

## Odnawialne Źródła Energii w zasilaniu wojskowych urządzeń elektronicznych małej mocy

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono koncepcję wykorzystania ogniw fotowoltaicznych – PV i turbin wiatrowych do ładowania elektrycznych źródeł zasilania małej mocy, wykorzystywanych w urządzeniach elektronicznych będących na wyposażeniu żołnierza. Przedstawiono przykłady literaturowych rozwiązań polowych systemów energetycznych, w których zastosowano panele PV i turbiny wiatrowe. Dokonano przeglądu produkowanych paneli PV oraz turbin wiatrowych pod kątem oceny przydatności w zastosowaniach wojskowych. Zaproponowano koncepcje miniaturowej elektrowni do zasilania urządzeń elektronicznych w warunkach polowych.

**Abstract.** The article presents the concept of using photovoltaic cells – PV and wind turbines for charging low-power electric power sources, used in electronic devices that are equipped with a soldier. Examples of literature solutions for field energy systems, in which PV panels and wind turbines were used, are presented. The manufactured PV panels and wind turbines were reviewed in terms of their suitability for military applications. Concepts of a miniature power plant for powering electronic devices in the field were proposed. (**Renewable energy sources in powering miniature electronic devices**).

**Słowa kluczowe:** odnawialne źródła energii, pozyskiwanie energii z otoczenia, fotowoltaika, siła wiatru.

**Keywords:** renewable energy sources, obtaining energy from the environment, photovoltaics, wind power.

### Wstęp

Postęp, rozwój technologii, uzależnienie się od elektroniki powoduje ciągły wzrost zapotrzebowania na energię elektryczną. Urządzenia elektroniczne stanowią podstawę wyposażenia współczesnej armii, praktycznie już od pojedynczego żołnierza mamy do czynienia z urządzeniami, które wymagają dostępu do energii elektrycznej. Do zasilania urządzeń występujących na wyposażeniu żołnierza takich jak np. radiostacje, noktowizory, urządzenia GPS [1, 2], stosuje się chemiczne źródła zasilania - akumulatory. Każde z wymienionych urządzeń posiada akumulatory o innych rozwiązaniach technicznych oraz o innych parametrach. I tak np. inne parametry posiada akumulator przeznaczony do zasilania radiostacji małej mocy, a inne do zasilania noktowizora, odbiornika GPS [1, 2]. Czas pracy urządzeń będących na wyposażeniu żołnierza, ograniczony jest m.in. pojemnością akumulatorów oraz temperaturą, w której pracuje akumulator [1, 2]. Najprostszym rozwiązaniem wydłużenia czasu pracy urządzeń podczas wykonywania zadania bojowego, jest zabranie dodatkowych akumulatorów, powoduje to jednak zwiększenie masy wyposażenia żołnierza. Dlatego pozyskiwanie energii elektrycznej ze światła słonecznego jest atrakcyjnym rozwiązaniem problemu zasilania urządzeń elektronicznych w obszarach bez infrastruktury energetycznej i z ograniczeniami w zabezpieczeniu logistycznym wojsk [1, 2, 3, 4]. Ze względu na ograniczenia ogniwa PV zazwyczaj będą pełnił rolę awaryjnego źródła zasilania lub wspomagać pracę polowego systemu energetycznego [1, 2, 5, 6]. Drugim rozwiązaniem poprawiającym wydajność polowego systemu zasilania jest pozyskiwanie energii z siły wiatru [7]. Ilość energii pozyskiwanej z paneli PV [8, 9, 10] zależy od powierzchni, sprawności panelu PV, nasłonecznienia oraz pory dnia [11]. Ilość energii generowanej przez turbinę wiatrową w mniejszym stopniu zależy od pory dnia, a mocniej od prędkości wiatru [12, 13, 14]. Dobrym rozwiązaniem jest stosowanie rozwiązań hybrydowych, integrujących panele PV oraz turbiny wiatrowe. Pozyskanie energii z tych dwóch sił daje nam niezależność i autonomiczność [15, 16].

