

MACIEJ MAZUR

PIOTR PIKIEWICZ

I LO IM. W. ŁUKASIŃSKIEGO

W DĄBROWIE GÓRNICZEJ

UL. KOPERNIKA 40 41-300

OPIEKUN: mgr J. Bochenek-Markiewicz

PRACA
NAUKOWA

**Urządzenie, które
w oparciu o efekt
piezoelektryczny wytwarza
energię elektryczną
z hałasu**

SPIS TREŚCI

I. CZĘŚĆ TEORETYCZNA.....	4
Rozdział 1. Wprowadzenie.....	5
1.1 Wstęp.....	5
Rozdział 2. Piezoelektryk i zjawisko piezoelektryczne.....	6
2.1 Ogólna charakterystyka piezoelektryków.....	6
2.2 Przedstawienie zależności między naprężeniem i odkształceniem.....	7
2.3 Wyjaśnienie zjawiska piezoelektrycznego.....	8
2.4 Wielkości opisujące piezoelektryk.....	10
Rozdział 3. Pojęcie dźwięku i hałasu.....	13
3.1 Źródło energii dla naszego urządzenia.....	13
Rozdział 4. Piezo-przetworniki i superkondensator.....	14
4.1 Piezo-przetworniki.....	14
4.2 Superkondensator.....	15
II. CZĘŚĆ BADAWCZA.....	16
Rozdział 1. Przetwornik mechatroniczny.....	17
1.1 Wykorzystanie przetwornika mechatronicznego.....	17
Rozdział 2. Opis techniczny urządzenia.....	18
2.1 Piezoelektryki.....	18
2.2 Przekształcenia sygnału zmiennego na sygnał stały.....	19
2.3 Magazyn energii.....	21

Rozdział 3. Identyfikacja źródła hałasu i dobranie parametrów urządzenia odbiorczego.....	22
3.1 Identyfikacja źródła hałasu.....	22
3.2 Dobranie parametrów urządzenia odbiorczego.....	23
Rozdział 4. Wykonanie urządzenia wykorzystującego energię z hałasu i wyniki pomiarów.....	25
4.1 Wykonanie urządzenia.....	25
4.2 Wyliczenia czasu ładowania superkondensatora.....	29
4.3 Historia naszej pracy.....	30
III. PODSUMOWANIE I WNIOSKI.....	33
ZAŁĄCZNIK NR 1 - Tabela zbiorcza wyników w programie Excel.....	36
ZAŁĄCZNIK NR 2 - Kilka słów technika.....	37
BIBLIOGRAFIA.....	38
ŹRÓDŁA INTERNETOWE.....	38
SPIS RYSUNKÓW.....	39



I. CZĘŚĆ TEORETYCZNA



Rozdział 1. Wprowadzenie

1.1 Wstęp

W dobie bezsprzecznego, bezkompromisowego rozwoju naszej cywilizacji i jednoczesnej walki o przetrwanie przyrody, połączenie fizyki i ekologii, zmierzające do polepszenia jakości stanu środowiska i podniesienia komfortu ludzkiego życia – jest rzeczą priorytetową w obecnych czasach.

Dzięki takiej walce, człowiek dąży do zmniejszenia eksploatacji środowiska, lepszego z nim współistnienia, a także o zachowanie go w jak najmniej zmienionym stanie dla przyszłych pokoleń. Wraz ze wzrostem ludzkiej populacji, a także wszechobecnej komputeryzacji, istnieje coraz większe zapotrzebowanie na energię.

Ludzkość nadal pozyskuje ją w większej części z zasobów naturalnych, w sposób tradycyjny, choćby wykorzystując do tego elektrownie węglowe, które pomimo coraz nowszej technologii nadal w dużym stopniu niszczą środowisko naturalne. Innymi sposobami na pozyskiwanie tej energii są choćby elektrownie jądrowe, które także pociągają za sobą eksploatację natury (kopalnie odkrywkowe), ponadto wymagają składowania odpadów radioaktywnych. Coraz częściej sięgamy po inne rodzaje energii – energię odnawialną, czyli świetlną, wiatrową, bio – masę i wodną. Nawet te, uważane za ekologiczne źródła energii, mogą nieść niekorzystne skutki dla środowiska. O ile energia świetlna, wiatrowa jest bezpieczna, tak bio-masa czy energia wodna już nie zawsze. Doskonałym przykładem jest „Zapora Trzech Przełomów”, zatrzymująca życiodajny muł rzeki Jangcy, co powoduje osuszanie się i brak żyzności pobliskich ziem – madów.

Do kwestii energetycznej trzeba więc podejść nieco inaczej. Należy wymyślić sposoby pozyskiwania energii, nieszkodzące środowisku i odciążające główne elektrownie. W naszym projekcie proponujemy rozparcelowanie sieci energetycznej na ogromną liczbę małych układów elektrycznych, zdolnych pozyskać energię z tego, czego nam nie zbywa, co więcej z tego co nam przeszkadza – hałasu. Powyższe argumenty zainspirowały nas do opracowania tego tematu, dlatego też stworzyliśmy ekologiczne urządzenie, które w oparciu o efekt piezoelektryczny tworzy energię właśnie z hałasu. Dzięki niemu nieco odciążylibyśmy zwykłe elektrownie elektryczne,

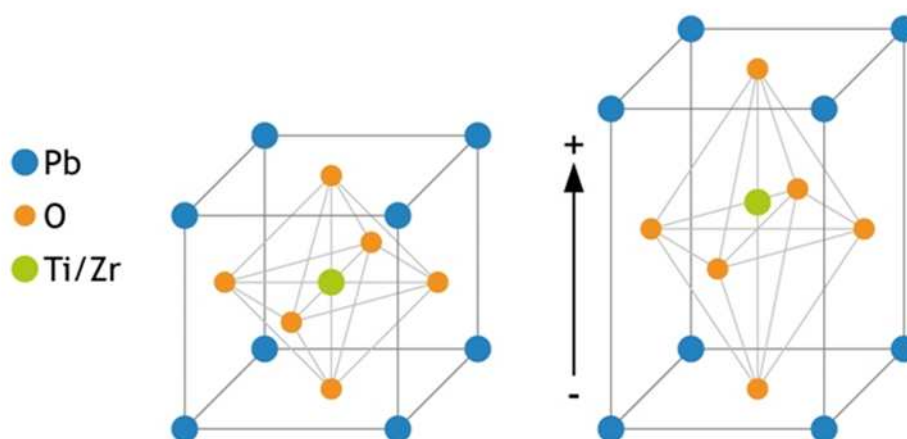
co dałoby wymierne korzyści dla środowiska, a w dalszej perspektywie polepszyłyby jakość ludzkiego życia.

Nasze urządzenie działa dzięki odkrytemu przez braci Curie zjawisku piezoelektrycznemu, polegającemu na pojawieniu się ładunków elektrycznych na kryształach pod wpływem naprężeń mechanicznych na ich powierzchni.

Rozdział 2. Piezoelektryk i zjawisko piezoelektryczne

2.1 Ogólna charakterystyka piezoelektryków

Piezoelektryki (ceramiki i polimery) – to bez wątpienia najstarsze i najpopularniejsze materiały inteligentne. Pierwszą wzmiankę na temat nich świat usłyszał w 1880 r., kiedy to Piotr i Jakub Curie stwierdzili, że na powierzchni niektórych kryształów, pod wpływem zewnętrznych naprężeń mechanicznych indukują się ładunki elektryczne, których wartość jest wprost proporcjonalna do wartości przyłożonych natężeń. Zjawisko to zostało odkryte przypadkowo w toku innych badań. Przedmiotem badań braci Curie były kryształy blendy cynkowej, boracytu, kwarcu, turmalinu, soli Seignett’a. Rok później odkryli, że efekt działa odwrotnie, po przyłożeniu napięcia kryształ zmieniał swój kształt [3,5].



Rys. 1. Struktura perowskitowa kryształu [7]



Rys. 2. Kryształy kwarcu [8]

2.2 Przedstawienie zależności między naprężeniem i odkształceniem

Kryształy piezoelektryczne, pod wpływem przyłożonego napięcia odkształcają się. Istnieje także sytuacja odwrotna, gdy pod wpływem naprężeń, na powierzchni piezoelektryka zaczynają się pojawiać ładunki elektryczne. Stąd też tak istotne jest wyjaśnienie pojęć związanych z wielkościami charakteryzującymi zjawiska zachodzące na powierzchni piezoelektryka.

Naprężenie - miara sił wewnętrznych powstających w ciele odkształcanym pod wpływem obciążenia zewnętrznego. Naprężenie można wyznaczyć teoretycznie (za pomocą metod teorii sprężystości czy teorii plastyczności) lub doświadczalnie - tensometrem [2]. Zależność pomiędzy naprężeniem i odkształceniem przedstawia **prawo Hooke'a**:

„Jeżeli występujące w ciele naprężenia są dostatecznie małe, to wywołane przez nie odkształcenia względne są do nich wprost proporcjonalne”.

Podaje ono liniową zależność między naprężeniem i odkształceniem ciała sprężystego przy odkształceniach nieprzekraczających granicy proporcjonalności. Prawo Hooke'a ma postać $\sigma = E\varepsilon$, gdzie σ oznacza naprężenie normalne, ε —odkształcenie, E - moduł Younga [2].

Moduł Younga – moduł odkształcalności liniowej, wielkość opisująca własności sprężyste ciała stałego, oznaczana symbolem E , określająca podatność materiału na odkształcenia podłużne przy procesach rozciągania, ściskania, zginania [2].

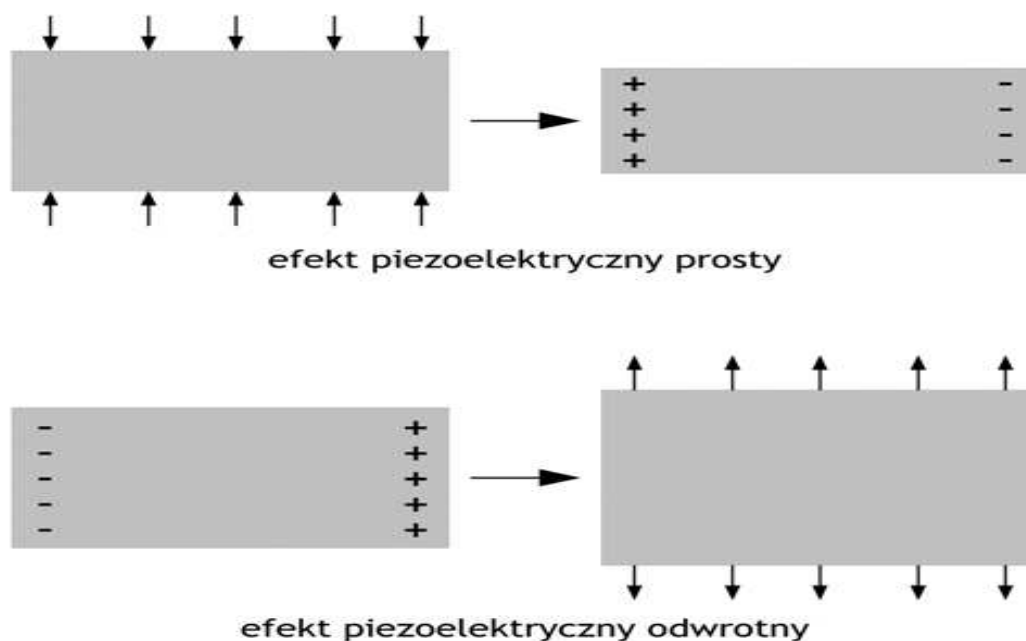
2.3 Wyjaśnienie zjawiska piezoelektrycznego

Aby móc sprecyzować i dobrze wyjaśnić zjawisko piezoelektryczne, na mocy którego ma działać nasze urządzenie, musimy wyjaśnić podstawowe zagadnienia związane z materią w polu elektrycznym:

Dielektryk idealny – model fizyczny, ciało, w którym na skutek braku elektrycznych ładunków swobodnych może być wytworzone i utrzymywane bez strat pole elektryczne. Dielektryk umieszczony w polu elektrycznym ulega polaryzacji [1,3,4].

