

Układy do pozyskiwania energii elektrycznej małej mocy.

Streszczenie. W pracy przedstawiono przegląd literatury dotyczącej pozyskiwania energii znajdującej się w otoczeniu (energy harvesting - EH). Skupiono się na pozyskiwaniu energii EH ze źródeł małej mocy, co powoduje, że występują ograniczenia w stosowaniu harvestingu do urządzeń elektronicznych, które charakteryzują się niewielkim poborem prądu. Dokonano przeglądu fabrycznych rozwiązań układów scalonych wykorzystujących komponenty do pozyskiwania energii z otoczenia i jednoczesnego zasilania urządzeń elektronicznych małej mocy. Zaproponowano koncepcję wykorzystania pozyskiwania energii EH do zastosowań militarnych.

Abstract. The paper reviews the literature on energy harvesting in the environment (energy harvesting - EH). The focus was on obtaining EH energy from low-power sources. As a result, there are limitations in using harvesting for electronic devices that are characterized by a low power consumption. The factory solutions of semiconductor systems using components for obtaining energy from the environment were reviewed. The concept of using EH energy for military applications was proposed. (**Low power systems for energy harvesting**).

Słowa kluczowe: termogenerator, ogniwa PV, pole elektromagnetyczne, pozyskiwanie energii z otoczenia.

Keywords: thermogenerator, PV cell, electromagnetic field, heat, light, energy harvesting systems,

Wstęp

„Świat, otoczony jest energią”.

Jesteśmy otoczeni źródłami energii, która po pozyskaniu i przetworzeniu na energię elektryczną daje możliwość uzupełnienia energii jak i ciągłego zasilania np. niewielkich autonomicznych urządzeń lub czujników. Proces ten określany jest pojęciem Energy harvesting (EH) pod warunkiem, że źródło energii jest regularne, znane i opisane [1, 2]. W przypadku, kiedy rodzaj źródła energii i jego wydajność nie są znane, określane jest pojęciem energy scavenging [1, 2]. Energię pozyskiwaną w wyniku procesu EH można wykorzystać na wiele sposobów w zależności od wartości odzyskiwanej mocy [2, 12]. Przy mocach rzędu kilowatów [kW] – energię wykorzystuje się np. do doładowywania akumulatorów jak to ma miejsce w pojazdach elektrycznych i hybrydowych [2, 11, 12]. Przy mocy rzędu kilku watów [W] – energię wykorzystuje się np. do zasilania elementów oświetlenia.

Rozwój miniaturowych układów wymagających autonomicznego zasilania o mocy rzędu [mW] i [μW] sprawia, że pozyskiwanie energii z ruchu, światła, ciepła, pola elektromagnetycznego staje się bardzo dobrym rozwiązaniem. Natomiast zasilanie z baterii jest ograniczone czasem jej życia, a zasilanie z zewnętrznych źródeł za pomocą przewodów może być utrudnione lub wręcz niemożliwe [1, 3]. Pozyskiwanie energii z otoczenia w praktyce jest wykorzystywane m.in. w sieciach pomiarowych np. do monitorowania stanu technicznego pojazdów, monitorowania czynności życiowych, zasilania implantów czy też doładowywania miniaturowych magazynów energii [1, 2, 4]. Rolę magazynów gromadzących energię z harvestingu pełnią mogą m.in. super kondensatory [1, 2, 4].

