



Propozycje zastosowania czujników samozasilających się w przemyśle wydobywczym

Proposals of application of self-energizing sensors in the mining industry

Dr inż. Dariusz Jasiulek^{*)}

Treść: W artykule przedstawiono perspektywę zastosowania czujników samozasilających się, wykorzystujących energię drgań lub energię ciepłą do monitorowania wybranych parametrów maszyn górniczych. Obecnie, szczególnie w zakresie monitorowania maszyn i inteligentnych budynków, coraz częściej stosowane są czujniki z „auto-zasilaniem”. Sensory do zasilania swoich struktur wykorzystują zjawiska fizyczne, takie jak: przepływ ciepła, energię drgań lub światła (ang. *energy harvesting* – pozyskiwanie energii). Analiza takich rozwiązań wykazała, że istnieją możliwości zastosowania tej technologii w systemach automatyki oraz diagnostyki maszyn i urządzeń górniczych. W artykule przedstawiono perspektywy wdrożenia systemu czujników samozasilających w odniesieniu do maszyn stosowanych w przestrzeniach zagrożonych wybuchem metanu i/lub pyłu węglowego.

Abstract: This paper presents the prospects of application of self-energizing sensors which use the point or thermal energy to monitor selected parameters of mining machines. Currently, more and more often mainly in monitoring of machines and Building Management Systems (intelligent buildings) there are self-energizing sensors applied. The sensors use the following physical phenomena to reinforce their structures: flow of heat, point or light energy. Analysis of such solutions shows there are possibilities to apply this technology in automation systems and diagnostics of machines and mining equipment. This paper presents the prospect of implementation of self-energizing sensor systems in relation to the machines used in areas prone to methane and/or coal dust explosion.

Słowa kluczowe:

czujnik samozasilający, zbieranie energii, mechatronika, układ sterowania, ATEX - dyrektywa (Atmosfera wybuchowa)

Key words:

self-energizing sensor, energy harvesting, mechatronics, control system, ATEX (ATmosphere EXplosible)

1. Wprowadzenie

Rozwój systemów monitorowania oraz automatyzacji maszyn i urządzeń górniczych wymusza opracowywanie i wdrażanie inteligentnych rozwiązań. W przypadku pracy urządzeń w przestrzeniach zagrożonych wybuchem, wymagane jest stosowanie specjalnych konstrukcji, zgodnych z wymaganiami dyrektywy ATEX. Obecnie, coraz popularniejsze stają się rozproszone systemy sterowania, bazujące na sieciach przemysłowych (np. zbudowanych w oparciu o magistralę CAN), które umożliwiają ograniczenie liczby przewodów [1]. W praktyce konieczne jest jednak prowadzenie przewodu sieciowego oraz zasilającego (często w jednym kablu). Stosowane są również czujniki, które komunikują się za pomocą sieci bezprzewodowej, wymagają jednak również prowadzenia przewodu zasilającego (opcjonalnie zasilane są bateryjnie).

W układach monitorowania maszyn i inteligentnych budynków coraz popularniejsze stają się czujniki z „auto-zasilaniem”, wykorzystujące energię generowaną podczas zjawisk fizycznych, takich jak przepływ ciepła, drgania,

czy generowanie światła, zasilającej czujniki (ang. *energy harvesting* – pozyskiwanie energii). Przeprowadzona analiza stosowanych rozwiązań wykazała, że istnieją możliwości ich zastosowania w systemach automatyki i diagnostyki maszyn i urządzeń dla górnictwa.

2. Dostępne źródła energii

W podziemiach zakładów górniczych nie ma możliwości stosowania zasilania pochodzącego z najpopularniejszych źródeł energii odnawialnej – ogniw fotowolticznych oraz turbin wiatrowych. Przeprowadzona analiza wskazuje, że energia, którą można wykorzystać, związana jest przede wszystkim z pracującymi maszynami oraz górotworem. Możliwe jest również wykorzystanie przepływu powietrza, ale na niewielką skalę.

Dostępne w podziemiach zakładów górniczych źródła energii można podzielić w następujący sposób:

- źródła energii mechanicznej – ruch ciał stałych:
 - drgania maszyn,
 - ruch obrotowy,
 - energia hamowania,
 - ruch człowieka,

^{*)} Instytut Techniki Górniczej KOMAG

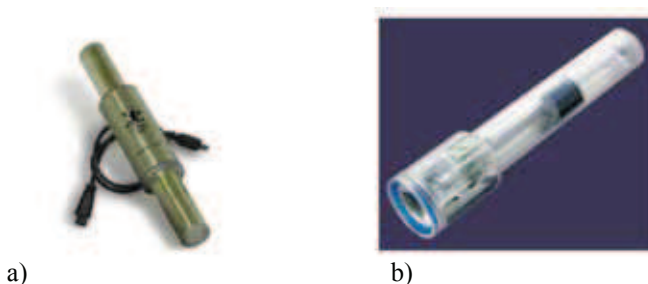
- źródła energii termalnej:
 - nagrzewanie komponentów maszyn i urządzeń (energia strat),
 - temperatura ciała człowieka,
 - temperatura górotworu,
- źródła energii pochodzącej z promieniowania elektromagnetycznego:
 - pracujące maszyny,
 - przewody zasilające,
- źródła energii pochodzącej z przepływu powietrza.
Przystępując do sporządzenia przedstawionego podziału uwzględniono możliwości techniczne pozyskania i przetworzenia energii. Najbardziej rozwinięte są obecnie rozwiązania z zakresu przetwarzania energii drgań oraz energii termalnej.

