przemysłu o konieczności komplementarnej współpracy bilateralnej w celu wprowadzania na rynek wewnętrzny i rynki zewnętrzne innowacyjnych procesów, produktów i usług. 19) Stopniowe bogacenie się społeczeństwa polskiego w ostatnich latach jako czynnik stymulujący rozwój instalacji systemów PV (ponad 5 miliardów PLN inwestycji prywatnych w fotowoltaikę w 2020 roku). 20) Konieczność odchodzenia od paliw kopalnych jako głównego źródła energetycznego w polskim miksie energetycznym.	

Analiza otoczenia społeczno-gospodarczego (analiza makro-otoczenia) branży PV w Polsce w 2021 roku

Tabela Nr 2
Analiza otoczenia społeczno-gospodarczego (analiza makro-otoczenia) branży PV w Polsce wg stanu na kwiecień 2021 roku

Czynniki otoczenia	Wpływ na rozwój branży
Polityczne 1) Strategiczny dokument Polityka Energetyczna Polski do 2040 roku. 2) Krajowy Plan na Rzecz Energii i Klimatu na lata 2021-2030. 3) Wsparcie branży PV w innych strategicznych dokumentach politycznych, krajowych oraz europejskich (New Green Deal, Krajowy Plan Odbudowy, KIS). 4) Zobowiązania RP na arenie międzynarodowej. 5) Stabilność systemu politycznego.	Ad. 1) Polityka Energetyczna Polski do 2040 roku, przyjęta Obwieszczeniem Ministra Klimatu i Środowiska z dnia 2 marca 2021 roku jest jednym z kluczowych czynników strategii politycznej Rzeczypospolitej Polski w zakresie kształtowania wytycznych krajowej polityki energetycznej, przez co wpływa także na rozwój fotowoltaiki. Stanowi ona *wizję strategii Polski w zakresie transformacji energetycznej, tworząc oś dla programowania środków unijnych związanych z sektorem energii jak i realizacji potrzeb gospodarczych wynikających z osłabienia gospodarki pandemią COVID-19*[1]. Dokument ten zakłada istotny wzrost mocy zainstalowanych w fotowoltaice – do 16 GW w 2040 roku. W strategii przyjęto także, iż *coraz większą rolę odgrywać będą źródła odnawialne – ich poziom w strukturze krajowego zużycia energii elektrycznej netto wyniesie nie mniej niż 32% w 2030 r., co umożliwi przede wszystkim rozwój fotowoltaiki.*[2] W zakresie zwiększenia wolumenu instalacji PV w Polsce prognozuje się *ich* wzrost m.in. dzięki spadkowi kosztów instalacji. Strategia zwraca także uwagę na technologiczne przewagi fotowoltaiki nad innymi odnawialnymi źródłami energii – *pomimo stosunkowo niskiego wykorzystania mocy zainstalowanej w porównaniu do innych OZE to atutem tej technologii jest dodatnia zależność między intensywnością nasłonecznienia a dobowym popytem na energię elektryczną oraz zwiększona generacja w okresie letnim skorelowana z zapotrzebowaniem na chłód. Ocenia się, że źródła fotowoltaiczne osiągną dojrzałość ekonomiczno-techniczną po 2022 r. W 2030 r. moc zainstalowana może wynieść ok. 5–7 GW łącznie w mikroinstalacjach i w dużych instalacjach, zaś w 2040 r. aż 10–16 GW.*[3] W dokumencie podkreślono potencjał PV do wykorzystania na terenach poprzemysłowych, gruntach zdegradowanych i słabej jakości oraz dachach budynków (tutaj rodzi się pytanie, dlaczego autorzy piszą tylko o dachach w dobie gwałtownego rozwoju BIPV, która umożliwia instalacje PV w zasadzie w/na każdym zewnętrznym elemencie budynki).