Ilość zastosowań wykorzystujących pozyskiwanie energii z otoczenia zwiększa się wraz z obniżaniem się poboru mocy wykorzystywanej przez współczesne układy elektroniczne. Gęstość odzyskiwanej mocy w wyniku harvestingu może zawierać się w granicach od pojedynczych μW/cm² do kilkunastu tysięcy μW/cm². Gęstość tej mocy zależy głównie od zjawisk, jakie są wykorzystywane przy odzyskiwaniu energii [1, 5]. Główne rodzaje energii wykorzystywanych w harvestingu to promieniowanie elektromagnetyczne, energia kinetyczna oraz energia termiczna. Każdy rodzaj energii wykorzystuje różne zjawiska np. w energii kinetycznej są to zjawiska piezoelektryczne, elektromagnetyczne i elektrostatyczne. W promieniowaniu słonecznym zjawiska fotowoltaiczne a przy promieniowaniu elektromagnetycznym promieniowanie radiowe RF [1, 2, 4, 5, 7]. W energii

termicznej wykorzystuje się zjawisko Peltiera, oraz zjawisko termoelektryczne. Każde z wymienionych zjawisk ma różnicowaną wydajność energetyczną. Najbardziej wydajne są fotowoltaika oraz promieniowanie radiowe. Gęstość mocy uzyskiwana z miniaturowych paneli fotowoltaicznych może dochodzić do 1500 μW/cm². Natomiast gęstość mocy pozyskana z promieniowania radiowego może dochodzić do 20 mW/cm² [1, 2, 4, 5, 7]. Źródła służące do pozyskiwania energii z otoczenia wytwarzają moc przy różnych wartościach napięć. Miniaturowe panele fotowoltaiczne generują napięcie o wartości około 1V. Natomiast przy źródłach elektrostatycznych wartość generowanych napięć może dochodzić do kilkuset woltów [1, 2, 5, 6, 10].

Źródła EH Harvestery

Najbardziej rozpowszechnioną technologią pozyskiwania energii z otoczenia jest fotowoltaika, która jest jednocześnie najłatwiejsza w aplikacji i dostarcza duże ilości mocy [1, 4, 7, 12]. Dostępne są miniaturowe fotoogniwa o różnych wymiarach generujące różne wartości mocy i napięć. Ciekawe rozwiązanie zaproponowała firma Lumicell CPV-Systems [14], która produkowała mikroogniwa krzemowe z odpadów poprodukcyjnych, firma zaprzestała produkcji [14]. Firma Panasonic ma w swej ofercie serię mikroogniw Amorton (rys.1) o mocach od kilku μW do kilkuset mW [15].



Rys.1. Ogniwa serii AMORTON firmy Panasonic [15].

Ogniwa wykonane są w technologii krzemu amorficznego, posiadają różne kształty i rozmiary, dostępne są na podłożu szklanym, metalowym oraz elastycznym [15]. Znajdują one zastosowanie w urządzeniach powszechnego użytku oraz urządzeniach wykorzystujących EH. Do pozyskiwania energii elektrycznej ze światła z powodzeniem mogą być wykorzystane fotodiody. Przykładem są fotodiody BPW34, które łączone szeregowo są w stanie wygenerować moc do kilku mW [16]. Ciekawym rozwiązaniem było umieszczenie mini fotoogniw CPC wewnątrz szczelnych obudów SOIC8 i SOIC16 [14]. Rozwiązanie to oferowała firma CLARE IXYS, obecnie zaprzestano produkcji ogniwi CPC zastępując je ogniwami IXOLAR serii SolarBit [14]. Ogniwa fotowoltaiczne nie gwarantują ciągłego dostarcza-

nia energii, ich wydajność zależy od pory dnia oraz warunków atmosferycznych [1,4,5].

Tabela 1. Ogniwa fotowoltaiczne serii AMORTON [15].

Model	V_{ope} [V]	I_{sc} [μ A]	Wymiary [mm]	Waga [g]	Podłoże
AM-1456	1.5	5.3	25x10x1.1	0.7	
AM-1801	3	18.5	53x25x1.1	3.6	
AL-2402	1.5	10.1	Φ 27.2x0.2	0.7	Stainless steel
AT-2400B	1.5	18.5	26.3x26.8x0.18	0.1	Film
AM-2709B	3	3.3	Φ 30.8x0.7	1.3	Glass