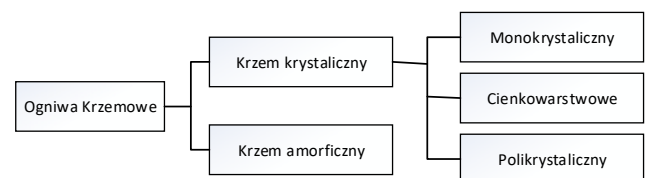
Do gromadzenia energii stosuje się magazyny energii wykorzystujące akumulatory (żelowe, kwasowo-ołowiowe, litowo-polimerowe Li-PO, akumulatory litowo-jonowe Li-Ion,

litowo-żelazowo-fosforanowe Li-Fe-PO<sub>4</sub>). Akumulatory zazwyczaj decydują o masie całego systemu zasilania [1, 2].

W artykule przedstawiono przykłady pozyskiwania energii z odnawialnych źródeł zasilania oraz koncepcje miniaturowej elektrowni do zasilania urządzeń polowych, urządzeń elektronicznych oraz ładowania akumulatorów urządzeń znajdujących się na wyposażeniu żołnierza. Użycie paneli PV oraz turbin wiatrowych w zastosowaniach militarnych musi się wiązać ze spełnieniem dodatkowych wymagań dotyczących: skutecznego maskowania, kamuflażu, odporności na uszkodzenia mechaniczne, odporności na warunki atmosferyczne, masy oraz wymiarów geometrycznych urządzeń [5, 17, 18].

### Ogniwa fotowoltaiczne i panele PV

Panele fotowoltaiczne PV składają się z połączonych w różnych konfiguracjach pojedynczych ogniw fotowoltaicznych (ogniwa PV) [5, 6]. Obecnie wytwarzane w produkcji masowej ogniwa PV można pogrupować według materiału, z jakiego zostały wykonane oraz jego struktury krystalicznej. Ogniwa PV najczęściej produkowane są na bazie krzemu o strukturze krystalicznej i amorficznej (rysunek 1), rzadziej produkuje się je ze związków półprzewodnikowych takich jak halogenki, GaAs, InP oraz z materiałów barwnikowych i organicznych [19, 20].



Rys. 1. Klasyfikacja ogniw krzemowych [19, 20].

Obecnie prowadzone badania dążą do uzyskania jak największej sprawności ogniw PV [8, 9, 10, 19, 20]. Najbardziej popularne ogniwa krzemowe osiągają ponad 25% sprawność [21]. Wyższą sprawność osiągają ogniwa ze związków półprzewodnikowych, które w warunkach laboratoryjnych mogą osiągnąć około 38 % sprawności [21, 22]. Technologię produkcji ogniw PV można podzielić na cztery generacje:

- I generacja: ogniwa PV produkowane na bazie krystalicznego lub polikrystalicznego krzemu;

- II generacja: cienkowarstwowe ogniwa PV produkowane na bazie amorficznego krzemu, polikrystalicznych warstw CIS (CuInSe<sub>2</sub>), CIGS (CuInGaSe<sub>2</sub>);
- III generacja: ogniwa PV produkowane w technice wielowarstwowej z materiałów o różnych potencjałach energetycznych [19, 20, 22].
- IV generacja: ogniwa perowskitowe oraz hybrydowe [22].

Panele PV ze względu na ich powierzchnię kształt, właściwości termiczne, kolor mogą mieć właściwości demaskujące pozycje pododdziałów. Niedogodność tę mogą wyeliminować barwnikowe ogniwa fotowoltaiczne (DSSC, ang. dye-sensitized solar cells), które należą do trzeciej generacji ogniw PV. Ogniwa PV DSSC ze względu na możliwość wyprodukowania ich w dowolnych kolorach i kształtach, a także ze względu na dużą wytrzymałość ogniw oraz pracę przy niskim natężeniu oświetlenia mogą być wykorzystane w zastosowaniach militarnych. Ale należy uwzględnić ich wrażliwość na zbyt niską i zbyt wysoką temperaturę [23, 22]. Pod względem wydajności nie mogą one konkurować z ogniwami krzemowymi [23, 22].

Ogniwa i panele PV najczęściej produkowane są na sztywnym podłożu, istnieją również technologie, które umożliwiają wyprodukowanie ogniw PV na podłożu elastycznym. Prowadzone badania nad technologią elastycznych ogniw PV idą w kierunku ogniw cienkowarstwowych o zwiększonej sprawności, coraz większej elastyczności struktury. Tu z nadzieją patrzy się na ogniwa perowskitowe, które jednak w obecnym stadium nie zapewniają niezawodnej niezawodności na polu walki [1, 2, 22]. Zwiększona elastyczność i trwałość ogniw PV pozwala na budowę paneli PV, które mogą być zintegrowane z osobistym wyposażeniem żołnierza takim jak mundur, plecak, kamizelka kuloodporna, hełm [1, 2, 3, 4].