[1] https://www.gov.pl/web/klimat/polityka-energetyczna-polski, data pobrania 27 kwietnia 2021
[2] Polityka Energetyczna Polski do 2040 roku, Załącznik do uchwały nr 22/2021 Rady Ministrów z dnia 2 lutego 2021 r.
[3] Ibidem

	Ad. 2) Krajowy Plan na Rzecz Energii i Klimatu na lata 2021-2030[4] Dokument wyznacza cele i działania umożliwiające realizację 5 wymiarów unii energetycznej: a) bezpieczeństwa energetycznego, b) wewnętrznego rynku energii, c) efektywności energetycznej, d) obniżenia emisyjności, e) badań naukowych, konkurencyjności i innowacji. W planie sformułowano cele klimatyczno-energetyczne na 2030 r.: a) 7% redukcja emisji gazów cieplarnianych w sektorach nieobjętych systemem ETS w porównaniu do poziomu w roku 2005. b) 21-23% udział OZE w finalnym zużyciu energii brutto (cel na poziomie 23% udziału OZE będzie możliwy do osiągnięcia, jeżeli Polska uzyska dodatkowe środki z UE, w tym przeznaczone na sprawiedliwą transformację). Założenia te obejmują 14% udziału OZE w transporcie, roczny wzrost udziału OZE w ciepłownictwie i chłodnictwie o 1,1 pkt. proc. Średniorocznie, wzrost efektywności energetycznej o 23% w porównaniu z prognozami PRIMES2007, redukcję do 56-60% udziału węgla w produkcji energii elektrycznej[5]. Oczywiście zwłaszcza ten ostatni poziom możliwy będzie wyłącznie w przypadku znacznego wykorzystania potencjału i mocy generowanych z fotowoltaiki. Ad. 3) W strategicznym dokumencie Komisji Europejskiej **Nowy Zielony Ład**, fotowoltaika jako element sektora OZE ma być instrumentem służącym głębokiej dekarbonizacji systemów energetycznych Państw Członkowskich Unii Europejskiej. Bezpośrednim przełożeniem tych założeń będzie m.in. wsparcie dla przedsiębiorstw sektora PV w nadchodzących konkursach realizowanych w ramach Programu Horyzont Europa. **Krajowy Plan Odbudowy** – w projekcie planu, w komponencie E.1.1.1., którego wdrażania nadzorować będzie Ministerstwo Klimatu i Środowiska, zaplanowano m.in. budowę fabryki ogniw fotowoltaicznych. Krajowy sektor PV będzie mógł oczywiście ubiegać się o wsparcie także w ramach innych, ogólnych komponentów. **System Krajowych Inteligentnych Specjalizacji** – zaktualizowana w styczniu 2021 roku lista[6] w bardzo wyraźny sposób wyróżnia zagadnienia związane z fotowoltaiką. Specjalizacje obejmują całe spectrum najbardziej aktualnych zagadnień współczesnej fotowoltaiki, od rozwiązań materiałowych aż po agrofotowoltaikę, ale też takie zagadnienia, jak np. nowoczesne techniki i urządzenia do badań i diagnostyki modułów i systemów fotowoltaicznych (w tym techniki analizy uzysków energetycznych) Bezpośrednie odniesienia do PV odnajdujemy w takich tematach (priorytetach) badawczych, jak: a) Ogniwa fotowoltaiczne oparte na nowych materiałach oraz inne nowe technologie pozwalające na wytwarzanie energii ze źródeł solarnych. b) Nowe technologie umożliwiające poprawę sprawności wytwarzania energii oraz innych cech eksploatacyjnych w ogniwach fotowoltaicznych.

[4] https://www.gov.pl/web/klimat/krajowy-plan-na-rzecz-energii-i-klimatu, data pobrania 27 kwietnia 2021
[5] Ibidem
[6] https://www.gov.pl/web/rozwoj-praca-technologia/krajowe-inteligentne-specjalizacje, data pobrania 27 kwietnia 2021