Polaryzacja elektryczna lub **polaryzacja dielektryczna** - jest to zjawisko powstawania własnego makroskopowego pola elektrycznego w dielektryku, wywołanego zewnętrznym polem elektrycznym. Związane jest ono z mikroprzesunięciami ładunków w obszarze atomów lub cząsteczek wchodzących w skład dielektryka. Ogólnie rzecz biorąc, jest to powstawanie dipolowego momentu elektrycznego dielektryka pod wpływem zewnętrznego pola elektrycznego lub innych czynników (np. naprężeń mechanicznych, ogrzania) [1,3,4].

W ujęciu kwantowym, bardziej szczegółowym, **zjawisko piezoelektryczne to powstawanie wypadkowego momentu elektrycznego** pod wpływem procesu ściskania lub rozciągania kryształu piezoelektrycznego wzdłuż jednej z osi krystalograficznych. W wyniku mechanicznych odkształceń piezoelektryka w postaci płytki płasko-równoległej o określonej orientacji krystalograficznej, następuje deformacja powłok elektronowych i względne przemieszczenia atomów i jonów w kryształach, co prowadzi do powstania różnoimiennych ładunków elektrycznych na przeciwległych ściankach płytki (proste zjawisko piezoelektryczne). Analogicznie więc, przemieszczenia elektronów i jonów, w sferze piezoelektrycznej prowadzą do deformacji kryształu (odwrotne zjawisko piezoelektryczne). Ten efekt występuje w kryształach nieposiadających środka symetrii, choćby soli Seignett'a [2].



Rys. 3. Zilustrowanie przebiegu efektu piezoelektrycznego prostego i odwrotnego [7]

Przy ściskaniu płytki piezoelektryka powstająca **polaryzacja elektryczna** nie zawsze jest skierowana prostopadłe do powierzchni płytki. **Efekty piezoelektryczne prosty i odwrotny, zawsze są powiązane między sobą.** Ingerencja zewnętrzna w postaci naprężenia zewnętrznego przyłożonego do kryształu piezoelektrycznego, wywołuje w nim polaryzację. Przy czym ładunki elektryczne indukowane na warstwie wierzchniej piezoelektryka wytwarzają pole elektryczne, które prowadzi do odkształceń powierzchniowych płytki [3,5,9].

Stosunek wytworzonego ładunku pod wpływem przyłożonej siły oraz stosunek pola elektrycznego do wywołanego nim odkształcenia ciała, jest liniowy [5].

2.4 Wielkości opisujące piezoelektryk

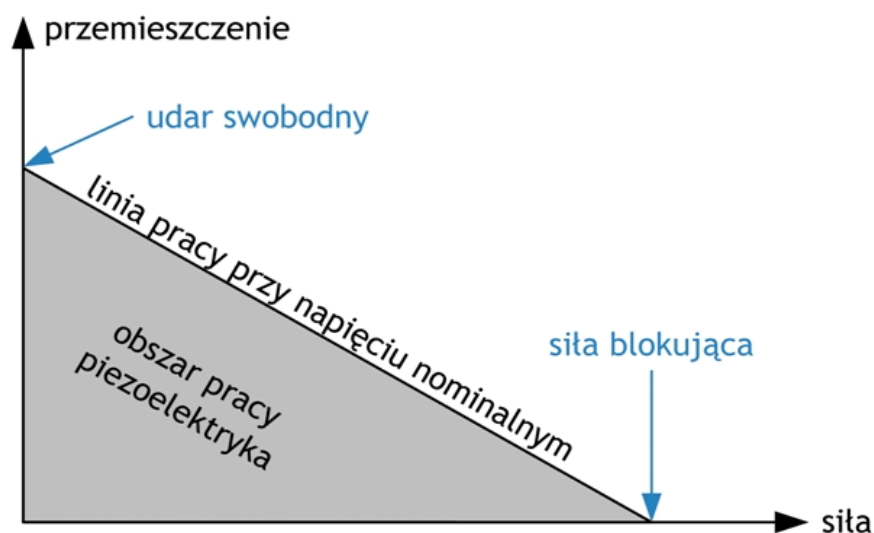
Siła blokująca (ang. blocking force) i **udar swobodny** (ang. free stroke) to główne wielkości fizyczne opisujące piezoelektryk. Wartości te ustala się po doprowadzeniu danego piezoelementu do maksymalnego napięcia pracy [7].

Udar swobodny to maksymalna deformacja mechaniczna (wydłużanie bądź ściskanie) piezoelementu przy danym napięciu bez żadnego mechanicznego obciążenia [7].

Siła blokująca to siła dzięki której piezoelektryk może bez zniekształcenia wrócić do swego pierwotnego kształtu pod maksymalnym napięciem pracy [7].

Piezoelektryk pracuje w środowisku określonym przez związek udar-siła. Wykonanie maksymalnej pracy, czyli największe wykorzystanie piezoelementu ma miejsca **dla połowy wartości siły blokującej i przemieszczenia równego połowie udaru swobodnego** [7].

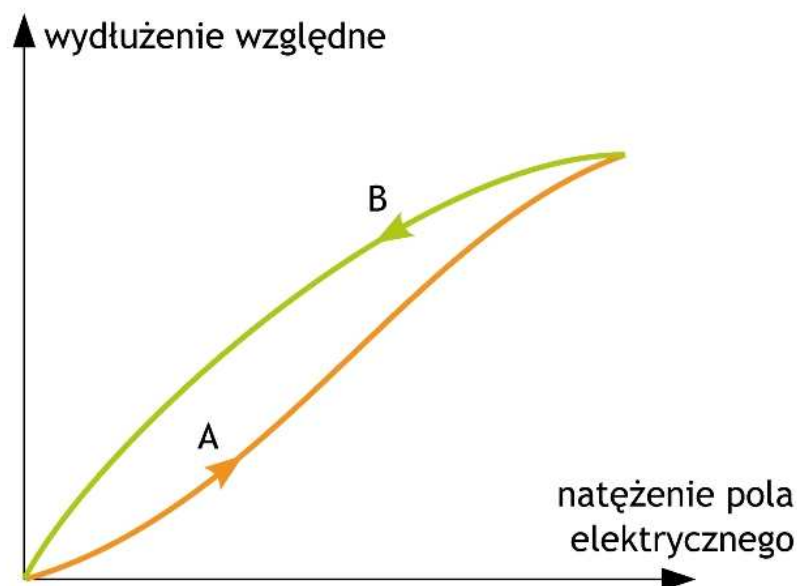
Parametrem określającym energię zmagazynowaną w postaci deformacji mechanicznej piezoelektryka do energii wymaganej do wywołania takiej deformacji, jest tzw. **współczynnik sprzężenia** (ang. coupling factor) [7].



Rys. 4. Pole pracy elementu piezoelektrycznego [7]

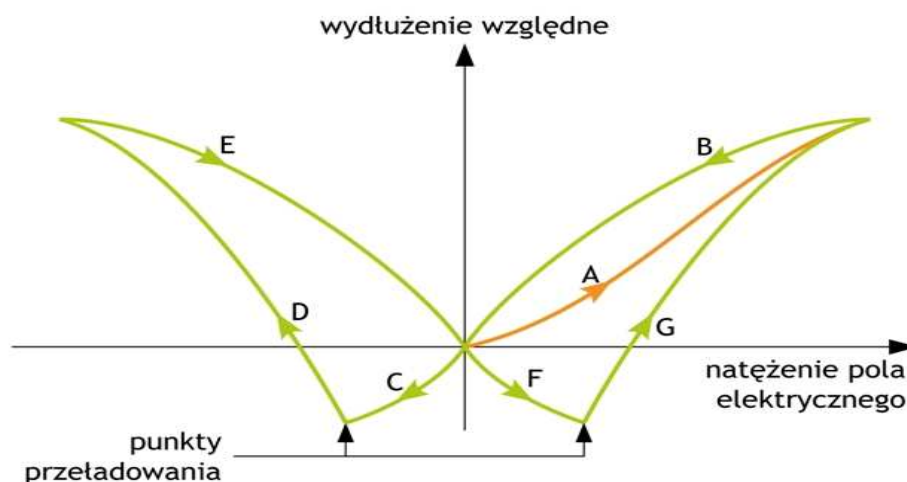
Wydłużenie względne (ang. strain) to stosunek wydłużenia/skrócenia do rzeczywistego wymiaru, niepoddanego obciążeniom elementu piezoelektrycznego. [7].

Histereza. Materiały piezoelektryczne pracują wzdłuż linii histerezy mechanicznej. Zjawisko histerezy wyróżnia się charakterystyczną swoistością dla elementu piezoelektrycznego - gdyż krzywa wydłużenia względnego w czasie ładowania nie pokrywa się z krzywą podczas rozładowywania elementu (Rys.5). Jej wartość jest stosunkiem maksymalnej odległości krzywej ładowania, od krzywej rozładowania, do maksymalnego wydłużenia względnego. Jest to stosunek procentowy, który dla piezoelektryków waha się w granicach od 5% do 20%. W zależności od tego jaką powierzchnię zakreślać będą krzywe zaprezentowane na wykresie, tak zmieniać się będzie starta ciepła podczas przeładowywania elementu piezoelektrycznego [7].



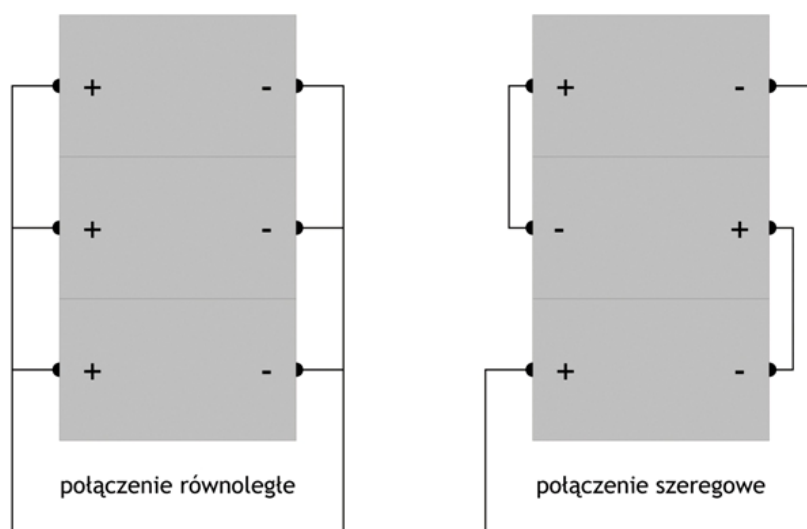
Rys. 5. *Pętla histerezy elementu piezoelektrycznego dla pozytywnych wartości natężenia pola elektrycznego* [7]

Zupełna pętla histerezy (Rys. 6.) dla elementu piezoelektrycznego (pełnego zakresu natężeń pola elektrycznego oraz wydłużenia względnego) przedstawiona jest na poniższym rysunku:



Rys. 6. [7]

Stos piezoelektryczny (ang. stack) – tworzy się go sklejając od kilku do kilkunastu piezoelementów w jeden stos, wówczas gdy pojedynczy element nie spełnia wymagań aplikacyjnych. Stosy piezoelektryczne znajdują zastosowanie np.: w procesie odzyskiwania energii (ang. energy harvesting). Możliwe są wtedy dwa połączenia piezoelementów o innych parametrach wyjściowych, które można dostosować w zależności od wymagań układu: szeregowe (mniejszy ładunek, wyższe napięcie) lub równoległe (większy ładunek, niższe napięcie) [7].