Efekt termoelektryczny jest jednym z najstarszych sposobów pozyskiwania energii elektrycznej z otoczenia. I tak np. termopary w postaci nakładki na lampę naftową wykorzystywano do zasilania obwodów lampowych bateryjnych odbiorników radiowych. Podstawą działania ogniwa termoelektrycznego jest efekt Seebecka [1, 7, 12, 13]. Ogniwo termoelektryczne składa się z dwóch półprzewodnikowych kolumn typu P i N połączonych szeregowo elektrycznie i równolegle termicznie. Na jednym końcu znajduje się źródło ciepła, zaś na drugim radiator odbierający ciepło. Energia generowana przez pojedyncze termoogniwo (złącze) jest niewielka, dlatego stosuje się szeregowo łączenie ogniw, uzyskuje się zwielokrotnienie siły termoelektrycznej w proporcji do liczby termoogniw [1, 7, 12, 13, 18, 21, 23]. Komercyjne ogniwa termoelektryczne TEG produkowane są m.in. przez firmę TECTEG, dostępne są wersje wysokotemperaturowe, np. CMO-32-62S wymagające dużych różnic temperatur 350..750°C między stroną gorącą a zimną, przy jednoczesnym zapewnieniu temperatury po stronie zimnej nie wyższej niż 50°C [19, 20]. W takich warunkach TEG CMO-32-62S zdolny jest do generowania napięć od 2,55 V do 6,4 V przy mocach od 2,24 do 12,3 W [4, 19, 20, 21, 23]. Układ TEG2-126LDT (rys. 2a) jest wersją niskotemperaturową mogącą wygenerować do kilkuset miliwatów mocy [22, 23]. Moduły termoelektryczne rodziny TMG firmy Ferrotec (rys. 2b) według zapewnień producenta mają trwałość dochodzącą do 4000 godzin pracy przy temperaturze po stronie gorącej dochodzącej do +230°C. Moduł TMG-260-1.4-1.3 M zapewnia do 9.9 W generowanej mocy przy napięciu 6,2 V oraz temperaturze +230°C po stronie gorącej i +70°C po stronie zimnej [4, 24].

a)



b)



Rys.2. Moduły termoelektryczne rodziny a) TEG b) TMG [22, 24].

Moduł niskotemperaturowy TMG-127-0.4-1.6 o rozmiarach 16 mm x 16 mm jest w stanie wygenerować 25 mW energii przy napięciu 0.85 mV i różnicy temperatur między stroną gorącą a zimną wynoszącą 30°C [24, 25].

Trzecim możliwym sposobem wykorzystania sposobów pozyskania energii jest zastosowanie elementów piezoelektrycznych [1, 2, 5, 6, 10]. Wykorzystywane są one do zasilania układów elektronicznych energią pochodzącą z wibracji np. maszyn. Ilość pozyskiwanej energii z wykorzystaniem zjawiska piezoelektrycznego jest mniejsza niż z wykorzystaniem ogniw fotowoltaicznych czy też termoelektrycznych. Dostępne na rynku przetworniki piezoelektryczne zdolne są do generacji mocy o wartościach od kilku do kilkudziesięciu mW. Moduł S452-J1FR-1808XB (rys. 5a) generuje moc 59 mW przy napięciu wyjściowym 16,7 V i częstotliwości rezonansowej 246 Hz [26].

Moduły pozyskiwania energii firmy MIDE wykonane są w technologii Piezo Protection Advantage (PPA) [26,27]. Moduł ten składa się z szeregu prostokątnych warstw

(rys.3), w których kruchy piezoelektryczny materiał pokryty jest miedzią, izolowany elektrycznie oraz hermetycznie uszczelniony.



Rys.3. Warstwy w module generatora piezoelektrycznego firmy MIDE [26, 27].

Ilość energii dostarczanej przez generatory piezoelektryczne w porównaniu z innymi harvesterami jest niewielka. Dlatego ważne jest dobranie odpowiedniej częstotliwości rezonansu do układu mechanicznego, w którym zastosowano generator.