	c) Opracowanie i wdrożenie optymalnych rozwiązań dla wielokierunkowego wykorzystania terenów farm fotowoltaicznych, w szczególności agrofotowoltaiki. d) Wykorzystanie innowacyjnych rozwiązań technologicznych w mikroźródłach: fotowoltaicznych (w tym nowe materiały do zastosowań w fotowoltaice), ogniwach paliwowych, biologicznych i mikrobiologicznych, wykorzystujących zjawiska termoelektryczne, piezoelektryczne i in. do wytwarzania energii elektrycznej i ciepła. e) Materiały i technologie fotowoltaiczne zintegrowane z obudową budynku. f) Nowe zaawansowane materiały, nanomateriały i nanokompozyty do wysokowydajnego pozyskiwania energii fotowoltaicznej z wykorzystaniem krzemu mono- i polikrystalicznego oraz materiałów nieorganicznych i organicznych w zakresie wytwarzania ogniw perowskitowych i barwnikowych, z wykorzystaniem polimerów przewodzących oraz pokryć antyrefleksyjnych, zawierających cząstki, cienkie pokrycia, nanorurki węglowe i grafen, ciecze transferujące ciepło, materiały wielofazowe i receptory i ich kombinacje oraz innowacyjne technologie ich wytwarzania. g) Nowe technologie obróbki powierzchni szkła, elementów mikro- i optoelektronicznych oraz fotowoltaicznych i funkcjonalnych produktów wytwarzanych z tych materiałów, poprzez kształtowanie powierzchni i nanoszenie warstw m.in. nanostrukturalnych, poprzez fizyczne i chemiczne osadzanie z fazy gazowej (PVD/CVD), metodę zol-żel, teksturowanie laserowe, wytwarzanie powłok hybrydowych – organiczno-nieorganicznych oraz nowych technologii obróbki powierzchni materiałów polimerowych, włóknistych, poprzez utworzenie powłok samowykształcalnych i gradientowych, polimeryzację in situ, fizyczne i chemiczne osadzanie powłok z fazy gazowej (PVD/CVD), metodę zol-żel, EPD i ALD oraz powierzchniową obróbkę laserową wraz z coraz szerszym zastosowaniem tych technologii na skalę przemysłową. h) Technologie innowacyjnych ogniw fotowoltaicznych z materiałów krzemowych, w tym technologie ogniw cienkowarstwowych i hybrydowych. i) Technologie wysokowydajnych ogniw cienkowarstwowych na bazie materiałów nie-krzemowych (np. stop CIGS, kesteryty, perowskity, polimery przewodzące, polimery kompozytowe i inne). j) Technologie ogniw fotowoltaicznych trzeciej generacji, w tym kropki kwantowe, plazmony, poziomy przejściowe, pomnażanie nośników ładunku, struktury organiczne i barwnikowe (ogniwa na podłożach elastycznych, konwersja widmowa światła. k) Technologie przeźroczystych warstw przewodzących oraz przeźroczystych półprzewodników, np. elastycznych typu n i p. l) Technologie modułów fotowoltaicznych z wykorzystaniem nowych materiałów do zastosowań w systemach zintegrowanych z podłożem. m) Nowe techniki i urządzenia do badań i diagnostyki modułów i systemów fotowoltaicznych (w tym techniki analizy uzysków energetycznych).