3. Metody pozyskiwania energii elektrycznej

Przeprowadzona analiza literaturowa [4, 17] oraz analiza w zakresie dostępnych rozwiązań [9, 13, 14, 15, 16] – nieprzeznaczonych do pracy w przestrzeniach zagrożonych wybuchem metanu i/lub pyłu węglowego, wskazała na możliwości budowy systemu czujników samozasilających się. W zakresie pozyskiwania energii z drgań mechanicznych przeanalizowano rozwiązania przetworników elektromagnetycznych oraz piezoelektrycznych, jako potencjalnych źródeł zasilania czujników wchodzących w skład systemu [9, 12, 13, 14, 15, 16]. Przeanalizowano również rozwiązania z zakresu przetworników termoelektrycznych oraz fotowoltaicznych [11].

3.1. Metoda elektromagnetyczna

Metoda wykorzystuje prawo Faradaya mówiące o tym, że w przewodniku umieszczonym w zmiennym polu magnetycznym indukuje się siła elektromotoryczna. Zmienne pole magnetyczne wytwarzane jest najczęściej przez poruszające się magnesy, natomiast rolę przewodnika pełnią odpowiednio zbudowane układy cewek. Firma Tremont Electric przedstawiła sposób zastosowania przetwornika elektromagnetycznego w formie przenośnej ładowarki nPower® PEG (rys. 1a) [15], która może być wykorzystana jako ładowarka podczas marszu (podczas minimalnego ruchu wytwarza sygnał o mocy 1mW).



Rys. 1. Przetwornik elektromagnetyczny a) nPower® PEG [15], b) latarka [16]

Fig. 1. a) nPower® PEG [15], b) electromagnetic flashlight [16]

Kolejnym zastosowaniem przetwornika elektromagnetycznego są latarki elektromagnetyczne [16] (Electromagnetic Flashlight rys.1b), niewymagające stosowania zasilania bateryjnego. Generowana energia elektryczna jest gromadzona w kondensatorze. Wadą urządzenia jest potrzeba gwałtownego potrząśnięcia latarką przez przynajmniej 2 minuty w celu nała-

dowania kondensatorów. Zgromadzona energia wystarcza na kilka minut świecenia.

3.2. Metoda piezoelektryczna

Metoda wykorzystuje zjawisko polegające na wytwarzaniu, pod wpływem naprężeń mechanicznych, ładunków elektrycznych na powierzchni materiału piezoelektrycznego. Element piezoelektryczny jest umieszczany w urządzeniu w taki sposób, aby zapewnić maksymalne wykorzystanie energii zjawisk mechanicznych wstępujących w urządzeniu [4, 17].

3.3. Metoda elektrostatyczna

Konwersja energii kinetycznej drgań w energię elektryczną następuje za pomocą zmiennego kondensatora spolaryzowanego działaniem elektretów (dielektryk, w którym w sposób trwały utrzymuje się polaryzacja dipolowa lub stan naładowania elektrycznego). Elektret wytwarza zewnętrzne pole elektryczne i w tym sensie jest elektrostatycznym odpowiednikiem magnesu trwałego.

3.4. Metoda magnetostrykcji

Bazuje na zjawisku powstawania odkształceń w ferromagnetykach pod wpływem pola magnetycznego. Zjawiskiem odwrotnym jest efekt Villariego. Zmiana rozmiarów pod wpływem pola magnetycznego może mieć charakter liniowy lub objętościowy [8].

3.5. Metoda fotoelektryczna

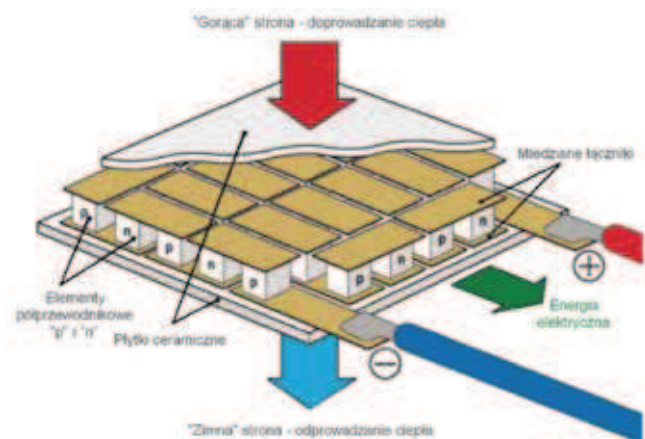
Przetworniki fotoelektryczne przetwarzają energię promieniowania słonecznego w energię elektryczną, w wyniku zjawiska fotowoltaicznego, które polega na przemieszczeniu na złączu p-n nośników ładunków elektrycznych pomiędzy pasmami energetycznymi, pod wpływem fotonów. Przemieszczenie się ładunków powoduje powstanie różnicy potencjałów, a tym samym napięcia elektrycznego. Przetworniki te znajdują zastosowanie w ogniach fotowoltaicznych. Wykorzystuje się je do budowy baterii słonecznych. Składają się one z połączonych szeregowo ogni w liczbie, która pozwala generować prąd o użytecznym natężeniu.

