

Marcin Szczepaniak, Stanisław Maleczek
Wojskowy Instytut Techniki Inżynieryjnej, Wrocław

SYSTEMY FOTOWOLTAICZNE DO ZASTOSOWANIA W APLIKACJACH MILITARNYCH

PHOTOVOLTAIC SYSTEMS FOR USE IN MILITARY APPLICATIONS

Streszczenie: Dynamiczny rozwój źródeł odnawialnych powoduje znaczący spadek ich cen oraz polepszenie ich efektywności energetycznej. Dodatkowo długotrwałe operacje militarne (również podczas misji zagranicznych) na otwartej przestrzeni niosą ryzyko zaniku zasilania urządzeń militarnych, uzasadnione jest więc wykorzystanie tego typu alternatywnych źródeł energii. Wymienione zalety powodują, że konwencjonalne źródła prądu (np.: zespoły prądotwórcze) w określonych przypadkach mogą być zastępowane przez źródła alternatywne, co zostało omówione w pracy. Niniejsza praca przedstawia perspektywy zastosowań baterii słonecznych w Siłach Zbrojnych RP. Przedstawione zostały prototypowe źródła zasilania oraz ich aplikacje wykonane w Wojskowym Instytucie Techniki Inżynieryjnej na bazie ogniw produkowanych w kraju przez Instytut Metalurgii i Inżynierii Materiałowej PAN. Określono możliwość i sposób stosowania tego typu źródeł zasilania w wojsku. Opracowano koncepcję nowych modeli solarnych dla Sił Zbrojnych i ustalono perspektywy działań na najbliższe lata. Następnie omówiono wyniki realizacji projektu rozwojowego przedstawiając wykonane dotychczas demonstratory technologii.

Abstract: The dynamic development of renewable energy sources causes a significant drop in their prices and improve their energy efficiency. In addition, long-term military operations (including foreign missions) in the open carry a risk of loss of power to the military, so it is reasonable to use this type of alternative energy sources. These advantages make conventional power sources (eg.: generators) may in certain cases be replaced by alternative sources, as discussed in the work. This paper presents the perspective of application of solar cells in the Polish Armed Forces. They presented a prototype power source and their applications made at the Military Institute of Technical Engineering on the basis of cells produced in the country by the Institute of Metallurgy and Materials Science. It determined the possibility and application of this type of power source in the military. They developed the concept of new models of solar systems for the Armed Forces and determined prospects for the coming years. It then discusses the results of the project development made so far by presenting demonstrators technology.

Słowa kluczowe: solarny system zasilania, panele fotowoltaiczne, odnawialne źródła energii

Keywords: solar power system, photovoltaic panels, renewable energy sources

1. Wstęp

Światło słoneczne docierające do powierzchni Ziemi jest coraz częściej wykorzystywane jako alternatywne źródło energii [1]. Zainteresowanie pozyskiwaniem energii z tego praktycznie niewyczerpanego źródła jest widoczne zarówno ze strony indywidualnych gospodarstw domowych, wielkich przedsiębiorstw, jak również wśród środowisk naukowych i militarnych [2]. Możliwe jest to dzięki m.in. technice fotowoltaicznej pozwalającej na wytworzenie ogniw fotowoltaicznych przetwarzających energię słoneczną bezpośrednio w energię elektryczną [3]. Ogniwa te wytwarzane są obecnie przede wszystkim na bazie krzemu. Głównym czynnikiem warunkującym możliwości zastosowania ogniw fotowoltaicznych w danym systemie jest jego sprawność, decydująca o parametrach energetycznych paneli słonecznych. Możliwość

zastosowania systemów fotowoltaicznych dla potrzeb wojska wymusza spełnienie również innych znaczących wymagań, m.in. maskowania odporności na warunki środowiskowe, wymiarów i masy. W opracowaniu przedstawiono możliwość zastosowania baterii słonecznych dla zastosowań militarnych.