Rys. 7. Stos piezoelektryczny [7]

Rozdział 3. Pojęcie dźwięku i hałasu

3.1 Źródło energii dla naszego urządzenia.

Merytoryczny opis zasad, istotnych pojęć obecnych w naszym projekcie, obowiązujących praw fizyki nie oscyluje jedynie wokół tematu piezoelektryczności, ale również tego, do czego w głównym stopniu piezoelektryczność wykorzystaliśmy - mianowicie do konwertowania energii, którą niesie ze sobą hałas, na energię elektryczną. Stad też kilka słów o dźwięku.

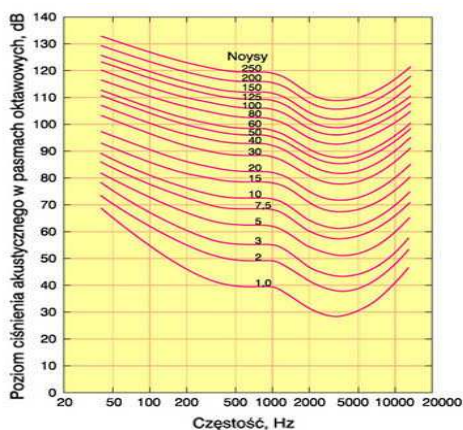
Dźwięk - zaburzenie falowe w ośrodku sprężystym gazowym, ciekłym lub stałym (fale sprężyste) wywołujące subiektywne wrażenie słuchowe u człowieka lub zwierząt [2].

Ciśnienie akustyczne - zmienna w czasie różnica między aktualnym ciśnieniem w danym punkcie ośrodka a jego wartością średnią, występująca w momencie rozchodzenia się w nim fali sprężystej [2].

Natężenie dźwięku – wielkość określana literą I , określająca fale akustyczne pod względem energii. Jest ona liczbowo równa średniej wartości energii przenoszonej przez falę w czasie 1s przez powierzchnię 1m^2 prostopadle do kierunku rozchodzenia się fali. Wyróżnia się pojęcie **poziomego natężenia dźwięku**, które jest wielkością określającą natężenie dźwięku w skali logarytmicznej (w decybelach, dB) w stosunku do umownie przyjętej wartości odniesienia [2].

Bel - jednostka logarytmicznej miary ilorazu dwóch wartości tej samej wielkości, $\log_{10}(P_1/P_2)$ — w przypadku mocy albo wielkości proporcjonalnej do mocy. Wyróżnia się także $\log_{10}(A_1/A_2)^k$ — w przypadku wielkości spełniających zależność $P_1/P_2 = (A_1/A_2)^k$, gdzie k jest liczbą wymierną. Bel najczęściej stosuje się w przypadku badania wpływu sygnału na organizmy żywe, do wyrażania ciśnienia akustycznego, natężenia dźwięku itp. Zdecydowanie częściej stosuje się decybel, $1\text{ dB} = 0,1\text{ B}$ [2].

Hałas - dźwięk niepożądany, którego działanie może być drażniące lub szkodliwe dla człowieka. Szkodliwość hałasu zależy od wielu parametrów, m.in. natężenia, widma częstotliwości, składowych niesłyszalnych oraz długości trwania działania. Wielkością opisującą subiektywne odczucie dokuczliwości hałasu jest hałaśliwość, wyrażana w jednostkach zw. noyami lub noysami (noy). Zróżnicowanie odczucia hałasu obrazują krzywe jednakowej hałaśliwości. Odpowiednikiem pomiaru głośności, czyli subiektywnego odczucia natężenia dźwięku, jest dla hałasu poziom hałaśliwości. Istnieje kilka rodzajów hałasu określanych na podstawie zróżnicowania jego źródła np.: **hałas przemysłowy** (w miejscach pracy, w okolicy placówek przemysłowych), **komunikacyjny** (drogowy, kolejowy i lotniczy) oraz **osiedlowy** (komunalny i mieszkaniowy) [2].



Rys. 8. Krzywe jednakowej hałaśliwości [2]

wyk. A. Dukata/Archiwum Ilustracji WN PWN SA

Rozdział 4. Piezo-przetworniki i superkondensator

4.1 Piezo-przetworniki

Piezo-przetworniki - są urządzeniami konwertującymi energię jednej postaci w drugą. Przetwarzają sygnały elektryczne w drgania, dźwięk (głośnik piezoelektryczny), ale także odwrotnie, drgania, dźwięki na energię elektryczną. Najbardziej popularnymi przetwornikami są przetworniki tarczowe, w których kryształ piezoelektryczny jest umieszczany pośrodku metalowej podstawy, będącej podstawą piezo-przetwornika [6].

4.2 Superkondensator

W naszej pracy użyliśmy superkondensatora, który sam w sobie jest bardzo ciekawym urządzeniem. Warto więc uwypuklić jego zalety i nadmienić czym różni się od zwykłego kondensatora.

Superkondensator czyli rodzaj kondensatora elektrolitycznego o specyficznej konstrukcji, zwany też **ultrakondensatorem**, posiadający bardzo dużą pojemność elektryczną (rzędu kilku tysięcy faradów). Superkondensatory, mogą przyswajać i generować bardzo duże prądy (kilka kA). Ich olbrzymimi zaletami jest **wyjątkowo krótki czas ładowania i rozładowywania**, oraz niezwykle **długa żywotność** – to wszystko stwarza **szerokie perspektywy ich współpracy z odnawialnymi źródłami energii** [10,11,12].

„Jeśli zastąpilibyśmy superkondensatorem baterię w telefonie komórkowym, nigdy nie musielibyśmy go wymieniać i moglibyśmy naładować go w kilka sekund, ale wystarczyłoby nam jedynie na pół godziny pracy” - mówi Joel Schindall z MIT-u [11].

Zasada działania superkondensatora opiera się na wykorzystaniu zjawiska podwójnej warstwy Helmholtza. Elektryczna warstwa podwójna powstaje np. na powierzchni elektrody zanurzonej w elektrolicie, z elektronów zgromadzonych w elektrodzie i jonów z roztworu zgromadzonych na jej powierzchni, owa warstwa wpływa na przebieg procesów elektrochemicznych. Wykorzystanie tego zjawiska pozwala osiągnąć dużą powierzchnię styku materiału i elektrolitu, zaś to umożliwia uzyskanie pojemności około 2000 F/g. Stosunkowo niedawno rozwinięto dwie technologie konstrukcji superkondensatorów: **zwijaną** oraz **składaną**. Główna różnica między nimi polega na tym, że te składane mają **mniejszą gęstość energii**, lecz **znacznie większą moc** [10,12].

Ultrakondensatory dzięki ogromnej pojemności i podwyższeniu napięcia znamionowego, tworzą nowe **możliwości w energoelektronice i elektroenergetyce**. Dzięki nim możemy nie tylko skutecznie **przetwarzać energię**, ale również ją **magazynować** [11].



II. CZĘŚĆ BADAWCZA

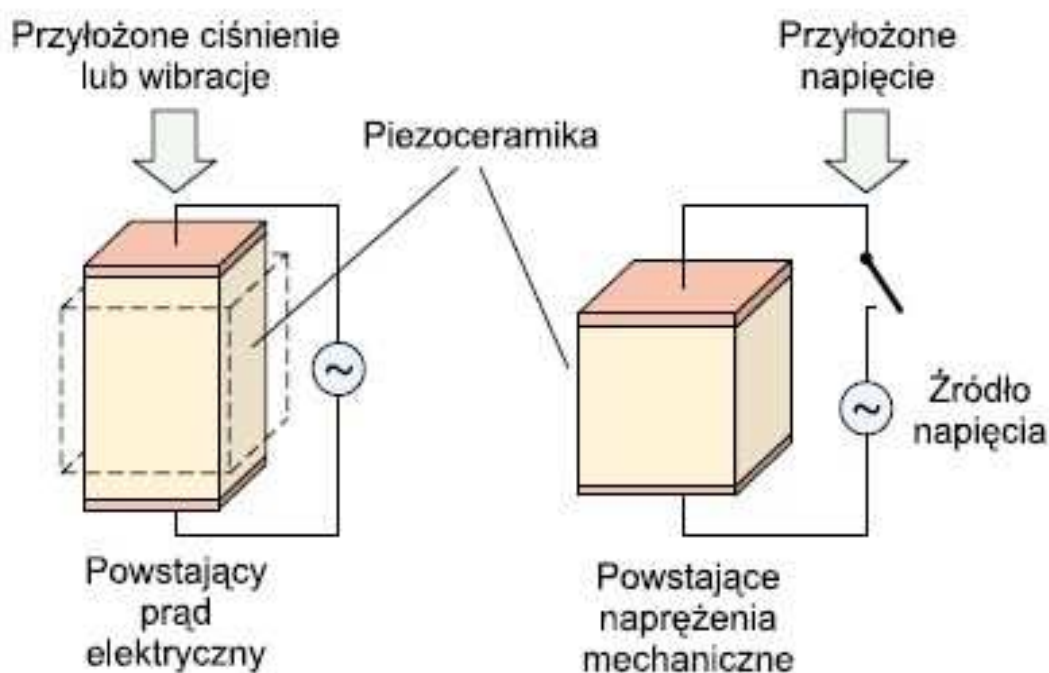


Rozdział 1. Przetwornik mechatroniczny

1.1 Wykorzystanie przetwornika mechatronicznego

Pozyskiwanie energii z hałasu, czyli pod wpływem drgań, które niesie za sobą dźwięk, jest możliwe dzięki zastosowaniu efektu piezoelektrycznego, właśnie w przetwornikach mechatronicznych. Istotne jest jednak to, co zamierza wywierać mechaniczny wpływ na nasz piezoelektryk, aby skutkiem tego było wytworzenie się swobodnych ładunków elektrycznych na jego powierzchni, a w konsekwencji prądu.

Jeśli istnieją głośniki piezoelektryczne, które działają na zasadzie przetworników elektromechanicznych (energia powoduje dźwięk), to istnieć musi efekt odwrotny. Kierujemy się nim w naszej pracy, dlatego tworzymy **własny przetwornik elektromechaniczny konwertujący energię, tym razem tę, którą niesie ze sobą dźwięk, na energię elektryczną.**



Rys. 9. Wytwarzanie energii dzięki przetwornikom [6]

Rozdział 2. Opis techniczny urządzenia

2.1 Piezoelektryki

Do doświadczenia ze względów praktycznych wykorzystaliśmy okrągły element piezoelektryczny stosowany w „buzzerach” (Rys. 10.) o parametrach:

-średnica blaszki 27mm,

-średnica kryształu piezoelektrycznego 19mm.

Do elementu piezoelektrycznego należy przylutować przewody odprowadzające ładunki (Rys. 11.).

O ile przylutowanie przewodu do blaszki miedzianej jest stosunkowo proste, to przy lutowaniu na powierzchni piezoelektryka, należy zwrócić uwagę, aby temperatura lutowania nie była zbyt wysoka, ponieważ nie należy przegrzać warstwy piezoelektrycznej.