3.6. Metoda termoelektryczna

Rekuperacja energii cieplnej bazuje na zjawisku rekuperacji polegającym na odzyskiwaniu energii cieplnej [2, 11]. Do przetworzenia np. energii cieplnej na elektryczną wykorzystuje się termogeneratory - urządzenia, które produkują energię elektryczną na skutek różnicy temperatur i wywołanego tą różnicą przepływu strumienia energii cieplnej. Można wyróżnić dwa główne typy termogeneratorów – oparte o efekt Seebecka (Ogniwa Peltiera) – rys. 2. oraz wykorzystujące zjawisko zachodzące w silniku Stirlinga.

Ogniwa Peltiera bazują na zjawisku termoelektrycznym Seebecka (efekt Seebecka), polegającym na powstawaniu siły elektromotorycznej (zwanej też siłą termoelektryczną) w obwodzie złożonym z dwóch różnych materiałów, których styki mają różne temperatury [11]. Jest ono wynikiem zależności kontaktowej różnicy potencjałów między materiałami od temperatury. Napięcie kontaktowe powstaje wskutek dyfuzji przez powierzchnię kontaktu elektronów, od jednego materiału do drugiego [11].

Współczesne ogniwo Peltiera to dwie cienkie płytki z termoprzewodzącego materiału izolacyjnego (ceramika tlenków glinu), pomiędzy którymi umieszczono szeregowy stos ele-



Rys. 2. Budowa i zasada działania ogniwa Peltiera [2, 11]
Fig. 2. Structure and principle of operation of Peltier thermoelectric device [2, 11]

mentarnych półprzewodników, naprzemiennie typu "p" i "n" (rys. 2). Półprzewodniki, w formie „słupków”, wykonanych z tellurku bizmutu, zmieszanego odpowiednio z antymonem i selenem, połączone są szeregowo dzięki miedzianym ścieżkom na wewnętrznych powierzchniach płytek, stanowiących ceramiczną obudowę.

4. Możliwości zastosowania czujników samozasilających się

Projektowanie oraz modernizacja układów sterowania maszyn górniczych wymaga opracowania nowatorskiego sposobu prowadzenia przewodów zasilająco-sterowniczych, w odpowiedniej przestrzeni, bez ryzyka ich uszkodzenia. Sposobem na rozwiązanie takich wymagań może być zastosowanie czujników z „auto-zasilaniem”, wykorzystujących np. energię ruchu obrotowego, drgań mechanicznych lub przepływu ciepła.

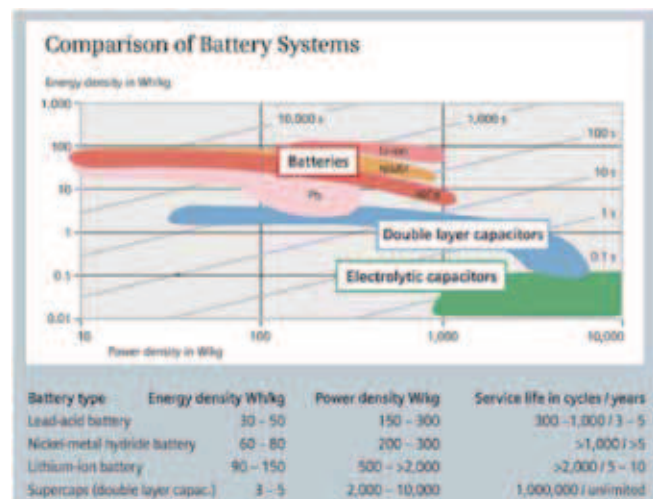
Wytworzenie energii z [5, 6]:

- ruchu obrotowego części maszyn może być wykorzystane do określania:
 - Temperatury krążników przenośnika taśmowego – energia wynikająca z obrotu krążnika służy do zasilania czujnika temperatury (prądnicza wewnątrz krążnika). Czujnik taki może mieć duże znaczenie w ochronie przeciwpożarowej.
 - Położenia ładowarki kombajnu ścianowego – ze względu na ograniczenia związane z prowadzeniem przewodu, można zastosować enkoder absolutny, zasilany energią powstającą w wyniku ruchu obrotowego ładowarki. Ze względu na niewielki kąt przemieszczania ładowarki oraz duży moment obrotowy wymagane będzie wykonanie przekładni multiplikującej obroty.
 - Położenia wysięgnika kombajnu chodnikowego – podobnie jak w przypadku ładowarki kombajnu ścianowego, możliwe jest zastosowanie samozasilającego się enkodera mierzącego położenie wysięgnika (konieczna multiplikacja obrotów) [7].
 - Położenia czerpaka ładowarki – podobnie jak w wymienionych przypadkach, możliwe jest zastosowanie samozasilającego się enkodera absolutnego mierzącego położenie czerpaka (konieczna multiplikacja obrotów). Dodatkowo, czujnik mógłby zostać wyposażony w układ tensometryczny lub element do pomiaru ciśnienia, służący do określania masy urobku transportowanej w czerpaku.

