

**Katarzyna ZASADA\*, Marek KRAWCZUK**\*POLITECHNIKA GDAŃSKA, WYDZIAŁ ELEKTROTECHNIKI I AUTOMATYKI, KATEDRA ROBOTYKI I SYSTEMÓW MECHATRONIKI  
ul. Własna Strzecha 18a, 80-952 Gdańsk**Uzyskiwanie energii za pomocą materiałów piezoelektrycznych****Mgr inż. Katarzyna ZASADA**

Jest absolwentką Wydziału Fizyki Technicznej i Matematyki Stosowanej na kierunku Inżynieria Materiałowa, Politechniki Gdańskiej. Od 2009r jest doktorantką na wydziale Elektrotechniki i Automatyki PG. Zajmuje się głównie badaniami nad uzyskiwaniem energii za pomocą materiałów piezoelektrycznych.



e-mail: katarzynazasada@wp.pl

**Prof. dr hab. inż. Marek KRAWCZUK**

Absolwent Wydziału Budowy Maszyn Politechniki Gdańskiej z roku 1987. Stopień naukowy doktora nauk technicznych w specjalności dynamika maszyn otrzymał w roku 1991 w Instytucie Maszyn Przepływowych PAN w Gdańsku. W roku 1995 Rada Naukowa IMP PAN w Gdańsku nadała mu stopień doktora habilitowanego a w roku 2003 otrzymał tytuł naukowy profesora nauk technicznych. Jego zainteresowania naukowe obejmują: dynamikę konstrukcji, materiały o sterowalnych własnościach fizycznych, zagadnienia odwrotne w mechanice.



e-mail: mk@imp.gda.pl

**Streszczenie**

W artykule przedstawiono metody uzyskiwania energii za pomocą materiałów piezoelektrycznych. Piezoelektryki są materiałami, które mogą przetwarzać energię pochodzącą z drgań otoczenia na energię elektryczną, która jest magazynowana i użyta do zasilania urządzeń. W ostatnim czasie wzrosło zapotrzebowanie na urządzenia w skali mikro, dlatego też wygenerowanie energii pochodzącej z piezoelektryków może okazać się alternatywą dla tradycyjnych i konwencjonalnych urządzeń zasilających [1]. W artykule zaprezentowane zostały przykłady urządzeń do uzyskiwania energii za pomocą różnych typów materiałów piezoelektrycznych.

**Słowa kluczowe:** zjawisko piezoelektryczne, uzyskiwanie energii za pomocą piezoelektryków, PZT, PVDF, PMN-PT.

**Power harvesting with piezoelectric materials****Abstract**

Purpose of this article is the presentation of potential application power harvesting by piezoelectric materials. Piezoelectric are materials, which transfer ambient vibration energy into electric one. Under the influence of elastic strain piezoelectric, the electric field is created in the material (simple piezoelectric effect). However, under the influence of the electric field piezoelectric's dimensions change (inverse piezoelectric effect). Thanks to these properties piezoelectric's were the focus of much research. Many attempts have been made using this type of funding, leading to the development of technologies: from the construction of various electromechanical generators after the surgical placement of piezoelectric materials in the flesh of animals. Last time many sources in micro scale become very popular because the generation of energy from piezoelectric can be conventional alternative for traditional energy sources. With this method we can get cheap and convenient source of energy. In the paper examples of devices, which are supplied by this kind of energy as well as types of piezoelectrics (PZT, PVDF and PMN-PT), materials used in described examples are presented.

**Keywords:** piezoelectric, power harvesting, PZT, PVDF, PMN-PT.

**1. Wstęp**

W świecie miniaturyzacji urządzeń przesyłanie prądu elektrycznego do nich za pomocą kabli staje się niemal niemożliwe. W takich przypadkach jako źródło prądu powszechnie stosuje się baterie, które mimo wielkiej popularności nie w pełni sprawdzają się w dostarczaniu energii. Głównym powodem jest krótki czas działania, z czym wiąże się konieczność ich częstej wymiany lub ładowania. W niektórych przypadkach jest to niemożliwe ze względu na skomplikowaną budowę urządzeń. Drugim powodem wyeliminowania baterii jako źródła zasilania jest ich zbyt duży wymiar. Naukowcy od wielu lat próbują się zmierzyć z tym problemem, szukając rozwiązań wykorzystujących naturalne właściwości niektórych materiałów. Do tego typu materiałów można zaliczyć piezoelektryki, które przetwarzają energię mechaniczną na elektryczną i odwrotnie. Pod wpływem odkształcenia sprężystego piezoelektryków powstaje pole elektryczne w materiale

(efekt piezoelektryczny prosty). Natomiast pod wpływem pola elektrycznego piezoelektryk zmienia swoje wymiary (efekt piezoelektryczny odwrotny). Dzięki tym właściwościom piezoelektryki stały się tematem wielu badań. Zostało przeprowadzonych wiele prób z wykorzystaniem tego typu źródła, prowadzących do rozwoju technologii: począwszy od budowy różnych elektromechanicznych generatorów po chirurgiczne umieszczenie piezoelektryków w ciele zwierząt [2].

