



POLITECHNIKA ŚLĄSKA
WYDZIAŁ AUTOMATYKI, ELEKTRONIKI I INFORMATYKI
KIERUNEK AUTOMATYKA I ROBOTYKA

Praca dyplomowa magisterska

System monitoringu hałasu

Autor: Józef Wawrzyczek

Kierujący pracą: dr inż. Józef Wiora

Gliwice, wrzesień 2014

SPIS TREŚCI

SPIS RYSUNKÓW.....	5
SPIS TABLIC.....	7
WYKAZ SYMBOLI	9
ROZDZIAŁ 1. WPROWADZENIE	11
1.1. WSTĘP.....	11
1.2. CEL I ZAKRES PRACY	12
ROZDZIAŁ 2. PODSTAWY TEORETYCZNE	13
2.1. DŹWIĘK.....	13
2.2. HAŁAS	16
2.2.1. Wpływ hałasu na narząd słuchu	16
2.2.2. Pozasłuchowe skutki działania hałasu	17
2.3. REGULACJE PRAWNE	18
2.3.1. Podstawowe wielkości charakteryzujące narażenie na hałas	18
2.3.2. Wartości dopuszczalne	21
ROZDZIAŁ 3. URZĄDZENIE.....	23
3.1. CZĘŚĆ ANALOGOWA	23
3.1.1. Sprawdzenie poprawności pomiarów	23
3.1.2. Badanie wpływu rodzaju zasilania na wynik pomiaru poziomu dźwięku	24
3.2. CZĘŚĆ CYFROWA.....	25
3.2.1. Moduł komunikacyjny	25
3.2.2. Projekt płytki drukowanej.....	27
3.2.3. Programowanie i konfiguracja modułu komunikacyjnego	28
3.2.4. Budowa sieci	29
3.3. URZĄDZENIE WYNIKOWE	30
3.3.1. Połączenie	30
3.3.2. Pomiary.....	31
3.3.3. Kalibracja	33
3.3.4. Analiza wpływu położenia mikrofonu na wynik pomiaru	35
ROZDZIAŁ 4. OPROGRAMOWANIE	37

4.1.	ŚRODOWISKO PROGRAMISTYCZNE	37
4.2.	DZIAŁANIE APLIKACJI	38
ROZDZIAŁ 5.	BADANIA	41
5.1.	PRZEDMIOT BADAŃ	41
5.2.	WYZNACZENIE MODELU.....	41
5.3.	POMIARY I WYZNACZENIE POTRZEBNYCH WIELKOŚCI	42
5.4.	SPRAWDZENIE MODELU	43
ROZDZIAŁ 6.	WNIOSKI Z PRACY.....	45
6.1.	PODSUMOWANIE	45
6.2.	MOŻLIWOŚCI ROZWOJU PROJEKTU	47
BIBLIOGRAFIA		49
DODATEK A. SCHEMATY ELEKTRYCZNE.....		51
DODATEK B. POMIARY I WYNIKI OBLICZEŃ		53
DODATEK C. KOD PROGRAMU KOMPUTEROWEGO		57

SPIS RYSUNKÓW

2.1	Audiogram	13
2.2	Krzywe równego poziomu głośności [2]	14
2.3	Charakterystyki korekcyjne [1]	15
3.1	Pomiar poziomu dźwięku dla różnych zasilaczy	25
3.2	Schemat zbudowanego zasilacza (zasilacz 3 na rys. 3.1)	25
3.3	Schemat blokowy modułu ATZB-24-A2 [7]	26
3.4	Schemat ideowy części cyfrowej urządzenia	27
3.5	Struktura utworzonej sieci bezprzewodowej	30
3.6	Wygląd urządzenia przed zamontowaniem pokrywy	31
3.7	Wyniki pomiarów dla zasilania bateryjnego i z zasilacza	33
3.8	Wpływ położenia mikrofonu na pomiar poziomu dźwięku	35
4.1	Widok zakładki „Pomiary” w programie do akwizycji pomiarów	38
4.2	Widok zakładki „Archiwum” w programie do akwizycji pomiarów	39
4.3	Widok zakładki „Konfiguracja” w programie do akwizycji pomiarów	40
5.1	Wykres poziomu dźwięku A przy przejeździe motocykla i samochodu osobowego	43
A.1	Mozaika ścieżek na płytce drukowanej części cyfrowej sonometru	51
A.2	Rozmieszczenie elementów na płytce drukowanej części cyfrowej sonometru	51
B.1	Równanie kalibracyjne urządzenia w przypadku zasilania z zasilacza	55
B.2	Równanie kalibracyjne dla przypadku zasilania bateryjnego	55

C.1	Schemat blokowy programu cz. 1	57
C.2	Schemat blokowy programu cz. 2	58

SPIS TABLIC

2.1	Ryzyko utraty słuchu w procentach w zależności od równoważnego poziomu dźwięku A i czasu ekspozycji [4]	17
2.2	Wartości najwyższych dopuszczalnych natężeń hałasu w środowisku pracy [10]	21
2.3	Wartości najwyższych dopuszczalnych natężeń hałasu w środowisku pracy dla kobiet ciężarnych i osób młodocianych [11, 12]	21
2.4	Wartości dopuszczalne hałasu ze względu na możliwość realizacji przez pracownika jego podstawowych zadań [15]	22
3.1	Błąd względny urządzenia dla różnych poziomów i częstotliwości dźwięku	24
3.2	Połączenie wyprowadzeń części cyfrowej i konwertera USB/UART	28
3.3	Ustawienia komunikacji [17]	28
3.4	Zestaw komend użytych do konfiguracji modułu komunikacji bezprzewodowej	29
3.5	Parametry urządzenia	30
3.6	Wartości pomiarów poziomu dźwięku A oraz błędy aproksymacji dla dźwięku o strukturze białego szumu	34
3.7	Wartości pomiarów poziomu dźwięku A oraz błędy aproksymacji dla dźwięków rzeczywistych	34
5.1	Wartości równoważnego poziomu dźwięku A pojazdów analizowanych klas	43
5.2	Wyniki pomiarów i predykcji równoważnego poziomu dźwięku A	44
B.1	Wyniki pomiarów czasu przejazdu i obliczeń wartości ekspozycji na hałas spowodowanej przejazdem pojazdu	53
B.2	Wyniki pomiarów napięcia na wyjściu części analogowej urządzenia dla dźwięku o częstotliwości 1000 Hz dla różnych rodzajów zasilania	54

B.3	Wyniki pomiarów poziomu dźwięku w zależności od odległości mikrofonu od obudowy urządzenia	55
-----	--	----

WYKAZ SYMBOLI

symbol	nazwa	jednostka	strona
L	poziom ciśnienia akustycznego	dB	14
p	wartość chwilowa ciśnienia akustycznego	Pa	14
p_0	wartość ciśnienia akustycznego odniesienia, $p_0 = 20 \mu\text{Pa} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$	Pa	14
L_A	poziom dźwięku A	dB	15
$L_{Aeq, Te}$	równoważny poziom dźwięku A	dB	18
T_e	czas ekspozycji, $T_e = t_2 - t_1$	s	19
p_A	wartość chwilowa ciśnienia akustycznego skorygowana według charakterystyki korekcyjnej A	Pa	19
t_1	czas rozpoczęcia pomiaru	s	19
t_2	czas zakończenia pomiaru	s	19
$L_{EX, 8h}$	poziom ekspozycji na hałas odniesiony do 8-godzinnego dnia pracy	dB	19
$L_{EX, w}$	poziom ekspozycji na hałas odniesiony do tygodnia pracy	dB	19
$L_{EX, 8hi}$	poziom ekspozycji na hałas w i-tym dniu roboczym	dB	19
T_0	czas odniesienia (8h = 480 min = 28 800 s)	s	19
n	liczba dni roboczych w rozważanym tygodniu pracy		19
i	kolejny dzień tygodnia		19
$E_{A, 8h}$	dzienna ekspozycja na hałas	$\text{Pa}^2 \cdot \text{s}$	19
$E_{A, w}$	tygodniowa ekspozycja na hałas	$\text{Pa}^2 \cdot \text{s}$	19

E_{A, T_e}	ekspozycja wyznaczona dla efektywnego czasu narażenia T_e	$\text{Pa}^2 \cdot \text{s}$	20
L_{Amax}	maksymalny poziom dźwięku A	dB	20
L_{Cpeak}	szczytowy poziom dźwięku C	dB	20
Δ	błąd względny	%	23
U_1	odpowiedni pomiar napięcia w pracy [13]	V	23
U_2	odpowiedni pomiar napięcia wykonany obecnie	V	23
U	napięcie na wyjściu części analogowej	V	32
P	wartość zwrócona przez przetwornik A/C		32
U_{ref}	napięcie referencyjne przetwornika A/C	V	32
n_i	liczba pojazdów danej klasy		42
t_i	średni czas przejazdu pojazdu danej klasy	s	42
$L_{Aeq,i}$	równoważny poziom dźwięku A pojazdów w danej klasie	dB	42
$L_{Aeq,tla}$	równoważny poziom dźwięku A tła akustycznego	dB	42
$L_{Aeq,m}$	równoważny poziom dźwięku A wyznaczony z modelu	dB	43
$L_{Aeq,p}$	równoważny poziom dźwięku A obliczony na podstawie pomiarów	dB	44

Rozdział 1. WPROWADZENIE

1.1. WSTĘP

Hałas jest czymś, co otacza człowieka. Czy tego chce czy nie, zawsze w jakimś stopniu ma z nim styczność. Czasami nie zdaje sobie z tego sprawy, często jednak odbiera go jako coś przykrego. Stosuje wtedy różne sposoby przeciwdziałania jak np. wkładki douszne, nauszniki, ekrany dźwiękochłonne. Problemem staje się mieszkanie w warunkach nadmiernego hałasu, a także nauka, praca lub przebywanie w hałasie na ulicy.

Hałas jest niebezpieczny dla człowieka. Powstała więc potrzeba mierzenia go, aby określić normy, których nie powinien przekraczać. W tym celu stosuje się sonometry. Celem tej pracy będzie utworzenie prototypu urządzenia pomiarowego mierzącego hałas, który za pomocą sieci bezprzewodowej będzie przekazywał aktualny pomiar hałasu do serwera. Cel pracy oraz stawiane wymagania zostały szerzej opisane w rozdziale 1.