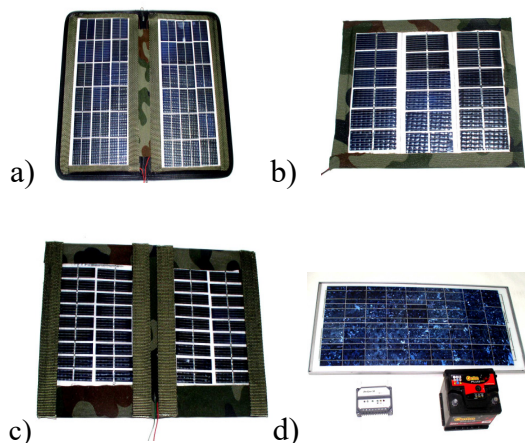
2. Zastosowanie fotowoltaiki w wojsku

W ciągu ostatnich dekad obserwowany był szybki rozwój technologii elektronicznej i informatycznej. Coraz doskonalsze i bardziej funkcjonalne urządzenia elektroniczne, stały się podstawą wyposażenia nowoczesnych armii. Wiele z tych urządzeń stanowi część mobilnego wyposażenia żołnierza. Konieczność zasilania ich energią elektryczną daje kierunek rozwoju alternatywnych źródeł energii elektrycznej [4].

Jest to jedno z głównych założeń prac, których realizację zapoczątkowano w Wojskowym Instytucie Techniki Inżynierskiej (WITI). Baterie słoneczne mogą być stosowane jako awaryjne lub podstawowe źródło zasilania w miejscach o ograniczonej infrastrukturze energetycznej. Wykorzystanie ich podczas operacji militarnych w terenie zapewni pełną sprawność pododdziałów w przypadku braku dostępu do innych źródeł zasilania, zachowując tym samym ciszę na polu działań.

W ramach wstępnych prac prowadzonych w WITI wykonano następujące modele zestawów baterii solarnych dla Sił Zbrojnych RP:

- 1) Przenośne baterie słoneczne dla pojedynczego żołnierza (rys. 1a, 1b, 1c).
- 2) Przewoźne rozkładane baterie słoneczne dla pojazdów bojowych (rys. 1d).



Rys. 1. Zestawy baterii słonecznych: a) typ BS001 b) typ BS002 c) typ BS003 d) typ ZS001

I_{sc}- prąd zwarcia, **V_{oc}**- napięcie odcięcia
P- moc, **FF**- współczynnik wypełnienia,
η- sprawność, **l**- długość, **h**- wysokość, **m**- masa

Tabela. 1. Parametry elektryczne i fizyczne zestawów baterii słonecznych

Typ	I _{sc} [A]	V _{oc} [V]	P [W]	FF	η [%]
BS 001	1,6/ 0,8	10,62/ 21,24	12,6	0,75	14
BS 002	0,2	21,24	3,2	0,75	14
BS 003	0,4	10,62	3,2	0,75	13
ZS 001	3,2	21,40	50,4	0,75	13

3. Dalsze działania w zakresie zastosowania fotowoltaiki w wojsku

W wyniku przeprowadzonej analizy oraz wykonanych modeli urządzeń należy stwierdzić, że jest celowe i możliwe zastosowanie baterii słonecznych w Siłach Zbrojnych RP. Jest to szczególnie istotne w związku z wprowadzaniem w wojsku oszczędnych technologii. Opinia ta jest zgodna z dokumentem „Długofalowy plan rozwoju priorytetowych obszarów badawczych w zakresie techniki i technologii obronnych na lata 2007 – 2019” opracowanym przez DPZ MON w 2006r [4]. Wykonane w WITI modele przyczyniły się do podjęcia działań prowadzących do rozpowszechnienia technologii solarnej w siłach zbrojnych RP i opracowaniu koncepcji demonstratorów technologii solarnej w ramach projektu ministerialnego pod nazwą: „Specjalne systemy fotowoltaiczne do zastosowania w siłach zbrojnych RP”. Realizacja projektu ma na celu wykonanie zestawów urządzeń popularyzujących ideę wykorzystania energii promieniowania słonecznego w siłach zbrojnych RP. Modele mają być wykonane w oparciu o krajowe półprodukty fotowoltaiczne i mają tworzyć inspiracje do szerokiego wykorzystania źródeł energii odnawialnej zarówno w SZ RP, jak i w sektorze cywilnym. Wybrane rozwiązania powinny znaleźć zastosowanie podczas działań wojennych na Obszarach o dużym nasłonecznieniu, ale niewyposażonych w bogatą strukturę sieci energetycznych. W ramach projektu wykonywane są następujące urządzenia:

- system zasilający środki sygnalizacyjne,
- system zasilający pojedynczego żołnierza,
- system zasilający bojowe środki,
- system zasilający bezobsługową kamerę,
- przewoźny system zasilania dla wozów dowodzenia,
- autonomiczny system zasilania - polowa elektrownia słoneczna.

Wyżej wymienione zestawy realizowane są we współpracy z Instytutem Metalurgii i Inżynierii Materiałowej PAN, który jest producentem wykorzystywanych paneli słonecznych jak również z Wojskowymi Zakładami Łączności nr 2, które dysponują ogromnym doświadczeniem w produkcji sprzętu dla wojska. W ramach projektu wykonano również stanowisko do pomiaru parametrów elektrycznych wytworzonych paneli słonecznych i natężenia padającego światła.

4. Założenia techniczne przyjęte do wykonania urządzeń fotowoltaicznych

4.1. System zasilający środki sygnalizacyjne

Przewidziano wykonanie urządzenia w postaci tabliczki informacyjnej ze znakami widocznymi w ciemności, mającymi ostrzegać przed wejściem na oznakowany teren. Urządzenie ma się charakteryzować długotrwałą pracą przy zasilaniu z wbudowanych akumulatorów, których energia powinna być uzupełniana z baterii fotowoltaicznej. Konstrukcja ma być zwarta, umożliwiającą łatwe przenoszenie i przechowywanie.

4.2. System zasilający pojedynczego żołnierza

Projektowany system powinien zapewnić zasilanie różnorodnych urządzeń elektrycznych będących na wyposażeniu żołnierza i stanowić rodzaj przenośnej stacji zasilania wykorzystywanej w przypadku braku innych źródeł energii elektrycznej. Podstawą systemu ma być akumulator ładowany przy pomocy baterii słonecznej oraz innych aktualnie dostępnych źródeł energii elektrycznej. System będzie wyposażony w komplety wymiennych końcówek do laptopów i telefonów komórkowych oraz przetwornicę dostarczającą napięcia stałego o różnych wartościach, od 12 ÷ 24 V. W razie potrzeby akumulator systemu powinien być doładowywany z sieci 230 V lub akumulatora samochodowego 12 V. Bateria fotowoltaiczna wykonana z ogniw krzemu monokrystalicznego ma być składana, a moc jej przy dobrym oświetleniu światłem słonecznym powinna wynieść około 12 - 15 W.

4.3. System zasilający bojowe środki

Zakłada się wykonanie wyrobu zapewniającego zasilanie środków bojowych prądem stałym o napięciu 12 V. Wykorzystana zostanie bateria fotowoltaiczna zbudowana z dwóch połączonych szeregowo sekcji po 20 ogniw. Do pracy buforowej z baterią fotowoltaiczną należy użyć baterii akumulatorów nanofosfatowych Li-FePo₄, które charakteryzują się dużą odpornością na niekorzystne warunki eksploatacji i mogą pracować w zakresie temperatur 40°C ÷ +75°C, są trwale i bezpieczne oraz nie posiadają efektu pamięciowego. W celu zapewnienia poprawnej współpracy baterii fotowoltaicznej z akumulatorem, należy zastosować regulator napięcia, który będzie sterował procesem łado-

wania akumulatora, a także zabezpieczy akumulator przed przeładowaniem bądź nadmiernym rozładowaniem. Rozwiązanie konstrukcyjne obudowy ma zabezpieczyć w czasie transportu lub przechowywania powierzchnie baterii słonecznych przed uszkodzeniem. Zalecana jest rozkładana (w formie książki) metalowa obudowa, co pozwoli po rozłożeniu powiększyć powierzchnię baterii słonecznej przy zachowaniu małych rozmiarów obudowy w stanie złożonym.