Rozwiązanie takie pozwala np. na bezobsługowe zasilanie systemów monitorujących czynności życiowe żołnierza [3], ładowanie akumulatorów używanych w radiostacjach małej mocy, odbiornikach GPS, źródłach światła LED [1, 5, 6, 3, 24, 25]. Elastyczne panele PV najczęściej są produkowane z wykorzystaniem ogniw PV wykonanych w technologii krzemu amorficznego jako struktury wielołączowej lub z zastosowaniem technologii organicznej [26, 27, 28]. Największymi producentami elastycznych ogniw PV są amerykańskie firmy takie jak Global Solar, Uni-Solar oraz specjalizująca się w produkcji dla wojska firma Power Film [29, 30, 31]. Przykłady komercyjnie produkowanych elastycznych paneli PV przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Elastyczne panele firmy PowerFilm i Uni-Solar [29, 30, 31].

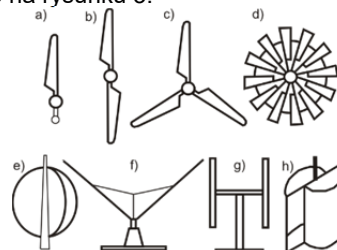
### Turbiny wiatrowe - pozyskiwanie energii z siły wiatru

Wiatr to ruch powietrza w wyniku różnicy gęstości ogrzanych mas powietrza i ich przemieszczaniem ku górze. Powoduje to różnicę ciśnień, a naturalna tendencja do ich wyrównania powoduje powstanie ruchu powietrza [32, 33].

Przykładem rozwiązania pozyskiwania energii z wiatru są elektrownie wiatrowe. Elektrownia wiatrowa to zespół urządzeń produkujących energię elektryczną wiatru za pomocą turbin napędzanych siłą wiatru. Turbiny wiatrowe są napędzane siłą wiatru i dzięki temu odbywa się produkcja energii elektrycznej. Wiatr trafiający na opór w postaci łopaty turbiny wprawia ją w ruch, a energia kinetyczna przekształcana jest w energię mechaniczną w postaci ruchu obrotowego wirnika. Wał i przekładnia przenoszą energię do generatora a ten przekształca ją w energię elektryczną. Elektrownie wiatrowe możemy podzielić ze względu na moc znamionową turbiny oraz na położenie osi obrotu wirnika turbiny. Ze względu na moc znamionową dzielimy elektrownie na:

- do 100 W – mikroelektrownie;
- powyżej 100 W do 100 kW elektrownie małej mocy;
- powyżej 100 kW elektrownie dużej mocy.

Większość instalowanych turbin wiatrowych to turbiny o poziomej osi obrotu i trzech łopatach. Ogólna budowa turbiny o horyzontalnej osi obrotu to wysoka wieża oraz wirnik ze śmigłami. Wysokość i średnica wirnika są większe niż w przypadku turbiny o pionowej osi obrotu. Maksymalny efekt pracy pozioma turbina wiatrowa osiąga, gdy jest zwrócona w kierunku wiatru. Dlatego też wirnik usytuowany jest względem kierunku wiatru i masztu tj. dowietrznie i odwietrznie. Turbiny wiatrowe o pionowej osi obrotu stanowią niewielki procent wszystkich turbin wiatrowych. Pionowe turbiny wiatrowe charakteryzują się prostopadłą do powierzchni ziemi osią obrotu. Tego rodzaju turbiny lepiej sprawdzają się w strefach zurbanizowanych. Ponadto pionowa oś obrotu umożliwia łatwy montaż turbiny na wysokości od 2 do 4 metrów nad poziomem gruntu. Pionowa turbina wiatrowa ma jednak niższą sprawność i wytwarza mniej energii niż poziome turbiny wiatrowe [32, 33, 34, 35, 36]. Przykłady rozwiązań turbin wiatrowych przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Przykłady turbin wiatrowych. a-d osi pozioma, e-h osi pionowa. a) jednopłatowy, b) dwupłatowy, c) trójpłatowy, d) wielopłatowy, e) Darieuss-a, f) V-VAWT, g) H-VAWT, h) Savonius-a [32, 33].

