

Alternatywne źródła energii elektrycznej do zasilania elementów aktywnych w inteligentnej odzieży ochronnej dla ratowników górskich – rekomendacje dotyczące ich wykorzystania i sposobu rozmieszczenia w odzieży

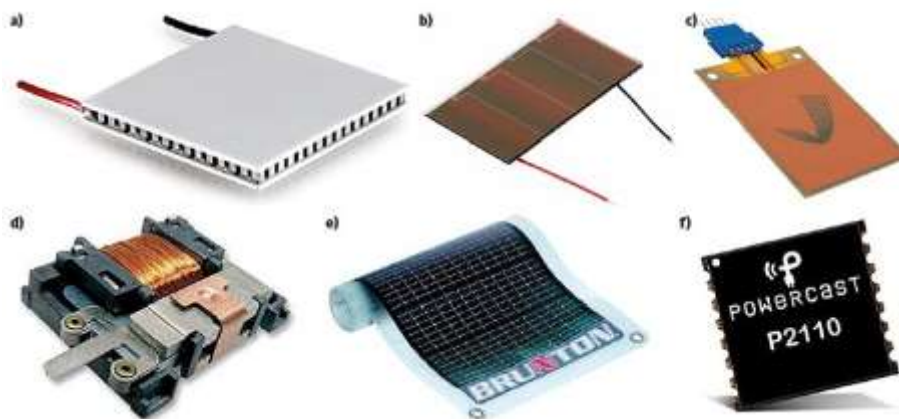
1. Wprowadzenie

Dynamiczny rozwój bezprzewodowych sieci sensorowych, wzrost dostępności różnego rodzaju sensorów w ostatnich latach powoduje coraz większe zainteresowanie elektroniką noszoną. Pomimo, iż technologie sensoryczne od wielu lat są przedmiotem licznych badań, wciąż problemem jest ich zasilanie, w celu zapewnienia stabilnej i długotrwałej pracy. Powszechnie stosowane konwencjonalne źródła energii są ciężkie, nieporęczne, sztywne i charakteryzują się krótką żywotnością (krótkim czasem pracy) (Cho, 2010). Spowodowało to zainteresowanie alternatywnymi, w stosunku do zasilania bateryjnego, źródłami energii elektrycznej. Istotnym obszarem wykorzystania alternatywnych źródeł energii elektrycznej (AZE) (z *ang.* *energy harvesters*) są również systemy wspomagające zasilanie akumulatorów (Michalski, et al., 2017).

Wykorzystanie alternatywnych źródeł energii ma szczególne znaczenie w trudnych i nieprzewidywalnych warunkach środowiska pracy takich jak akcje ratownicze w górach. W związku z powyższym, w ramach projektu badawczego realizowanego w IV etapie programu wieloletniego opracowany został model inteligentnej odzieży ochronnej dla ratowników górskich wykorzystującej alternatywne źródła energii elektrycznej (AZE) do zasilania elementów aktywnych. Przedstawione wytyczne i rekomendacje są wynikiem prac badawczych przeprowadzonych w ramach projektu.