Wykorzystanie efektu elektromagnetycznego jest kolejnym sposobem pozyskiwania energii z otoczenia. W tym przypadku wykorzystywany jest efekt powstający w wyniku wzajemnego oddziaływania pola magnetycznego, pola elektrycznego w powiązaniu z ruchem. W wyniku, czego generowana jest siła elektromotoryczna [1, 12, 28]. W konstrukcji elektromagnetycznych harvesterów wykorzystuje się rozwiązania polegające na sprężystym zawieszeniu magnesu lub cewki [1, 12]. Przykładem komercyjnych rozwiązań są generatory typu AFIG-0007, AFIG-0008 produkowane przez ZF Switches & Sensors [29]. W tych harvesterach poruszający się rdzeń magnetyczny powoduje wygenerowanie mocy o wartości 0.33 mW. Wykorzystywane są min. we włącznikach bezprzewodowych (rys. 4a, b), w których każde naciśnięcie przycisku powoduje wygenerowanie napięć zasilających moduł bezprzewodowego sterownika (rys. 4.c). Producent zapewnia trwałość na poziomie od stu tysięcy do miliona przełączeń [29].

a)



b)



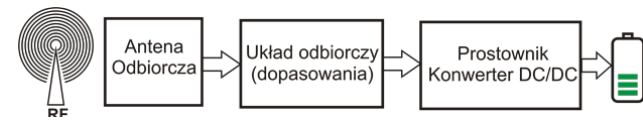
c)



Rys.4. Generatory EH typu AFIG [29].

Promieniowanie elektromagnetyczne radiowe jest kolejnym źródłem energii, którą możemy pozyskiwać z otoczenia, a dokładnie z urządzeń emitujących fale radiowe w szerokim zakresie częstotliwości od 3 kHz do 30 GHz [1,8,9]. Pozwalają one na pozyskiwanie energii z aktywnych transmisji rozsziewczych (TV, Radio, WiFi) jak i celową bezprzewodową transmisję energii na wybranych częstotliwościach [30]. Najstarszy harvester działający w oparciu o promieniowanie elektromagnetyczne zakresu fal radiowych to radiofoniczny odbiornik detektorowy [4]. Pozyskiwanie energii promieniowania RF (Radio Frequency) wykorzystywane jest między innymi dla zapewnienia zasilania w układach aktywnej identyfikacji RFID [1], wykorzystywanych w systemach logistycznych, śledzenia ruchu w obiektach, układach kontroli dostępu. Kierunki prac badawczych skupiają się na pasmie od 935 MHz, częstotliwość użytkowana przez systemy GSM, do 2.4 GHz, częstotliwość wykorzystywana przez urządzenia WiFi. We wskazanym zakresie fal radiowych anteny odbiorcze mają wymiary nieprzekraczające kilkudziesięciu cm², co w zasadniczy sposób wpływa na sam rozmiar harwestera [1,7, 9, 32]. Układy odbiorcze pozwalają na generowanie nawet do 100 mW mocy w

bezpośrednim sąsiedztwie urządzeń nadawczych. Uzysk mocy zależy od mocy źródła promieniowania RF, odległości od źródła, oraz od konstrukcji anten odbiorczych [7,32]. Antena odbiorcza jest jednym z najważniejszych komponentów harwestera RF, ilość rozwiązań sprawia, że anteny odbiorcze konstruowane są pod konkretne urządzenia do pozyskiwania EH z RF przedstawiona została na rysunku 5. Układ składa się z anteny odbiorczej, układu dopasowującego (układu odbiorczego), prostownika, konwertera DC/DC, akumulatora energii.



Rys. 5. Schemat blokowy układu do pozyskiwania energii z fal radiowych [1,30,32].