4.4. System zasilający kamerę bezobsługową

Model stanowiska bezobsługowej kamery zasilanej z systemu fotowoltaicznego powinien zawierać:

- Wózek, który jest wyposażony w maszt, uchwyty umożliwiające przytwierdzenie baterii fotowoltaicznej oraz skrzynię służącą, jako miejsce przechowywania aparatury (na czas transportu).
- Maszt posiadający uchwyty do mocowania: kamery, mechanizmu obrotowego oraz urządzeń radiowych.
- Skrzynię, w której powinny znajdować się akumulatory oraz układ regulatora sterującego procesem ładowania akumulatora z baterii fotowoltaicznej.

Ponadto kompletny system zasilania kamery bezobsługowej powinien być wyposażony w odrębne stanowisko operatora.

4.5. Przewoźny system zasilania dla wozów dowodzenia

Przewidziano wykonanie urządzenia w postaci rozkładanego panelu (w formie książki) o szczytowej mocy około 100 W - 120 W. Panel przeznaczony będzie do wspomagania systemów zasilania wozów dowodzenia, dlatego musi być wyposażony we własny sterownik, który umożliwi właściwą współpracę z siecią pokładową 26 V. Konstrukcja panelu ma być lekka, ale jednocześnie zapewniająca właściwą ochronę baterii słonecznej. Przewiduje się możliwość łączenia paneli w zestawy w celu zwiększenia mocy systemu.

4.6. Autonomiczny system zasilania - polowa elektrownia słoneczna

Elektrownia ta przeznaczona jest do zasilania: stanowisk dowodzenia, węzłów łączności, szpitali polowych itp. W związku z powyższym zakłada się docelową moc paneli słonecznych na poziomie 2 kW. Na obecnym etapie, jako

demonstrator technologii moc ta ma wynosić się ok. 1 kW. System planowany jest do zainstalowania na przyczepie, na której będzie znajdował się układ przetwarzania energii wraz z zespołem prądotwórczym [5,6].

5. Uzyskane wyniki

5.1. System zasilający środki sygnalizacyjne

Urządzenia wykonano w postaci tabliczki informacyjnej ze znakami widocznymi w ciemności. Do podświetlenia tabliczki informacyjnej wybrano diody LED wraz ze sterownikiem. Układ ten zbudowano w oparciu o regulator, który steruje ładowaniem akumulatora z baterii fotowoltaicznej oraz pracą diody LED w zależności od natężenia oświetlenia zewnętrznego. Ponieważ możliwa jest dowolna lokalizacja urządzenia w terenie, przewidziano możliwość regulacji położenia baterii fotowoltaicznej względem słońca. Ze względów konstrukcyjnych wyróżniono pięć podstawowych pozycji baterii w płaszczyźnie pionowej ustalanych dokręceniem śrub regulacyjnych.