W celu wprowadzenia czytelnika w temat pomiarów hałasu, w rozdziale 2 zostały opisane niektóre zagadnienia związane z niniejszą pracą. Są to podstawowe pojęcia z dziedziny akustyki takie jak dźwięk, poziom natężenia dźwięku, krzywe korekcyjne, itp. Pozwoli to na lepsze zrozumienie podejmowanych w ramach pracy działań oraz wykonanych badań. Dodatkowo wspomniano niektóre krajowe regulacje prawne dotyczące dopuszczalnych wartości hałasu w środowisku pracy.

Rozdział 3 poświęcono wykonanemu w ramach projektu urządzeniu. Opisano w nim budowę i działanie części składowych urządzenia oraz takie parametry jak błąd urządzenia, wymiary, równanie kalibracyjne itp.

W rozdziale 4 przedstawiono utworzony program odpowiedzialny za odbieranie danych przychodzących z urządzenia pomiarowego, ich wizualizację oraz archiwizację. Przybliżono jego działanie, obsługę oraz budowę interfejsu użytkownika.

Przebieg i wyniki przeprowadzonych badań umieszczono w rozdziale 5. Miały one na celu wyznaczenie modelu pozwalającego obliczyć równoważny poziom dźwięku A w pobliżu drogi na podstawie danych o natężeniu ruchu.

Ostatni rozdział 6 jest poświęcony przedstawieniu wniosków z realizacji projektu oraz możliwości jego dalszego rozwoju.

1.2. CEL I ZAKRES PRACY

Celem pracy jest zaprojektowanie i wykonanie urządzenia umożliwiającego zdalne pomiary hałasu oraz przesyłanie wyników do serwera za pomocą sieci bezprzewodowej. System powinien posiadać następujące cechy:

- wykonywanie ciągłych pomiarów,
- przesyłanie pomiarów za pomocą sieci bezprzewodowej do serwera,
- możliwość współpracy z wieloma urządzeniami pomiarowymi,
- prezentacja danych pomiarowych na wykresie,
- zapis danych do pliku,
- przeglądanie danych archiwalnych.

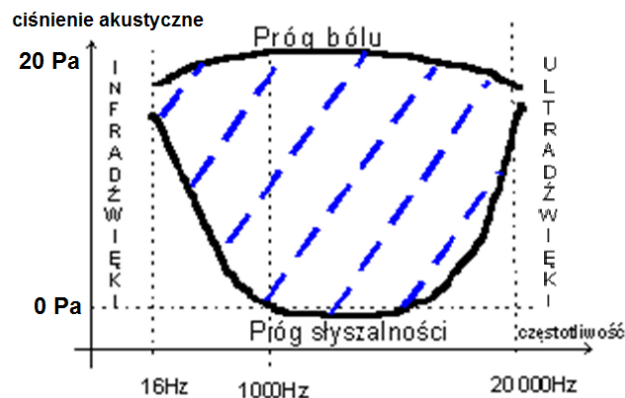
Zakres pracy obejmuje:

- zaprojektowanie i wykonanie modułu komunikacji bezprzewodowej kompatybilnego z już istniejącym modułem pomiarowym,
- napisanie aplikacji na serwer,
- kalibrację urządzenia,
- przeprowadzenie badań z użyciem utworzonego układu pomiarowego.

Rozdział 2. PODSTAWY TEORETYCZNE

2.1. DŹWIĘK

Dźwiękiem nazywamy zaburzenie środowiska sprężystego rozchodzące się w sposób falowy, prowadzące do wytworzenia wrażenia słuchowego. Ucho przeciętnego człowieka odbiera fale o częstotliwościach z przedziału od 16 Hz do 20 kHz. Fale o częstotliwościach niższych niż 16 Hz są nazywane infradźwiękami, natomiast te o częstotliwościach większych od 20 kHz ultradźwiękami. Najcichszymi sygnałami odbieranymi przez człowieka są dźwięki o ciśnieniu akustycznym¹ równym 20 μPa . Przy ciśnieniu akustycznym sięgającym 20 Pa zaczyna się odczucie bólu [1]. Zakres słyszenia człowieka można zobrazować audiogramem zamieszczonym na rys. 2.1. Niebieską przerywaną linią zaznaczono obszar percepcji dźwięku u człowieka.



Rys. 2.1. Audiogram

Opracowano na podstawie: http://www.fizykon.org/akustyka/akustyka_glosnosc_fon.htm

¹ Ciśnieniem akustycznym nazywa się lokalne odchylenia ciśnienia atmosferycznego od jego wartości średniej spowodowane przejściem fali dźwiękowej.

Szeroki zakres zmian ciśnienia akustycznego, na które jest wrażliwe ludzkie ucho, spowodował wprowadzenie tzw. poziomu ciśnienia akustycznego (L) mierzonego w decybelach (dB). Oblicza się go za pomocą wzoru:

$$L = 10 \log \left(\frac{p(t)}{p_0} \right)^2, \quad (2.1)$$

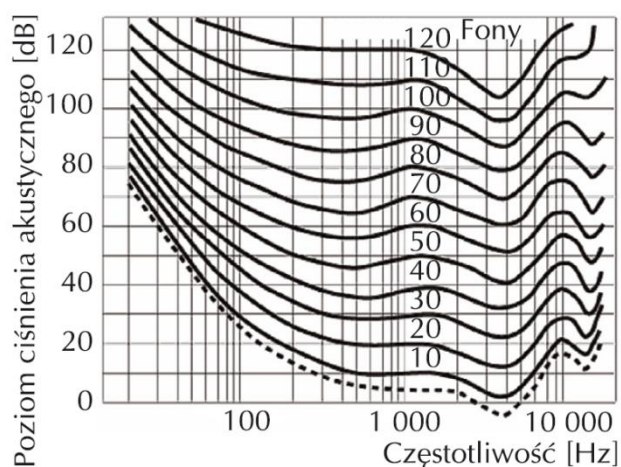
gdzie:

L – poziom ciśnienia akustycznego [dB],

$p(t)$ – wartość chwilowa ciśnienia akustycznego [Pa],

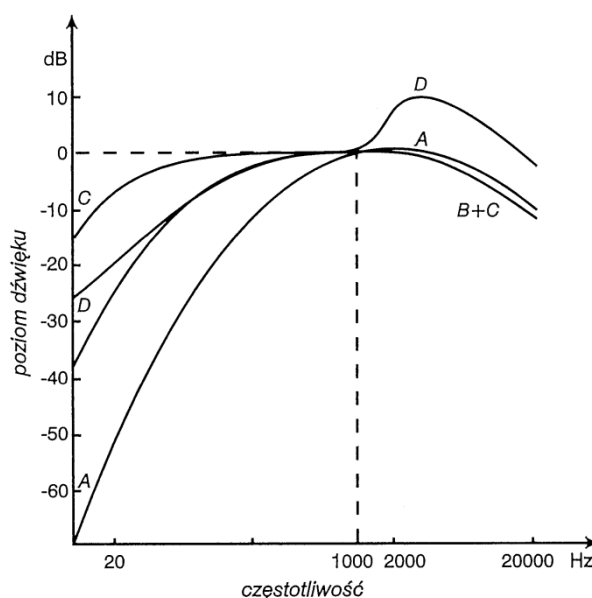
$p_0 = 20 \mu\text{Pa} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$ – wartość ciśnienia akustycznego odniesienia.

Jak już wcześniej wspomniano ludzkie ucho reaguje na dźwięki o częstotliwościach z zakresu 16 Hz – 20 kHz. Subiektywne odczucie dźwięku nie dla wszystkich częstotliwości jest jednak takie samo. Dla potrzeb oceny dźwięków z punktu widzenia człowieka wprowadzono subiektywną skalę poziomu głośności. Jej jednostką jest fon. Dany dźwięk ma poziom głośności n fonów, jeśli jest odbierany jako tak samo głośny jak dźwięk o częstotliwości wzorcowej 1000 Hz i poziomie ciśnienia akustycznego n decybeli. Doświadczalnie otrzymano krzywe równego poziomu głośności, tzw. krzywe izofoniczne. Dźwięki leżące na tej samej krzywej są przez człowieka odbierane jako tak samo głośne. Na rys. 2.2 przedstawiono krzywe równego poziomu głośności na podstawie międzynarodowej normy ISO 226:1987 [2].



Rys. 2.2. Krzywe równego poziomu głośności [2]

Analizując krzywe izofoniczne można stwierdzić, że dla dźwięków o częstotliwościach niskich i bardzo wysokich subiektywna ocena dźwięku różni się (nierzaz znacznie) od pomiaru poziomu ciśnienia akustycznego. W celu zwiększenia korelacji pomiędzy obiektywnymi wynikami pomiarów a subiektywnymi odczuciami stosuje się w przyrządach pomiarowych znormalizowane w skali międzynarodowej charakterystyki korekcyjne A, B, C i D. W pewnym stopniu odwzorowują one krzywe równego poziomu głośności (patrz rys. 2.3).



Rys. 2.3. Charakterystyki korekcyjne [1]

Poziom ciśnienia akustycznego skorygowany za pomocą krzywej A przyjęto nazywać poziomem dźwięku A (L_A) podawanym w decybelach lub decybelach A (dBA, dB(A)). W przypadku pozostałych krzywych nazewnictwo jest analogiczne. Pierwotnie zakładano, że charakterystyk korekcyjnych należy używać dla określonych zakresów poziomu ciśnienia akustycznego. Krzywa A miała być używana w zakresie 0-55 dB, B 55-85dB, C powyżej 85 dB, D dla dźwięków impulsowych. Obecnie jednak przyjmuje się, że charakterystyki te są umowne i stosuje się je niezależnie od podanych zakresów. W praktyce najczęściej stosowane są krzywe korekcyjne A i C.

2.2. HAŁAS

Zgodnie z definicją hałasem nazywamy każdy dźwięk niepożądany lub szkodliwy dla człowieka głównie ze względu na jego natężenie, częstość i czas działania. Może on wywoływać negatywne skutki w sferze fizycznej i psychofizycznej człowieka [3].

2.2.1. Wpływ hałasu na narząd słuchu

Długotrwałe oddziaływanie hałasu na narząd słuchu powoduje zmiany patologiczne dotyczące głównie procesu odbioru fal dźwiękowych. Skutkują one powstawaniem nieodwracalnych ubytków słuchu. Komórki rzęsaty - główne receptory dźwięku - zachowują swoją funkcjonalność tylko wtedy, gdy pobudzający je bodziec nie przekracza dopuszczalnego zakresu pod względem jakości, natężenia i czasu działania. Bodźce o dużym natężeniu, działające nieprzerwanie przez dłuższy czas powodują zmęczenie, a nawet całkowite zahamowanie aktywności komórek rzęsatych, a w dalszej kolejności ich zanik. Powoduje to stopniową utratę słuchu.