- Energia wynikająca z drgań mechanicznych może być wykorzystane do określania:
 - Temperatury wybranych węzłów konstrukcyjnych maszyn – w przypadku maszyn możliwe jest wykorzystanie energii drgań do zasilania sensorów mierzących temperaturę. Stwarza to możliwość pomiaru temperatury w dowolnym miejscu oraz zmianę położenia czujnika w trakcie eksploatacji maszyny.
 - Ciśnienia w układzie hydraulicznym - wykorzystanie energii generowanej w wyniku drgań do zasilania czujników ciśnienia.
 - Drgań (wibrodiagnostyka) – możliwość budowy samozasilającego się czujnika mierzącego drganie pracującej maszyny na potrzeby układu wibrodiagnostycznego.
 - Naprężenia łańcucha przenośnika zgrzeblowego – możliwość zabudowy elementu przetwarzającego energię w wyniku naprężeń, w specjalnie skonstruowanym ogniwie pomiarowym, wyposażonym w układ piezoelektryczny.
 - Oświetlenia pozycyjnego kolejek kopalnianych (podwieszanych i spągowych).

5. Akumulacja odzyskanej energii

Obecnie dostępnych jest sporo możliwości magazynowania energii. Sposób akumulacji energii zależy od tego, jaka energia będzie potrzebna w systemie oraz czy materiały elementu magazynującego można stosować w miejscu docelowej instalacji urządzenia. Przy wykorzystywaniu urządzeń samozasilających się, ważna jest pojemność elementu magazynującego. Przy projektowaniu takich urządzeń należy rozpatrzyć czy element magazynujący będzie można wymieniać, a jeżeli tak, to po jakim czasie – choć dąży się do tego by urządzenia te nie potrzebowały wymiennych magazynów energii. Na rys. 3 przedstawiono porównanie najbardziej popularnych elementów magazynujących energię elektryczną.



Rys. 3. Porównanie dostępnych elementów magazynujących energię [3]
Fig. 3. Comparison of available components for energy storing [3]

Z upływem czasu użytkowania baterii/akumulatorów zmniejsza się ich pojemność, wiąże się to z koniecznością wymiany ich na nowe. W przypadku układów do odzysku energii, gdzie stosowane są kondensatory lub superkondensatory, ilość magazynowanej energii nie zmienia się w czasie.

6. Układ transmisji radiowej

Projektując układ samozasilający się, gdzie przepływ danych otrzymanych z czujników jest bezprzewodowy, należy dobrać odpowiednią technologię przesyłania danych, która zapewni wymaganą funkcjonalność systemu przy niskim poborze energii. Obecnie stosowane są bezprzewodowe sieci sensorowe Wireless Sensor Network (WSN). Sieci te są złożone z wielu urządzeń rozlokowanych na pewnym obszarze, które wspólnie realizują zadania z zakresu komunikacji. Do WSN należą, między innymi, technologie ZigBee i Bluetooth.

Przeprowadzona została analiza porównawcza niektórych parametrów technologii ZigBee i Bluetooth, istotnych w konstrukcji czujników samozasilających się:

- w technologii ZigBee pakiety danych są mniejsze, dzięki czemu urządzenia mogą szybciej przejść do fazy pasywnej („tryb uśpienia”),
- w technologii ZigBee dołączenie nowego węzła do sieci trwa 30 ms, natomiast w Bluetooth – >3 s, typowo 20 s,
- w technologii ZigBee przejście węzła ze stanu pasywnego do aktywnego trwa 15 ms, natomiast w Bluetooth – 3 s.

Tabela 1. Porównanie dostępnych technologii bezprzewodowych pod względem transferu

Table 1. Comparison of available wireless technologies in terms of transfer

Standard technologii bezprzewodowej	Dostępny transfer
Ultra-Wide Band (UWB)	100Mbps
WLAN/Wi-Fi	1Mbps
Bluetooth	500Kbps
Zigbee	150Kbps

Z przedstawionego porównania wynika, że w przypadku czujników samozasilających, gdzie ilość danych nie jest duża, natomiast liczy się czas wykonania operacji wysłania danych (aktywacja, transfer, uśpienie), uzasadnione jest zastosowanie technologii ZigBee. W tabeli 1 przedstawiono porównanie dostępnych technologii bezprzewodowych pod względem dostępnego transferu.