**2. Charakterystyka materiałów piezoelektrycznych (PZT, PVDF, PMN-PT)****2.1. Cyrkonian- tytanian ołowiu (PZT)**

Aktualnie największą popularność zyskały materiały piezoelektryczne takie jak PZT i PVDF. Piezoceramika została odkryta około 1952r. przez fizyków Yutaka Takagi, Gen Shirane i Etsuro Sawaguchi w Instytucie Technologii w Tokyo [17]. PZT jest ceramiką, która jest oparta na spiekach tytanu ( $\text{PbTiO}_3$ ) i cyrkonianu ołowiowego ( $\text{PbZrO}_3$ ). Ceramika PZT występuje w dwóch postaciach: twarda (domieszkowana przez  $\text{K}^+$  i  $\text{Na}^+$  lub  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Mn}^{3+}$ ) oraz miękka (domieszkowana  $\text{La}^{3+}$ ,  $\text{Nb}^{5+}$  lub  $\text{Sn}^{5+}$ ). Cyrkonian-tytanian ołowiu jest materiałem o strukturze polikrystalicznej. Piezoelektryczne materiały ceramiczne wykazują swoją niezawodność w zastosowaniach przemysłowych od ponad pół wieku. Jedną z głównych zalet PZT, jest możliwość optymalizowania właściwości chemicznych, fizycznych i piezoelektrycznych dzięki dopasowaniu składu cyrkonianu-tytanu do szczególnych zastosowań. Z jednej strony twarda ceramika PZT nadaje się do urządzeń o dużej mocy, która wymaga użycia dużych naprężeń mechanicznych i elektrycznych. Z drugiej strony miękki PZT jest odpowiedni do zastosowań posiadających dużą czułość i duże naprężenia. Porównując z innymi materiałami piezoelektrycznymi, PZT ma wysoką wydajność przetwarzania energii mechanicznej na elektryczną oraz wyjątkową stabilność temperatury pracy. Ponadto dużą zaletą piezoceramiki jest jej uniwersalność. W zależności od potrzeb, może przybierać różne kształty oraz może być łączona z innymi materiałami. Tego typu właściwości mogą być wykorzystane w wielu dziedzinach, a w szczególności w przemyśle motoryzacyjnym.

**2.2. Polimer Fluorku Winylidenu (PVDF)**

W 1969r. Kawai zaobserwował w polimerze fluorku winylidenu (PVDF) dużą aktywność piezoelektryczną podczas polaryzacji [18]. Inne materiały takie jak ceramika wykazują niższy współczynnik piezoelektryczny niż PVDF. Fluorek Winylidenu jest tworzywem sztucznym należącym do rodziny fluoropolimerów. Polimer ma strukturę krystaliczną. Charakteryzuje się wysoką odpornością cieplną, dobrą odpornością chemiczną, mechaniczną i izolacyjną. Coraz częściej naukowcy zastępują materiały ceramiczne polifluorkiem winylidenu. Główny powód to przede

wszystkim szybki i tani proces produkcji. PVDF wykazują dużą wytrzymałość mechaniczną i dielektryczną. Dodatkowo tworzywo jest bardzo sprężyste i szybko reaguje na zmiany naprężeń [4]. Materiały PVDF głównie wykorzystywane są do generowania energii. W technice PVDF powszechnie nazywany jest taśmą piezoelektryczną. PVDF jest bardzo wrażliwy na promieniowanie podczerwone, dzięki temu może być wykorzystany jako czujnik temperatury.

### 2.3. Pojedynczy kryształ PMN-PT

Do aplikacji wymagających najwyższej wydajności oraz miniaturyzacji, firma Morgan Technical Ceramic (MTC) niedawno opracowała pojedynczy kryształ PMN-PT, który jest wytwarzany w wysokiej temperaturze [3]. W skład monokryształu PMN-PT wchodzi nioban magnezu i ołowiu. Występują dwa typy składu: PMN-0,27 ~ 0,30PT - dla dużych sygnałów oraz PMN-0,30 ~ 0,33PT - dla małych sygnałów. Pojedynczy kryształ o składzie PT 27 ~ 33% daje więcej możliwości zastosowań w technice uzyskiwania energii [6, 13]. Ta nowa rodzina materiałów piezoelektrycznych ma duży współczynnik sprzężenia elektromechanicznego ( $k_{33}>0,9$ ) oraz wysoki współczynnik piezoelektryczny ( $d_{33}>1700$  pC/N), większy niż w przypadku konwencjonalnych materiałów piezoceramicznych (tab.1).