Producenci oferują specjalistyczne układy PMIC (Power Management Integrated Circuit), które zawierają w swej strukturze takie elementy jak odbiornik radiowy, prostownik, przetwornice BOOST i BUCK. Obecnie dostępne na rynku są rozwiązania takich firm jak Atmotic, E-peas, Powercast, Wiliot [32, 33].

System zasilania EH

Układy elektroniczne, w których zasilaniu wykorzystuje się energię pochodzącą z harvestingu EH muszą się charakteryzować bardzo niskim zapotrzebowaniem energetycznym z powodu ograniczonej wydajności źródeł EH. Konieczne jest zapewnienie optymalnego sposobu przekazywania energii, co wiąże się z dopasowaniem impedancji między źródłem EH a obciążeniem. Dopasowanie wytwarzanych napięć przez źródło EH do odbiornika jest realizowane za pomocą układu kondycjonowania energii [1]. Na rysunku 6 przedstawiono ogólny schemat układu kondycjonowania energii w systemie ze źródłem EH.



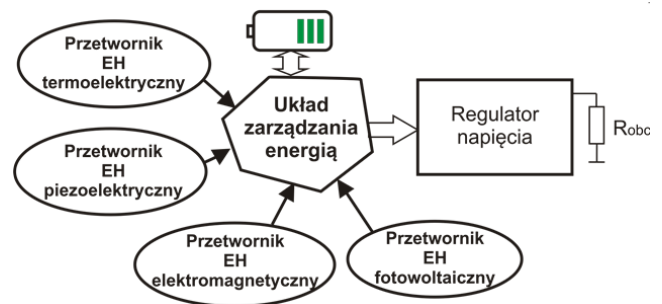
Rys. 6. Ogólny schemat układu do kondycjonowania energii.

Korzystanie z jednego źródła EH w wielu przypadkach może być niewystarczające do zasilania układów mikroprocesorowych. W celu zapewnienia ciągłego zasilania układom małej mocy najkorzystniej jest wykorzystać kilka rodzajów źródeł EH. Oczywiście należy uwzględnić rozmiary, moce, zjawiska fizyczne, które mogą zapewnić pozyskanie wystarczającej ilości energii do zasilania układów. System zasilania integrującego wiele źródeł EH powinien być wyposażony w układ zarządzania energią PMIC, układ magazynowania energii oraz układ regulacji napięcia. Na rysunku 7 przedstawiono schemat blokowy systemu integrującego wiele źródeł energii [1, 4, 12, 30, 31].

Układy zasilające EH

Większość czołowych producentów układów scalonych, takich jak Analog Devices, Texas Instruments, Cypress lub Infineon posiadają w swej ofercie rozwiązania dla różnych źródeł EH. Przykładem rozwiązań mogą być takie układy jak LT3652, LTC3106, LTC3588, BQ25505, BQ25504, BQ25505, BQ25570, ADP5090, AEM30940, AM40940, S6AE101-103 i wiele innych. Możliwość łatwego pozyskania źródeł harwesterów opartych o ogniwa PV sprawia, że producenci mają najszerszą ofertę układów dla fotowoltaicznych harwesterów. Texas Instruments w swojej ofercie oferuje układy: BQ25504, BQ25505, BQ25570, TPS62736 i TPS62737, które są przeznaczone do pracy w urządze-

niach pozyskujących energię z różnych źródeł, takich jak energia słoneczna, termiczna, elektryczna, elektromagnetyczna i wibracyjna.



Rys. 7. System zasilania integrującego wiele źródeł EH.

Układ ADP5090 firmy Analog Devices to zintegrowany regulator przeznaczony do pozyskiwania energii ze źródeł prądu stałego takich jak ogniwa fotowoltaiczne PV oraz generatory termoelektryczne TEG.