Czas oddziaływania hałasu można podzielić na trzy okresy:

- 1) Zaczyna się z chwilą przebywania w hałasie i trwa w zależności od natężenia hałasu od 2 do 4 lat. Występuje wtedy pewien ubytek słuchu szczególnie dla wysokich częstotliwości 4000-6000 Hz. Ubytek ten następuje skokowo.
- 2) Obejmuje przebywanie w hałasie od 4 do 10 lat. Cechuje go dalszy ubytek słuchu, który jest proporcjonalny do czasu ekspozycji na hałas.
- 3) Występuje po 10 do 15 lat przebywania w hałasie. W tym okresie następuje stabilizacja ubytku słuchu.

W tablicy 2.1 na podstawie normy ISO 1999:1975 [4] podano ryzyko utraty słuchu w procentach w odniesieniu do równoważnego poziomu dźwięku A i czasu ekspozycji.

Ucho ludzkie narażone na ekspozycję na wysoki poziom hałasu może doznać ostrego lub przewlekłego urazu akustycznego. Ostry uraz akustyczny powodują dźwięki o charakterze impulsowym odznaczające się tak szybkim narasta-

niem ciśnienia akustycznego, że mechanizmy obronne narządu słuchu, z powodu swojej bezwładności, nie zmniejszają skuteczności przenoszenia energii do ucha wewnętrznego. To z kolei powoduje znaczne i szybkie przeciążenie słuchu. Hałasem impulsowym są m.in. wybuchy, detonacje, dźwięki wydawane przez silniki rakietowe. Przewlekły uraz akustyczny, nazywany także głuchotą zawodową, jest powodowany wieloletnim działaniem hałasu.

Tablica 2.1. Ryzyko utraty słuchu w procentach w zależności od równoważnego poziomu dźwięku A i czasu ekspozycji [4]

Równoważny poziom dźwię- ku A [dB]	Ryzyko utraty słuchu [%]							
	Ekspozycja [lata]							
	5	10	15	20	25	30	35	40
80	0	0	0	0	0	0	0	0
85	1	3	5	6	7	8	9	10
90	4	10	14	16	16	18	20	21
95	7	17	24	28	29	31	32	29
100	12	29	37	42	43	44	44	41
105	18	42	53	58	60	62	61	54
110	26	55	71	78	78	77	72	62
115	36	71	83	87	84	81	25	64

2.2.2. Pozasłuchowe skutki działania hałasu

Pozasłuchowe skutki działania hałasu są wynikiem powiązań drogi słuchowej z innymi układami organizmu. Bodźce słuchowe wpływają na układ krążenia, układ oddechowy, przewód pokarmowy i inne narządy. Wykazano, że dla poziomu ciśnienia akustycznego powyżej 75 dB występują wyraźne reakcje vegetatywne organizmu. Sygnały akustyczne powodują także odruchy motoryczne jak np. skurcze mięśni szyi, głowy, oczu. Osoby narażone na ciągłe działanie hałasu cierpią na bóle i zawroty głowy, bezsenność, brak łaknienia. Występują u nich zaburzenia wzroku, węchu i słuchu. Z badań przeprowadzonych dla Światowej Organizacji Zdrowia w roku 2004 wynika, że stałe przebywanie w silnie dokuczliwym hałasie skutkuje zwiększoną podatnością na choroby układu sercowo-naczyniowego, oddechowego, mięśniowo-szkieletowego oraz choroby sfery psychicznej. Są to m.in. migrena, depresja, nadciśnienie, zapalenie oskrzeli, udar mózgu [5]. Hałas wpływa również ujemnie na zdolność percepcji mowy.

Hałas w czasie pracy wpływa na jakość i wydajność jej wykonywania. Zaburza możliwość skoncentrowania uwagi. Z powodu hałasu następuje stopniowa utrata energii, narasta zmęczenie i spada zdolność do pracy. Hałas utrudnia wykonywanie prac precyzyjnych i koncepcyjnych wymagających złożonych procesów myślowych. Przedłuża czas reakcji, a zwłaszcza czas wyboru decyzji. Utrudnia wykonywanie prac związanych z obserwacją, percepcją i analizą informacji. Utrudnione są prace, których celem jest sterowanie i sygnalizacja [1].

2.3. REGULACJE PRAWNE

2.3.1. Podstawowe wielkości charakteryzujące narażenie na hałas

Niepożądane skutki działania hałasu na narząd słuchu są proporcjonalne do całkowitej pochłoniętej energii. Zależy ona od kwadratu ciśnienia akustycznego i czasu ekspozycji. Zależność ta jest podstawą tzw. zasady równej (równoważnej) energii. Zgodnie z nią zwiększenie jednego z parametrów ekspozycji na hałas (poziomu dźwięku lub czasu trwania) i zmniejszenie drugiego, przy zachowaniu równej energii, skutkuje takim samym wpływem na narząd słuchu. Jeśli więc ludzkie ucho toleruje poziom dźwięku A równy 85 dB w ciągu 8 godzin, to może też tolerować dźwięk niosący dwukrotnie większą energię w czasie dwukrotnie krótszym, czyli 88² dB przez 4 godziny [6].

Z zasadą równej energii wiąże się jedna z podstawowych wielkości stosowanych przy ocenie narażenia na hałas – równoważny poziom dźwięku A ($L_{Aeq,T}$) liczony w dB. Definiowany jest jako taki poziom dźwięku A hałasu o stałym poziomie, z którym w jednakowym przedziale czasu T związana jest taka sama ilość energii akustycznej jak w przypadku analizowanego hałasu o zmiennym poziomie dźwięku A. Wyznacza się go ze wzoru [7, 8]:

$$10 \log \frac{2 \cdot p^2}{p_0^2} = 10 \log \frac{p^2}{p_0^2} + 10 \log 2 \approx 10 \log \frac{p^2}{p_0^2} + 3 \text{ dB}$$

$$L_{Aeq,T_e} = 10 \log \left[\frac{1}{T_e} \int_0^{T_e} \left(\frac{p_A(t)}{p_0} \right)^2 dt \right], \quad (2.2)$$

gdzie:

T_e – czas ekspozycji na hałas [s],

$p_A(t)$ – wartość chwilowa ciśnienia akustycznego skorygowana według charakterystyki korekcyjnej A [Pa].

Uwzględniając zależność poziomu dźwięku od kwadratu ciśnienia akustycznego opisaną wzorem (2.1), wzór (2.2) można zapisać następująco [9]:

$$L_{Aeq,T_e} = 10 \log \left[\frac{1}{T_e} \int_0^{T_e} 10^{0,1L_A(t)} dt \right]. \quad (2.3)$$

Przy określaniu dopuszczalnych wartości wielkości opisujących hałas na stanowiskach pracy stosuje się równoważny poziom dźwięku A przeliczony na znormalizowany dzienny lub tygodniowy wymiar czasu pracy. Nazywa się je odpowiednio poziomem ekspozycji na hałas odniesionym do 8-godzinne go dnia pracy ($L_{EX, 8h}$) lub tygodnia pracy ($L_{EX, w}$) i podaje w decybelach. Oblicza się je za pomocą następujących wzorów [7,8]:

$$L_{EX,8h} = L_{Aeq,T_e} + 10 \log \left[\frac{T_e}{T_0} \right], \quad (2.4)$$

$$L_{EX,w} = 10 \log \left[\frac{1}{5} \sum_{i=1}^n 10^{0,1L_{EX,8h_i}} \right], \quad (2.5)$$

gdzie:

T_0 – czas odniesienia (8h = 480 min = 28 800 s),

$L_{EX, 8hi}$ – poziom ekspozycji na hałas w i-tym dniu roboczym w rozważanym tygodniu pracy [dB],

n – liczba dni roboczych w rozważanym tygodniu pracy.

Równolegle do poziomu ekspozycji na hałas odniesionego do 8-godzinne go dnia pracy i tygodnia pracy stosuje się wielkość nazywaną dzienną lub tygodniową ekspozycją na hałas ($E_{A,8h}$ oraz $E_{A,w}$) wyrażoną w $\text{Pa}^2 \cdot \text{s}$. Ekspozycja na ha-

łas (E_{A,T_e}) określa dawkę energii związaną z danym hałasem. Opisuje ją następujący wzór [7,8]:

$$E_{A,T_e} = \int_0^{T_e} p_A^2(t) dt, \quad (2.6)$$

Dzienną ekspozycję na hałas wyznacza się dla czasu ekspozycji w ciągu dnia roboczego (8h). Z kolei tygodniową ekspozycję na hałas można wyliczyć ze wzoru [7,8]:

$$E_{A,w} = \sum_{i=1}^n (E_{A,T_e})_i, \quad (2.7)$$

Pomiędzy ekspozycją na hałas, a poziomem ekspozycji istnieje związek [7,8]:

$$E_{A,T_e} = 1,15 \cdot 10^{-5} \cdot 10^{0,1 L_{EX,sh}}, \quad (2.8)$$

Z tego względu, że obie wielkości są od siebie zależne, przy podawaniu wartości dopuszczalnych ekspozycja na hałas jest czasami pomijana.

Zgodnie z definicją poziomu dźwięku A (2.1), równoważnego poziomu dźwięku A (2.2) i ekspozycji (2.6) można zapisać następujące zależności [7,8]:

$$L_{Aeq,T_e} = 10 \log \left[\frac{E_{A,T_e}}{T_e p_o^2} \right], \quad (2.9)$$

$$E_{A,T_e} = p_o^2 \int_0^{T_e} 10^{0,1 L_A(t)} dt, \quad (2.10)$$

Przy ocenie hałasów krótkotrwałych lub impulsowych stosuje się maksymalny poziom dźwięku A (L_{Amax}) oraz szczytowy poziom dźwięku C (L_{Cpeak}). Maksymalny poziom dźwięku A jest maksymalną wartością skuteczną poziomu dźwięku A. Szczytowy poziom dźwięku C jest maksymalną wartością chwilową poziomu dźwięku C.