Tab. 1. Właściwości materiałów PVDF, PZT, PMN-PT, indeks  $ij$  oznacza kierunek przyłożonego napięcia i naprężenia  
Tab. 1. Properties of piezoelectric materials PVDF, PZT, PMN-PT, index  $ij$  means direction of putting voltage and stress

| Właściwości                        | Jednostka             | PVDF                       | PZT                            | PMN-PT        |
|------------------------------------|-----------------------|----------------------------|--------------------------------|---------------|
| Gęstość                            | g/cm <sup>3</sup>     | 1,78                       | 7,6                            | 8,2           |
| Względna przenikalność elektryczna | $\epsilon/\epsilon_0$ | 12                         | 1,700                          | 4400          |
| Moduł sprężystości                 | 10 <sup>10</sup> N/m  | 0,3                        | 4                              | 0,27          |
| Stała piezoelektryczna             | 10 <sup>-12</sup> C/N | $d_{31}=20$<br>$d_{33}=30$ | $d_{31}=180$<br>$d_{33}=360$   | $d_{33}>1700$ |
| Stała sprzężenia                   | CV/Nm                 | 0,11                       | $k_{31}=0,35$<br>$k_{33}=0,69$ | $k_{33}>0,9$  |

Zwiększenie sprzężenia elektromechanicznego i odkształcenia PMN-PT polepszyło działanie urządzeń z elementami piezoelektrycznymi o 20% w stosunku do konwencjonalnych polikryształów PZT.

Użycie pojedynczego kryształu doprowadziło do zwiększenia wydajności o 45% oraz przepustowości o 66%. Dzięki temu nastąpiła poprawa czułości i wzrostu poziomu energii w aplikacjach. Zakres zastosowań PMN-PT obejmuje wysokiej mocy projektory sonarowe jak również obrazowanie medyczne i siłowniki [7].

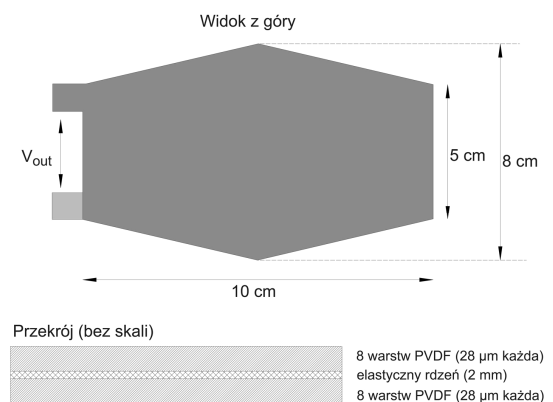
### 3. Pozyskiwanie energii z ruchu człowieka

Jednym z pierwszych badaczy, który wykorzystał materiały piezoelektryczne do pozyskiwania energii był Hausler (1984 r.) [8]. W eksperymencie posłużył się rozszerzaniem i kurczeniem się żeber podczas oddychania. Prototyp urządzenia do generowania energii został skonstruowany z wykorzystaniem polifluorku winylidenu (PVDF). Urządzenie umieszczono we wnętrzu żywego psa. Dzięki tej metodzie otrzymano maksymalne napięcie 18 V, co odpowiadało mocy 17  $\mu$ W. Przybliżona ilość wpuszczanego powietrza do płuc przez człowieka o wadze około 68 kg wynosi 30 litrów na minutę. Przeciętne ciśnienie oddechu jest tylko o 2% wyższe od ciśnienia atmosferycznego. Wykazano, że moc zużyta podczas oddechu waha się od 0,1 do 40 W [8]. Podczas snu oddychamy rzadziej, w związku z tym wygenerujemy połowę mniej energii niż podczas wzmoczonego wysiłku. Innym sposobem uzyskiwania energii z oddechu jest zamocowanie obciskającej opaski wokół klatki piersiowej człowieka. Zmierzono, że podczas normalnego oddechu obwód klatki piersiowej zmienia się o 2,5 cm natomiast podczas głębszego oddechu wartość ta wzrasta do

5 cm., jeżeli założymy, że wydychamy powietrze 10 razy na minutę z siłą 100 N na odległości 0,05 m to wygenerowana moc wyniesie 5W [8].

Kolejny przykład zastosowania piezoelektryków zaproponowali Ramsey i Clark (2001) [3], którzy badali możliwość generowania energii w warunkach *in vivo* za pomocą mikrosystemów elektromechanicznych (MEMS). Do eksperymentu wykorzystali cienkie kwadratowe płytki umieszczone w ciele ludzkim lub zwierzęcym, które były napędzane przez płynącą krew. Udowodniono, że za pomocą tej metody zasilanie urządzeń elektrycznych byłoby możliwe, jeśli używane byłyby sporadycznie. Z badań nad generowaniem energii ustalono, że ilość mocy wytwarzanej podczas przepływu krwi nie była wystarczająco duża do zasilania większości urządzeń elektrycznych. Przyjmując, że w tętnicach panuje ciśnienie krwi wynoszące zazwyczaj u zdrowego człowieka ok. 13332 Pa, serce bije 60 razy na minutę, a podczas jednego bicia przepłynie 70 ml krwi przez aortę do serca, otrzymamy 0,39 W mocy [8].