### Przykłady militarnych rozwiązań systemów zasilania wykorzystującego OZE

Inteligentne systemy zasilania w energię elektryczną w zastosowaniach militarnych w trakcie konfliktów zbrojnych stają się rzeczywistością [1, 29, 37]. Wykorzystanie odnawialnych źródeł energii OZE w trakcie misji pokojowych i bojowych staje się koniecznością. Dostarczenie paliw przeznaczonych do zasilania zespołów spalinowo elektrycznych ZSE w rejonie działań pododdziałów może być utrudnione lub wręcz niemożliwe. Dlatego zastosowanie energooszczędnych odbiorników prądu oraz zasilania hybrydowego integrującego zespoły spalinowo elektryczne - ZSE i OZE powodują zmniejszenie zapotrzebowania na paliwo, co przekłada się na obniżenia kosztów operacji, zmniejszenia liczby konwojów dostarczających paliwo oraz zmniejszenia ewentualnych strat [1, 15, 29, 37]. W ramach programu NATO Smart Energy w państwach takich jak Grecja, Niemcy, Wielka

Brytania, Stany Zjednoczone, Holandia prowadzi się intensywne badania i rozwija się projekty polowych systemów energetycznych w oparciu o OZE [1, 15, 16, 29, 37, 38, 39, 40]. Od kilku lat niemiecka Bundeswehra wyposażona jest w mobilne kontenery solarne Multicontainer MC66 (rysunek 4) [1, 29, 39].

a)



b)



Rys. 4. Multicontainer a) rozwinięty b) podczas transportu [39].

W skład systemu PV MC66 wchodzi 66 paneli PV, każdy o mocy 300 Wp, pozwala to uzyskać maksymalną moc o wartości 19,8 kWp. Energia elektryczna magazynowana jest w baterii akumulatorów LiFePo4 o mocy 30 kW. System PV MC66 może pracować samodzielnie oraz współpracować z ZSE. Całość mieści się w standardowym 20 stopowym kontenerze. Zestaw przeznaczony do zasilania stanowisk dowodzenia, obozów wojskowych itp. [2, 26, 27]. Zestawy wykorzystujące jedynie fotowoltaikę do pozyskiwania energii wypieranie są przez zestawy hybrydowe. Mobilny System Zarządzania Energią - MEMS niemieckiej firmy PFISTERER integruje konwencjonalne źródło energii elektrycznej w postaci ZSE z różnymi źródłami OZE. System MEMS składa się z dwóch ZSE każdy o mocy 10 kW, turbiny wiatrowej o maksymalnej mocy 5 kWp, paneli PV o maksymalnej mocy 5 kWp oraz magazynu energii - 60 kWh. Dodatkowo w system może być uzupełniony o austriackie zestawy Smartflower o maksymalnej mocy 2 kWp oraz system PV MC66 [1, 15, 16, 29, 37, 38, 39, 40]

#### Koncepcja miniaturowej elektrowni do zasilania urządzeń elektronicznych w warunkach polowych

Współczesny żołnierz wykonując zadania bojowe musi mieć możliwość zasilania urządzeń elektronicznych będących na jego wyposażeniu. Pozyskanie, uzupełnienie źródeł energii w trakcie długotrwałych działań militarnych jest utrudnione a czasami wręcz niemożliwe.



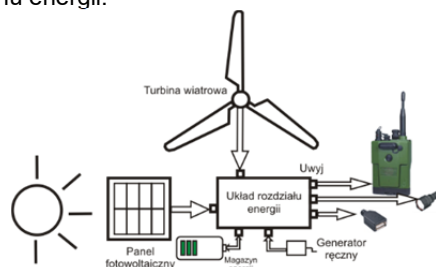
Rys. 5. Mobilny hybrydowy system zarządzania energią [1638].

Wychodząc naprzeciw zapotrzebowaniu wojska autorzy skupili się na zaprojektowaniu miniaturowej elektrowni do zasilania, ładowania urządzeń elektrycznych małej mocy, budowie modelu oraz przetestowaniu urządzenia.

Założono, że pozyskiwanie energii będzie mogło odbywać się równolegle z trzech źródeł: panelu fotowoltaicznego PV, siły wiatru oraz siły mięśni. Nadmiar generowanej energii będzie magazynowany w akumulatorze litowym. Przy wielu źródłach zasilania urządzenie wyposażone będzie w układ zarządzania energią.