7. Koncepcja systemu czujników samozasilających się

Opracowanie systemu czujników samozasilających się, dedykowanych do pracy w przestrzeniach zagrożonych wybuchem metanu i/lub pyłu węglowego, poprzedzono przeprowadzeniem analizy z zakresu potrzeb rynku i możliwości technicznych wykonania projektu. Wskazano, że konieczne jest rozstrzygnięcie, między innymi, następujących kwestii [5, 6]:

- Jakiego ograniczenia w zakresie stosowania proponowanego systemu wynikają z zastosowania w przestrzeniach zagrożonych wybuchem metanu i/lub pyłu węglowego?
 - Jakie są wymagania w zakresie częstotliwości nadawania sygnału pomiarowego przez czujnik?
 - Jakie sposoby zabudowy przetworników należy zastosować, by spełnić wymagania przepisów?
 - Jak można zastosować sposoby montażu czujników do maszyny/urządzenia?
 - Jak rozwiązać problem transmisji radiowej w kontekście obudowy czujnika?
 - W jaki sposób dokonywać strojenia przetwornika piezoelektrycznego do wymaganych częstotliwości pracy?
 - W jaki sposób zapewnić odpowiednią różnicę temperatury po obu stronach przetwornika termoelektrycznego?
- Koncepcja systemu czujników samozasilających się zakła-

da instalację dowolnej liczby czujników bezprzewodowych na konstrukcji maszyny/urządzenia, przesyłających komunikaty drogą radiową do odbiornika. W przypadku stacjonarnego układu monitorowania, odbiornik może być instalowany na stałe i być podłączony do kopalnianej sieci telekomunikacyjnej. W przypadku mobilnego systemu monitorowania odbiornikiem, można zastosować np. palmtop z radiowym modulem komunikacyjnym.

Zastosowanie systemu czujników samozasilających się umożliwi opracowanie innowacyjnego układu monitoringu wybranych parametrów pracy maszyny lub urządzenia.

System przeznaczony będzie do zastosowania w kopalniach, w przestrzeniach zagrożonych wybuchem metanu i/lub pyłu węglowego.

W trakcie projektowania systemu czujników samozasilających się, jednym z problemów jest pobór mocy elementów układu elektronicznego. W celu ograniczenia poboru mocy stosowane są następujące strategie:

Strategia redukcji poboru mocy przez czujniki:

- włączanie zasilania czujnika tylko wtedy, gdy ma nastąpić próbkowanie,
- włączanie zasilania układu kondycjonowania sygnału tylko wtedy, gdy jest wykonywane próbkowanie przez czujnik,
- próbkowanie przez czujnik tylko w przypadku zdarzenia,
- zmniejszanie częstotliwości próbkowania przez czujnik do minimum wymaganego przez aplikację,
- wykorzystywanie stanu czuwania elektroniki (*standby*),
- używanie szybkiego przetwornika AC/DC do zmniejszania czasu działania elektroniki i czujnika,

Strategia redukcji poboru mocy przez elementy nadajnika radiowego:

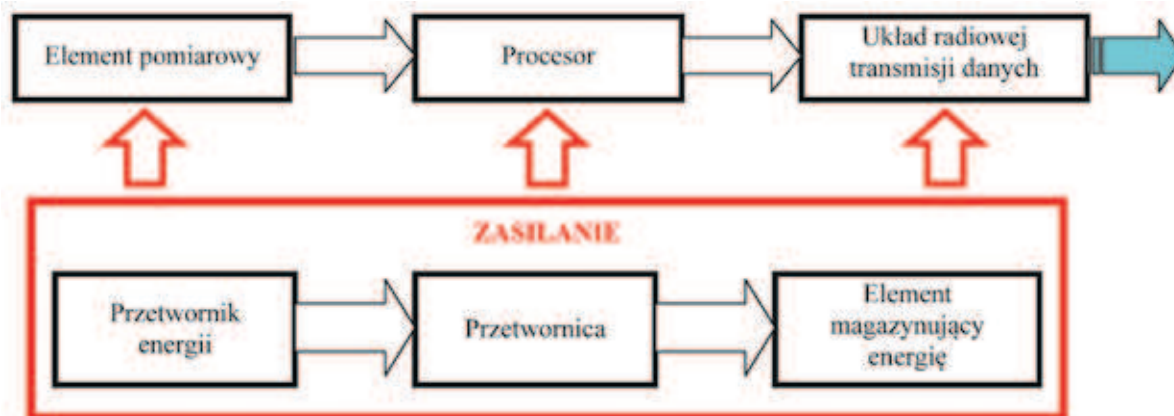
- zmniejszanie liczby danych przesyłanych przez stosowanie kompresji danych lub redukcji danych,
- zmniejszanie cyklu nadajnika i częstotliwości transmisji danych,
- wdrażanie ścisłego zarządzania energią – stosowanie trybów zmniejszania poboru mocy i „uspiania” czujników,
- wdrażanie technologii transmisji opartych na zdarzeniu – transmisja danych z czujnika tylko w przypadku zdarzenia.

8. Koncepcja czujnika bezprzewodowego zasilanego przetwornikiem piezoelektrycznym

Koncepcję czujnika bezprzewodowego, zasilanego przetwornikiem piezoelektrycznym, przedstawiono na rys. 4.