2. Alternatywne źródła energii do stosowania w odzieży ochronnej

Obecnie na całym świecie trwają prace nad opracowaniem mikrogeneratorów AZE, które wyeliminowałyby konieczność stosowania okablowania i tradycyjnych baterii w noszonych urządzeniach elektronicznych, takich jak np. czujniki, do których dostęp jest znacznie utrudniony, a niekiedy nawet niemożliwy. W przypadku bezprzewodowych sieci sensorowych noszonych przez człowieka są to niewielkie generatory, które do wytworzenia energii elektrycznej zamiast paliw kopalnianych wykorzystują energię pierwotną występującą w otoczeniu człowieka, np. energię promieniowania słonecznego, energię elektromagnetyczną, wibracje, energię cieplną, czy częstotliwość radiową. Możliwym źródłem zasilania może być również sam użytkownik elektroniki noszonej, przy czym w zależności od charakteru wykonywanych przez niego czynności, rozróżnia się metody aktywnego i pasywnego pozyskiwania energii. Aktywne pozyskiwanie energii ma miejsce, gdy użytkownik elektroniki noszonej musi wykonać określoną pracę, aby zasilić urządzenie. Z kolei w przypadku metody pasywnej, energia pozyskiwana jest w wyniku typowych funkcji życiowych lub czynności, jakie wykonujemy, na co dzień (oddychanie, wydzielanie ciepła, ciśnienie krwi, itp.) (Saez, 2004; Kim and Yun, 2017). Przykładowe przetworniki energii przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Przykładowe przetworniki energii: a) moduł termoelektryczny TEG Ferrotec 9500, b) moduł fotoelektryczny Panasonic AM-1454, c) moduł piezoelektryczny Mide V25W, d) moduł elektromagnetyczny ECO200 EnOcean, e) moduł fotoelektryczny 9W elastyczny Brunton SolarRoll, f) moduł RF Powercast P2110¹.

Jako główne źródła energii wykorzystywanej w zminiaturyzowanych AZE w obrębie bezprzewodowych sieci sensorów noszonych przez człowieka można wskazać pochodzącą od niego energię kinetyczną i ciepłą oraz energię promieniowania z jego otoczenia (Michalski, et al., 2017).

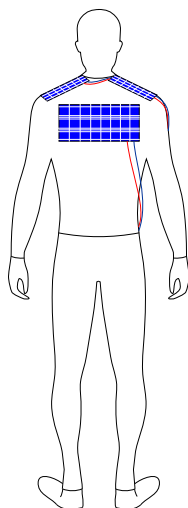
Biorąc pod uwagę warunki pracy ratowników górskich do zasilania lub wspomaganie zasilania elementów aktywnych (urządzeń elektronicznych) oraz na podstawie przeglądu literatury w zakresie możliwych sposobów pozyskiwania energii z wykorzystaniem odzieży, jako nośnika AZE wytypowano 3 rodzaje alternatywnych źródeł energii elektrycznej (AZE), dostępnych na rynku, które są najbardziej odpowiednie do zastosowania w używanej przez nich odzieży: ogniwa fotowoltaiczne, generator elektromagnetyczny i generator termoelektryczny (Dąbrowska et al. 2019).

3. Wytyczne dotyczące sposobu rozmieszczenia alternatywnych źródeł energii elektrycznej w odzieży ochronnej

3.1. Ogniwa fotowoltaiczne

Moc generowana przez ogniwa fotowoltaiczne w sposób istotny zależy od natężenia promieniowania słonecznego w danej chwili, a więc od warunków pogodowych (zachmurzenie), pory dnia i pory roku (biorąc pod uwagę roczne nasłonecznienie w Polsce średnie natężenie światła słonecznego jest dziesięciokrotnie mniejsze od maksymalnego). W związku z tym, ogniwa fotowoltaiczne dla zapewnienia największej efektywności pozyskiwania energii powinny być umiejscowione na odzieży w miejscach najbardziej eksponowanych na działanie światła słonecznego i pod kątem jak najbardziej zbliżonym do prostopadłego do kierunku działania promieni słonecznych. Potencjalnie powinny być umieszczone na odzieży w obszarze ramion, w górnej części pleców i torsu oraz w górnej części rękawów na zewnętrznej części obwodu (Rys. 2).

¹ Źródło: https://ep.com.pl/artykuly/10931-Energy_Harvesting_Pozyskiwanie_energii_z_otoczenia_przeglad_dostepnych_rozwiazan.html

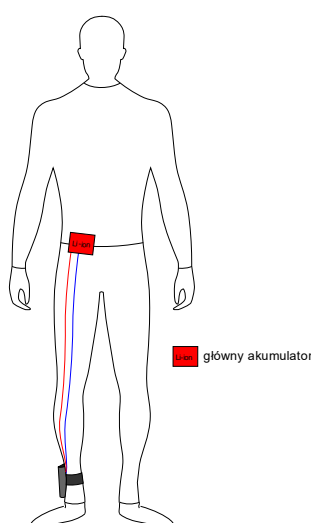


Rys. 2. Wytyczne dotyczące sposobu rozmieszczenia ogniw fotowoltaicznych w odzieży