#### Budowa modułowa miniaturowej elektrowni

Miniaturowa elektrownia do zasilania urządzeń elektronicznych w warunkach polowych powinna zmieścić się do plecaka żołnierza, tym samym jej wymiary będą nie większe niż 30 cm x 50 cm x 15 cm. Niewielkie rozmiary elektrowni dają możliwość przenoszenia jej w trakcie wykonywania misji bojowej. Elektrownia będzie składała się z następujących bloków: modułu pozyskiwania energii z wiatru w postaci turbiny wiatrowej z masztem, modułu w postaci elastycznego panelu fotowoltaicznego, układu rozdziału zasilania, modułu zasilania siłą mięśni oraz magazynu energii.



Rys. 6. Schemat miniaturowej elektrowni

#### Moduł pozyskiwania energii z wiatru

W skład modułu pozyskiwania energii z wiatru wchodzi turbina wiatrowa, generator prądu stałego, składany maszt, olinowanie oraz okablowanie. Na potrzeby miniaturowej elektrowni autorzy zdecydowali się na użycie drukarki 3D w celu stworzenia turbiny wiatrowej. Zapewni to niską cenę wykonania oraz możliwość zaprojektowania turbiny o wymiarach mieszczących się w zasobniku żołnierza. Planuje się zastosować generator prądu stałego mocy nie mniejszej niż 15 Wp.

#### Moduł fotowoltaiczny

Moduł fotowoltaiczny nie gwarantuje ciągłego dostarczania energii, dodatkowo wydajność zależy od pory dnia i warunków atmosferycznych. Jednak w wyniku rozwoju technologii panele fotowoltaiczne mają coraz większą sprawność, wytrzymałość oraz ich cena jest coraz niższa. W koncepcji budowy miniaturowej elektrowni autorzy zdecydowali się zastosować elastyczny panel PV o mocy szczytowej 18 Wp firmy 4sun o wymiarach 28 cm x 45 cm (rysunek 7).



Rys. 7. Elastyczny panel fotowoltaiczny

#### Moduł zasilania siłą mięśni

Działania na współczesnym polu walki sprawiają, że żołnierz musi być przygotowany do każdego warunków. W momencie, gdy nie będzie mógł pozyskać energii z siły wiatru lub promieniowania słonecznego będzie mógł wykorzystać siłę własnych mięśni wprawiając w ruch wirnik generatora prądu stałego o maksymalnej mocy 10 Wp. W projekcie planuje się wykorzystać miniaturową prądnicę prądu stałego z mechanizmem napędowym sprzężonym z pomocą przełożeń z korbą.

## Magazyn energii

Magazyn energii to akumulator litowo - jonowy o napięciu 12.6 V i pojemności od 10 Ah. Autorzy wybierając go przyjęli kryterium stosunku pojemności do wagi i wymiarów. Kolejnym kryterium to odporność akumulatora na warunki atmosferyczne, wstrząsy oraz udary mechaniczne. Każdy moduł zasilający to oddzielne urządzenie przeznaczone do ładowania akumulatora. Dodatkowo elektrownia posiada moduł przeznaczony do ładowania urządzeń małej mocy np. baterii radiostacji R3510 i R35010, ponadto wyposażony jest w gniazdo USB do ładowania pozostałych urządzeń elektronicznych będących na wyposażeniu żołnierza.

## Bilans mocy

Przewiduje się, że proponowane rozwiązanie pozwoli na dostarczenie ilości energii pozwalającej na naładowanie zaproponowanego akumulatora o pojemności 10 Ah w ciągu 4 h. Czas ładowania zależy od warunków atmosferycznych oraz pory dnia. Maksymalne zapotrzebowanie na energię wynosi około 20 Wh, co przy w pełni naładowanych akumulatorach 10 Ah pozwoli zasilac urządzenia przez około 6 godzin. Czas ten się wydłuża się dwukrotnie stosując akumulatory o pojemności 20 Ah.

## Wnioski

Pozyskiwanie energii z odnawialnych źródeł energii z powodzeniem może być wykorzystywane na współczesnym polu walki. Przenośne miniaturowe elektrownie do zasilania urządzeń małej mocy mogą spowodować autonomiczność energetyczną żołnierza. Ponadto wykorzystanie elektrowni wspomogę urządzenia i wydłuży ich czas pracy. Zaproponowany model sprawia, że żołnierz może skorzystać z elektrowni w każdych warunkach, ponadto wielkość sprawi, że można ją zmieścić w plecaku. Możemy zaobserwować, że w raz z rozwojem technologii stawia się na rozwiązania wykorzystujące elastyczne moduły o nie wielkim rozmiarze. Miniaturowa elektrownia idealnie sprawuje się w warunkach polowych poprzez niewielki rozmiar oraz możliwość wykorzystania jej w każdych warunkach atmosferycznych o i każdej porze dnia.