Czujnik składa się z czterech modułów:

- elementu pomiarowego – w zależności od typu czujnika może to być np. piezoelektryczny element do pomiaru drgań, sił lub ciśnienia, termopara do pomiaru temperatury, itp.
- procesora – parametr fizyczny mierzony przez czujnik jest przetwarzany z postaci analogowej na postać cyfrową, co umożliwia przesłanie go drogą radiową,
- układu radiowej transmisji danych – na podstawie analizy obecnych na rynku systemów transmisji danych stwierdzono, że standardem radiowej wymiany danych, który najbardziej nadaje się do zastosowania w czujnikach bezprzewodowych, jest standard ZigBee – układ ma za zadanie przesłanie przetworzonego sygnału cyfrowego do odbiornika,
- zasilanie – w typowych czujnikach bezprzewodowych stosowane jest zasilanie akumulatorowe, a w ramach opracowanej koncepcji zaproponowano alternatywne (bazujące na przetwornikach piezoelektrycznych) źródło zasilania wszystkich podzespołów czujnika.



Rys. 4. Schemat czujnika bezprzewodowego [5, 6]
Fig. 4. Scheme of wireless sensor [5, 6]

Zasilanie czujnika, w przypadku aplikacji *energy harvesting*, składa się z trzech podstawowych modułów:

- przetwornika energii (**piezoelektryczny**, indukcyjny, ogniwo Peltiera, fotowoltaiczny),
- przetwornicy dedykowanej do aplikacji *energy harvesting*,
- elementu magazynującego energię (superkondensator, akumulator).

8.1. Dobór i badania przetwornika piezoelektrycznego

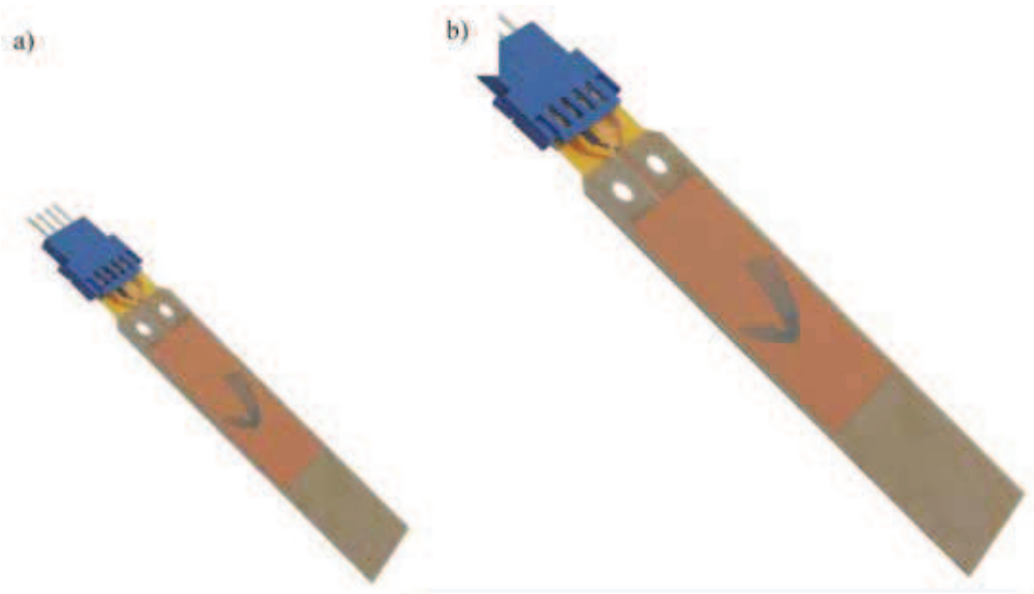
W ramach prac koncepcyjnych wytypowano przetworniki piezoelektryczne, mogące znaleźć zastosowanie w konstrukcjach układów zasilania czujników bezprzewodowych. Przetworniki wybrano na podstawie dokonanego przeglądu literaturowego oraz doświadczeń specjalistów Zakładu Systemów Mechatronicznych ITG KOMAG [5, 6, 10].

Do badań wybrano przetwornik **V21BL-ND** (produkcji firmy MIDE, rys. 5). Przetwornik ten charakteryzuje się wąskim zakresem częstotliwości rezonansowej i jest dostrajany do konkretnej częstotliwości rezonansowej poprzez dodanie masy sejsmicznej na końcu listka. Napięcie generowane przez przetwornik zmienia się, w zależności od częstotliwości