Wymagania stawiane mikroelektronice są coraz większe. Badacze, aby sprostać nowym wyzwaniom, oferują coraz to nowsze rozwiązania technologiczne. Naukowcy z MIT Media Laboratory pod przewodnictwem Paradiso, skonstruowali urządzenie, które może być wbudowane w butę i używane do wytwarzania energii podczas spaceru [2]. Istnieje wiele korzyści z tego typu rozwiązania. Przede wszystkim 40 warstwowy układ jest grubości 1,1 mm (bez elektrod). Dodatkowo, naturalna budowa buta pozwala generować energię z płytki piezoelektrycznej. PVDF jest materiałem, który łatwo się tnie do pożądanego kształtu oraz jest trwały. Naukowcy opracowali dwa sposoby umieszczenia piezoelektryków w butcie męskim o rozmiarze 11,5. Pierwszy przypadek zakładał umieszczenie klepki wykonanej z wielowarstwowego laminatu folii PVDF pod wkładką buta, w miejscu gdzie obuwie jest najbardziej zginane podczas ruchu. Klepka została zaprojektowana w kształcie rozciągniętego sześciokąta jak pokazano na rys. 2. Układ składa się z dwóch osmiowarstwowych płytek piezoelektrycznych PVDF (polifluorek winylidenu) o grubości 28  $\mu$ m każda, pomiędzy którymi wstawiono elastyczny rdzeń o grubości 2 mm. Elementy te połączone ze sobą żywicą epoksydową.

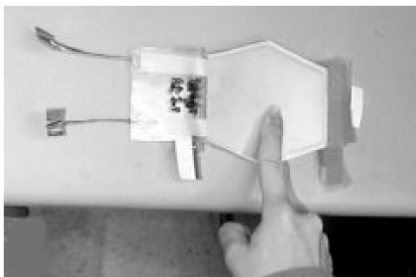


Rys. 2. Układ płytek PVDF [2]

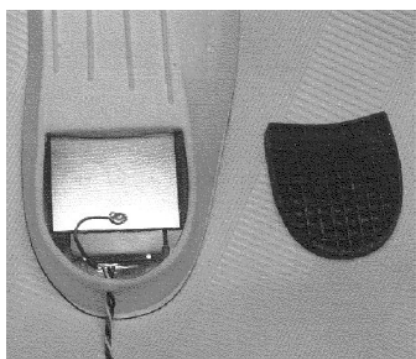
Fig. 2. Sheme of plate PVDF [2]

Kształt płytki został tak dobrany, aby był kompatybilny z odciskiem stopy. Kiedy płytka jest wygięta, zewnętrzne warstwy PVDF poddawane są rozciąganiu natomiast wewnętrzne są ściskane. Powoduje to powstanie na każdej powłoce napięcia pomiędzy elektrodami. Urządzenie tego typu zostało przedstawione na rys.3. Mały kobiecy but ma odcisk o powierzchni 115 cm<sup>2</sup>. Użytkownik o wadze około 69 kg jest w stanie zgiąć but na wysokość 5 cm, oraz wygenerować moc o wartości 1,5 W trzy razy na sekundę. Mając te dane możemy obliczyć ilość energii uzyskanej podczas spaceru. Zakładając, że użytkownik wykonał dwa kroki na sekundę oraz zgiął but 0,6 razy na sekundę, otrzymamy 5W mocy.

Grupa ta skonstruowała także wkładkę piezoelektryczną, która generuje energię pod wpływem dużego nacisku pięty na materiał. Mechanizm taki zbudowany jest z taśmy unimorph, która wykonana jest z piezoceramicznych materiałów kompozytowych. PZT został umieszczony na kawałku elastycznej stali (wyprodukowany jako *Thunder*). Za pomocą tego typu urządzenia można uzyskać moc o wartości max. 60 mW.



Rys. 3. Urządzenie z PVDF [2]  
Fig. 3. Device with PVDF [2]

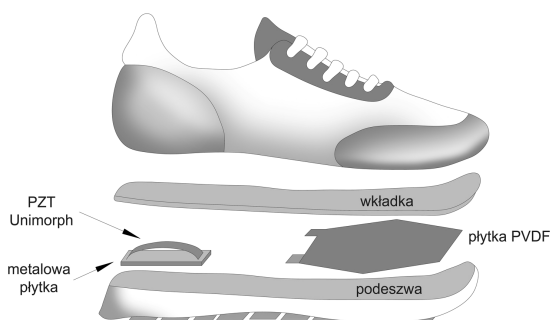


Rys. 4. Thunder 7R [3]  
Fig. 4. Thunder 7R [3]

Inną odmianą urządzenia zaprojektowanego przez Paradiso jest płytka składająca się z dwóch elementów *Thunder unimorph* (rys. 4). Generator uzyskuje podobną ilość energii jak poprzedni prototyp. Poziom konwersji energii mechanicznej na elektryczną jest ograniczony ze względu na dość sztywną konstrukcję mechanizmu.