2.3.2. Wartości dopuszczalne

Wartości najwyższych dopuszczalnych natężeń (NDN) hałasu ze względu na ochronę słuchu w środowisku pracy są określone w Rozporządzeniu Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 29 listopada 2002 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy z późniejszymi zmianami [10]. Wartości te podano w tablicy 2.2.

Tablica 2.2. Wartości najwyższych dopuszczalnych natężeń hałasu w środowisku pracy [10]

Wielkości charakteryzujące hałas	Wartości dopuszczalne
Poziom ekspozycji na hałas odniesiony do 8-godzinnego dnia pracy ($L_{EX, 8h}$) / tygodnia pracy ($L_{EX, w}$) [dB]	85
Ekspozycja dzienna ($E_{A, 8h}$) [$\text{Pa}^2 \cdot \text{s}$]	$3,64 \cdot 10^3$
Ekspozycja tygodniowa ($E_{A, w}$) [$\text{Pa}^2 \cdot \text{s}$]	$18,20 \cdot 10^3$
Maksymalny poziom dźwięku A (L_{Amax}) [dB]	115
Szczytowy poziom dźwięku C (L_{Cpeak}) [dB]	135

Dla kobiet ciężarnych i osób młodocianych ustala się niższe najwyższe dopuszczalne natężenia hałasu. Są one określone w rozporządzeniach Rady Ministrów w sprawie wykazu prac wzbronionych tym grupom pracowników [11,12] (tab. 2.3).

Tablica 2.3. Wartości najwyższych dopuszczalnych natężeń hałasu w środowisku pracy dla kobiet ciężarnych i osób młodocianych [11,12]

Wielkości charakteryzujące hałas	Wartości dopuszczalne	
	kobiety ciężarne	osoby młodociane
Poziom ekspozycji na hałas odniesiony do 8-godzinnego dnia pracy ($L_{EX, 8h}$) / tygodnia pracy ($L_{EX, w}$) [dB]	65	80
Maksymalny poziom dźwięku A (L_{Amax}) [dB]	110	110
Szczytowy poziom dźwięku C (L_{Cpeak}) [dB]	130	130

Dopuszczalne wartości równoważnego poziomu dźwięku A umożliwiające realizację podstawowych zadań przez pracownika na danym stanowisku pracy określa Polska Norma PN-N-01307:1994 [8]. Służą one jako ocena dodatkowa. Przy

ich stosowaniu nie bierze się pod uwagę efektywnego czasu pracy w hałasie (tab. 2.4).

Tablica 2.4. Wartości dopuszczalne hałasu ze względu na możliwość realizacji przez pracownika jego podstawowych zadań [8]

Lokalizacja miejsca pracy	Równoważny poziom dźwięku A (L_{Aeq, T_e}) [dB]
Kabiny bezpośredniego sterowania bez łączności telefonicznej, laboratoria ze źródłami hałasu, pomieszczenia z maszynami i urządzeniami liczącymi, maszynami do pisania, dalekopisami i inne pomieszczenia o podobnym przeznaczeniu.	75
Kabiny dyspozytorskie, obserwacyjne i zdalnego sterowania z łącznością telefoniczną używaną w procesie sterowania, pomieszczenia do wykonywania prac precyzyjnych i inne pomieszczeniach o podobnym przeznaczeniu.	65
Pomieszczenia administracyjne, biura projektowe, do prac teoretycznych, opracowywania danych i inne o podobnym przeznaczeniu.	55

Rozdział 3. URZĄDZENIE

W wyniku realizacji niniejszej pracy powstało urządzenie pozwalające na pomiar poziomu dźwięku A. Takie urządzenie nazywa się sonometrem. Składa się ono z dwóch modułów: części analogowej odpowiedzialnej za pomiar poziomu dźwięku A oraz części cyfrowej odpowiedzialnej za przetworzenie sygnału analogowego na cyfrowy i przesyłanie go za pomocą sieci bezprzewodowej do serwera.

3.1. CZĘŚĆ ANALOGOWA

Moduł analogowy urządzenia został zaadaptowany z pracy inżynierskiej *Sonometr do pomiarów hałasu w szkołach* [13]. Autorka wyznaczyła równanie kalibracyjne oraz błąd urządzenia różny dla różnych przedziałów częstotliwości dźwięku badanego, jednak nie większy niż ± 6 dB. Wyjściem tego układu jest napięcie proporcjonalne do mierzonego poziomu dźwięku A. Przed użyciem poddano je testom.

3.1.1. Sprawdzenie poprawności pomiarów

Pierwszym testem było sprawdzenie poprawności działania po dłuższym okresie czasu, w którym układ nie był używany. Przeprowadzono serię pomiarów podobną do tej przeprowadzonej przez autorkę urządzenia. Mierzono napięcie na wyjściu układu dla dźwięków w postaci sinusoidy o różnym poziomie i częstotliwości. Wyniki pomiarów porównano z tymi, które były zamieszczone w pracy [13] poprzez obliczenie błędu względnego w procentach zgodnie z zależnością:

$$\Delta = \frac{|u_1 - u_2|}{u_1} \cdot 100\%, \quad (3.1)$$

gdzie:

Δ – błąd względny [%],

U_1 – odpowiedni pomiar napięcia w pracy [13] [V],

U_2 – odpowiedni pomiar napięcia wykonany obecnie [V].

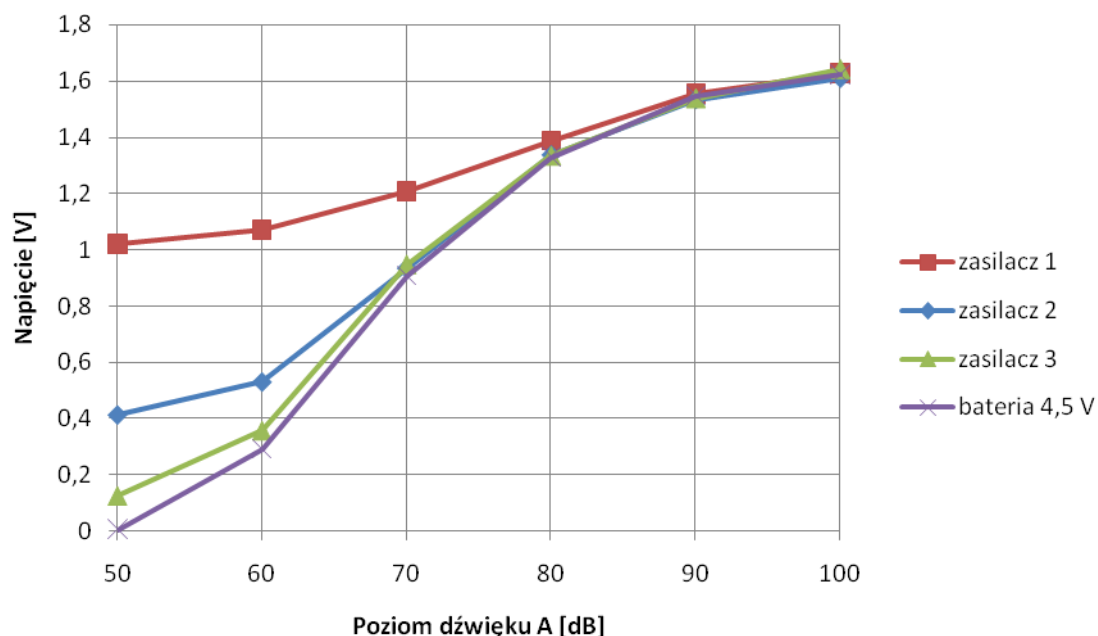
Wielkość błędu względnego dla różnych poziomów i częstotliwości dźwięku zamieszczono w tablicy 3.1. Maksymalny błąd względny wyniósł ok. 6,5%. Pozwala to wnioskować o poprawności pomiarów.

Tab. 3.1. Błąd względny urządzenia dla różnych poziomów i częstotliwości dźwięku

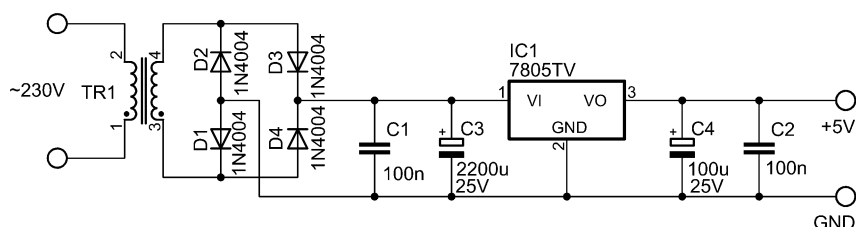
Poziom dźwięku A [dB]	Błąd względny [%]			
	100Hz	300Hz	1000Hz	3000Hz
60,0	0,4	2,3	0,1	1,0
70,0	3,2	2,2	1,7	5,1
80,0	2,8	0,4	0,9	6,5
90,0	1,2	0,1	0,6	2,5

3.1.2. Badanie wpływu rodzaju zasilania na wynik pomiaru poziomu dźwięku

Zauważono wpływ rodzaju zasilania na wyniki pomiarów. Zmierzono zatem poziom dźwięku dla sinusoidy o częstotliwości 1000 Hz przy zastosowaniu różnych zasilaczy. Wyniki przedstawiono na wykresie 3.1 i w tablicy B.2 w dodatku B. Zasilacz o numerze 1 jest to zasilacz używany w pracy *Sonometr do pomiarów hałasu w szkołach*. Zarówno zasilacz 1 jak i 2 są to zasilacze impulsowe służące do zasilania urządzeń elektronicznych codziennego użytku (komórka, mp4). Zauważono, że przy zastosowaniu baterii znacząco wzrasta czułość urządzenia szczególnie dla dźwięków o niskich poziomach. Biorąc pod uwagę fakt, że bateria nie wprowadza do układu zakłóceń, czego nie można powiedzieć o zasilaczach impulsowych postanowiono zbudować nowy zasilacz, który nie wprowadzałby do układu dużej liczby zakłóceń. Dobrym wyborem wydawał się być prosty układ zbudowany na bazie stabilizatora LM7805 [14]. Schemat ideowy układu został przedstawiony na rys. 3.2. Wyniki pomiarów są zbliżone do wyników przy zastosowaniu baterii (patrz zasilacz nr 3 na wykresie 3.1).