**Autorzy:** dr inż. Krzysztof Górski, Akademia Wojsk Lądowych, Instytut Dowodzenia, ul. Czajkowskiego 109, 51-147 Wrocław, E-mail: [krzysztof.gorski@awl.edu.pl](mailto:krzysztof.gorski@awl.edu.pl); mgr. Michał Łukomski, Akademia Wojsk Lądowych, Koło Naukowe Łączności i Elektroniki E-mail: [michallukomski95@gmail.com](mailto:michallukomski95@gmail.com).

## LITERATURA

- [1] Frączek, M.; Górski, K.; Wolaniuk, L. Possibilities of Powering Military Equipment Based on Renewable Energy Sources. *Applied Sciences* 2022, 12, 843, doi:10.3390/app12020843
- [2] Świętochowski N., Przyszłe konflikty zbrojne Trzecia Wojna Światowa Delta, Studia I Materiały, AWL, 2020
- [3] Górski K., Koział M., Zawadzki J., Rosińska K.: Układy do pozyskiwania energii elektrycznej małej mocy, *Przegląd Elektrotechniczny*, Vol.1, 04.02.2022, 93-96
- [4] Górski K., Błachut M.: Łączność w pododdziale ogólnowojskowym, AWL, Wrocław, 2021
- [53] Szczepaniak M., Malczek S., Militarne systemy fotowoltaiczne, Napędy i sterowanie, 2017, 124-127
- [6] Malczek S., Zastosowanie baterii słonecznych w Siłach Zbrojnych RP. Inżynieria Wojskowa – problemy i perspektywy, WSOWL, Wrocław 2008
- [7] Cebat A., Malczek J., Malicki W., Badanie pionowych turbin wiatrowych w aspekcie zastosowań militarnych. „Logistyka – Nauka”, 2014
- [8] Dąbrowski, J.; Krac, E.; Górecki, K. Analysis of Long-Time Efficiency of Photovoltaic Installation. *Przegląd Elektrotechniczny* 2017, 93, 202–205
- [9] Górecki, K.; Dąbrowski, J.; Krac, E. Modeling Solar Cells Operating at Waste Light. *Energies* 2021, 14, 2871
- [10] Górecki, K.; Dąbrowski, J.; Krac, E. SPICE-Aided Modeling of Daily and Seasonal Changes in Properties of the Actual Photovoltaic Installation. *Energies* 2021, 14, 6247
- [11] Figura R., Zientarski W., Analiza parametrów pracy modułu fotowoltaicznego, *Efektywność transportu, Autobusy*, 12, 2016
- [12] Strzelczyk P, Szczurba Z., Turbiny Wiatrowe z pionową osią obrotu, *Pneumatyka*, 2011
- [13] Bukala J., Damaziak K., Krzeszowiec M., Malachowski J., Rozwiązania konstrukcyjne małych turbin wiatrowych, „Modelowanie inżynierskie”, 2014, 21–29
- [14] Błasiński W., Symulator turbiny wiatrowej małej mocy, „Przegląd Elektrotechniczny”, 2017, 263–265
- [15] Håvre A., Smart energy for secure communications, *ESDU*, nr 1, Vol. 20 0903, 2015
- [16] [https://www.nato.int/nato\\_static\\_fl2014/assets/pdf/pdf\\_2017\\_08/20170808\\_Smart-Energy-Ex-Capable-Logisti.pdf](https://www.nato.int/nato_static_fl2014/assets/pdf/pdf_2017_08/20170808_Smart-Energy-Ex-Capable-Logisti.pdf), dostęp z dnia 14.04.2021
- [17] <https://globenergia.pl/nato-smart-energy-czyli-oze-w-wojsku-na-co-stawia-sojusz-polnocno-atlantycki>, dostęp z 13.04.2022
- [18] Adamczyk A., Zastosowanie profili energetycznych w systemach Tactical Nanogrid do obniżenia masy mobilnego hybrydowego źródła zasilania, *Rozprawa Doktorska, Akademia Morska w Gdyni*, 2018