3.2. Generator elektromagnetyczny

Poziom mocy wytwarzanej przez generator elektromagnetyczny jest zależny od rodzaju aktywności fizycznej, od miejsca instalacji generatora na ciele oraz od kierunku, w którym jest on położony. Badania wykazały, że w przypadku dominującej aktywności związanej z chodzeniem najkorzystniejsza jest instalacja generatora przy stopie lub poniżej kolana w kierunku x, co pozwala na wygenerowanie średniej mocy około 0,2 W (0,1 W na jedną cewkę).

W przypadku generatora elektromagnetycznego czynnikiem decydującym o jego sprawności jest rodzaj aktywności fizycznej użytkownika. Zakładając ciągłe chodzenie średnia generowana moc będzie trzykrotnie niższa od zmierzonej mocy maksymalnej (zmierzonej przy ciągłym bieganiu). Generator elektromagnetyczny do efektywnego działania powinien być umieszczony w taki sposób, aby w czasie ruchu – marszu lub szybkiego marszu i biegu poddawane były jak najczęstszym i energicznym wychyleniom posuwisto-zwrotnym. Z tego względu predysponowane umiejscowienie w odzieży tych urządzeń to nogawki spodni na wysokości poniżej kolana (Rys. 3).



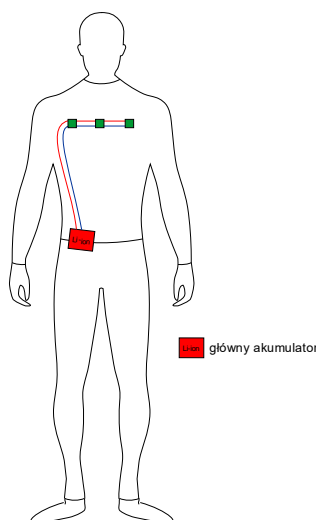
Rys. 3. Schemat przedstawiający wytyczne dotyczące najkorzystniejszej lokalizacji generatora elektromagnetycznego w odzieży

3.3. Generator termoelektryczny (ogniwa Peltiera)

Generator termoelektryczny pozwala na uzyskanie mocy maksymalnej rzędu 0,1 mW przy wartościach generowanych napięć poniżej 30 mV. Niska efektywność tego źródła wynika z małej różnicy temperatur między stroną zimną i gorącą modułu Peltiera (obserwowano różnice od 1 °C do 3,5 °C), przy czym im ta różnica jest większa tym większa jest generowana moc elektryczna.

Ogniwa termoelektryczne do efektywnego działania powinny być umieszczone w taki sposób, aby zapewnić jak największą różnicę temperatur pomiędzy przeciwległymi płaszczyznami ogniwa. Dlatego też ogniwa termoelektryczne mogą znaleźć zastosowanie do zasilania elementów aktywnych w odzieży dla ratowników górskich przeznaczonej do akcji w temperaturach bliskich lub poniżej zera, co umożliwi uzyskanie wysokiej różnicy temperatur między płaszczyznami ogniwa umieszczonymi jak najbliżej zewnętrznej powierzchni odzieży i jak najbliżej ciała.

W naturalny sposób najwyższa temperatura ciała (w warunkach normalnej, jak i wzmożonej aktywności fizycznej) występuje w obszarach górnej części tułowia. Z tego względu ogniwa termoelektryczne powinny być mocowane w obszarach górnych części przodu lub tyłu kurtek (Rys. 4).