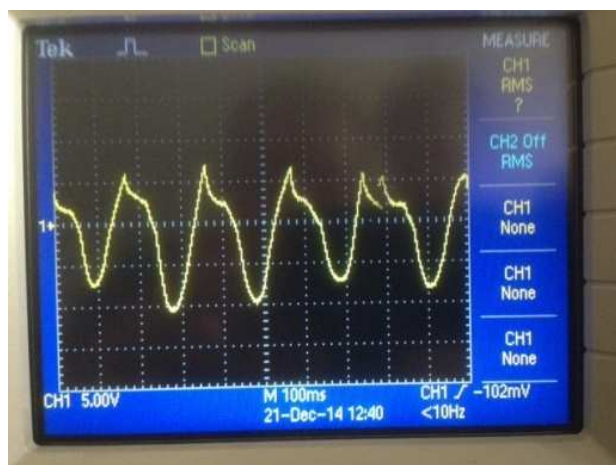


Rys. 10. *Element piezoelektryczny.*
Źródło: własne



Rys. 11. *Element piezoelektryczny z przylutowanym przewodem.*
Źródło: własne

Podczas drgania piezoelektryka, na końcach przewodów można zmierzyć napięcie, które jest napięciem zmiennym, zależnym od wygięcia piezoelektryka. Przykładowy przebieg napięcia generowanego przez piezoelektryk przedstawia (Rys. 12.).



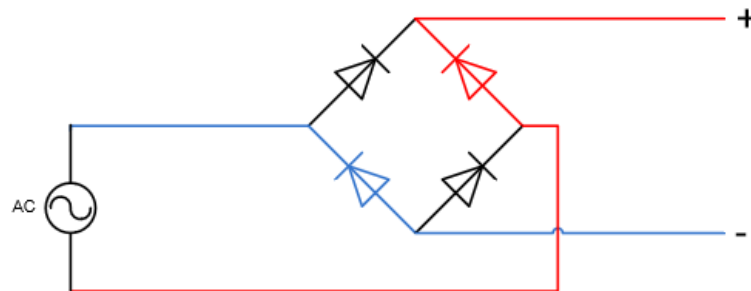
Rys. 12. Przebieg napięcia w układzie piezoelektryka. Wykonano za pomocą oscyloskopu Tektronix TDS 2012C. Źródło: własne

Jednym ze sposobów podawania wartości napięcia elektrycznego jest podawanie jego wartości skutecznej (RMS- ang. Root Mean Square), która jest taką wartością prądu stałego, która w ciągu czasu równego okresowi prądu przemiennego spowoduje ten sam efekt cieplny, co dany sygnał prądu przemiennego [14].

W projekcie będziemy dążyli do uzyskania prądu stałego w celu skumulowania ładunku w superkondensatorze oraz wykorzystania skumulowanego ładunku przez diodę LED. Ponieważ zawsze będziemy mieli do czynienia z przebiegami o zmiennej amplitudzie, dlatego zawsze, gdy będziemy mówili o wartości prądu lub napięcia, będziemy mówili o ich **wartościach skutecznych**.

2.2 Przekształcenia sygnału zmiennego na sygnał stały

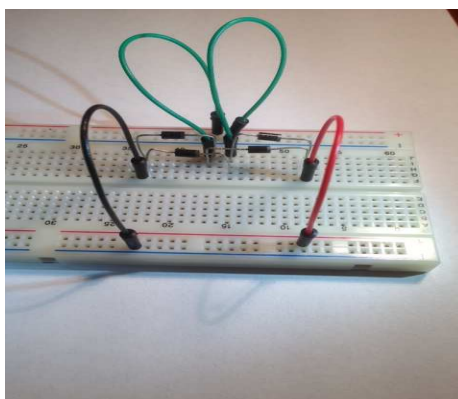
Jak pokazano na Rys. 12, przebiegi generowane przez drgający piezoelektryk są przebiegami o wartościach dodatnich i ujemnych, dlatego polaryzację wartości ujemnych musimy zmienić na dodatnią. W tym celu zastosowaliśmy mostek Gretza.



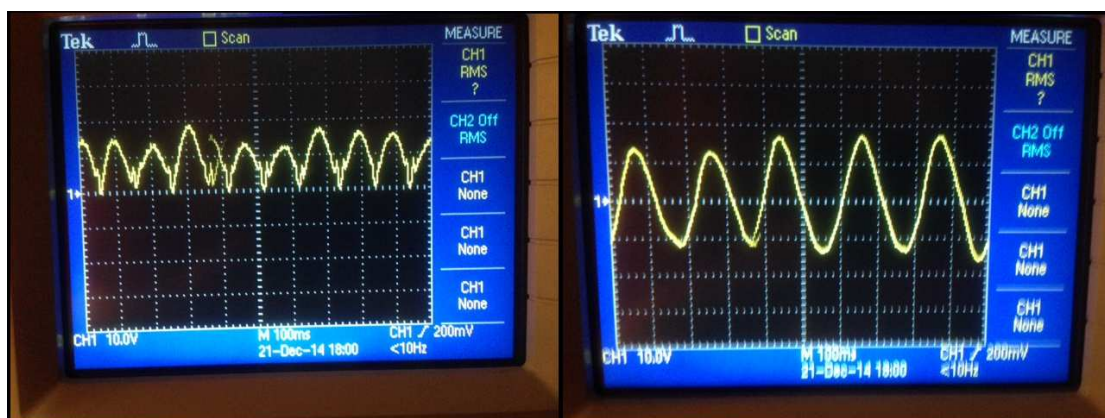
Rys. 13. Mostek Gretza. Źródło: własne

Mostek Gretza jest to układ składający się z czterech diod, dzięki którym prąd o zmiennym kierunku przepływu zostaje przekształcony w prąd stały.

W projekcie do zbudowania mostku Gretza użyliśmy czterech diod prostowniczych o oznaczeniu 1N4001-DIO. Układ prostownika zbudowaliśmy na płytce stykowej ze względu na łatwość modyfikacji i brak konieczności uciążliwego lutowania.



Rys. 14. Mostek prostowniczy zbudowany do celów projektu. Źródło: własne



Rys. 15. Przebieg napięcia po i przed wyprostowaniem. Źródło: własne

Gdybyśmy nie zastosowali prostownika, magazyn energii byłby ładowany prądem połówkowym, czyli jedynie wartościami dodatnimi. Dzięki zastosowaniu mostka Gretza, wartości ujemne zostały „przekształcone” na dodatnie, dzięki czemu ładowanie naszego magazynu będzie skuteczniejsze.

2.3 Magazyn energii

W projekcie jako magazyn energii wykorzystamy superkondensator, ponieważ posiada stosunkowo dużą pojemność elektryczną przy niskim napięciu pracy - 2,7V. Charakteryzuje się krótkim czasem ładowania i małą upływnością w stosunku do zwykłych kondensatorów elektrolitycznych.



Rys. 16. Superkondensator Źródło: własne

Energia zmagazynowana w kondensatorze jest obliczana według wzoru:

$$W = \int_0^Q \frac{q}{C} dq = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C} = \frac{1}{2} CU^2$$

gdzie:

C - pojemność kondensatora,

U - napięcie kondensatora,

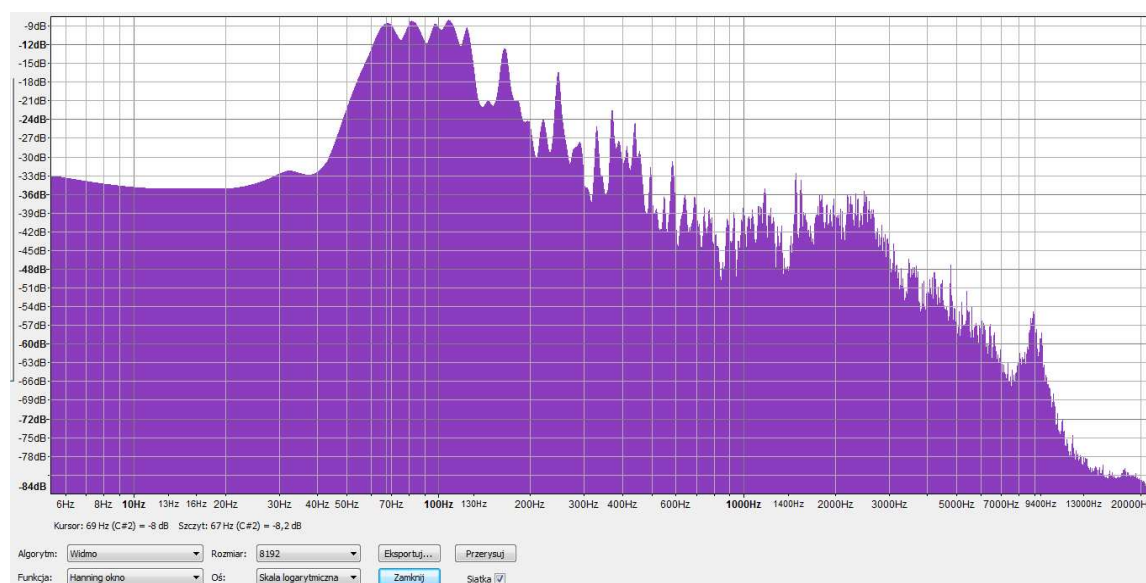
Q - ładunek do którego naładowano kondensator.

Przy założeniu, że udałooby się naładować kondensator o pojemności 200F (bo taki używamy w naszym projekcie) do napięcia 2,7V, energia zmagazynowana miałaby wartość 729Ws czyli 0,2Wh. Jest więc mało prawdopodobne, by przy użyciu tak małego układu piezoelektrycznego, można by go było naładować całkowicie.

Rozdział 3. Identyfikacja źródła hałasu i dobranie parametrów urządzenia odbiorczego

3.1 Identyfikacja źródła hałasu

Jako źródło hałasu wybraliśmy utwór „For Those About to Rock (We Salute You)” zespołu AC/DC. Utwór był odtwarzany z płyty analogowej przez kolumny głośnikowe o mocy 20W i paśmie przenoszenia 16 Hz- 20 kHz. Do identyfikacji dźwięku użyliśmy oprogramowania Audacity i notebooka z wbudowanym mikrofonem. Nagranie 4 minutowe utworu umożliwiło nam stworzenie analizy widmowej nagrałego dźwięku.

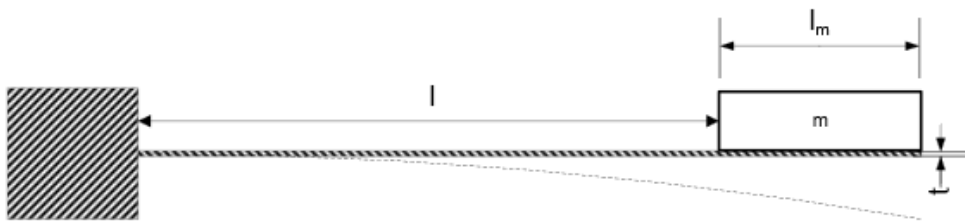


Rys. 17. Analiza widmowa hałasu. Źródło: własne

Z analizy wykonanych pomiarów wynika, że dźwięki o najwyższej amplitudzie (mniejszej niż -12dB) odpowiadają częstotliwości w zakresie od 61-127Hz. Te dźwięki powinny dawać największy zysk energetyczny i staraliśmy się tak zbudować nasz układ, aby w tych zakresach częstotliwości działał najlepiej. Najwyższe punkty widoczne na Rys. 17. przyjmują następujące wartości: -8,2dB dla 68Hz; -8,3dB dla 82Hz; -8,7dB dla 97Hz; -8,1dB dla 107Hz; -9,1dB dla 123Hz.