Rys. 3.1. Pomiar poziomu dźwięku dla różnych zasilaczy



Rys. 3.2. Schemat ideowy zbudowanego zasilacza (zasilacz 3 na rys. 3.1) [14]

3.2. CZĘŚĆ CYFROWA

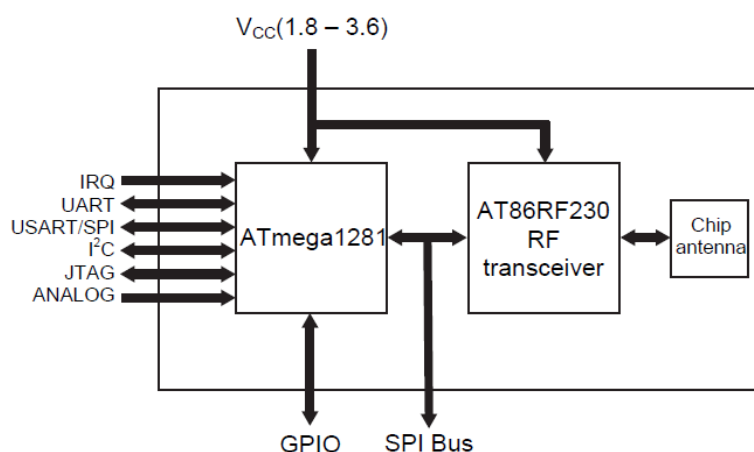
Zadaniem tej części urządzenia jest przetworzenie napięcia na wyjściu modułu analogowego na liczbę w postaci cyfrowej oraz komunikacja z serwerem. Działa on w oparciu o moduł komunikacji bezprzewodowej ATZB-24-A2 firmy Atmel.

3.2.1. Moduł komunikacyjny

Moduły ZigBit (o oznaczeniu ATZB-24-A2/B0) są kompatybilne ze standardem IEEE 802.15.4 oraz jego rozwinięciem standardem ZigBee [15]. ZigBee definiuje samoorganizujące się sieci bezprzewodowe o strukturze siatki

złożone z małych urządzeń radiowych o niskim poborze energii. Sieci te dobrze nadają się do m.in. bezprzewodowych urządzeń pomiarowych. Firma Atmel do swoich modułów oferuje bezpłatne oprogramowanie o nazwie BitCloud. Zawiera ono certyfikowane biblioteki najnowszej specyfikacji standardu ZigBee – ZigBee PRO. Umożliwia ono tworzenie własnych aplikacji przy użyciu zestawu funkcji w języku C, tzw. C API. Dodatkowo razem z pakietem BitCloud dostępna jest aplikacja SerialNet. Pozwala ona na programowanie i konfigurację modułów przy użyciu standardowych komend AT³. Dzięki temu zwalnia użytkownika z konieczności czasochłonnej budowy własnej aplikacji do komunikacji i obsługi modułu [16].

Zamknięcie w małej obudowie mikrokontrolera ATmega1281V oraz RF transceivera AT86RF230 razem z wszystkimi niezbędnymi elementami pasywnymi znacznie ułatwia ich użycie w projekcie. Moduły te działają w paśmie przemysłowych, naukowych i medycznych częstotliwości 2,4 GHz, które w większości krajów nie wymagają licencji. Dzięki wyposażeniu w fabrycznie wgrywany Bootloader możliwe jest ich programowanie poprzez port szeregowy. Schemat blokowy modułu został przedstawiony na rysunku 3.3.



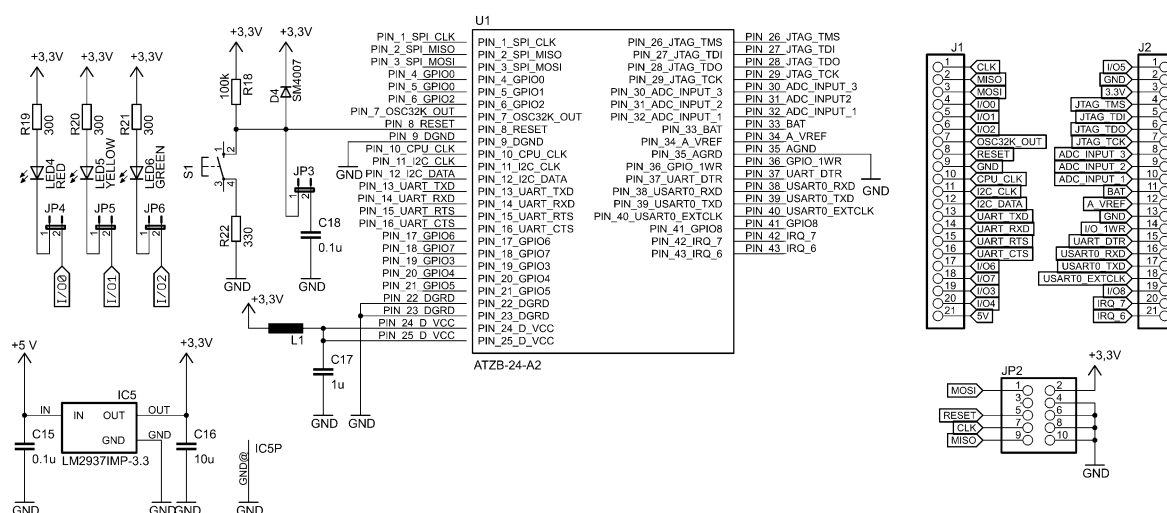
Rys. 3.3. Schemat blokowy modułu ATZB-24-A2 [15]

³ Komendy AT są to standardowe polecenia służące do konfiguracji modemów wprowadzone do użytku przez firmę Hayes Microcomputer Products w roku 1981.

3.2.2. Projekt płytki drukowanej

Kolejnym etapem budowy urządzenia było zaprojektowanie i wykonanie płytki drukowanej części cyfrowej kompatybilnej z częścią analogową. Do tego celu posłużono się darmowym programem EAGLE 6.5.0 Light Edition firmy CadSoft. Bezpłatna wersja programu pozwala na tworzenie schematów ideowych i montażowych płytek obwodów drukowanych maksymalnie na dwóch warstwach. Ograniczenia tej wersji programu obejmują również rozmiar płytki drukowanej. Może ona zajmować maksymalnie 100 x 80 mm. Poza tym oprogramowanie to może służyć wyłącznie do niekomercyjnych zastosowań. Pomimo tych ograniczeń program jest bardzo popularny i często stosowany do małych projektów. Z powodzeniem znalazł on także zastosowanie przy tworzeniu schematu części cyfrowej budowanego urządzenia.

Schemat ideowy układu został przedstawiony na rysunku 3.4.



Rys. 3.4. Schemat ideowy części cyfrowej urządzenia

Ze względu na fakt, że układ mikroprocesorowy będzie używany głównie do pomiaru napięcia, schemat płytki obwodu drukowanego ma bardzo prostą budowę. Za konwersję napięcia zasilania z 5 V na 3,3 V jest odpowiedzialny stabilizator LM2937IMP-3.3. Zapewnia on także ochronę przed odwrotnym podłączeniem biegunów, zwarcie i przegrzaniem. Maksymalne obciążenie dla tego modelu wynosi 400 mA. Dodatkowo na płytce zostały umieszczone elementy umożliwiające reset układu, filtrację napięcia zasilania oraz prostą sygnalizację za pomocą kolorowych diod. W celu zapewnienia możliwości wykorzystania układu do innych projektów,

wszystkie wyprowadzenia modułu ZigBit zostały połączone z wyprowadzeniami listew kołkowych. Mozaika ścieżek i rozmieszczenie elementów elektronicznych na płycie zostały przedstawione na rys. A.1 i A.2 w dodatku A.

3.2.3. Programowanie i konfiguracja modułu komunikacyjnego

Moduł ZigBit został zaprogramowany wsadem SerialNet znajdującym się w archiwum *BitCloud for ZigBit modules* dostępnym na stronie producenta⁴, w pliku *SerialNet_ZigBit_Rf230B.srec*. Oprogramowanie to jest dostarczane w postaci skompilowanego wsadu, który należy wgrać do modułu. Posługując się konwerterem USB/UART wgrano oprogramowanie poprzez interfejs UART modułu. W tym celu posłużono się także dedykowanym do tego celu programem Bootloader PC tool znajdującym się we wspomnianym archiwum. W tablicy 3.2 zamieszczono połączenie modułu z konwerterem w trakcie programowania. W tej konfiguracji część cyfrowa była zasilana przez konwerter (złącze 3.3V). Rozwiązanie to nie jest jednak obowiązkowe.

Tab. 3.2. Połączenie wyprowadzeń części cyfrowej i konwertera USB/UART

Konwerter	Wyprowadzenia płytki
TXD	UART_RXD
RXD	UART_TXD
GND	GND
3.3V	3.3V

Dla zapewnienia poprawności transmisji należało dostosować ustawienia portu szeregowego komputera do ustawień domyślnych modułu ZigBit (tab. 3.3) [17].

Tab. 3.3. Ustawienia komunikacji [17]

Liczba bitów na sekundę:	38400
Bity danych:	8
Parzystość:	brak
Bity stopu:	1
Sterowanie przepływem:	brak

⁴ <http://www.atmel.com/tools/bitcloud-zigbee-pro.aspx>. Z niewiadomych przyczyn w trakcie realizacji niniejszej pracy oprogramowanie przestało być dostępne na wspomnianej stronie.

Kolejnym krokiem była konfiguracja modułu przy użyciu komend AT. W tym celu użyto darmowego programu o nazwie RealTerm. Posłużył on jako terminal do komunikacji przez port szeregowy. Zestaw użytych poleceń oraz ich znaczenie został zamieszczony w tablicy 3.4.