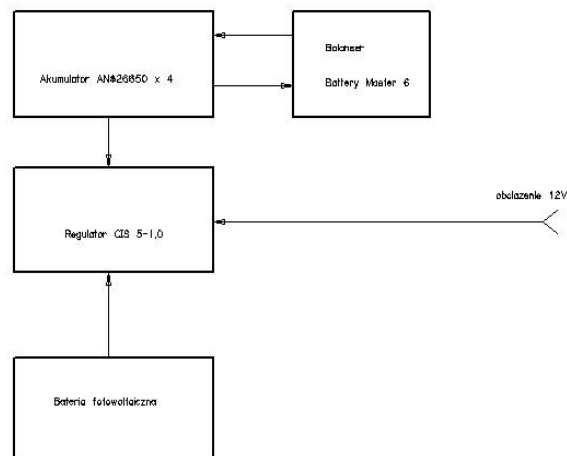


Rys. 2. Demonstrator systemu zasilania środków sygnalizacyjnych

5.2. System zasilający środki bojowe

Wykonany demonstrator składa się z baterii akumulatorów, baterii fotowoltaicznej, regulatora napięcia i układów pomocniczych. W obudowie zamontowano baterię 4 akumulatorów nanofosfatowych LiFePo₄ zapewniających napięcie nominalne 13,2 V [5,6]. Bateria akumulatorów zasila elektroniczny układ regulatora oraz dostarcza wymaganej energii dla podłączonego do wyrobu odbiornika.

Demonstrator wyposażony został w bezpiecznik chroniący akumulator przed uszkodzeniem, gniazdo rezerwowego doładowania akumulatora, układ sygnalizacji stanu regulatora oraz kabel umożliwiający.



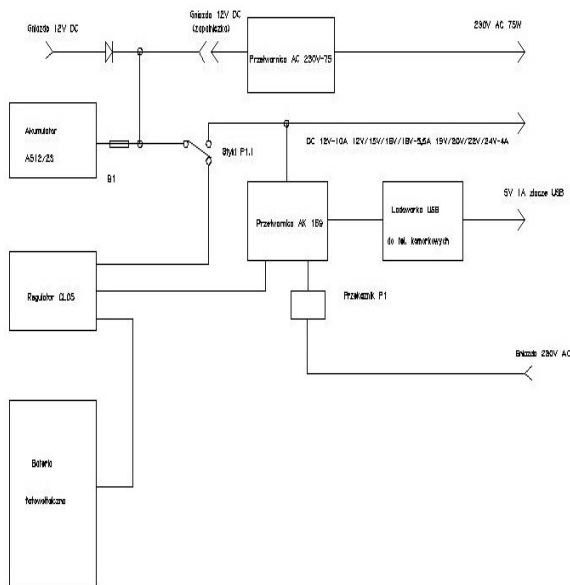
Rys. 3. Schemat blokowy systemu zasilania środków bojowych



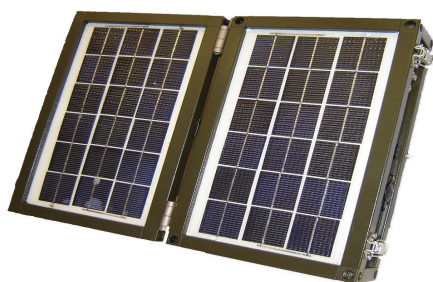
Rys. 4. Widok demonstratora systemu zasilania środków bojowych

5.3. System zasilający pojedynczego żołnierza

Wykonany demonstrator składa się z obudowy mieszczącej urządzenia elektroniczne, wyposażonej w rozkładaną baterię fotowoltaiczną. Wyrob stanowi rezerwowe źródło zasilania komputerów przenośnych i telefonów komórkowych. Ponieważ urządzenia takie zasilane są różnymi napięciami poprzez rozmaite złącza, zastosowano uniwersalną przetwornicę AK-159 przetwarzającą napięcie 12V DC (lub 230V AC) na napięcie stałe 12 V - 24 V zmieniane skokowo przełącznikiem co 2 V oraz dodatkowo napięcie 5 V do ładowania telefonów komórkowych poprzez złącze USB. Ponieważ energia słoneczna nie zawsze jest dostępna, akumulator można doładować również z akumulatora samochodowego poprzez wtyk zapalniczki lub ze źródła napięcia przemiennego 230 V.