	n) Elastyczne ogniwa fotowoltaiczne i inne alternatywne źródła energii do zasilania elektroniki osobistej, w tym integrowanej z tekstyliami. Ad. 4) Zobowiązania międzynarodowe Rzeczypospolitej Polskiej nie przewidują, tak jak miało to miejsce w perspektywie do 2020 roku, ściśle określonych celów np. w zakresie zwiększenia udziału OZE w miksie energetycznym (wtedy 15%). Tym razem wyznaczone zostały cele dla całej Unii Europejskiej. Pamiętać jednak należy, iż *mimo braku obligatoryjnych, krajowych celów na rok 2030 Komisja Europejska ma otrzymać narzędzia umożliwiające wpływanie na tempo wzrostu udziału OZE w miksach energetycznych poszczególnych krajów UE.* [7] Państwa członkowskie same definiują te cele w krajowych planach na rzecz energii i klimatu na lata 2021-2030. Jak wskazano powyżej, polski plan zakłada 21-23% udział OZE w finalnym zużyciu energii brutto. Jednocześnie zauważyć należy, że zgodnie z danymi Eurostatu za 2018 rok OZE w polskim systemie energetycznym stanowiły zaledwie 11,2%. Oczywiście dane te nie uwzględniają gwałtownego wzrostu mocy sektora, w tym zwłaszcza fotowoltaiki, w ostatnich dwóch latach oraz roku bieżącym – *zgodnie z dotychczasowym unijnym prawem, cele dotyczące udziału OZE oraz zwiększenia efektywności energetycznej mają zostać poddane przeglądowi w roku 2023. Wówczas będzie można je tylko podnieść, ale nie obniżyć.*[8] Ad. 5) W 2021 roku stabilność systemu politycznego jako element potencjalnie wpływający na rozwój krajowego sektora PV jest co do zasady czynnikiem sprzyjającym. Krajowa scena polityczna jest stabilna, większość sił politycznych sprzyja transformacji energetycznej oraz zwiększenia udziału w tym procesie fotowoltaiki. Globalna pandemia COVID-19 nie wpłynęła na funkcjonowanie branży w tak negatywny sposób, jak w przypadku innych dziedzin i sektorów gospodarki. **Mając na uwadze powyższe można przyjąć, że czynniki z zakresu otoczenia politycznego stwarzają wyjątkowo korzystne szanse stabilnego rozwoju krajowej branży PV.**
Ekonomiczne 1) Silna pozycja przedsiębiorstw polskiego sektora PV na europejskim rynku fotowoltaiki. 2) Wzrost wartości przedsiębiorstw sektora PV w Polsce oraz wzrost wartości zamówień w branży.	Ad. 1) W 2021 roku zdolności wytwórcze polskich przedsiębiorstw w zakresie modułów PV, stanowią ok. 10% europejskich zdolności produkcyjnych. W sektorze zatrudnionych jest pięć tysięcy pracowników (nie licząc ponad dwudziestu tysięcy instalatorów systemów fotowoltaicznych). Zgodnie z planami strategicznymi kluczowych graczy rynkowych branży szacuje się wzrost tego zatrudnienia nawet do dziewięciu tysięcy etatów w latach 2021-2025.[9].

[7] https://www.gramwzielone.pl/trendy/103848/wyzszy-cel-oze-na-2030-rok-nie-32-ale-nawet-40-procent, data pobrania 27 kwietnia 2021

[8] Ibidem

[9] https://www.teraz-srodowisko.pl/media/pdf/aktualnosci/8726-Deklaracja-Panelu-Producentow-Urzadzen-Fotowoltaicznych.pdf, data pobrania 23 kwietnia 2021