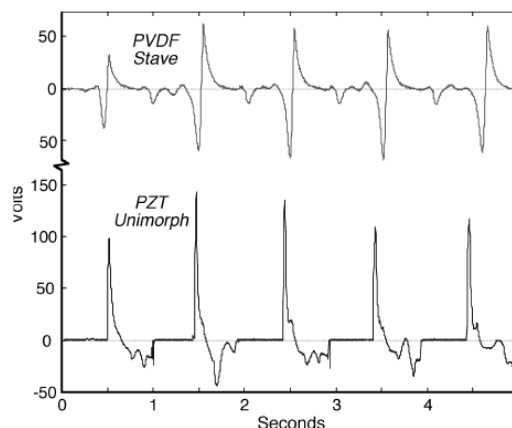
System został umieszczony pod wkładką obuwia sportowego, nie naruszając przy tym struktury buta oraz jest niewidoczny i nie przeszkadza użytkownikowi podczas biegania [8, 16].

W celu oceny zdolności tych urządzeń do uzyskiwania energii, opisane wyżej systemy zostały zamocowane w butach sportowych. Elementy PVDF oraz PZT umieszczono pomiędzy gumową podeszwą a wkładką obuwia (rys. 5).

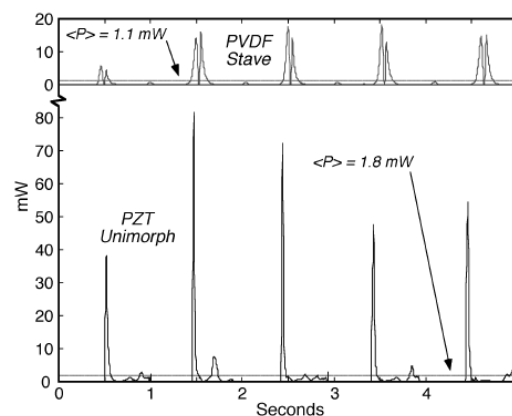


Rys. 5. Rozmieszczenie elementów PVDF i PZT w butcie [2]  
Fig. 5. Location of elements of PVDF and PZT in the shoe [2]

Wyniki uzyskiwania energii za pomocą urządzeń PVDF oraz PZT zostały przedstawione na wykresach (rys. 6 i 7) [2]. Napięcie powstałe na oporniku pochodziło z elementów piezoelektrycznych wykorzystanych podczas szybkiego marszu. W obydwu przypadkach stopa uderzała o powierzchnię z częstotliwością 1 Hz. Z rys. 6 można odczytać, że wartość napięcia dla modelu PVDF w przybliżeniu wynosi +/- 60 V, natomiast za pomocą unimorph PZT uzyskuje się znacznie większe napięcie, do 150 V.



Rys. 6. Wartość napięcia dla płytek PVDF i PZT [2]  
Fig. 6. Value of voltage for PVDF and PZT plate [2]



Rys. 7. Wartość wygenerowanej energii [2]  
Fig. 7. Value of generated energy [2]

Rysunek nr 7 przedstawia ilość dostarczonej mocy do urządzeń zasilających. Maksymalna wartość dla PVDF to 20 mW, a dla unimorph PZT 80 mW. Ze względu na szybsze pobudzenie, płytka PZT generuje dwukrotnie więcej energii niż system PVDF.

#### 4. Sposoby generowania i magazynowania energii

Kluczem do sukcesu dla technologii uzyskiwania energii okazała się metoda gromadzenia i magazynowania energii. Tego typu rozwiązanie może być przydatne w urządzeniach przenośnych. Jednym z pierwszych naukowców, który zaproponował układ magazynujący energię był Starner (1996)[8]. Autor spekulował nad wykorzystaniem energii pochodzącej z ciała (z ruchu kończyn i palców) oraz nad pomysłem użycia kondensatorów i akumulatorów do gromadzenia energii. Koncepcja ta wyprzedzała wcześniejsze teorie Umeda (1997), który zbadał możliwość użycia kondensatorów z piezoelektrykami. W celu ustalenia optymalnego mechanizmu, system testowano teoretycznie i doświadczalnie w różnych konfiguracjach. Niedługo po opublikowaniu tej pracy, Kimura (1998) uzyskał patent na urządzenie piezoelektryczne magazynujące energię w kondensatorze. Mimo to, system zawie-