Układ umożliwia ładowanie takie jak akumulatory litowo-jonowe, baterie cienkowarstwowe, superkondensatory i konwencjonalne kondensatory oraz zasilają małe urządzenia elektroniczne i systemy bezbateryjne. Układ posiada zabezpieczenie przed przeładowaniem akumulatora. ADP5090 zapewnia wydajną konwersję pozyskanej mocy z zakresu od 16 μ W do 200 mW przy stratach poniżej μ W. Zaletą układu jest możliwość dołączenia i sterowania dodatkowym źródłem zasilania w postaci nie ładowalnej baterii BACK_UP, która jest uzupełnieniem podstawowego zasilania systemu. ADP5090 wyposażony jest w obwód zimnego rozruchu (COLD-START), synchroniczny kontroler doładowania ze zintegrowanymi tranzystorami MOSFET (BOOST CONTROLLER), kontroler ładowania ze zintegrowanym systemem sterowania zasilaniem (BATTERY BOOST CONTROL). W przypadku zasilania układów radiowych, przetwornica boost może zostać chwilowo zatrzymana, sygnałem zewnętrznym na wejście DIS-SW, aby zapobiec zakłóceniom transmisji RF. Układ zimnego startu pozwala na to, aby regulator mógł rozpocząć pracę przy napięciu wejściowym wynoszącym około 380 mV. Po zimnym starcie regulator działa w zakresie napięcia wejściowego od 80 mV do 3,3 V.

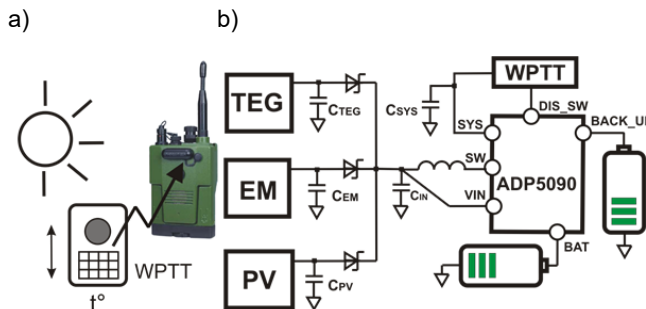
Koncepcje wykorzystania EH w działaniach militarnych

Pozyskanie, uzupełnianie energii zasilającej urządzenia w trakcie długotrwałych działań militarnych jest utrudnione lub wręcz niemożliwe [34]. Dlatego rozwój technologii odzyskiwania energii z różnych źródeł sprawia, że koncepcja zastosowania odzysku energii do zasilania urządzeń małej mocy wspomagających działania żołnierza na współczesnym polu walki staje się koniecznością. Energia pochodząca z odzysku z powodzeniem może być wykorzystana do zasilania czujników monitorujących czynności życiowe żołnierza, zasilania bezprzewodowych przycisków sterujących pracą radiostacji, oświetlenia przyrządów celowniczych.

W badaniach autorzy skupili się na opracowaniu koncepcji pozyskiwania energii do zasilania bezprzewodowego przycisku sterującego pracą radiostacji (rys. 8), zaprojektowaniu urządzenia, budowie modelu oraz przetestowaniu urządzenia.

Założono, że odzyskiwanie energii, realizowane będzie równolegle z miniaturowymi ogniwami fotowoltaicznymi, generatorem elektromagnetycznym, termogeneratorem (rys. 8a). Podstawowe zasilanie układu będzie pochodzić z baterii litowej natomiast energia z harwesterów przeznaczona będzie do ładowania akumulatora litowego lub superkon-

densatora. Przy wielu źródłach zasilania EH wymagany jest układ zarządzania energią. Z dostępnych komercyjnych układów na uwagę zasługuje ADP 5090 firmy Analog Devices [17]. Na rysunku 8b przedstawiony został schemat blokowy urządzenia.



Rys. 8 Konceptcja użycia energii z odzysku do zasilania bezprzewodowego pilota radiostacji R35010 firmy Radmor S.A.