Rys. 5. Schemat blokowy systemu zasilania pojedynczego żołnierza

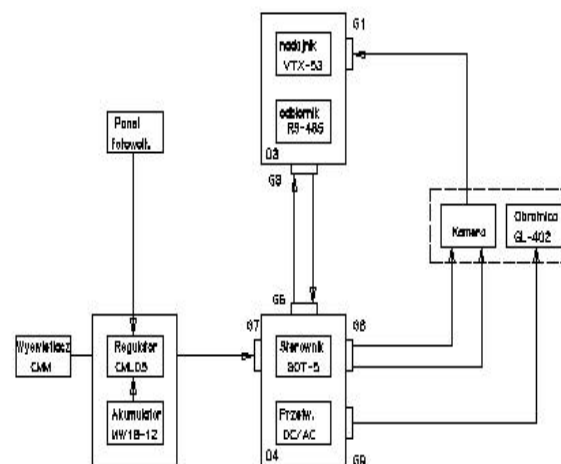
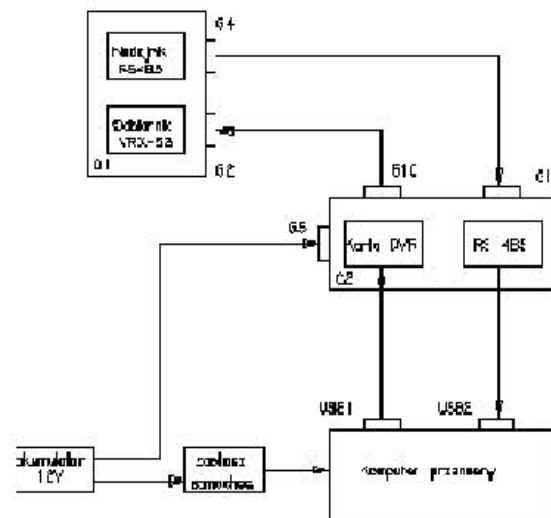


Rys. 6. Widok demonstratora systemu zasilania pojedynczego żołnierza

5.4. System zasilania kamery bezobsługowej

Kompletny system zasilania bezobsługowej kamery składa się z dwóch stanowisk: stanowiska kamery oraz stanowiska operatora. W skład stanowiska kamery wchodzi wózek z zamontowaną skrzynią transportową, na której zamocowana jest składana bateria fotowoltaiczna oraz maszt. Do masztu przymocowana jest kamera CCD z obrotnicą GL-402 oraz urządzeniem antenowym i układem sterowania obrotnicą. Na okres transportu lub przechowywania kamera z obrotnicą i osprzętem są demontowane maszty i umieszczane w skrzyni transportowej. Stanowisko kamery lokalizuje się w terenie, na którym wymagana jest obserwacja, a nie ma możliwości wykorzystania zasilania z sieci 230 V. Stanowisko operatora, (komputer przenośny wraz z osprzętem), umieszcza się w miejscu gdzie prowadzona będzie obserwacja monitorowanego obszaru. Odległość od stanowiska kamery może wynosić do 300 m w terenie

otwartym bez sterowania ruchem kamery lub do 100 m z przesyłaniem sygnału sterownia. Dla przesłania sygnału sterującego ruchem kamery wykorzystano tor radiowy pracujący na częstotliwości 868 MHz przesyłający dane RS-485 z prędkościami 2400, 4800 lub 9600 bps. Natomiast do transmisji obrazu z kamery wykorzystano tor radiowy umożliwiający przesyłanie informacji wideo na odległość do około 100 m.



Rys. 7. Schematy blokowe stanowisk kamery i operatora

Bateria fotowoltaiczna umieszczona na skrzyni transportowej, zbudowana jest z 3 sekcji ogniów z krzemu monokrystalicznego o wymiarach 5x5 cm po 36 ogniów w sekcji.



Rys. 8. Widok rozłożonej baterii fotowoltaicznej dla stanowiska kamery bezobsługowej



Rys. 9. Widok kamery z obrotnicą GL-402

5.5. Przewoźny system zasilania dla wozów dowodzenia

System ten składa się z rozkładanego panelu wyposażonego w dwie baterie słoneczne o sumarycznej mocy ok. 100 W. Panel wyposażony jest w regulator umożliwiający bezpośrednie podłączenie jego do sieci pokładowej zasilanych pojazdów (26 V). Metalowa rozkładana obudowa zapewnia właściwą ochronę przed czynnikami środowiskowymi oraz umożliwia właściwe ustawienie baterii względem słońca.