rający tylko jeden kondensator nie jest wystarczający do zasilania innych urządzeń elektrycznych bez dodatkowego źródła. Dlatego Kymissis (1998) opracował układ piezoelektryczny, który zbiera energię utraconą podczas chodzenia i wykorzystuje do zasilania nadajnika radiowego. Sprzęt również używał kondensatora jako elementu magazynującego, jednak dodatkowo zastosowane komponenty pozwoliły naładować go do pożądanego poziomu zanim został rozładowany. Gdy kondensator rozładowuje się, zostaje uruchomiony przełącznik elektryczny, który zatrzymuje przepływ energii, dzięki temu kondensator nie może nadal funkcjonować. Wykazano, że te dwa urządzenia piezoelektryczne generują wystarczającą ilość energii do zasilania nadajnika. Dzięki temu nadajnik może wysłać 12-bitowy kod, (RFID) co 3-6 kroki. Wykazano, że pozyskiwanie energii za pomocą materiałów piezoelektrycznych daje wiele możliwości.

W późniejszych latach Elvin (2003)[8] opracował własny system wykrywania uszkodzeń wykorzystujący PVDF do uzyskiwania energii i kondensator do magazynowania energii. Mechanizm był w stanie nadawać sygnał, który przechowywał informacje o integralności struktury.

## 5. Metoda pozyskiwania energii jako ekologiczna alternatywa

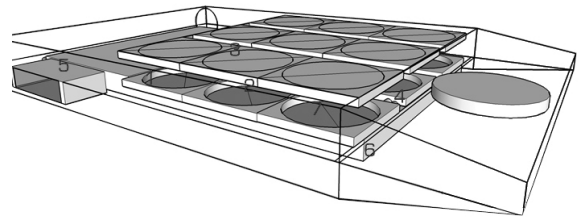
W późniejszych latach wzrosło zapotrzebowanie na urządzenia przyjazne środowisku. Dlatego też systemy działające na podzespołach piezoelektrycznych stały się konkurencją dla konwencjonalnych urządzeń ekologicznych. Jednym z nowych pomysłów Brytyjczyków jest droga wypełniona kryształami piezoelektrycznymi, której zadaniem jest generowanie prądu. Z 1 km piezoelektrycznej drogi można uzyskać 400 kW mocy, która wystarcza do zasilania ośmiu samochodów osobowych. Jeśli tego typu urządzenie zamontować na każdej z Brytyjskich autostrad, można wygenerować energię dla 34 500 samochodów osobowych. Tego typu metoda mogłaby także służyć do podświetlania znaków drogowych, jak również może być wykorzystana do zasilania sygnalizacji świetlnej lub oświetlenia na drogach.

Naukowcy z CEA/Leti-Minatec z Francji opracowali system „raindrop”, który odzyskuje energię kropli deszczu spadających na piezoelektryczną strukturę. System współpracuje z kroplami o średnicy od 1 do 15 mm. Symulacja wskazuje, że za pomocą tej techniki można uzyskać nawet 12 mW mocy podczas jednego opadu deszczu. Uzyskiwanie energii w tym wypadku zależy od wielkości piezoelektrycznej membrany oraz od wielkości kropli i częstotliwości ich spadania. Do stworzenia mechanizmu „raindrops” naukowcy wykorzystali materiał PVDF, piezoelektryk, który przekształca energię mechaniczną w elektryczną. PVDF jest to wysokokrystaliczny, niewzmocniony polimer fluorowy. Materiał wykazuje dobre właściwości mechaniczne, cieplne i elektryczne ze znakomitą odpornością chemiczną. Gdy na płytkę PVDF o grubości 25  $\mu\text{m}$  spadnie kropla deszczu, polimer zaczyna wibrować. Zamocowane elektrody w PVDF mają na celu odzyskiwanie ładunku elektrycznego generowanego przez wibracje. Eksperyment został przeprowadzony na kroplach o różnych rozmiarach, które puszczone były z różnych wysokości i z różnymi prędkościami. Okazało się, że krople, które spadały najwolniej generują najwięcej energii, natomiast te, które spadały z większą prędkością, traciły część energii podczas zderzenia z powierzchnią. W rejonach gdzie opady deszczu są duże, tego typu urządzenie może okazać się dobrą alternatywą dla systemów zasilających. Pomysł ten może jak najbardziej wygrać wśród konkurencji wykorzystujących zasoby darmowej energii [9].

## 6. Nowatorskie rozwiązania wykorzystujące materiały piezoelektryczne

Podczas konkursu „Greener Gadgets Design Competition 2008” Alexander Perker (Stany Zjednoczone) zaproponował wykorzystanie zjawiska piezoelektrycznego w systemie nazwanym „Push to Charge (PtC)”. W tym przypadku wykorzystano zdolność nie-

których materiałów (w szczególności kryształy i ceramiki) do generowania energii. Zasada działania tego urządzenia jest podobna do zapalniczki, w której znajduje się piezoelektryk. W tym przypadku górna część „Push to Charge” uderza w płytkę piezoelektryczną, która oddziałuje na dolną część urządzenia. Napięcie powstałe podczas uderzenia jest następnie wysyłane do baterii, która magazynuje powstałą energię [10].