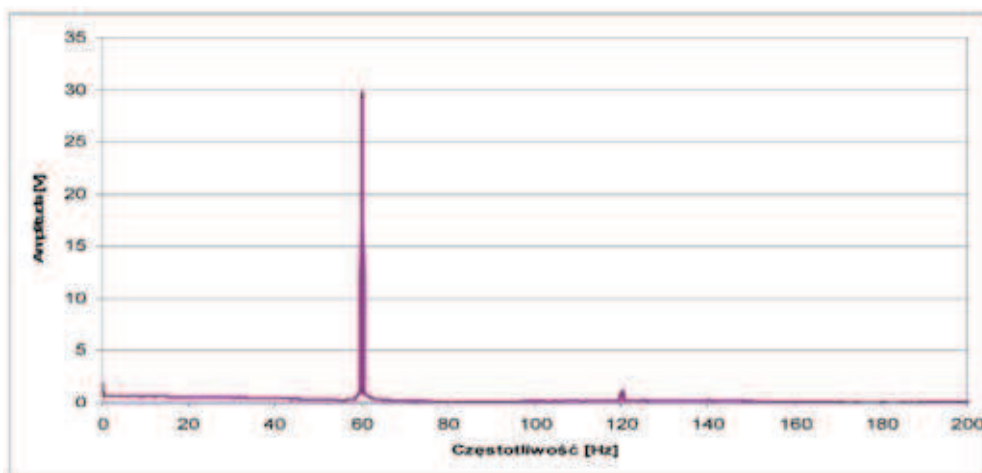
pracy oraz wychylenia przetwornika. W karcie katalogowej przetwornika zdefiniowano masę jaką należy obciążyć przetwornik oraz amplitudę wychylenia, aby osiągnąć określone napięcie wyjściowe.

Przetwornik piezoelektryczny V21BL-ND został zabudowany na silniku spalinowym. Przetwornik obciążono masą 2g. W pierwszej fazie wykonano badania porównawcze sygnału generowanego przez przetwornik oraz czujnika drgań formy TROLEX. Przetwornik drgał z częstotliwością 60 Hz.

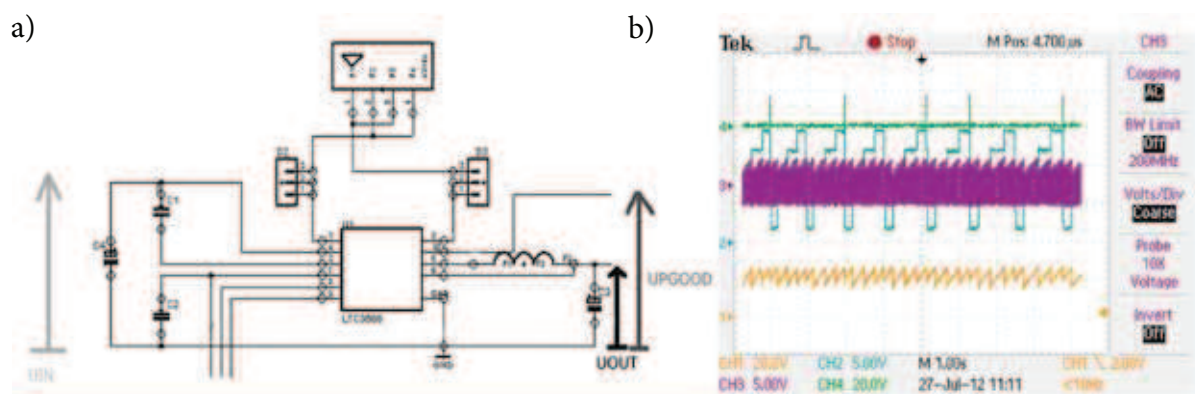
Opracowany został układ pomiarowy (rys. 7a), którego zadaniem była rejestracja parametrów pracy układu zarządzania energią. W trakcie badań rejestrowano parametry generowane przez przetwornik piezoelektryczny, napięcie wejściowe U_{IN} , napięcie wyjściowe U_{OUT} oraz napięcie robocze U_{PGOOD} , docelowo zasilające komponenty elektroniczne czujnika. Przykładowy przebieg zarejestrowany w trakcie badań przedstawiono na rys. 7b. Pomiary wykonane w realnych warunkach wytwarzania energii elektrycznej z wykorzystania drgań generowanych przez silnik spalinowy wykazały, poprzez symulowanie średniego obciążenia, że jest możliwe zasilenie mikrokontrolera wyposażonego w układ radiowych ZigBee, działający z wypełnieniem 1%.



Rys. 5. Przetwornik piezoelektryczny V21BL-ND [10]
Fig. 5. Capacity activated transducer V21BL-ND [10]



Rys. 6. Wyniki analizy FFT sygnału generowanego przez przetwornik piezoelektryczny [5]
 Fig. 6. Results of analysis of FFT signal generated by capacity activated transducer [5]



Rys. 7. a) Schemat układu pomiarowego, b) przebiegi napięć zarejestrowane w trakcie badania (kanał Ch1 – napięcie U_{IN} , kanał Ch2 – napięcie U_{OUT} , kanał Ch3 – napięcie generowane przez przetwornik piezoelektryczny, kanał Ch4 – napięcie U_{PGOOD}) [5]

Fig. 7. a) Scheme of measurement system, b) course of voltage recorder during tests (channel Ch1 – voltage U_{IN} , channel Ch2 – voltage U_{OUT} , channel Ch3 – voltage generated by the capacity activated transducer, channel Ch4 – voltage U_{PGOOD}) [5]

Warunkiem wytwarzania wystarczającej ilości energii jest odpowiednia częstotliwość drgań wymuszających drgania przetwornika piezoelektrycznego, która powinna być maksymalnie zbliżona do częstotliwości drgań własnych przetwornika. W chwilach, kiedy wytwarzana energia jest niewystarczająca na zasilenie układu pomiarowego, niedobór energii może być uzupełniony z kondensatora wejściowego, który będzie ładowany w chwilach występowania nadmiaru energii.