3.2 Dobranie parametrów urządzenia odbiorczego

Aby przetworzyć energię zawartą w hałasie, element piezoelektryczny musieliśmy wprowadzić w drgania o jak największej amplitudzie. Jako przekaźnik drgań posłużyła nam listwa, która dzięki odpowiedniej częstotliwości drgań spowodowanych przez dźwięk wpadała w rezonans, przez co uzyskaliśmy największą energię generowaną przez przyklejony do niej piezoelektryk.



Rys. 18. Układ rezonansowy odbiornika dźwięku Źródło: własne

Częstotliwość rezonansowa listwy jest zależna od wielu parametrów i może być wyznaczona według wzoru:

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{3WEt^3}{12L^3(m + 0,236m_b)}}$$

gdzie:

t- grubość listwy,

W - szerokość listwy,

E - moduł Younga,

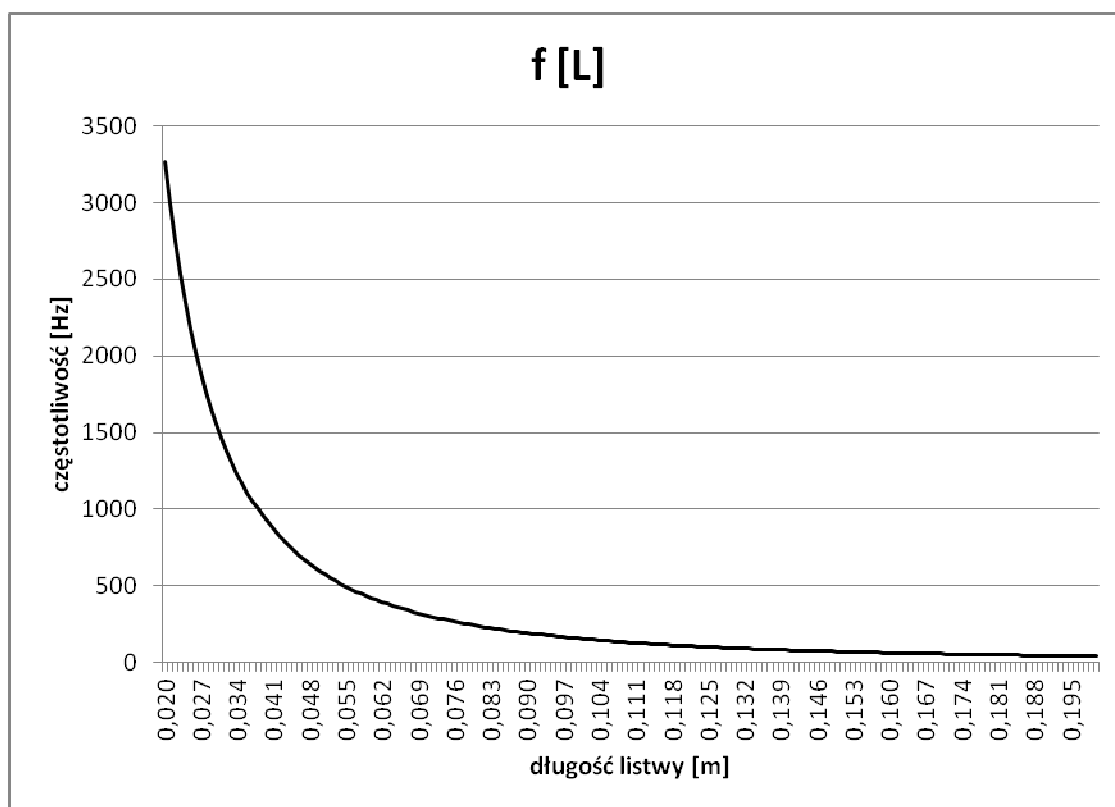
L - odległość od mocowania do ciężarka,

m - masa ciężarka,

m_b - masa listwy.

Wykonaliśmy kilka prób z różnymi materiałami, problemem było dobranie modułu Younga, dlatego wybraliśmy listwę aluminiową, ze względu na łatwą dostępność i w miarę pewne parametry.

Jak wspominaliśmy wcześniej, dobraliśmy parametry listwy w taki sposób, by jej częstotliwość rezonansowa znajdowała się w zakresie między 61-127Hz. W (Załącznik 1) podane są wyliczenia drgań belki aluminiowej dla różnych częstotliwości.



Rys. 19. Zależność częstotliwości drgań własnych listwy aluminiowej od długości

Źródło: własne

Wybraliśmy belkę o długości 15,3 cm, gdyż dla tej częstotliwości powinna być jedna z najwyższych amplitud (częstotliwość rezonansowa 68 Hz) - Rys. 19. Do belki przykleiliśmy element piezoelektryczny. Całość przymocowaliśmy do ciężkiej stabilnej podstawy.

Do obliczeń przyjęliśmy następujące parametry belki:

m - masa ciężarka [kg]	0,0000
E - moduł Younga - aluminium [Pa]	69 000 000 000,00
t - grubość listwy [m]	0,00207
W - szerokość listwy [m]	0,015000
g - gęstość materiału listwy [kg/m ³]	2700

Szerokość listwy zmierzaliśmy za pomocą suwmiarki z dokładnością do 0,1mm, grubość za pomocą śruby mikrometrycznej z dokładnością 0,01mm. Długość belki, z braku innych możliwości, mierzyliśmy za pomocą linijki szkolnej.

Masa belki jest zależna od jej wymiarów. Ponieważ zmianie ulega tylko długość belki, masę musieliśmy wyliczyć ze wzoru:

$$m_b = \rho \cdot V = \rho \cdot W \cdot t \cdot L$$

W załączniku 1 masa jest liczona w funkcji długości belki, do masy belki dodaliśmy masę piezoelektryka (1g).

Rozdział 4. Wykonanie urządzenia wykorzystującego energię z hałasu i wyniki pomiarów

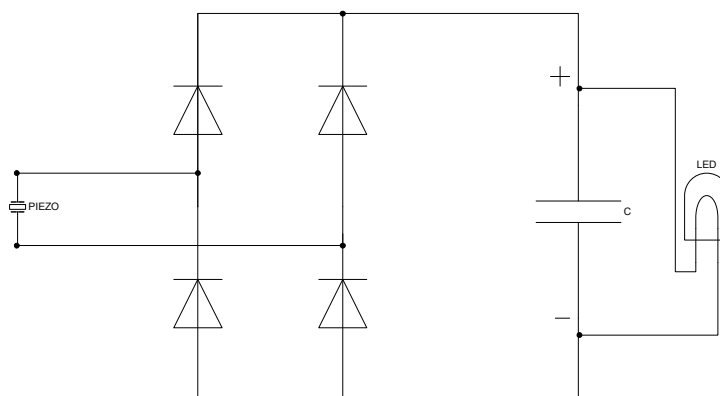
4.1 Wykonanie urządzenia

Listwę z przyklejonym piezoelektrykiem przymocowaliśmy za pomocą imadła do stabilnej podstawy, w celu uniknięcia przenoszenia drgań na inne elementy (Rys. 20).



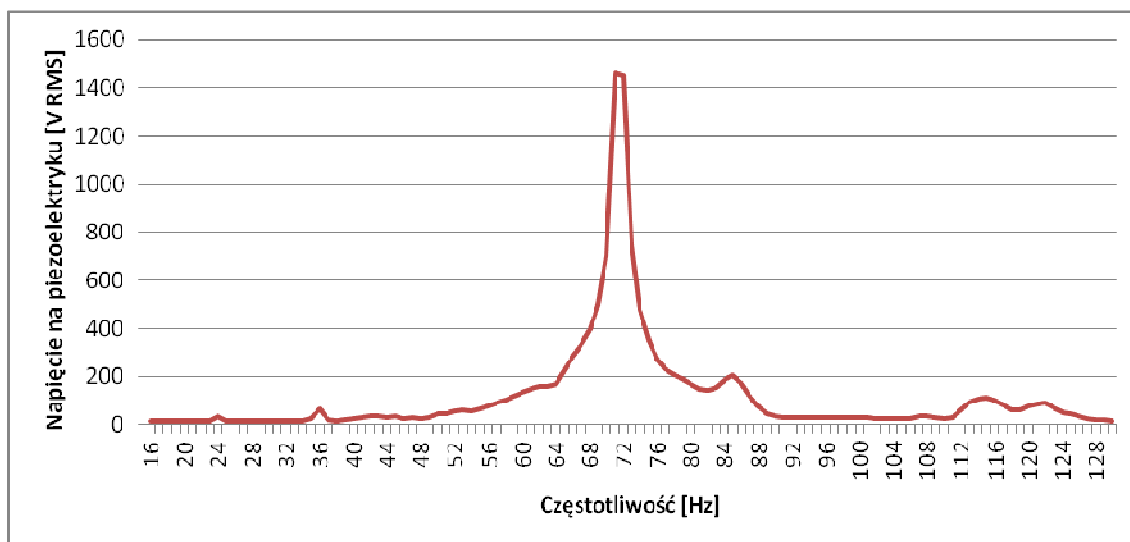
Rys. 20. Mocowanie układu odbiornika Źródło: własne

Piezoelektryk został podłączony do mostka Gretza, za którym zamontowaliśmy kondensator o pojemności $3,3\ \mu\text{F}$ w celu „wygładzenia” napięcia stałego oraz diodę LED o małej mocy (Rys. 21.).



Rys. 21. Układ elektryczny wykorzystujący energię z hałasu Źródło: własne

Jako źródło dźwięku wykorzystaliśmy generator funkcji TG4001 podłączony do wzmacniacza gitarowego o mocy 40W. Za pomocą generatora wytwarzaliśmy dźwięk ręcznie zmieniając jego częstotliwość w zakresie od 1-150Hz, dzięki czemu mogliśmy uzyskać charakterystykę amplitudowo-częstotliwościową badanego układu drgającego (Rys. 22.) i dzięki temu wyznaczyć częstotliwość, dla której amplituda drgań osiąga największą wartość, zakładając, że zgodnie z wcześniejszymi wyliczeniami rezonans powinien nastąpić przy częstotliwości 68Hz. Pomiary napięcia na piezoelektryku wykonaliśmy przy użyciu oscyloskopu TDS 2012C.

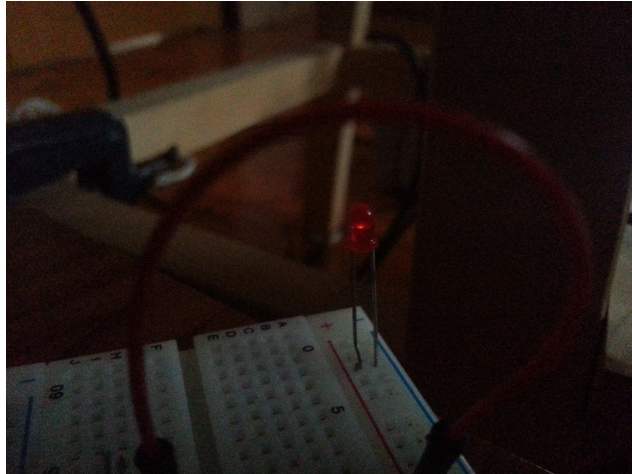


Rys. 22. Charakterystyka układu drgającego Źródło: własne

Z przeprowadzonych badań wynika, iż rezonans wystąpił przy częstotliwości 72 Hz, a nie jak zakładaliśmy 68Hz. Z naszych wyliczeń (Załącznik 1) wynika, że belka osiągająca rezonans przy częstotliwości 72Hz powinna mieć długość 14,9cm, co oznacza, że nasz błąd pomiarowy w odniesieniu do długości belki wynosi 2,6%.