Rys. 4. Schemat przedstawiający wytyczne dotyczące sposobu rozmieszczenia ogniw termoelektrycznych w odzieży

4. Rekomendacje dotyczące wykorzystania alternatywnych źródeł energii elektrycznej do zasilania elementów aktywnych w inteligentnej odzieży ochronnej

Scenariusz akcji ratowniczej w tym topologia terenu (akcje górskie, speleologiczne) mają głównie wpływ na czas trwania akcji ratowniczych i wysiłek fizyczny podejmowany przez ratowników, a także ekspozycję na czynniki atmosferyczne. Duże znaczenie dla efektywności działania AZE, a zatem prawidłowego doboru AZE do zastosowania w odzieży ochronnej dla ratowników górskich mają warunki atmosferyczne w zależności od pory roku, a także mobilność i intensywność wykonywanych ruchów przez ratowników. W tym względzie konfiguracja AZE w odzieży powinna być dobierana adekwatnie do przewidywanych warunków akcji.

Prowadzenie akcji ratowniczej na otwartym terenie narzuca stosowanie odpowiedniej do warunków klimatycznych odzieży ochronnej np. lekkiej odzieży letniej lub

ciepłochronnej, odpornej na działanie wody z opadów deszczu lub śniegu. Warunki klimatyczne determinują również wykorzystanie odpowiednich AZE.

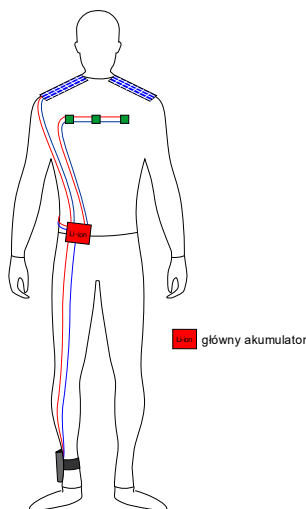
Podczas akcji prowadzonych w dzień przy dostępie światła, a szczególnie w zimie przy pokrywie śnieżnej, rekomendowane jest **wykorzystanie ogniów fotowoltaicznych**. Należy jednak zwrócić uwagę, że efektywność generowania energii elektrycznej przez źródła fotowoltaiczne w sposób istotny zależy od natężenia promieniowania słonecznego, w związku z czym w warunkach dużego zachmurzenia, efektywność tego rodzaju alternatywnych źródeł energii elektrycznej jest bardzo ograniczona.

Względna swoboda przemieszczania i wykonywania określonych czynności fizycznych podczas akcji ratowniczych w otwartym terenie predysponuje stosowanie w tych warunkach odpowiednio zaaplikowanych do odzieży **generatorów elektromagnetycznych**. Uzyskane wyniki wskazują, że generator elektromagnetyczny może być potencjalnie użyty do zasilania lokalizatora GPS pracującego w trybie nieciągłym, którego średni pobór mocy nie przekracza kilku mW. Nie jest to jednak źródło, które może być efektywnie wykorzystane do ładowania akumulatora smartfona. Zgodnie z pomiarami, 1 godzina nieprzerwanej intensywnej aktywności (bieg) pozwoliłaby na zasilenie przez mniej niż 1 godzinę smartfona pracującego wyłącznie w trybie czuwania, tj. bez realizacji funkcji takich jak rozmowy, przesyłanie danych czy lokalizacja GPS. Blok ładowania akumulatora z generatora elektromagnetycznego cechuje się umiarkowaną sprawnością, niższą niż dla modułu fotowoltaicznego. Dla uzyskania zadowalającej sprawności konieczne jest przekroczenie pewnej amplitudy napięcia generatora, co oznacza odpowiednio wysoką intensywność aktywności fizycznej człowieka.

Podczas akcji ratowniczych w warunkach **jesiennie-zimowych np. w temperaturze poniżej 5 °C** będzie wzrastała efektywność działania odpowiednio umieszczonych w konstrukcji odzieży ogniów **termoelektrycznych**. Nie sprawdzą się one natomiast zupełnie w wysokiej temperaturze otoczenia np. w granicach 25-35°C i wyższej, gdy różnica temperatury w porównaniu z temperaturą ciała będzie istotnie ograniczała ich efektywność. Niezależnie od rodzaju zastosowanego ogniwa termoelektrycznego przewiduje się, że układ zasilania oparty o odzyskiwanie energii cieplnej z ciała będzie nadawał się w praktyce do zasilania jedynie bardzo energooszczędnych urządzeń elektronicznych np. bezprzewodowych czujników temperatury (będących przez znakomitą większość czasu, powyżej 99%, w trybie uśpienia). Niezbędne będzie także wyposażenie układu przetwarzania energii dla generatora termoelektrycznego w element magazynujący generowaną energię elektryczną na potrzeby szczytowego poboru mocy przez zasilane urządzenie. Bardzo niska wartość generowanego napięcia wymusza zastosowanie odpowiedniego przekształtnika podwyższającego napięcie. Zwiększenie sprawności takiego układu jest możliwe w drodze zwiększenia napięcia wejściowego poprzez szeregowe połączenie wyjść dwóch lub więcej ogniów termoelektrycznych.