9. Podsumowanie

Projektowanie inteligentnych układów sterowania maszyn górniczych wymaga rozwiązania problemu prowadzenia przewodów zasilająco-sterowniczych w odpowiedniej przestrzeni bez ryzyka ich uszkodzenia. Sposobem na rozwiązanie powyższego problemu może być zastosowanie czujników z „auto-zasilaniem”, wykorzystujących energię generowaną w wyniku: ruchu obrotowego, drgań mechanicznych lub przepływu ciepła.

Na rynku urządzeń *energy harvesting* pojawia się coraz więcej rozwiązań, co świadczy o silnym rozwoju tej, stosun-

kowo nowej, branży. Rozwój ten jest możliwy przede wszystkim dzięki wprowadzaniu na rynek układów elektronicznych o niskim zapotrzebowaniu na energię. W przypadku górnictwa podziemnego, a co się z tym wiąże, stref zagrożonych wybuchem metanu i/lub pyłu węglowego nie ma możliwości zastosowania powszechnie stosowanych rozwiązań, muszą one zostać odpowiednio dostosowane.

W artykule przedstawiono wyniki analiz oraz wstępnych badań ukierunkowanych na możliwości zastosowania czujników samozasilających się w odniesieniu do maszyn i urządzeń pracujących w przestrzeniach zagrożonych wybuchem metanu i/lub pyłu węglowego.

Literatura

1. Bartoszek S., Jagoda J., Jura J.: System diagnostyczny ładowarki bocznie wysypującej bazujący na iskrobezpiecznej magistrali CAN. Szybkobieżne Pojazdy Gąsienicowe (32) nr 1, Ośrodek Badawczo – Rozwojowy Urządzeń Mechanicznych OBRUM sp. z o.o., Gliwice 2013.
2. Chuchnowski W., Tokarczyk J., Stankiewicz K., Woszczyński M.: Method for modelling temperature distribution in exhaust system of diesel engine

- in the light of mine systems of heat recuperation, Journal of KONES Powertrain and Transport, Vol. 18, Institute of Aviation. No. 2 2011, s.101-108.
3. *Dierks E. C.*: Energy harvesting for engineering educators, The University of Texas at Austin[4] Hui Shena, Jinhao Qiu, Marco Balsi: Vibration damping as a result of piezoelectric energy harvesting. Sensors and Actuators A 169 (2011) 178– 186
 4. *Hui Shena, Jinhao Qiu, Marco Balsi*: Vibration damping as a result of piezoelectric energy harvesting. Sensors and Actuators A 169 (2011) 178– 186
 5. *Jasiulek D. i in.*: Alternatywne źródło zasilania czujników stosowanych w górnictwie. ITG KOMAG Gliwice 2012 (materiały niepublikowane).
 6. *Jasiulek D., Jura J., Jagoda J.*: Możliwości zastosowania czujników samozasilających się przeznaczonych do pracy w podziemiach kopalń. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa. 2013. Nr 8(519) . (str. 73-80).
 7. *Jasiulek D., Świder J.*: Mechatronic systems in mining roadheaders – examples of solutions. Pomiary Automatyka Robotyka 2013 nr 1.
 8. *Jaworski B., Dietlaf A., Milkowska L.*: Kurs fizyki. T. II: Elektryczność i magnetyzm. Warszawa: Państwowe Wydawnictwo Naukowe, 1984, s. 411-412.
 9. Karta katalogowa przetwornika piezoelektrycznego Measurement Specialties LDT0-028K.
 10. Karta katalogowa przetworników piezoelektrycznych MIDE Volture.
 11. *Stankiewicz K., Woszczyński M.*: Metody odzyskiwania i przetwarzania energii cieplnej. Maszyny Górnicze 2010 nr 1, s. 39-46
 12. Strona internetowa <http://www.environmentteam.com/2010/02/06/piezoelectric-tree-to-produce-electricity-from-wind-energy/>.
 13. Strona internetowa <http://www.powerauditing.com/piezolaminaty/czujniki/>
 14. Strona internetowa firmy PERPETUUM <http://www.perpetuum.com>
 15. Strona internetowa firmy Power PEG <http://www.npowerpeg.com>
 16. Strona internetowa firmy NightStarCanada <http://www.nightstarcanada.com/>
 17. *Xu-rui Chen, Tong-qing Yang *, Wei Wang, Xi Yao*: Vibration energy harvesting with a clamped piezoelectric circular diaphragm. Ceramics International 38S (2012) S271–S274. Available online 5 May 2011.

***Zwiększajmy prenumeratę
najstarszego – czołowego miesięcznika
Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Górnictwa!***

Liczba zamawianych egzemplarzy określa zaangażowanie jednostki
gospodarczej w procesie podnoszenia kwalifikacji swoich kadr!