Tablica 3.4. Zestaw komend użytych do konfiguracji modułu komunikacji bezprzewodowej

Komenda	Znaczenie
AT	Sprawdzenie komunikacji
ATX	Odpowiedzi urządzenia będą przesyłane do koordynatora
AT&F	Przywrócenie ustawień fabrycznych
AT+GSN=4	Ustawienie rozszerzonego adresu urządzenia
AT+WROLE=2	Ustawienie roli urządzenia (2 - urządzenie końcowe)
AT+WSRC=40	Przypisanie krótkiego adresu urządzenia
AT+WPANID=1620	Przypisanie rozszerzonego adresu sieci
AT+WCHMASK=100000	Ustawienie maski kanałów
AT+WPASSWORD 1234	Przypisanie hasła sieci
AT+WAUTONET=1	Uaktywnienie automatycznego dołączania do sieci

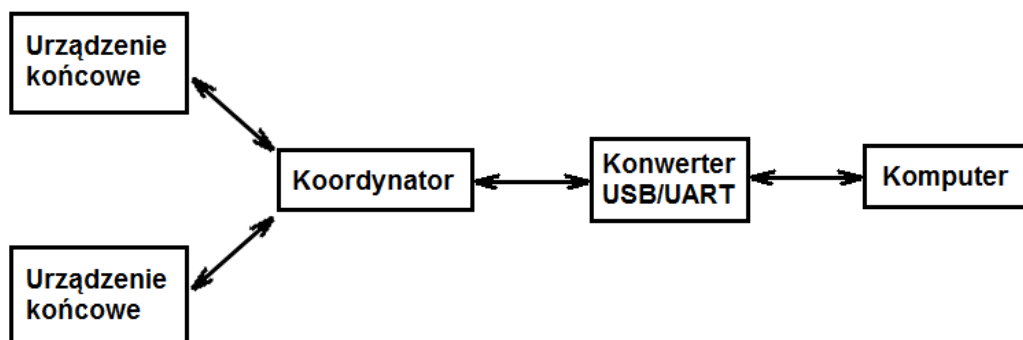
Każda komenda kończyła się znakiem powrotu karetki (CR = '\r' = 0xD). Poprawne wykonanie polecenia było sygnalizowane przez moduł poprzez wysłanie wiadomości zwrotnej „OK”. Przy konfiguracji modułu wzorowano się na przykładowych konfiguracjach w [16]. Zadbano także o to, żeby ustawienia były zgodne z tymi z pracy [18], co pozwoli później na utworzenie sieci bezprzewodowej z dodatkowymi modułami.

3.2.4. Budowa sieci

Do zbudowania sieci skorzystano z dwóch dodatkowych urządzeń z projektu inżynierskiego *Bezprzewodowy pomiar napięcia za pomocą transmisji ZigBee i układu ATZB-24* [18]. Jedno z nich pracuje jako koordynator, drugie pełni rolę urządzenia końcowego.

Koordynator to urządzenie odpowiedzialne za zainicjowanie i zarządzanie siecią w standardzie ZigBee. W sieci występuje zawsze tylko jedno urządzenie tego typu, do którego są podłączone urządzenia końcowe i routery.

Rutery pozwalają na dalsze rozgałęzianie sieci. Urządzenia końcowe nie pełnią dodatkowych funkcji przy tworzeniu połączeń. Ostatecznie sieć została zbudowana jak pokazano na rysunku 3.5.



Rys. 3.5. Struktura utworzonej sieci bezprzewodowej

Koordynator jest podłączony do komputera poprzez konwerter interfejsów. Dzięki temu możliwe jest wysyłanie komend z komputera zarówno do koordynatora, jak i do obu urządzeń końcowych. Jednym z urządzeń końcowych jest zbudowany sonometr.

3.3. URZĄDZENIE WYNIKOWE

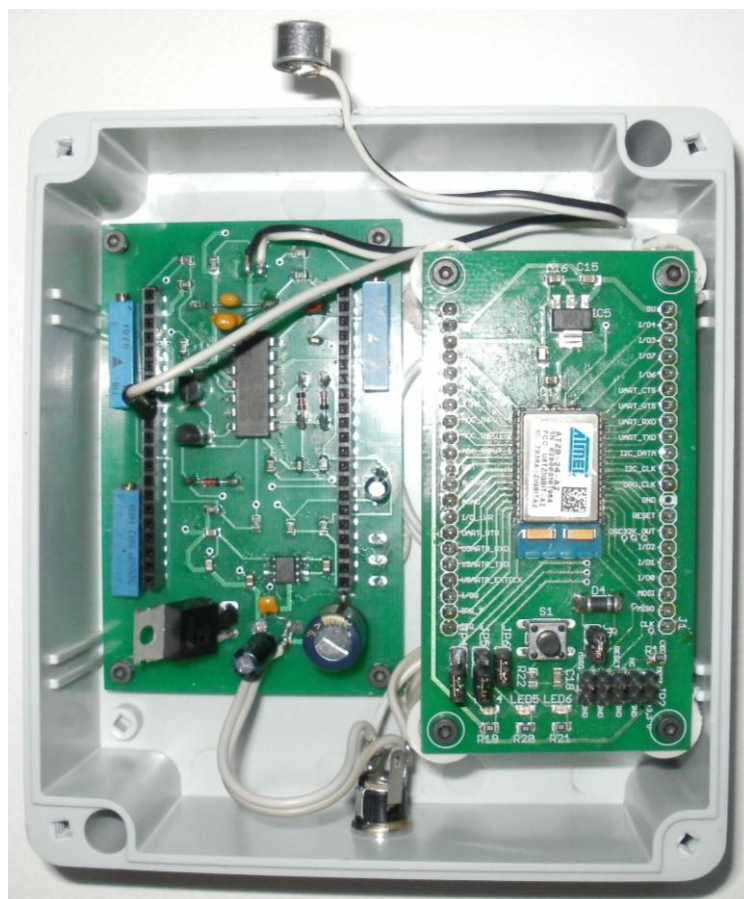
3.3.1. Połączenie

Ostatnim etapem budowy sonometru było połączenie części analogowej i cyfrowej oraz zamknięcie całości w obudowie z tworzywa sztucznego. Wygląd urządzenia przed zamontowaniem pokrywy został zaprezentowany na rys. 3.6, natomiast w tablicy 3.5 zebrano podstawowe parametry urządzenia.

Tab. 3.5. Parametry urządzenia

Napięcie zasilania	4,5 - 5	V
Pobór prądu	40	mA
Waga	265	g
Długość	125	mm
Szerokość	115	mm
Wysokość	58	mm
Zasięg	20	m

W pierwotnym zamyśle obie części urządzenia miały być połączone ze sobą za pomocą listew kołkowych. Takie połączenie powodowało jednak indukowanie się dużych zakłóceń, które w efekcie całkowicie uniemożliwiały pomiar. W związku z tym zasilanie obu części zostało rozdzielone jak najbliżej gniazda zasilania. Z kolei mierzone napięcie jest doprowadzone do przetwornika analogowo-cyfrowego za pomocą osobnego przewodu. Takie połączenie obu części urządzenia razem z kondensatorami filtrującymi napięcie zasilania pozwala na osiągnięcie stabilnego pomiaru.



Rys. 3.6. Wygląd urządzenia przed zamontowaniem pokrywy

3.3.2. Pomiary

W celu wykonania pomiaru należy wysłać do sonometru odpowiednią komendę powodującą odczytanie wartości napięcia na kanale pierwszym (oznaczonym jako ADC_INPUT_1) przetwornika analogowo-cyfrowego i przesłanie wyniku do

komputera. W komputerze program przelicza napięcie na właściwą wartość poziomu dźwięku A. Pomiary mogą być wykonywane, gdy urządzenie jest podłączone do komputera za pomocą przewodów lub poprzez połączenie bezprzewodowe. Oba wymienione sposoby połączenia warunkują budowę komendy pomiarowej której należy użyć.

W przypadku połączenia przewodowego należy użyć komendy „ATS100=02 S102?”, natomiast w przypadku połączenia bezprzewodowego stosuje się polecenie „ATR40,1234,S100=02 S102?”. Każda komenda rozpoczyna się literami „AT”. Następnie dla połączenia bezprzewodowego w komendzie pomiarowej występuje litera „R” i numer. Oznacza to, że dana komenda ma zostać wykonana zdalnie przez urządzenie posiadające krótki adres odpowiadający liczbie podanej za tą literą. Kolejna liczba, oddzielona przecinkami, to hasło ustawione w danej sieci. Na końcu następuje komenda, która ma zostać wykonana. Polecenie „S100=02” powoduje uruchomienie konwersji na kanale pierwszym przetwornika analogowo-cyfrowego. Polecenie „S102?” powoduje odczytanie wartości z kanału pierwszego przetwornika. Wynik wykonania komendy zdalnej jest przesyłany do urządzenia, które ją przysłało. To z kolei przesyła go do komputera, gdzie może być poddane dalszej obróbce.

Wartość odczytaną z przetwornika A/C można przeliczyć na napięcie za pomocą następującej zależności:

$$U = \frac{P}{256} U_{ref}, \quad (3.2)$$

gdzie:

U – zmierzone napięcie [V],

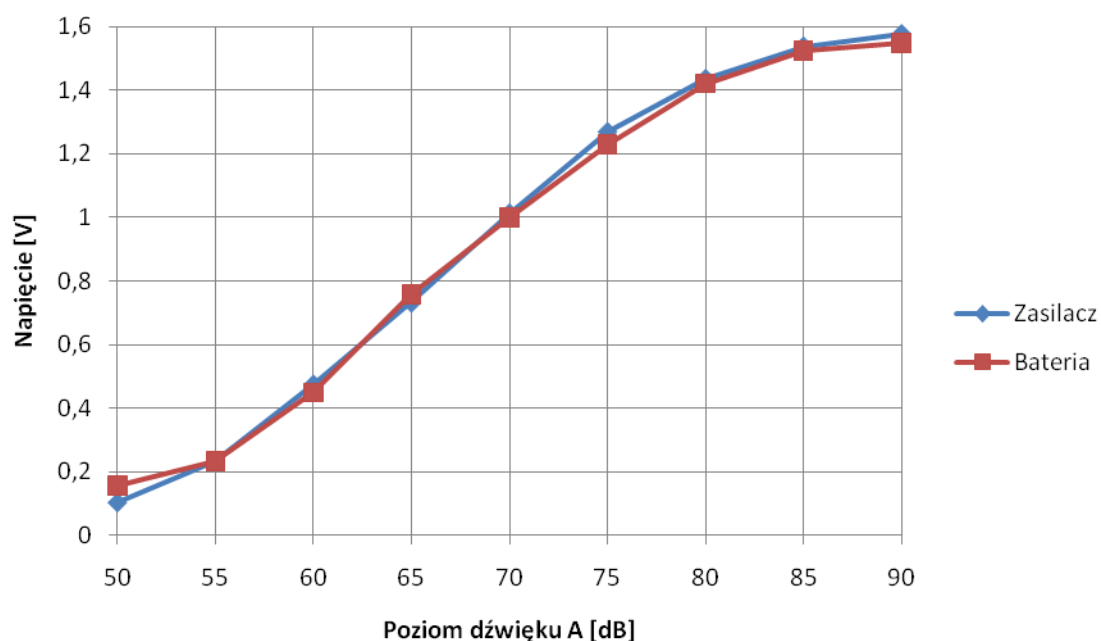
P – wartość zwrócona przez przetwornik analogowo-cyfrowy,

U_{ref} – napięcie referencyjne.