Wnioski

Pozyskiwanie energii z otoczenia może być z powodzeniem wykorzystane nie tylko w technologiach o zastosowaniu cywilnym, ale również w zastosowaniach militarnych. Wspomagać żołnierza na współczesnym polu walki, poprzez wydłużanie czasu pracy urządzeń elektronicznych małej mocy. Źródła EH mogą znaleźć zastosowanie w zasilaniu czujników mierzących ciśnienie oraz temperaturę ciała. Producenci, jak i ośrodki naukowe prowadzą badania nad konstruowaniem coraz bardziej wydajnych źródeł EH oraz układów przetwarzających energię pozyskiwaną z harwesterów. Ilość sposobów pozyskiwania energii z otoczenia sprawia, że producenci komercyjnych układów mają w swojej ofercie coraz więcej źródeł EH oraz specjalistycznych układów. Należy się spodziewać, że wraz ze zwiększeniem bezprzewodowego dostępu do Internetu, nastąpi zwiększenie zastosowania sensorów, które zasilane będą z energii pochodzącej z odzysku. Dotyczy to zarówno sprzętu do zastosowań profesjonalnych jak i sprzętu powszechnego użytku.

Autorzy: dr inż. Krzysztof Górski, Akademia Wojsk Lądowych, Instytut Dowodzenia, ul. Czajkowskiego 109, 51-147 Wrocław, E-mail: krzysztof.gorski@awl.edu.pl. Mateusz Kozieł, Jan Zawadzki, Karolina Rosińska, Akademia Wojsk Lądowych, Koto Naukowe Łączności i Elektroniki E-mail: m.koziel1999@gmail.com, jan.zaw99@wp.pl, karolinarosińska1997@gmail.com.

LITERATURA

- [1] Michalski A., Watral Z., Jakubowski J., Energy harvesting – realna możliwość alternatywnego zasilania bezprzewodowych sieci sensorów, *Wybrane aspekty zastosowania technologii „energy harvesting” w zasilaniu bezprzewodowych sieci sensorych*, WAT, Warszawa, (2017), 39-88
- [2] Priya S., Inman D., *Energy Harvesting Technologies*, Springer, 2009,
- [3] Kuczyński K., Parzonko G., Możliwości odzyskiwania energii z otoczenia (energy harvesting) i inne sposoby zasilania pojazdów elektrycznych, *ElektroInfo* (2019) nr 11.
- [4] Tatuś A., Energy harvesting pozyskiwanie energii elektrycznej z otoczenia, *Elektronika Praktyczna* (2020), nr 8, 60-67
- [5] Williams R., *Energy Harvesting Technology, Methods and Applications*, Nova publishers, New York (2016).
- [6] Niell E., Alper E., *Advances in Energy Harvesting Methods*, Springer (2013).
- [7] Tang X., Wang X., Robert R., Gu. F., Ball A.D., *Energy Harvesting Technologies for Achieving Self-Powered Wireless Sensor Networks in Machine Condition Monitoring: A Review*, *Sensors* (2018), 18,4113;