- [19] [http://www.ifpan.edu.pl/rn\\_ifpan/Pietruszka-doktorat.pdf](http://www.ifpan.edu.pl/rn_ifpan/Pietruszka-doktorat.pdf), dostęp z dnia 15.05.2021
- [20] <https://leonardo-energy.pl/wp-content/uploads/2017/01/Ogniwa-fotowoltaiczne-nowe-technologie.pdf>, z dnia 13.05.2020
- [21] Korasiak P., Sprawność konwersji promieniowania słonecznego na energię elektryczną współczesnych ogniw i modułów fotowoltaicznych, *Przegląd Elektrotechniczny R.* 93, 7, 2017
- [22] Marszałek K., Dyndał K., Lewińska G., *Fotowoltaika e-podręcznik*, AGH, Gliwice, 2021
- [23] [https://www.cire.pl/pliki/2/10apinskibarwnikowe\\_ogniwa\\_sloneczne\\_rynek\\_energii\\_wersja\\_poprawiona.pdf](https://www.cire.pl/pliki/2/10apinskibarwnikowe_ogniwa_sloneczne_rynek_energii_wersja_poprawiona.pdf) dostęp z dnia 13.05.2021
- [24] Górecki K., Ptak P., Sylwia W.: The embedded system to control the illuminance of an office workplace with LED light sources, *Energies*, Vol. 15, 2022, 2406, doi: 10.3390/en15072406
- [25] Ptak P., Górecki K., Heleniak J., Orlikowski M.: Investigations of electrical and optical parameters of some LED luminaires – A study case. *Energies*, Vol. 14, No. 11, 2021, 1612, doi: 10.3390/en14061612
- [26] Malczek S., Szczepaniak M., Malicki W., Drabczyk K., Zastosowanie polikrystalicznych ogniw krzemowych, jako elastycznych pokryw fotowoltaicznych, *Napędy i Sterowanie* 9, 2019
- [27] Malczek S., Malicki W., Drabczyk K., Cebat A., Badanie elastycznych paneli fotowoltaicznych w aspekcie zastosowań militarnych, *Elektronika: konstrukcje, technologie, zastosowania*, 55, 2014
- [28] Znajdek K., Elastyczne ogniwa fotowoltaiczne, *Rozprawa doktorska, Politechnika Łódzka*, 2014 r.
- [29] Ducaru S., Smart Energy for Military Forces is becoming a reality, *ESDU*, 1, Vol. 20 0903, 2015
- [30] <http://www.uni-solar.com/> dostęp z dnia 14.04.2022
- [31] <https://www.powerfilmsolar.com/> dostęp z dn.14.04.2022
- [32] <http://polskiprogrambadawczy.pl/wiatraki/> , dostęp z dnia 22.01.2022
- [33] Glinka T., Goc W., DROBNE ELEKTROWNIE WIATROWE - PRZESŁANKI WPROWADZENIA, *Zeszyty Problemowe – Maszyny Elektryczne*, 78/2007, 142-146
- [34] Matelski W., Łowiec E., Abramik S., Symulator Małej Turbiny Wiatrowej, *Prace Instytutu Elektrotechniki*, ISSN-0032-6216, LXIII, Zeszyt 273, 2016
- [35] Chudzik S., Stanowisko pomiarowe do testowania modeli mikroelektrowni wiatrowych. *Przegląd Elektrotechniczny*, ISSN 0033-2097, R. 97, 6, 2021
- [36] Chudzik S., Model mikroturbiny wiatrowej o regulowanym kącie ustawienia łopaty, *Pomiary Automatyka Robotyka*, ISSN 1427-9126, R. 25, 1/2021, 41–48, DOI: 10.14313/PAR\_239/41
- [37] Zotos A., Hybrid Smart Energy Systems, *ESDU*, nr 1, Vol. 20 0903, 2015
- [38] <http://odnawialneźrodlaenergii.pl/energia-sloneczna-aktualnosc/item/1519-niemieckie-wojsko-kupuje-mobilne-kontenerowe-elektrownie-fotowoltaiczne-typu-off-grid>, z dn.19.05.2020
- [39] <https://solarcontainer.info/home-2/solar-container-2/solar-container-for-nato-2.html>, z dn.19.05.2020
- [40] <http://www.efbpower.com/SWIPES/> z dn. 22.05.2022