Rys. 8. Model „Push to Charge”, gdzie: 1) dolna część „Push to Charge”- kryształ piezoelektryczny, 2) górna część „Push to Charge”- metal, 3) płaska powierzchnia umożliwiająca bezpieczne dopasowanie się gumowych lub plastikowych przycisków do górnej części PtC, 4) przewody między modułami, 5) port USB, 6) moduły PtC, które są bezpośrednio przyłączone do głównej baterii, 7) pusta przestrzeń[6]

Fig. 8. Model of Push to Charge, where: 1) bottom section of Push to Charge – piezoelectric crystal, 2) top section PtC – metal, 3) flat surface allows adapting rubber or plastics button to bottom section, 4) wire between module, 5) USB port, 6) modules of PtC attached to battery, 7) empty space[11]

Statystycznie w Stanach Zjednoczonych wysyła się 158 miliardów wiadomości z telefonów komórkowych, w związku z tym w każdej minucie wysyłanych jest 300 000 wiadomości. W każdej wiadomości można zamieścić 160 znaków. Przy założeniu, że każdy Amerykanin średnio wysyła 1,5 wiadomości na dzień, co daje ok. 230 naciśnięć klawisza telefonu na dzień. Każde z nich generuje 0,5 W zatem z każdego telefonu moglibyśmy uzyskać dziennie aż 0,115 kW. Bateria telefonu wymaga jedynie 0,012 W dziennie, zatem przy zastosowaniu systemu „Push to charge” nigdy więcej nie byłoby konieczności ładowania telefonu zewnętrznymi źródłami energii. Ideę tą można również zastosować w innych urządzeniach posiadających klawiaturę, takich jak komputery osobiste bądź wymagające stosowania przycisków podczas użytkowania. Wystarczyłoby to, aby doładowywać baterie tych urządzeń i dzięki temu oszczędzać energię z zewnątrz [10].

Przykładem zastosowania wspomnianej wyżej technologii może być telefon komórkowy EOS firmy Kyocera (rys. 9) [11].



Rys. 9. Prototyp telefonu firmy Kyocera [12]

Fig. 9. Prototype of phone by Kyocera company [12]

Telefon nie tylko jest wyjątkowy ze względu na swoją budowę i kształt, ale także ze względu na wykorzystanie najnowszej technologii do zasilania urządzenia. Producent tego prototypu telefonu użył specjalne włókna polimerowe do obudowy, która może przyjmować różne kształty, a co najważniejsze zastosowali materiały piezoelektryczne jako źródło zasilania.

Telefon wykorzystuje energię kinetyczną pochodzącą z interakcji użytkownika z przedmiotem. Oznacza to, że każde oddziaływanie na telefon ładuje ogniwo mechanizmem. Im częściej telefon jest używany tym dłużej będzie działał. Jak na razie urządzenie nie zostało wprowadzone na rynek, jednak producenci mają nadzieję, że wiele wykorzystanych w nim najnowszych rozwiązań, pojawi się niebawem na naszym rynku [11].

## 7. Podsumowanie

W artykule przedstawione zostały przykłady zastosowań materiałów piezoelektrycznych w technice uzyskiwania energii. Koncepty oparte były na efekcie piezoelektrycznym, który zakłada powstanie ładunku elektrycznego w kryształach pod wpływem mechanicznej deformacji. Urządzenia wykorzystujące opisane zjawisko mogą okazać się jednym z najczęściej używanych sposobów w technologii elektronicznej. Dzięki tej metodzie możemy uzyskać tanie i wygodne źródło energii. Energia otacza nas z każdej strony, wystarczy mieć dobry pomysł na jej wykorzystanie.