W akcjach ratowniczych prowadzonych w jaskiniach stosowanie ogniów fotowoltaicznych na odzieży nie ma uzasadnienia z uwagi na brak światła. W tych warunkach zazwyczaj przemieszczanie się występuje w mniejszym zakresie niż na otwartej przestrzeni. Często występują również ograniczenia w swobodzie wykonywania ruchów wynikające z ograniczenia przestrzeni. Stąd mało uzasadnione jest stosowanie odzieży z systemem zasilania wykorzystującym generator elektromagnetyczny. Wynika to nie tylko z małej efektywności elektrycznej tych źródeł w takich warunkach, ale również z przyczyn ergonomicznych. Tego typu urządzenia, ze względu na zasadę działania przeważnie są w sztywnych obudowach, co może być przyczyną niedogodności lub wtórnych urazów np. podczas czołgania się lub przejścia przez wąskie kominy skalne. Z tego samego względu ogniwa fotowoltaiczne, choć niewykorzystywane, ale zamocowane na stałe w odzieży ratownika mogą łatwo ulec zniszczeniu. W takich akcjach najbardziej uzasadnione wydaje się wykorzystanie w odzieży systemu z ogniwami termoelektrycznymi. Temperatura w jaskiniach jest stała, na poziomie ok. 7°C, a temperatura w mikroklimacie pododzieżowym, ze względu na duży wysiłek fizyczny może sięgać 35°C.

W związku z powyższym, aby projektowana odzież dla ratowników górskich uczestniczących w bardzo różnych akcjach miała charakter uniwersalny należy przy jej projektowaniu założyć rozłączny sposób montowania AZE. Oznacza to, iż AZE nie powinny być na stałe wmontowane w strukturę odzieży, lecz ich rodzaj i umiejscowienie w odzieży powinny być dostosowane do warunków konkretnej akcji ratowniczej. Odzież ochronna dla ratowników górskich powinna charakteryzować się budową modułową, w której w zależności od charakteru prowadzonej akcji można indywidualnie dobrać system zasilania – jeden lub więcej (Rys. 5).



Rys. 5. Rozmieszczenie alternatywnych źródeł energii w odzieży

5. Bibliografia

Cho, G. (2010), Smart clothing: technology and applications, CRC Press Taylor & Francis Group, New York.

Dąbrowska A., Greszta A., Analysis of the Possibility of Using Energy Harvesters to Power Wearable Electronics in Clothing, Volume 2019, Article ID 9057293, 13 pages, <https://doi.org/10.1155/2019/9057293>, Advances in Materials Science and Engineering.

Kim, M. and Yun, K.S. (2017), "Helical piezoelectric energy harvester and its application to energy harvesting garments", Micromachines, Vol. 8 No 4, pp. 1-14.

Michalski, A. et al. (2017). „Energy harvesting - realna możliwość alternatywnego zasilania bezprzewodowych sieci sensorów”, w: Michalski, A. (red.) Wybrane aspekty zastosowania technologii "energy harvesting" w zasilaniu bezprzewodowych sieci sensorowych, Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa, s. 39-88.

Materiał opracowany na podstawie wyników IV etapu programu wieloletniego „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, finansowanego w latach 2017-2019 w zakresie badań naukowych i prac rozwojowych ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego/Narodowego Centrum Badań i Rozwoju. Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.