Napięcie referencyjne jest równe napięciu zasilania modułu, czyli 3,28 V.

3.3.3. Kalibracja

Urządzenie po złożeniu wymaga kalibracji. Na tym etapie przeprowadzono serię pomiarów dźwięku o poziomach dźwięku A z zakresu 50 – 90 dB. Dźwiękiem był biały szum odtwarzany z głośnika. Jako urządzenie wzorcowe posłużył sonometr Voltcraft SL-100 zapewniający dokładność pomiaru na poziomie $\pm 2\%$ w zakresie 30 – 130 dB [19]. Pomiary wykonano dla zasilania bateryjnego i ze zbudowanego zasilacza. Wyniki przedstawiono na wykresie 3.7.



Rys. 3.7. Wyniki pomiarów dla zasilania bateryjnego i z zasilacza

Z wykresu można odczytać, że charakterystyki urządzenia dla obu sposobów zasilania niewiele się od siebie różnią. Mimo to dla obu przypadków wyznaczono osobne równania kalibracyjne. Równania kalibracyjne urządzenia powstały w wyniku aproksymacji danych pomiarowych wielomianem trzeciego rzędu. Dla zasilania przez zasilacz stabilizowany otrzymano równanie (3.3). W przypadku zasilania bateryjnego równanie kalibracyjne jest opisane wzorem (3.4).

$$L_A = 22,282 \cdot U^3 - 50,955 \cdot U^2 + 52,385 \cdot U + 45,088 \quad (3.3)$$

$$L_A = 26,434 \cdot U^3 - 62,741 \cdot U^2 + 63,2 \cdot U + 42,319 \quad (3.4)$$

Takie rozwiązanie pozwala na zmniejszenie maksymalnego błędu urządzenia. Wyniki aproksymacji danych pomiarowych dla obu przypadków zasilania zostały przedstawione na wykresach B.1 i B.2 w dodatku B. Wartości pomiarów oraz błędy aproksymacji zebrano w tabelicy 3.6.

Tab. 3.6. Wartości pomiarów poziomu dźwięku A oraz błędy aproksymacji dla dźwięku o strukturze białego szumu

Poziom dźwięku A [dB]	Zasilacz			Bateria		
	Napięcie [V]	Aproksymacja [dB]	Błąd [dB]	Napięcie [V]	Aproksymacja [dB]	Błąd [dB]
50,0	0,102	49,9	0,1	0,154	50,7	0,7
55,0	0,231	54,7	0,3	0,231	53,9	1,1
60,0	0,474	60,8	0,8	0,448	60,4	0,4
65,0	0,730	64,8	0,2	0,756	65,7	0,7
70,0	1,012	69,0	1,0	0,999	69,2	0,8
75,0	1,268	75,0	0,0	1,230	74,3	0,7
80,0	1,435	81,2	1,2	1,422	81,3	1,3
85,0	1,537	86,1	1,1	1,525	86,5	1,5
90,0	1,576	88,3	1,7	1,550	88,0	2,0

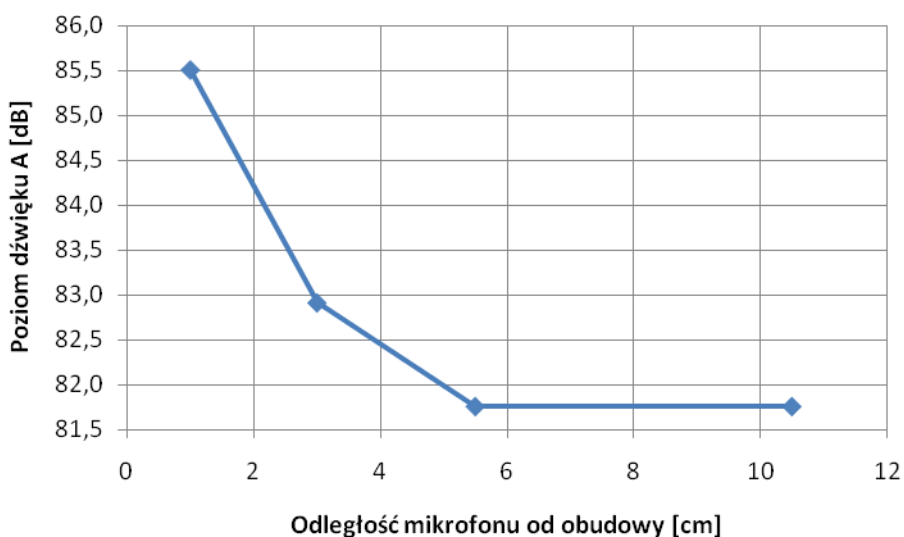
W celu dokładniejszego oszacowania błędu urządzenia przeprowadzono dodatkowo serię pomiarów maksymalnego poziomu dźwięku A dla dźwięków rzeczywistych. Wyniki zostały zebrane w tabelicy 3.7. Dla wszystkich wykonanych pomiarów maksymalny moduł błędu wyniósł ok. 4,2 dB. Przyjęto zatem dokładność urządzenia wynoszącą $\pm 4,2$ dB. Wartość ta pozwala na przybliżone oszacowanie poziomu hałasu.

Tab. 3.7. Wartości pomiarów poziomu dźwięku A oraz błędy aproksymacji dla dźwięków rzeczywistych

Źródło dźwięku	Maks. poziom dźwięku A [dB]	Zasilacz			Bateria		
		Napięcie [V]	Oszacowanie [dB]	Błąd [dB]	Napięcie [V]	Oszacowanie [dB]	Błąd [dB]
gitara	81,7	1,435	81,2	0,5	1,461	83,2	1,5
samochód	79,6	1,358	78,1	1,5	1,345	78,1	1,5
dzwonek telefonu	64,7	0,833	66,2	1,5	0,756	65,7	1,0
odkurzacz	83,8	1,538	86,2	2,4	1,486	84,4	0,6
mikser	73,8	1,063	70,0	3,8	1,025	69,6	4,2
piosenka	91,7	1,589	89,1	2,6	1,576	89,6	2,1

3.3.4. Analiza wpływu położenia mikrofonu na wynik pomiaru

W celu sprawdzenia czy położenie mikrofonu wpływa znacząco na wynik pomiaru przeprowadzono serię pomiarów dla różnych odległości mikrofonu od obudowy. Odtwarzano dźwięk o strukturze białego szumu i poziomie dźwięku A równym 80 dB. Wyniki zamieszczono na wykresie 3.8 oraz w tabelicy nr B.3 w dodatku B.



Rys. 3.8. Wpływ położenia mikrofonu na pomiar poziomu dźwięku

Można zauważyć, że dla mniejszych odległości mikrofonu od obudowy urządzenia wartość pomiaru jest mocno zawyżona. Prawdopodobnie jest to spowodowane odbijaniem dźwięku od obudowy. Dopiero, gdy mikrofon jest położony w odległości powyżej 5,5 cm od obudowy można uznać, że nie występuje już zakłócanie pomiaru przez obudowę urządzenia.

Rozdział 4. OPROGRAMOWANIE

4.1. ŚRODOWISKO PROGRAMISTYCZNE

Do wykonania programu pozwalającego na ciągły monitoring hałasu posłużono się środowiskiem LabVIEW 2011. LabVIEW (ang. Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) to graficzny język programowania używający do tworzenia programów ikon zamiast linii tekstu. Programy napisane w tym środowisku nazywa się wirtualnymi przyrządami (VI, z ang. virtual instrument) ponieważ ich wygląd i działanie często naśladują rzeczywiste przyrządy pomiarowe takie jak oscyloskopy i multimetry. LabVIEW zawiera ponadto szeroki zestaw narzędzi do akwizycji, analizy, wyświetlania i archiwizacji danych. Posiada także narzędzia ułatwiające usuwanie błędów z kodu budowanego programu [20].

Standardowo każdy program w LabVIEW składa się z panelu użytkownika (ang. front panel) i diagramu blokowego (ang. block diagram). Panel użytkownika jest zbudowany z kontrolek takich jak przyciski, pokrętła oraz wskaźników – wykresów, lampek, itp. Z kolei diagram blokowy zawiera kod programu pozwalający obsługiwać obiekty na panelu użytkownika.

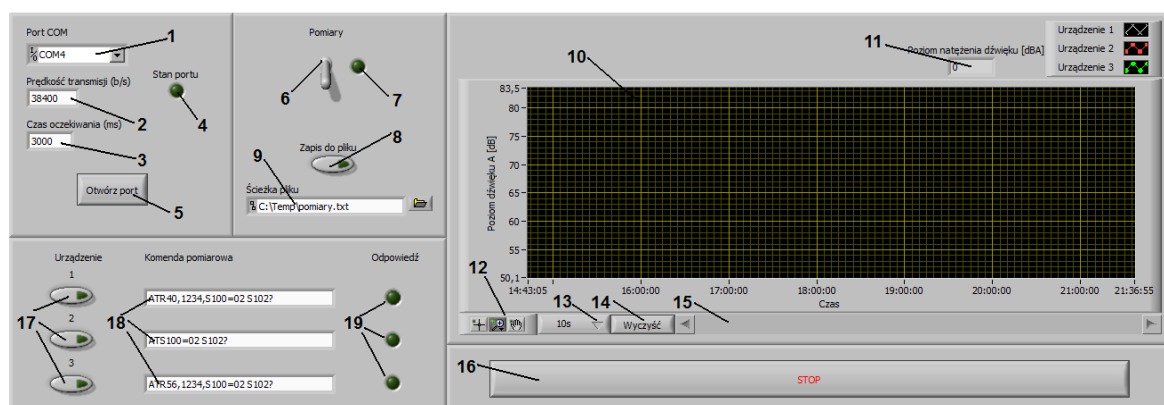
Dzięki bibliotekom wspomagającym obsługę szerokiej gamy standardów komunikacyjnych LabVIEW może współpracować z wieloma urządzeniami pomiarowymi, do akwizycji obrazu oraz sterowania. Możliwa jest komunikacja z urządzeniami m.in. takich standardów przemysłowych jak GPIB, RS232, RS485.

Dzięki szerokim możliwościom opisanego środowiska oraz względnej łatwości programowania zdecydowano się na napisanie aplikacji na serwer właśnie w tym środowisku.