3) Możliwość współfinansowania inwestycji PV z krajowych oraz wspólnotowych środków publicznych. 4) Krajowy oraz lokalny rozwój rynku PV. 5) Możliwość uzyskania niezależności energetycznej i ekonomicznej. 6) Odporność sektora na skutki pandemii COVID-19.	Ad. 2) W ostatnich latach stale rośnie wartość rynkowa przedsiębiorstw oraz wolumen zamówień w polskiej branży PV. Tytułem przykładu Columbus Energy w 2020 roku był drugą najdroższą spółką na New Connect. Publikacja wyników finansowych za pierwszy kwartał 2020 roku, pokazała pięciokrotny wzrost przychodów w stosunku do roku 2019 i siedmiokrotny wzrost zysku brutto. Przedsiębiorstwo nabyło także 20% udziałów w innej polskiej spółce high-tech sektora PV – Saule. W kwietniu 2021 roku portal forsal.pl przekazał informacje o 10,18 mln zł skonsolidowanego zysku netto w 2020 r. wobec 3,47 mln zł zysku rok wcześniej innego krajowego potentata na rynku PV – rzeszowskiego ML System. W tym samym miesiącu wysokienapiecie.pl informowało z kolei, że roczny portfel zamówień tej spółki przekroczył 100 milionów złotych. Ad. 3) Czynnikiem ekonomicznym sprzyjającym rozwojowi branży jest bez wątpienia możliwość współfinansowania inwestycji z krajowych oraz wspólnotowych środków publicznych, zarówno dużych projektów badawczo-rozwojowych, bardzo często zawierających komponent wyposażenia w linie demonstarcyjne/pilotażowe, jak również małych instalacji prosumenckich. Źródła finansowania obejmują dostępność środków w programach NCBR, NFOŚiGW, regionalnych programach operacyjnych jak również w Programie Horyzont Europa i innych. Kolejnym elementem wsparcia finansowego w najbliższych latach będzie Krajowy Plan Odbudowy. Ad. 4) Rozwój globalnego oraz w konsekwencji krajowego rynku PV wpisany jest integralnie w aktualną transformację energetyczną, której wiodącym elementem są odnawialne źródła energii, spośród których fotowoltaika w sposób skokowy przybiera na znaczeniu. OZE pokrywają od 10 do 18% całkowitego globalnego zużycia energii (2018). Rozbieżności wynikają z problemów ścisłej definicji. W Polsce w 2019 roku – 10,53% (wg Eurostatu 11,2%) [10] [11] [12]. Typologia źródeł, a udział procentowy w rynku OZE w 2019 roku przedstawiała się następująco: 62,8% woda, 19,0% wiatr, 8,8% słońce, 6,3% biopaliwa, 3,1% inne (głównie geotermia)[13]. Wzrost znaczenia fotowoltaiki (na tle najszybciej rozwijającej się dotychczas technologii odnawialnej – wiatru) w ujęciu globalnym dobitnie pokazują dane przedstawione w Renewables 2020 Global Status Report. Renewable Energy Policy Network for the 21st Century (Paris 2020): Całkowita moc elektrowni wiatrowych w 201 roku wynosiła 198 GW, podczas gdy PV 40 GW. Pięć lat później proporcja ta przedstawiała się już następująco: wiatr 433 GW, PV 228 GW. W roku 2019 moc farm wiatrowych osiągnęła 651 GW, a słonecznych 627 GW. Odwrócenie proporcji jest zatem kwestią czasu, raczej bliższego niż dalszego. Biorąc pod uwagę, że całkowita moc zainstalowana fotowoltaiki na świecie jeszcze w 2009 roku wynosiła zaledwie 23,5 GW, możemy mówić o rozwoju niespotykanym w historii energetyki – *Ten ponad 25-krotny wzrost wygenerowano głównie dzięki inwestycjom w Chinach, Japonii, USA i Niemczech.*

[10] Renewables 2020 Global Status Report. Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, Paris 2020
[11] BP Statistical World Energy Review, koncern British Petroleum, czerwiec 2019
[12] https://globenergia.pl/10-energii-elektrycznej-wyprodukowanej-w-2019-roku-pochodzilo-z-oze/
[13] BP Statistical World Energy Review, koncern British Petroleum, czerwiec 2019

	W 2018 roku 29 państw miało co najmniej 1 GW mocy fotowoltaicznych. Polska dołączyła do tego grona w 2019 roku (chociaż jeszcze niedawno nie było to takie oczywiste; kilka lat temu dominowało przekonanie, że technologia ta jest raczej melodią odległej przyszłości, a przyjęty w 2009 roku Krajowy Plan Działania w zakresie energii ze źródeł odnawialnych zakładał jedynie 3 MW w 2020 roku – poziom ten został już przekroczony ponad 300-krotnie)[14]. Ad. 5) Czynnikiem bardzo silnie sprzyjającym rozwojowi branży jest także bez wątpienia możliwość zapewnienia autonomii w zakresie własnej produkcji prądu. Chociaż systemy on-grid bardzo powoli wkraczają na polską scenę fotowoltaiczną, wydaje się, że jest to jeden z najbardziej perspektywicznych kierunków rozwojowych branży. Ad. 6) Branża PV wykazuje bardzo dużą odporność na skutki pandemii COVID-19. Jak wykazano w niniejszym opracowaniu, pomimo lockdownu rosną: moce zainstalowanej PV, prywatne i publiczne nakłady inwestycyjne w branży, wartość zamówień przedsiębiorstw produkcyjnych sektora , wzrasta także zatrudnien**ie.** **Reasumując, czynniki otoczenia ekonomicznego w 2021 roku bardzo korzystnie wpływają na rozwój krajowej branży fotowoltaiki. W perspektywie objętej niniejszym foresightem, tj. do 2025 roku, kluczowe znaczenie może odegrać możliwość współfinansowania inwestycji sektora z krajowych oraz wspólnotowych środków publicz**nych.
Społeczne 1) Społeczna akceptacja transformacji energetycznej (czynniki ekologiczne, czynniki niezależności od tradycyjnego systemu energetycznego) 2) Energetyka obywatelska	Ad. 1) Kolejnym czynnikiem sprzyjającym rozwojowi krajowej branży PV jest wysoka społeczna akceptacja procesów transformacji systemu energetycznego, w tym zwłaszcza jego dekarbonizacji. W przeprowadzonych jeszcze w 2016 roku przez CBOS specjalistycznych badaniach problemu, które opublikowano następnie w formie raportu pt. *Polacy o źródłach energii, polityce energetycznej i stanie środowiska*[15] zadaniem respondentów była ocena wszystkich źródeł energii w wymiarze: a) bezpieczeństwa, rozumianego jako poziom zagrożeń dla otoczenia – ludzi, środowiska, klimatu – będących konsekwencją wykorzystywania danego źródła energii oraz b) perspektywiczności, rozumianej jako szanse na zapewnienie Polsce bezpieczeństwa energetycznego w przyszłości. Spośród pięciu uwzględnionych źródeł pozyskiwania energii, OZE oceniane są zdecydowanie najwyżej zarówno w wymiarze bezpieczeństwa, jak i perspektywiczności (odpowiednio 87% oraz 82% badanych; dla porównania węgiel 52% i 29%, ropa naftowa 47% i 38%, gaz ziemny 60 i 55%, paliwo jądrowe 24 i 52%)[16].