- [8] Pozo B., Garate J. I., Araujo J. A., Ferreiro S. *Energy Harvesting Technologies and Equivalent Electronic Structural Models – Review*, *Electronics* (2019), 8, 486.
- [9] Borg K. *Energy Harvesting in Wireless Applications*. Industrial Electrical Engineering and Automation (2014), 1-35.
- [10] Erturk A., Inman D. J., *Piezoelectric Energy Harvesting*, John Wiley & Sons, (2011), ISBN: 978-0-470-68254-8.
- [11] Bizon N., Tabatabaei N. M., Blaabjerg F., Kurt E., Springer, *Energy Harvesting and Energy Efficiency Technology, Methods, and Applications* (2017).
- [12] Kaleta J., „Materiały magnetyczne SMART - Budowa, wytwarzanie, badanie właściwości, zastosowanie”, OW Politechniki Wrocławskiej, Wrocław (2013), 229-408.
- [13] Sil I., Mukherjee S., Biswas K., A review of energy harvesting technology and its potential applications, *Environmental and Earth Sciences Research Journal*, 4 (2017), n.2, 33-38.
- [14] Lumicell CPV-Systems <https://sites.google.com/site/mi-niogniwa/> Dostęp z dnia 02.02.2021.
- [15] Panasonic *Amorphous Silicon Solar Cells Amorphous Photo-sensors General Catalog of Specifications for Lighting Levels Indoors and Outdoors*.
- [16] Datasheet, *BPW34 Vishay Semiconductors*, Document Number: 91000, 2008.
- [17] Data sheet ADP5090, *Ultralow Power Boost Regulator with MPPT and Charge Management*, Analog Devices, (2015).
- [18] Vullers R.J.M., Van Schaijk R., Doms I., Van Hoof C., Mertens R., *Micropower energy harvesting*, Solid-State Electronics, vol. 59 2009, pp. 684-693.
- [19] Mahmud K. M., Yudistirani A., Ramadhan A. I., *Model Thermoelectric Generator (TEG) Small Modular As Micro Electricity Plant At Indonesia Part 1: Design And Material*, *International Journal Of Scientific & Technology Research*, 5(2016).
- [20] Datasheet CMO-32-62S, TECTEG.
- [21] Syeda A. A., Husi G., *Modelling and Analysis of Energy Harvesting in Internet of Things (IoT): Characterization of a Thermal Energy Harvesting Circuit for IoT Based Applications with LTC3108*, *Energies* 2019, 12, 3873;
- [22] TEG2-126LDT for Body & Sensor Power Thermoelectric Harvesting Applications!, TECTEG, Available online: <https://tecteg.com/low-dt-thermoelectric-harvesting-teg-power-module/>
- [23] Gijušić P., Zelenika S., Kamenar E., *Characterisation of Performances of Thermoelectric Generators for Energy Harvesting Applications*, *Proceedings of the 29th DAAAM International Symposium, Vienna, 2018*, pp.0025-0030.
- [24] Materiały firmy Ferrotec Nord, https://ferrotec.com.sg/assets/pdf/thermo/high_power/high_power_catalog.pdf Dostęp z dnia 15.02.2021 r.
- [25] Daniol M., Boehler L., Sroka R., Keller A., *Modeling and Implementation of TEG-Based Energy Harvesting System for Steam Sterilization Surveillance Sensor Node*. *Sensors* 2020, 20, 6338.
- [26] Materiały firmy MIDE <https://piezo.com/pages/buy> piezoelectric-products-online, dostęp z dnia 16.02.2021.
- [27] Carter R., Kensley R., *Introduction to Piezoelectric Transducers*, materiały online, Piezo.com, dostęp z dnia 17.02.2021.
- [28] Harb A., *Energy Harvesting: State-of-the-Art*, *Renewable Energy*, vol. 36, 2011, pp. 2641-2654.
- [29] Materiały firmy ZF, *Energy Harvesting Wireless Switch*, <https://switches-sensors.zf.com/> dostęp z dnia 02.04.2021.
- [30] Olszyna J., Winiecki W., *Metody pozyskiwania energii dla autonomicznych bezprzewodowych sieci czujników*, *PAK*, vol. 58, 10 (2012), 837-839.
- [31] Salomon N. Bernacki Ł., Gozdur R., Lisik Z., Skotnicki T., Przegląd metod zasilania alternatywnego w biskim otoczeniu człowieka, *Przegląd Elektrotechniczny*, r. 91, 9 (2015), 158 – 161.
- [32] Kowalski A.H., *Systemy dla Internetu Rzeczy – Pozyskiwanie energii z fal radiowych*. *EP*, 10 (2020), 103 – 108.
- [33] *Highly-efficient, regulated dual-output, ambient energy manager for high-frequency RF input with optional primary battery*, Datasheet AEM40940, E-peas, 2018.
- [34] Świętochowski N., *Przyszłe konflikty zbrojne Trzecia wojna światowa Delta*, *Studia I Materiały*, AWL, 2020.