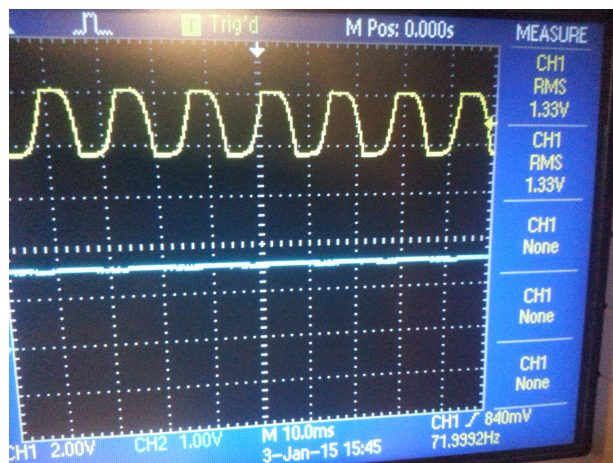
$$|\delta_l| = \left| \frac{\Delta l}{l_0} \right| \cdot 100\% = \left| \frac{l - l_0}{l_0} \right| \cdot 100\% = \left| \frac{14,9 - 15,3}{15,3} \right| \cdot 100\% = 0,02614 \cdot 100\% = 2,6\%$$

Powodem powstania tego błędu raczej nie powinien być pomiar szerokości i grubości belki oraz masy piezoelektryka, gdyż pomiary te wykonaliśmy za pomocą dość dokładnych urządzeń pomiarowych. Pomiar długości belki wykonaliśmy (z braku innych możliwości) za pomocą linijki szkolnej, która nie jest dość dokładnym urządzeniem pomiarowym. Również mocowanie belki w imadle mogło spowodować pewne niedokładności, które mogły mieć wpływ na powstały błąd. Jednak wydaje się, że największy wpływ na powstały błąd może mieć sztywność belki spowodowana przyklejeniem do niej piezoelektryka. Sztywność bryły jest proporcjonalna do modułu Younga, który ma wpływ na wyliczoną częstotliwość. Błąd nie jest duży, a wyznaczona eksperymentalnie częstotliwość drgań własnych znajduje się w zakresie interesujących nas częstotliwości.

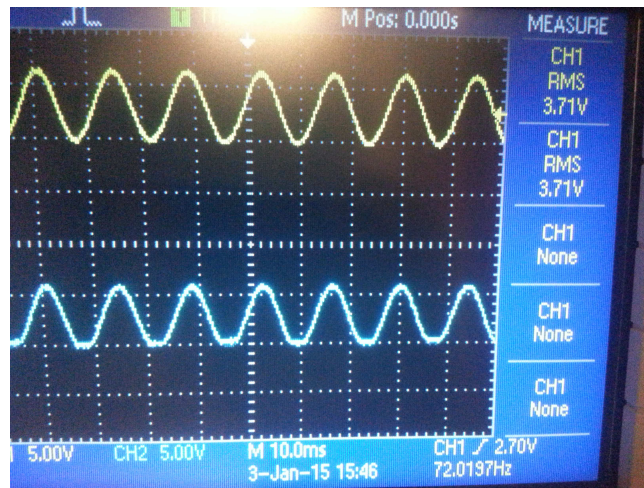


Rys. 23. Świecąca dioda LED Źródło: własne

Znając częstotliwość rezonansową, całość podłączyliśmy do mostka Gretza, gdzie odbiornikiem była dioda LED. **Po uruchomieniu całego układu i wygenerowaniu sygnału 72Hz na wyjściu mostka uzyskaliśmy napięcie pulsujące o wartości około 1,5V, które powodowało delikatne mruganie diody LED.** Aby ustabilizować napięcie, równolegle do diody LED wpięliśmy kondensator o pojemności $3,3\mu\text{F}$. Kondensator dość szybko się ładuje stabilizując napięcie na wyjściu mostka prostowniczego do około 1,3V (Rys. 24.). Wykonaliśmy również pomiar bez obciążenia, napięcie wynosiło wówczas 3,71V (Rys. 25.).



Rys. 24. Pomiar napięcia wraz z diodą Źródło: własne



Rys. 25. Pomiar napięcia bez obciążenia Źródło: własne

W rezultacie naszych prac udało nam się uzyskać widoczne gołym okiem efekty odzyskiwania energii z hałasu. Może nie są to wartości spektakularne, lecz przy rozbudowaniu urządzenia o kilka układów drgających, stworzenie stosu piezoelektrycznego, można by osiągnąć o wiele lepsze rezultaty.

4.2 Wyliczenia czasu ładowania superkondensatora

W rozdziale 2.3 poddaliśmy pod wątpliwość naładowanie superkondensatora o pojemności 200F i napięciu 2,7V. Ten aspekt postanowiliśmy zweryfikować. Podczas eksperymentu zmierzaliśmy, że prąd płynący w naszym układzie po wyprostowaniu, to 20μA.

Ponieważ $1A=1C/1s$ oraz $1F=1C/1V$, to $1F=(1A \cdot 1s)/1V$ stąd wynika wzór na czas ładowania kondensatora przy znanej jego pojemności, napięciu i prądzie ładowania.

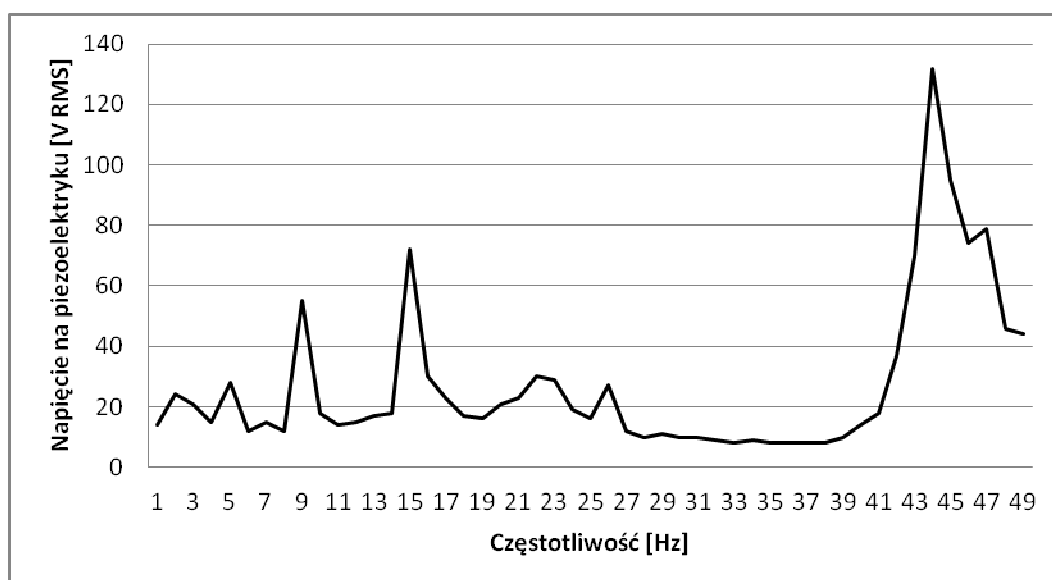
$$t = \frac{C \cdot U}{I}$$

W naszym przypadku zakładając, że superkondensator o pojemności 200F będziemy ładować prądem 20μA do napięcia 2,7V, **czas ładowania** wyliczony według powyższego wzoru **wynosi 7500 godzin czyli 312,5 dni**. Więc choć jest to czas oszacowany dla superkondensatora, to pozostaje on nierealny i potwierdza nasze wcześniejsze wątpliwości.

Przekształcając powyższy wzór, zakładając czas w jakim chcielibyśmy naładować kondensator, znając napięcie i prąd ładowania, możemy wyliczyć jakiego superkondensatora powinniśmy użyć. Na przykład gdybyśmy chcieli naładować superkondensator w ciągu jednej godziny do napięcia 2,7V prądem ładowania $20\mu A$, musielibyśmy użyć superkondensatora o pojemności 26mF.

4.3 Historia naszej pracy

Podczas wykonywania projektu, na początku jako belkę drgającą wybraliśmy kawałek sprężyny z miary zwijanej. Wydawało nam się, że jest to dość sprężysty materiał, który dość łatwo będzie można wprowadzić w drgania. Po zmierzeniu parametrów blaszki i przyklejeniu piezoelektryka - wyliczyliśmy częstotliwość drgań własnych przy założeniu, że blaszka wykonana jest ze stali. Wyniki obliczeń wskazały, iż częstotliwość drgań własnych układu przy długości listwy 5,9cm, szerokości 1,08cm i grubości 0,14mm z przyklejonym piezoelektrykiem o masie 1g, będzie wynosiła 14Hz. Jednak po podłączeniu do źródła dźwięku i wyznaczeniu charakterystyki amplitudowo-częstotliwościowej, zauważyliśmy, iż drgania własne w rzeczywistości występują przy częstotliwości 44Hz (Rys. 26.).