[14] https://wysokienapiecie.pl/23426-mamy-pierwszy-gigawat-fotowoltaiki-w-polsce-dopiero-poczatek/

[15] Polacy o źródłach energii, polityce energetycznej i stanie środowiska. Pod redakcją Magdaleny Gwiazdy i Pawła Ruszkowskiego, CBOS Warszawa 2016.

[16] Ibidem

	Niezależnie od tych danych, chyba najbardziej wiarygodnym miernikiem zaufania społecznego do OZE, w tym zwłaszcza do fotowoltaiki jest liczba instalacji prosumenckich- *Z informacji przekazanych przez rządowego pełnomocnika ds. odnawialnych źródeł energii wynika, że na koniec 2020 r. w Polsce energię elektryczna produkowało już ponad 457,4 tys. prosumentów*[17]. Ad. 2) Rozwój energetyki obywatelskiej w dzisiejszych realiach możliwy jest wyłącznie przy maksymalizacji fotowoltaicznych instalacji prosumenckich. Kształtować go będą w najbliższej przyszłości prawdopodobnie następujące główne czynniki – dążenie do autonomii produkcyjnej, dążenie do redukcji kosztów oraz ekologiczny charakter PV. Jak zauważają eksperci portalu wysokienapiecie.pl *coraz więcej odbiorców będzie rezygnowało z usług systemowych w zakresie dostaw energii elektrycznej w ujęciu klasycznym, budując własne instalacje wytwórcze i magazyny energii, a w niedalekiej przyszłości zaczną się łączyć i tworzyć lokalne samobilansujące mikrosystemy elektroenergetyczne. Dojrzałość techniczna dostępnych rozwiązań energetycznych i teleinformatycznych w tym obszarze umożliwia pełną kontrolę generacji i dystrybucji energii elektrycznej w ujęciu lokalnym. Wydaje się, że znaczną przeszkodą w transformacji krajowego sektora energetycznego w tym podsektora elektroenergetycznego, mającej na celu jego rozwój poprzez wyprowadzenie z technologicznego zastoju, również w kierunku jego stopniowej decentralizacji, jest istniejące prawo energetyczne, które reguluje funkcjonowanie systemu scentralizowanego.*[18] **Czynniki społeczne w 2021 roku wpływają korzystnie na rozwój branży PV na rynku krajowym, można przyjąć z prawdopodobieństwem graniczącym z pewnością że stan ten do 2025 roku nie ulegnie zmianie.**
Technologiczne 1) Postęp technologiczny w branży PV. 2) Szybka dostępność nowych technologii (szybki transfer technologii z fazy badań rozwojowych na rynek). 3) Wzrost znaczenia PV w miksie energetycznym kosztem tradycyjnych źródeł pozyskiwania energii oraz kosztem innych OZE	Ad. 1) Stosunkowo szybko postępujący progres technologiczny fotowoltaiki przebiega w kierunku podnoszenia sprawności funkcjonujących systemów, rozwoju technologii fotowoltaiki zintegrowanej z budynkiem, agrofotowoltaiki, eliminacji pierwiastków niebezpiecznych z systemów PV, rozwoju technologii ogniw elastycznych, technologii ogniw bifacial, modułów o wyższej wydajności z wykorzystaniem technologii pasywacji emitera tylnej części ogniwa (tzw. PERC), technologii ogniw perowskitowych, wzrostu znaczenia technologii zdalnej konserwacji i kontroli modułów PV, który w przyszłości zapewnić ma poprawę wydajności oraz redukcję kosztów obsługi i utrzymania, a także zmniejszenie przestojów (z wykorzystaniem dronów do zdalnego obrazowania termograficznego obiektów), badań nad opracowaniem pokrycia powierzchni paneli PV, które mogą zmniejszyć osadzanie się pyłu, co w konsekwencji doprowadzi do poprawy wydajność systemów oraz obniży koszty czyszczenia w silnie zapylonym środowisku. Inne aktualne kierunki badań naukowych to m.in. prace podejmujące tzw. opcje drugiego życia (ponownego użycia) ogniw oraz konsekwencje wycofania paneli PV z eksploatacji (recykling) etc.