Rys. 10. Panel fotowoltaiczny przewoźnego systemu zasilania

5.6. Autonomiczny system zasilania - polowa elektrownia słoneczna

Elektrownia polowa znajduje się w fazie konstrukcyjno - wykonawczej. Będzie składała się z systemu 10 paneli fotowoltaicznych, identycznych jak w przewoźnym systemie zasilania dla wozów dowodzenia, zespołu prądotwórczego, zestawu regulatorów, falowników i akumulatorów oraz przyczepy transportowej. Dedykowany, specjalnie wykonany dla elektrowni zespół prądotwórczy (rys. 11) będzie źródłem energii elektrycznej w przypadku braku światła słonecznego i rozładowania się akumulatorów systemu.



Rys. 11. Zespół prądotwórczy polowej elektrowni słonecznej

6. Podsumowanie

Zastosowanie baterii słonecznych w Wojsku Polskim daje możliwość korzystania z niewyczerpalnego źródła energii elektrycznej, jakim jest energia słoneczna w obszarach o silnym nasłonecznieniu. Ponieważ długotrwałe operacje militarne (również podczas misji zagranicznych) na otwartej przestrzeni niosą ryzyko zaniku zasilania urządzeń militarnych, uzasadnione jest wykorzystanie tego typu alternatywnych źródeł energii. Innym przykładem implementacji mogą być autonomiczne i bezobsługowe systemy obserwacyjne lub ochronny zasilane z akumulatorów. Wykorzystanie baterii słonecznych daje możliwość ich ładowania minimalizując konieczność bezpośredniej ingerencji czynnika ludzkiego, a także eliminuje konieczność uruchamiania głośnych zespołów prądotwórczych. Wykorzystanie półproduktów i środków krajowych potrzebnych do realizacji projektów przyczynia się do rozwoju przemysłu w tym zakresie, jak również do opracowywania nowych technologii i zastosowań z obszaru fotowoltaiki. Niewątpliwie obiecujące staje się zastosowanie nowoczesnych, funkcjonalnych powłok dla ogniw fotowoltaicznych opartych

o przezroczyste tlenki półprzewodnikowe. Temu zagadnieniu będą poświęcone dalsze prace w WITI we współpracy z Politechniką Wrocławską i Instytutem Metalurgii i Inżynierii Materiałowej PAN. W dalszym etapie prac badania powinny skupiać się nad możliwością udoskonalenia wykonanych zestawów. W szczególności z punktu widzenia zastosowania w wojsku interesujące są zagadnienia dotyczące ochrony przed warunkami środowiskowymi, zapobiegania narażeniom mechanicznym, maskowania i polepszenia parametrów elektrycznych.

7. Literatura

- [1]. Joshua M. Pearce, Industrial symbiosis of very large-scale photovoltaic manufacturing, *Renewable Energy*, 33, 2008, s. 1101–1108.
- [2]. Soler-Bientz R., L.O. Ricalde-Cab, Developing a mobile alone photovoltaic generator, *Energy Conversion and Management*, 47, 2006, s. 2948-2960.
- [3]. Bächler M., Thin future – outlook for grid-connected PV systems in Europe, *Renewable Energy World*, 4, 2006, s. 150-161.
- [4]. Maleczek S., Zastosowanie baterii słonecznych w Siłach Zbrojnych RP, *Inżynieria Wojskowa – problemy i perspektywy*, WSOWL, Wrocław, 2008.
- [5]. Szczepaniak M., *Hybrydowe źródło zasilania elektrycznego urządzeń wspomagających akcje ratownicze i ewakuację*, *Elektronika* 7/2013;
- [6]. Wojciechowski A.: *Akumulatory litowo-fosfatowe – możliwości wykorzystania w technice wojskowej*, *Inżynieria Wojskowa – Problemy i perspektywy*, Konferencja Naukowo – Techniczna WITI 2013, Wrocław, 2013.