## 8. Literatura

- [1] Sodano H. A., Park G., Leo D. J., Inman D. J.: Electric Power harvesting using piezo electric materials, VA 24061-0261, USA.
- [2] Kymissis J., Kendall C., Paradiso J.: Parasitic Power Harvesting in Shoes, MA 02139, USA.
- [3] Strona internetowa: <http://morgantechnicalceramics.com/>
- [4] ElektronikaB2B.pl :Zasilanie elektroniki energią wolno dostępną - przegląd przetworników.
- [5] Opitz R., Call J.: A Piezo Polymer Solution for low cost traffic sensors, Curitiba 2008.
- [6] Strona internetowa: [www.americanpiezo.com](http://www.americanpiezo.com)
- [7] Strona internetowa: <http://www.mecbedford.com/>
- [8] Sodano H. A., J.Inman D.J.: Comparison of Piezoelectric Energy Harvesting Devices for Recharging Batteries, LA-UR-04-5720, USA.
- [9] Starner T., Paradiso J.A.: Human Generated Power for Mobile Electronics, Low-Power Electronics, CRC Press, Chapter 45, 2004.
- [10] Strona internetowa: <http://www.physorg.com/news120216714.html>
- [11] Strona internetowa: <http://www.core77.com/competitions/greenergadgets/projects/4242/>
- [12] Strona internetowa: <http://www.telepolis.pl/news.php?id=14595>
- [13] Edward G., Chan H.L.W. , Batten A., Lam K.H., Luo H.S., Scott D.A.: PMN-PT single-crystal transducer for non-destructive evaluation, Sensor and Actuators, A 132(2006) 434-440.
- [14] Priya S.: Advances in energy harvesting using low profile piezoelectric transducers, DOI 10.1007/s10832-007-9043-4.
- [15] Feenstra J., Granstorm J, Sodano H.A.: Energy harvesting through a backpack employing a mechanically amplified piezoelectric stack, Mechanically Systems and Signal Processing, 22 (2008) 721-734.
- [16] Strona internetowa: <http://www.media.mit.edu/resenv/power.html>
- [17] Lead Zirconate Titanate (PZT) Powder from READE.
- [18] Zhang Q. M., Bharti V., Kavarnos G., Schwartz M.: Poly Vinylidene Fluoride(PVDF) and its Copolymers, Encyclopedia of Smart Materials, Volumes 1-2.

otrzymano / received: 20.11.2009

przyjęto do druku / accepted: 12.04.2010

artykuł recenzowany

## INFORMACJE



## OFERTA KSZTAŁCENIA 2010/2011



### ELEKTROTECHNIKA

studia I stopnia stacjonarne  
i niestacjonarne oraz II stopnia stacjonarne  
i niestacjonarne w specjalnościach:

- automatyka i metrologia elektryczna
- systemy telekomunikacyjne
- automatyzacja i diagnostyka układów elektromechanicznych
- elektroenergetyka
- audyt energetyczny, ekologiczny i finansowy
- energoelektronika

### INFORMATYKA

studia I stopnia stacjonarne  
i niestacjonarne oraz II stopnia stacjonarne  
i niestacjonarne w specjalnościach:

- sieci komputerowe i systemy baz danych
- komputerowe wspomaganie projektowania
- informatyka w elektroenergetyce
- informatyka w technice i zarządzaniu

### AUTOMATYKA I ROBOTYKA

studia I stopnia stacjonarne  
i niestacjonarne oraz II stopnia stacjonarne  
i niestacjonarne w specjalnościach:

- komputerowe systemy sterowania
- robotyka i mechatronika
- systemy informatyczne w automatyce i robotyce

### ELEKTRONIKA i TELEKOMUNIKACJA

studia I stopnia stacjonarne i niestacjonarne

Kierunek Automatyka i Robotyka objęty jest od roku 2008/2009 Projektem systemowym pt. „Zamawianie kształcenia na kierunkach technicznych, matematycznych i przyrodniczych - pilotaż” współfinansowanych przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego.

### STUDIA DOKTORANCKIE

Studia III stopnia stacjonarne  
(4-letnie) w dyscyplinach:

- AUTOMATYKA I ROBOTYKA
- ELEKTROTECHNIKA

### KONTAKT

Politechnika Opolska  
Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki  
ul. Sosnkowskiego 31  
45-317 Opole  
[www.we.po.opole.pl](http://www.we.po.opole.pl)  
e-mail: [weia@po.opole.pl](mailto:weia@po.opole.pl)

Dziedzinat - studia I i II stopnia - 077/4006216 pok. 320  
Studia doktoranckie - 077/4006244 pok. 318  
Studia podyplomowe/kursy - 077/4006217 pok. 420

### STUDIA PODYPLOMOWE:

Audyt energetyczny na potrzeby termomodernizacji oraz oceny energetycznej budynków,  
Systemy i sieci komputerowe,  
Technika i technologia informacyjna,  
Komputerowe sieci przemysłowe PLC,  
Techniki internetowe i systemy baz danych,  
Rynek energii elektrycznej,  
Systemy telekomunikacyjne,  
Elektrotechnika, specj. Elektronika(3 sem. dla nauczycieli).

### KURSY KOMPUTEROWE:

Administracja systemu i sieci Linux,  
Administracja systemu Windows,  
Grafika komputerowa 2D i 3D,  
Podstawy obsługi komputera,  
Technologie biurowe-pakiet Microsoft Office,  
Układy programowalne w technice,  
Metody statystyczne w medycynie,  
Komputerowe sieci przemysłowe,  
Projektowanie stron WWW,  
Sieci komputerowe.