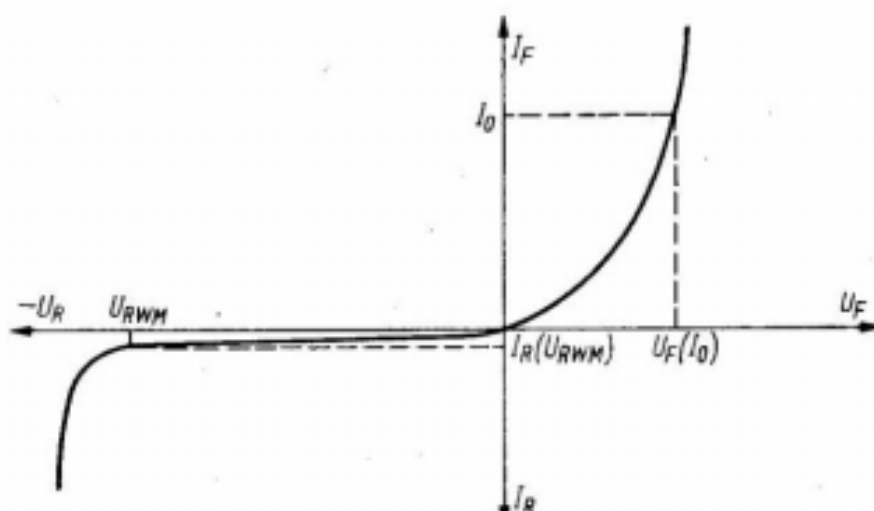


Rys. 26. Charakterystyka układu drgającego z listwą „stalową”. Źródło: własne

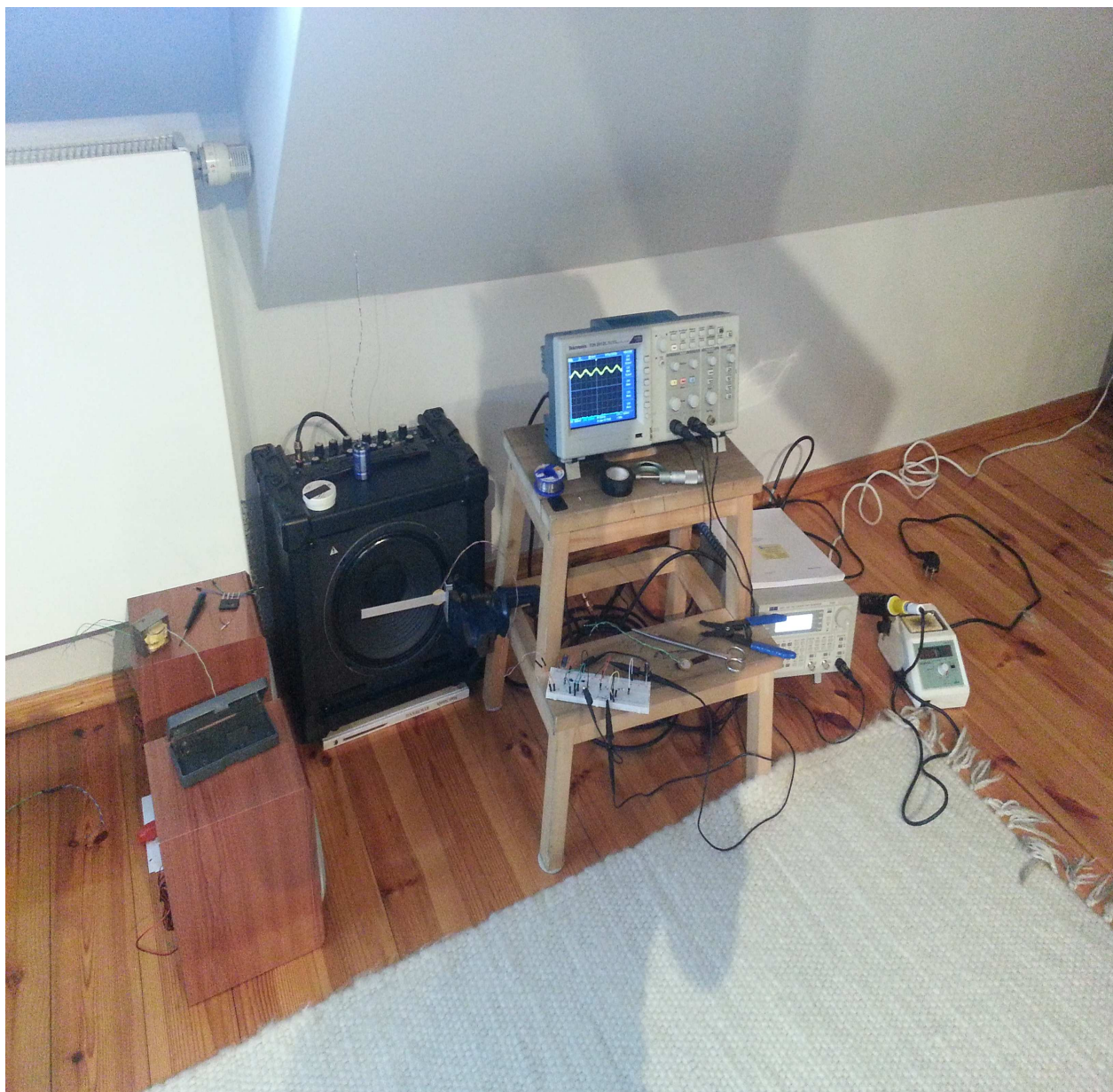
W wyniku tego doświadczenia stwierdziliśmy, iż listwa, którą początkowo przyjęliśmy jako stalową, jest wykonana z zupełnie innego materiału, więc przyjęte przez nas wartości modułu Younga i gęstości były błędne. Spostrzegliśmy również, że masa

przyklejonego piezoelektryka jest tylko o 0,2g mniejsza od masy listwy, zaś grubość blaszki mosiężnej (na którą naniesiony jest materiał piezoelektryczny) wynosi 0,15mm, czyli jest praktycznie taka sama jak grubość listwy. Powoduje to całkowitą zmianę sztywności całego układu, a w konsekwencji tak dużą różnicę w zakresie częstotliwości drgań własnych, pomiędzy tymi które wyliczyliśmy, a które zmierzaliśmy doświadczalnie. Ponadto, napięcie generowane na piezoelektryku, przy częstotliwości drgań własnych układu, wynosiło jedynie około 130mV, co wiązało się z **brakiem możliwości naładowania jakiegokolwiek kondensatora** do wartości napięcia umożliwiającej jego wykorzystanie. Innym problemem, jaki napotkaliśmy w tym przypadku, był brak możliwości wyprostowania sygnału o tak niskich wielkościach. Każda dioda zaczyna przewodzić prąd dopiero po osiągnięciu tak zwanego napięcia przewodzenia, zwykle oznaczanego U_f (Rys. 27.). Wielkość tego napięcia jest zależna od materiału z jakiego wykonana jest dioda. Przyjmuje się, iż diody wykonane z krzemu mają napięcie przewodzenia 0,5-0,7V, natomiast diody germanowe 0,2-0,4V. Analizując sposób działania mostka Gretza widzimy, że prostowany prąd płynie zawsze przez 2 diody prostownicze. W związku z tym, aby mostek mógł zadziałać, musimy przyłożyć do niego napięcie równe podwójnej wartości napięcia przewodzenia diody, czyli w najlepszym przypadku 0,4V.

Opisane powyżej problemy przekonały nas do zmiany materiału użytego w doświadczeniach.



Rys. 27. Charakterystyka prądowo-napięciowa diody prostowniczej [15]



Rys. 28. Nasze laboratorium. Źródło: własne

III.



PODSUMOWANIE I WNIOSKI



Zastosowanie, perspektywy, rozwój, zalety, wady naszego urządzenia

Zważając na to, iż w dobie XXI wieku liczba aut rośnie, zwiększać się także będzie towarzyszący pojazdom hałas komunikacyjny, urządzenie zamieniające energię, którą niesie ze sobą dźwięk, na prąd elektryczny, byłoby więc bardzo potrzebne. Kwestia, czy uzyskaną energię elektryczną wykorzystać do wspomagania sieci oświetlenia dróg, czy włączyć ją bezpośrednio do sieci energetycznej, tym samym odciążając wielkie elektrownie, pozostałaby już w rękach osób zarządzających energetyką.

Udało nam się stworzyć urządzenie, które działając w oparciu o efekt piezoelektryczny, wytwarza energię z hałasu. Najważniejszymi osiągnięciami naszej pracy, uzyskanymi poprzez zaprezentowane próby, jest na drodze obliczeniowej dobranie odpowiedniego układu odbiorczego dla danego spektrum dźwięku, a także dostosowanie odpowiednich podzespołów (m.in. diody germanowe, zamiast krzemowych), dzięki którym nasze urządzenie działa sprawniej. Rozwiązanie, które proponujemy nie jest bez wad, gdyż układ jest w stanie wygenerować niewielką energię, tym samym zasilić tylko małą diodę lub naładować mały kondensator; działa tylko dla jednej określonej częstotliwości dźwięku, tak więc jego użyteczność jest ograniczona.

Zaprezentowane przez nas urządzenie jest tylko modelem, **modelem, który można ulepszyć lub rozbudować:**

- zwiększając liczbę piezoelektryków i łącząc je szeregowo aby podwyższyć napięcie lub równolegle aby zwiększyć natężenie, tym samym szybkość ładowania magazynu energii,
- zastosowując transformator przed mostkiem prostownika, który pozwoli na wzmocnienie napięcia,
- poszerzając częstotliwości dźwięku, dla którego działa nasze urządzenie, poprzez zastosowanie odbiorników o różnych parametrach,
- stosując bardziej zaawansowane układy elektroniczne do wzmacniania pozyskiwanych energii jak na przykład w [13].

Tego typu ulepszone urządzenie stałoby się świetnym rozwiązaniem, alternatywą dla **oświetlenia kopalnianego**, gdzie w podziemnych korytarzach próżno szukać zastosowania dla energii słonecznej. Zlikwidowałoby ono częściowo problem kilometrowych kabli elektrycznych, czyli jednocześnie zużycia nań wielu cennych materiałów, ponadto instalacja elektryczna stałaby się nieco mniej skomplikowana. Sumą tego zabiegu byłoby ekologiczne (korzystamy z hałasu, oszczędzamy cenne metale-przewodniki) i tanie rozwiązanie, dodatkowo zwiększające ludzkie bezpieczeństwo.

Gdyby spojrzeć na sprawę natężenia dźwięku z szerszej perspektywy, miejsc na wykorzystanie tego „akustopiezokonwertera” jest wręcz nieskończenie wiele, od lotnisk, przez centra handlowe, aż do sal dyskotekowych – **ze wszystkich tych miejsc, gdzie jest hałas, możemy czerpać energię!** Każdy dźwięk niesie ze sobą jakąś energię, więc gdyby czułość podobnego urządzenia została zwiększona, **moglibyśmy go wykorzystywać praktycznie wszędzie**, nawet do zasilania niewielkich urządzeń domowych, telefonów itp. nie deformując, **nie nadużywając w żaden sposób środowiska**, co więcej **ratując i oszczędzając je** przed innymi, wyniszczającymi środkami pozyskiwania energii.

Obecnie na świecie podobna technologia jest zamknięta w sferze badań, wykorzystuje się ją w niewielu miejscach, pomimo że ma tak ogromny potencjał. Kilka lat temu koreańscy naukowcy opracowali rozwiązanie bazujące na efekcie piezoelektrycznym, pozwalające zasilać telefon komórkowy dzięki falom dźwiękowym. Angielscy naukowcy z Uniwersytetu Londyńskiego poszli o krok dalej - zaprojektowali takie urządzenie i stworzyli jego prototyp. Wielu indywidualnych naukowców tworzy podobne urządzenia, szukając dlań coraz to innych zastosowań. Paradoksalnie efekt piezoelektryczny, mimo że znany od tylu pokoleń, cieszy się nieustannym zainteresowaniem, gdyż w dobie naszych czasów, ogromnego zapotrzebowania energetycznego, jest doskonałym sposobem na pozyskiwanie energii. Wyobraźmy sobie piezoelektryczne chodniki, parkiety dyskotekowe itp. **Efekt ten uświadamia nam, że energia jest wszędzie, co więcej jest ogólnie dostępna, wystarczy tylko na nią krzyknąć.**