[17] https://www.gramwzielone.pl/energia-sloneczna/104746/w-rok-w-polsce-przybylo-prawie-300-tys-prosumentow, data pobrania 28 kwietnia 2021

[18] https://wysokienapiecie.pl/33775-czy-duza-energetyka-wpada-w-spirale-smierci/, data pobrania 19 kwietnia 2021

	Ad. 2) Ze względu na stricte aplikacyjny charakter badań naukowych i prac rozwojowych oraz bardzo dużą chłonność rynku podkreślić należy bardzo szybką dostępność nowych technologii (szybki transfer technologii z fazy badań rozwojowych na rynek). Ad. 3) Wzrost znaczenia fotowoltaiki w miksie energetycznym kosztem tradycyjnych źródeł pozyskiwania energii oraz kosztem innych OZE szczegółowo opisany powyżej możliwy jest dzięki coraz szybszej dostępności nowych technologii oraz stale obniżającym się kosztom instalacji systemów PV. **Technologiczne czynniki otoczenia tworzą swoisty, wybitnie korzystny „mikroklimat" dla rozwoju branży fotowoltaiki. Beneficjentem postępu technologicznego jest także krajowy sektor producentów PV oraz odbiorcy końcowi.**
Prawne 1) Regulacje prawne (system prawny).	Kluczowym aktem prawnym dla branży PV w Polsce jest *Ustawa z dnia 20 lutego 2015 roku o odnawialnych źródłach energii*, która określa m.in. zasady i warunki wykonywania działalności w zakresie wytwarzania energii elektrycznej z odnawialnych źródeł energii oraz ustanawia mechanizmy i instrumenty wspierające wytwarzanie energii elektrycznej z OZE. Dokument wielokrotnie krytykowany, również przez przedstawicieli sektora PV. Podobnie jak *Ustawa z dnia 10 kwietnia 1997 roku Prawo energetyczne* w powszechnej ocenie ekspertów z branży PV sytuuje funkcjonowanie systemu silnie scentralizowanego i daje uprzywilejowaną pozycję oligopolowi energetycznemu w Polsce[19]. Kolejnym bardzo istotnym aktem prawnym jest ustawa prawo budowlane. Także tutaj środowisko sygnalizuje nie do końca przemyślane koncepcje – *Duża nowelizacja prawa budowlanego, która weszła w życie 19 września, wprowadza wymóg uzgadniania projektu technicznego każdej instalacji fotowoltaicznej o mocy ponad 6,5 kW z rzeczoznawcą do spraw zabezpieczeń przeciwpożarowych. To może spowodować zamieszanie na rynku fotowoltaiki, który szybko się rozwija. (…) Próg 6,5 kW jest tylko nieznacznie większy niż wynosi średnia moc instalacji fotowoltaicznej dofinansowanej z programu Mój Prąd – 5,6 kW.*[20] **Regulacje prawne stanowią najmniej korzystny czynniki otoczenia krajowej branży PV. Wielokrotnie krytykowane i źle oceniane przez ekspertów z branży, pomimo wielu nowelizacji wymagają systemowego przeglądu i zmia**n.

[19] https://wysokienapiecie.pl/33775-czy-duza-energetyka-wpada-w-spirale-smierci/, data pobrania 19 kwietnia 2021

[20] https://wysokienapiecie.pl/32373-nowe-wymogi-dotyczace-fotowoltaiki-ogrzewania-w-prawie-budowlanym/

Środowiskowe 1) Wpływ na środowisko naturalne.	Branża PV jest sektorem implikującym pozytywny wpływ na środowisko naturalne. Zwiększenie wolumenu instalacji fotowoltaicznych znacząco wpłynie na ochronę istniejących zasobów naturalnych oraz rewitalizację tych utraconych. Coraz częściej wykorzystuje się na jej potrzeby tereny zdegradowane oraz poprzemysłowe. O ekologicznym charakterze technologii przesądza jej bez emisyjność, brak wytwarzania hałasu (np. w odróżnieniu innej technologii OZE – wiatraków) oraz bardzo długi okres eksploatacji, sięgający nawet kilkudziesięciu lat. Nie bez znaczenia pozostaje duża niezawodność tych systemów, ograniczającą liczbę interwencji instalatorskich oraz konserwacji. Systemy te w zasadzie w całości mogą zostać poddane recyklingowi, co dodatkowo implikuje pozytywny wpływ technologii na środowisko naturalne. **Aspekty środowiskowe stanowią jeden z elementów stawiających fotowoltaikę w pole position wyścigu o dominację na krajowym rynku energetycznym. Chociaż nie stanie się to w perspektywie objętej opracowaniem – do 2025 roku.**

NOTA INFORMACYJNA

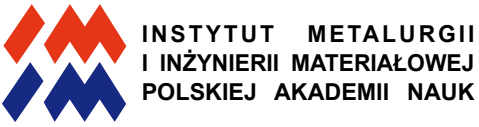
Niniejsza publikacja powstała dzięki dofinansowaniu udzielonemu przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego w ramach Projektu: „Organizacja Krajowej Konferencji Nauki i Przemysłu „Fotowoltaika 2025" oraz opracowanie „Foresight technologiczny polskiej branży PV w perspektywie do 2025" (Program DIALOG).

Autorzy informują i zastrzegają, że dane zamieszczone w publikacji mają jedynie charakter informacyjny oraz nie stanowią porady w rozumieniu polskich przepisów. Opracowanie przedstawia wiedzę oraz opinie autorów według stanu na dzień publikacji. Zostało ono sporządzone, z zachowaniem metodologicznej poprawności, z rzetelnością oraz starannością, **na podstawie danych i raportów ogólnodostępnych. W każdym takim przypadku podano źródło informacji.** Oferta jednostek i przedsiębiorstw powstała na bazie informacji ogólnodostępnych lub przesłanych przez pracowników tych jednostek.

Autorzy nie podejmują poprzez niniejszą publikację żadnych zobowiązań oraz nie ponoszą żadnejodpowiedzialności za decyzje i działania podjęte na podstawie Foresightu ani za szkody poniesione w wyniku tych decyzji.

Zespół Redakcyjny
„Foresight technologiczny polskiej branży PV w perspektywie do 2025"

INSTYTUT METALURGII
I INŻYNIERII MATERIAŁOWEJ
POLSKIEJ AKADEMII NAUK



ISBN: 978-83-60768-51-8

Patronat medialny

magazyn fotowoltaika

Publikacja finansowana w ramach
Programu Ministerstwa Edukacji i Nauki
pod nazwą „DIALOG”

Ministerstwo
Edukacji i Nauki

DIALOG