ZAŁĄCZNIK NR 1 - Tabela zbiorcza wyników w programie Excel

mb [kg]	L [m]	f [Hz]	cd.	mb [kg]	L [m]	f [Hz]	cd.	mb [kg]	L [m]	f [Hz]	cd.	mb [kg]	L [m]	f [Hz]
0,0026	0,020	3269,34		0,0067	0,070	312,80		0,0108	0,120	109,92		0,0140	0,160	62,56
0,0027	0,021	2992,65		0,0068	0,071	304,37		0,0108	0,121	108,15		0,0141	0,161	61,80
0,0028	0,022	2749,96		0,0069	0,072	296,28		0,0109	0,122	106,42		0,0142	0,162	61,05
0,0029	0,023	2535,88		0,0069	0,073	288,51		0,0110	0,123	104,74		0,0142	0,163	60,32
0,0030	0,024	2346,06		0,0070	0,074	281,04		0,0111	0,124	103,10		0,0143	0,164	59,60
0,0030	0,025	2176,93		0,0071	0,075	273,85		0,0112	0,125	101,49		0,0144	0,165	58,89
0,0031	0,026	2025,58		0,0072	0,076	266,94		0,0112	0,126	99,92		0,0145	0,166	58,19
0,0032	0,027	1889,59		0,0073	0,077	260,29		0,0113	0,127	98,39		0,0146	0,167	57,51
0,0033	0,028	1766,93		0,0073	0,078	253,88		0,0114	0,128	96,89		0,0147	0,168	56,84
0,0034	0,029	1655,92		0,0074	0,079	247,71		0,0115	0,129	95,43		0,0147	0,169	56,18
0,0034	0,030	1555,10		0,0075	0,080	241,76		0,0116	0,130	93,99		0,0148	0,170	55,53
0,0035	0,031	1463,27		0,0076	0,081	236,02		0,0116	0,131	92,60		0,0149	0,171	54,90
0,0036	0,032	1379,38		0,0077	0,082	230,48		0,0117	0,132	91,23		0,0150	0,172	54,27
0,0037	0,033	1302,54		0,0077	0,083	225,14		0,0118	0,133	89,89		0,0151	0,173	53,66
0,0038	0,034	1231,98		0,0078	0,084	219,98		0,0119	0,134	88,58		0,0151	0,174	53,05
0,0038	0,035	1167,02		0,0079	0,085	215,00		0,0120	0,135	87,30		0,0152	0,175	52,46
0,0039	0,036	1107,10		0,0080	0,086	210,18		0,0121	0,136	86,05		0,0153	0,176	51,87
0,0040	0,037	1051,69		0,0081	0,087	205,53		0,0121	0,137	84,82		0,0154	0,177	51,30
0,0041	0,038	1000,35		0,0082	0,088	201,02		0,0122	0,138	83,62		0,0155	0,178	50,73
0,0042	0,039	952,70		0,0082	0,089	196,67		0,0123	0,139	82,45		0,0155	0,179	50,17
0,0043	0,040	908,39		0,0083	0,090	192,45		0,0124	0,140	81,30		0,0156	0,180	49,63
0,0043	0,041	867,11		0,0084	0,091	188,37		0,0125	0,141	80,17		0,0157	0,181	49,09
0,0044	0,042	828,59		0,0085	0,092	184,41		0,0125	0,142	79,07		0,0158	0,182	48,56
0,0045	0,043	792,59		0,0086	0,093	180,58		0,0126	0,143	77,99		0,0159	0,183	48,04
0,0046	0,044	758,89		0,0086	0,094	176,87		0,0127	0,144	76,93		0,0160	0,184	47,53
0,0047	0,045	727,31		0,0087	0,095	173,27		0,0128	0,145	75,89		0,0160	0,185	47,02
0,0047	0,046	697,66		0,0088	0,096	169,78		0,0129	0,146	74,88		0,0161	0,186	46,53
0,0048	0,047	669,79		0,0089	0,097	166,40		0,0129	0,147	73,88		0,0162	0,187	46,04
0,0049	0,048	643,57		0,0090	0,098	163,11		0,0130	0,148	72,91		0,0163	0,188	45,56
0,0050	0,049	618,86		0,0090	0,099	159,93		0,0131	0,149	71,95		0,0164	0,189	45,08
0,0051	0,050	595,55		0,0091	0,100	156,83		0,0132	0,150	71,01		0,0164	0,190	44,62
0,0051	0,051	573,53		0,0092	0,101	153,82		0,0133	0,151	70,09		0,0165	0,191	44,16
0,0052	0,052	552,72		0,0093	0,102	150,90		0,0134	0,152	69,19		0,0166	0,192	43,71
0,0053	0,053	533,02		0,0094	0,103	148,06		0,0134	0,153	68,30		0,0167	0,193	43,26
0,0054	0,054	514,36		0,0095	0,104	145,30		0,0135	0,154	67,44		0,0168	0,194	42,82
0,0055	0,055	496,67		0,0095	0,105	142,62		0,0136	0,155	66,58		0,0169	0,195	42,39
0,0056	0,056	479,87		0,0096	0,106	140,01		0,0137	0,156	65,75		0,0169	0,196	41,97
0,0056	0,057	463,91		0,0097	0,107	137,47		0,0138	0,157	64,93		0,0170	0,197	41,55
0,0057	0,058	448,74		0,0098	0,108	135,01		0,0138	0,158	64,13		0,0171	0,198	41,13
0,0058	0,059	434,30		0,0099	0,109	132,60		0,0139	0,159	63,34		0,0172	0,199	40,73
0,0059	0,060	420,55		0,0099	0,110	130,26								
0,0060	0,061	407,45		0,0100	0,111	127,98								
0,0060	0,062	394,94		0,0101	0,112	125,76								
0,0061	0,063	383,01		0,0102	0,113	123,60								
0,0062	0,064	371,61		0,0103	0,114	121,50								
0,0063	0,065	360,71		0,0103	0,115	119,44								
0,0064	0,066	350,28		0,0104	0,116	117,44								
0,0064	0,067	340,30		0,0105	0,117	115,49								
0,0065	0,068	330,75		0,0106	0,118	113,59								
0,0066	0,069	321,59		0,0107	0,119	111,73								

m - masa ciężarka [kg] 0,0000

E - moduł Younga - aluminium 69 000 000 000,00

t - grubość listwy [m] 0,002007

W - szerokość listwy [m] 0,015000

g - gęstość materiału listwy [kg/m3] 2700

L - długość linijki [m]

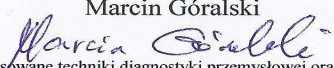
$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{3WEt^3}{12L^3(m + 0,236m_b)}}$$

ZAŁĄCZNIK NR 2 - Kilka słów technika...

Wiele zjawisk fizycznych, prostych i tych bardziej złożonych, zostało już dobrze poznanych i szczegółowo opisanych. Wiele z nich już dawno temu znalazło praktyczne zastosowanie, które sprawiło, że korzystając z nowoczesnych technologii, dawno zapomnieliśmy, co leży u ich podstaw. Wiele ze zjawisk prostych i dobrze znanych od lat nadal może być wykorzystanych do celów, których nikt dotychczas nie rozważył, nie mając choćby nawet teoretycznej potrzeby. Efekt piezoelektryczny wydaje się doskonale pasować do tej grupy zjawisk.

Mając dobrą podbudowę teoretyczną w postaci ukończonych studiów na Wydziale Fizyki i Techniki Jądrowej Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie oraz wykorzystując ją w praktyce, pracując w dużej międzynarodowej korporacji, zajmuję się projektami o tematyce ściśle związanej z coraz efektywniejszym wykorzystaniem posiadanych zasobów – tych chcianych oraz niechcianych. Te niechciane przeważnie są niepożądanym skutkiem działalności podstawowej i mają niekorzystny wpływ na środowisko naturalne. W swojej pracy często sięgam po narzędzia pozwalające na podniesienie sprawności urządzeń w procesach produkcyjnych, zmniejszenie zużycia energii, a tym samym – zminimalizowanie szkodliwego wpływu działalności przemysłowej na środowisko naturalne. Wykorzystanie do produkcji energii wszechobecnego hałasu, który jest nieodzownym elementem działalności człowieka i czynnikiem, którego wyeliminowanie jest praktycznie niemożliwe, jest pomysłem zasługującym na uwagę i wartym szczegółowej analizy oraz przeprowadzenia praktycznych testów z opracowaniem studium opłacalności inwestycji włącznie. Odzyskujemy energię z promieni słonecznych, siły wiatru, opadającej z dużym impetem wody. Dlaczego więc nie pokusić się o wykorzystanie tego, co sami produkujemy i co nie wpływa korzystnie na środowisko? Dlaczego nie pójść dalej i nie wykorzystać ekologicznego hałasu, produkowanego przez naturę, by przekuć go w energię, jak robimy to z wodą, wiatrem czy promieniami słonecznymi? Dlaczego nie pomyśleć o zastosowaniach na skalę przemysłową, jak również nie wpuścić tego typu rozwiązań pod strzechy prywatnych domostw?

Efekt piezoelektryczny i jego wykorzystanie do produkcji energii z hałasu jest według mnie jednym z wielu interesujących pomysłów na wykorzystanie tego, co nas otacza, do produkcji energii, której potrzebujemy i potrzebować będziemy coraz więcej. Poprawa efektywności produkcji energii, z czego byśmy jej nie próbowali uzyskać lub odzyskać, ma zawsze swoje granice, dlatego też poszukiwanie nowych źródeł i sposobów na jej produkcję jest bardzo pożądane i warte uwagi.

Marcin Góralski

Zaawansowane techniki diagnostyki przemysłowej oraz serwisu
w procesach produkcji

BIBLOGRAFIA

1. Bożena Hilczer, Jerzy Małecki: *Elektrety i piezopolimery*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN, 1992. ISBN 83-01-10612-3, str. 304 - 328
2. Powszechna encyklopedia PWN © Wydawnictwo Naukowe PWN SA
3. *Zagadnienia fizyki dielektryków*, praca zbiorowa pod redakcją Teodora Krajewskiego, WKŁ, Warszawa 1970, str. 13 - 123

ŹRÓDŁA INTERNETOWE

4. http://www.if.pw.edu.pl/~labfiz1p/cmsimple2_4/1instrukcje_pdf/32.pdf
5. <http://winntbg.bg.agh.edu.pl/rozprawy/9755/full9755.pdf>
6. <http://elektronikab2b.pl/technika/18410-elementy-piezoelektryczne-a-piezorezystywne>
7. <http://www.e-spawalnik.pl/?krotka-teoria-piezoelektrycznosci,263>
8. <http://pl.wikipedia.org/wiki/Piezoelektryki>
9. <http://www.mt.com.pl/piezoelektrycznosc>
10. <http://kopalniawiedzy.pl/ultrakondensator-superkondensator-grafen-nanorurka,20168>
11. http://www.ozewortal.pl/files/artykuly/smart_grid_superkondensatory.pdf
12. <http://pl.wikipedia.org/wiki/Superkondensator>
13. Comparison between four piezoelectric energy harvesting circuits, J Qiu, H Jiang, H Ji, K Zhu - *Frontiers of Mechanical Engineering in China*, 2009 - Springer. http://www.researchgate.net/publication/226879630_Comparison_between_four_piezoelectric_energy_harvesting_circuits/file/79e4150d4720ac2fb7.pdf
14. http://pl.wikipedia.org/wiki/Napi%C4%99cie_skuteczne
15. http://www.skaczmarek.ps.pl/Wyk6_el.pdf

SPIS RYSUNKÓW

1. Rys. 1. *Struktura perowskitowa kryształu.*
2. Rys. 2. *Kryształy kwarcu.*
3. Rys. 3. *Zilustrowanie przebiegu efekty piezoelektrycznego prostego i odwrotnego.*
4. Rys. 4. *Pole pracy elementu piezoelektrycznego.*
5. Rys. 5. *Pętla histerezy elementu piezoelektrycznego dla pozytywnych wartości natężenia pola elektrycznego.*
6. Rys. 6. *Kompletna pętla histerezy.*
7. Rys. 7. *Stos piezoelektryczny.*
8. Rys. 8. *Krzywe jednakowej hałaśliwości.*
9. Rys. 9. *Wytwarzanie energii dzięki przetwornikom.*
10. Rys. 10. *Element piezoelektryczny.*
11. Rys. 11. *Element piezoelektryczny z przylutowanym przewodem.*
12. Rys. 12. *Przebieg napięcia w układzie piezoelektryka. Wykonano za pomocą oscyloskopu Tektronix TDS 2012C.*
13. Rys. 13. *Mostek Gretza.*
14. Rys. 14. *Mostek prostowniczy zbudowany do celów projektu.*
15. Rys. 15. *Przebieg napięcia po i przed wyprostowaniem.*
16. Rys. 16. *Superkondensator.*
17. Rys. 17. *Analiza widmowa hałasu.*
18. Rys. 18. *Układ rezonansowy odbiornika dźwięku.*
19. Rys. 19. *Zależność częstotliwości drgań własnych listwy aluminiowej od długości.*
20. Rys. 20. *Mocowanie układu odbiornika.*

21. Rys. 21. *Układ elektryczny wykorzystujący energię z hałasu.*
22. Rys. 22. *Charakterystyka układu drgającego.*
23. Rys. 23. *Świecąca dioda LED.*
24. Rys. 24. *Pomiar napięcia wraz z diodą.*
25. Rys. 25. *Pomiar napięcia bez obciążenia.*
26. Rys. 26. *Charakterystyka układu drgającego z listwą „stalową”.*
27. Rys. 27. *Charakterystyka prądowo-napięciowa diody prostowniczej.*
28. Rys. 28. *Nasze laboratorium.*