4.2. DZIAŁANIE APLIKACJI

Pomiar odbywa się przez wysłanie odpowiedniej komendy przez port szeregowy do koordynatora. W zależności od jej treści zostanie ona wykonana przez jedno z trzech dostępnych urządzeń. Odpowiedź urządzenia zostaje wysłana z powrotem do koordynatora, a potem dalej przez port szeregowy do komputera. Podstawowym zadaniem aplikacji jest ekstrakcja z odpowiedzi urządzenia wartości odczytanej w przetworniku A/C, przeliczenie jej na wartość poziomu dźwięku A i wyświetlenie na wykresie.

Zanim jednak będzie można wykonać pomiar należy odpowiednio skonfigurować program. Pierwszym etapem konfiguracji jest wybranie odpowiedniego portu szeregowego, ustawienie prędkości transmisji i czasu oczekiwania (patrz rys. 4.1).



Rys. 4.1. Widok zakładki „Pomiary” w programie do akwizycji pomiarów

1 – wybór portu szeregowego, 2 – ustawienie prędkości transmisji, 3 – czas oczekiwania na odpowiedź, 4 – sygnalizacja stanu portu, 5 – zatwierdzenie konfiguracji i otwarcie portu, 6 – uruchomienie pomiarów, 7 – sygnalizacja akwizycji pomiarów, 8 – aktywacja zapisu do pliku, 9 – ustalenie ścieżki pliku, 10 – wykres danych pomiarowych, 11 – ostatni pomiar, 12 – narzędzia do przeglądania wykresu, 13 – ustalenie horyzontu czasowego wykresu, 14 – czyszczenie wykresu, 15 – pasek przewijania wykresu, 16 – zatrzymanie aplikacji, 17 – aktywacja pomiarów z danego urządzenia, 18 – wysyłana komenda, 19 – poprawność odpowiedzi urządzenia

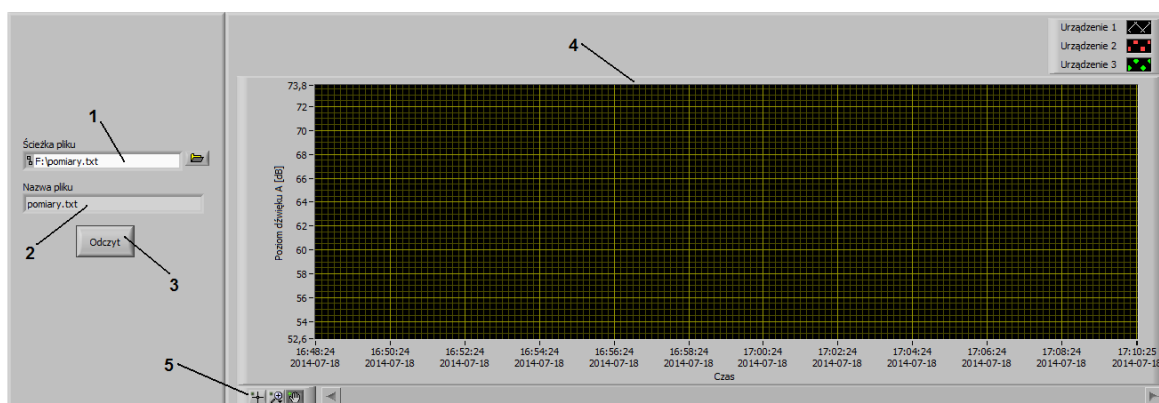
Należy wpisać domyślną prędkość transmisji modułów ZigBit podaną w tabeli 3.3. Ze względu na opóźnienia transmisji czas oczekiwania powinien wynosić co najmniej 1100 ms. Dla czasów krótszych mogą występować nieprawidłowe wartości pomiarów. Następnie należy nacisnąć przycisk „Otwórz port”. Jeśli wska-

zany port szeregowy nie będzie używany przez inny program i konfiguracja przebiegnie pomyślnie, otwarcie portu zostanie zasygnalizowane zapaleniem się zielonej diody „Stan portu”.

Kolejnym krokiem jest wybór urządzeń pomiarowych oraz wpisanie komendy AT powodującej pomiar na danym urządzeniu. Poprawność pomiarów jest sygnalizowana świeceniem zielonej diody pod napisem „Odpowiedź”.

Następnie można uruchomić pomiary za pomocą przełącznika 6. Pomiary mogą być zapisywane do pliku tekstowego o ścieżce na dysku podanej poniżej przełącznika 6. Wyniki pomiarów są wyświetlane na wykresie i wskaźniku 11. Poniżej wykresu dostępne są narzędzia pozwalające na przewijanie i zmianę horyzontu czasowego oraz przeglądanie i czyszczenie wykresu.

Zgromadzone dane mogą być przeglądane po otwarciu zakładki „Archiwum” (rys. 4.2). Po wybraniu ścieżki pliku i wciśnięciu klawisza „Odczyt” następuje wczytanie pomiarów archiwalnych i wyświetlenie ich na wykresie. Dzięki narzędziom umieszczonym pod wykresem możliwe jest przeglądanie wykresu.

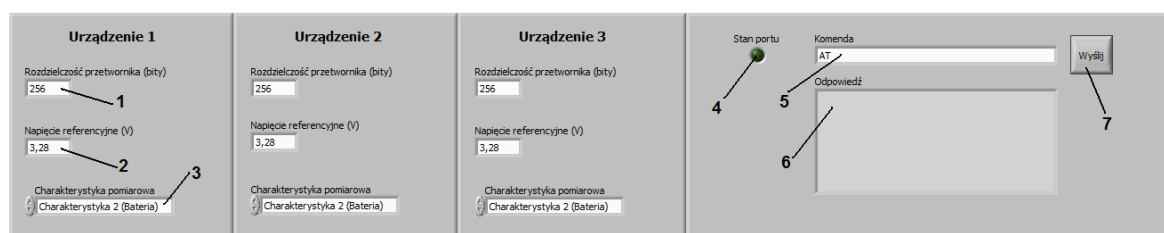


Rys. 4.2. Widok zakładki „Archiwum” w programie do akwizycji pomiarów

1 – ścieżka pliku z pomiarami, 2 – nazwa pliku, 3 – odczytanie pomiarów, 4 – wykres pomiarów, 5 – narzędzia do przeglądania wykresu

Zbudowana aplikacja pozwala także na konfigurację dostępnych urządzeń dzięki funkcji terminala na zakładce „Konfiguracja” (patrz rys. 4.3). Funkcja ta pozwala na wysyłanie dowolnej komendy do urządzenia znajdującego się aktualnie w sieci. Poza tym na tej zakładce możliwe jest ustawienie rozdzielczości przetwornika, napięcia zasilania i rodzaju charakterystyki pomiarowej dla podłączonych

sonometrów. Pozwala to na dostosowanie obliczeń poziomu dźwięku do niejednakowych urządzeń.



Rys. 4.3. Widok zakładki „Konfiguracja” w programie do akwizycji pomiarów

1 – rozdzielczość przetwornika A/C, 2 – wartość napięcia referencyjnego, 3 – wybór charakterystyki pomiarowej, 4 – sygnalizacja stanu portu szeregowego, 5 – komenda AT do wysłania, 6 – odpowiedź modułu, 7 – wysłanie komendy

Kod programu został zamieszczony w dodatku C na rysunkach C.1 i C.2.

Rozdział 5. BADANIA

5.1. PRZEDMIOT BADAŃ

Przedmiotem badań było wyznaczenie modelu opisującego poziom hałasu drogowego w pewnej określonej odległości od jezdni w zależności od liczby i rodzaju przejeżdżających pojazdów oraz zmierzonego poziomu dźwięku emitowanego przez środowisko (poziom tła). Przegląd niektórych modeli został przeprowadzony w pracy [21]. Modele te mogą być używane do sporządzania map hałasu szczególnie popularnych ze względu na zalecenia Unii Europejskiej zawarte w Dyrektywie 2002/49/WE odnoszącej się do oceny i zarządzania poziomem hałasu w środowisku [22]. Jako podstawę wiedzy na temat narażenia ludności na hałas przyjmuje ona właśnie mapy hałasu wyznaczone dla aglomeracji miejskich, głównych dróg, linii kolejowych i lotnisk.

5.2. WYZNACZENIE MODELU

Ilość hałasu wyemitowanego przez przejeżdżające pojazdy będzie opisana wielkością równoważnego poziomu dźwięku A. Zgodnie z definicją wielkość ta wyraża ilość energii związanej z danym hałasem wyemitowanym w czasie pomiaru. W celu jej obliczenia postanowiono wyznaczyć równoważny poziom dźwięku A odpowiadający przejazdowi jednego pojazdu oraz średni czas jego przejazdu. Ze względu na poziom emitowanego hałasu pojazdy podzielono na trzy klasy:

- samochód osobowy,
- motocykl,
- skuter.

Dla każdej z klas niezależnie wyznaczono obie wspomniane wielkości. Dodatkowo zmierzono równoważny poziom dźwięku tła akustycznego rozumiany jako

równoważny poziom dźwięku A emitowany przez środowisko pomiędzy przejazdami pojazdów. Na podstawie wzoru (2.3) wyznaczono następujący model:

$$L_{Aeq,T} = 10 \log \left\{ \frac{1}{T} \left[\sum_{i=1}^3 n_i t_i \cdot 10^{0.1 L_{Aeq,i}} + (T - \sum_{i=1}^3 n_i t_i) \cdot 10^{0.1 L_{Aeq,tla}} \right] \right\}, \quad (5.1)$$

gdzie:

$L_{Aeq,T}$ – równoważny poziom dźwięku A w czasie pomiaru T [dB],

T – czas trwania pomiaru [s],

n_i – liczba pojazdów danej klasy,

t_i – średni czas przejazdu pojazdu danej klasy [s],

$L_{Aeq,i}$ – równoważny poziom dźwięku A pojazdów w danej klasie [dB],

$L_{Aeq,tla}$ – równoważny poziom dźwięku A tła akustycznego [dB].

Przy wyznaczaniu modelu (5.1) poczyniono następujące założenia:

- pojazdy przejeżdżają pojedynczo, tzn. odstępy pomiędzy pojazdami są wystarczające, by nie występowało nakładanie się hałasu pochodzącego z więcej niż jednego pojazdu,
- całkowity czas pomiaru jest większy lub równy sumie średnich czasów przejazdów wszystkich pojazdów:

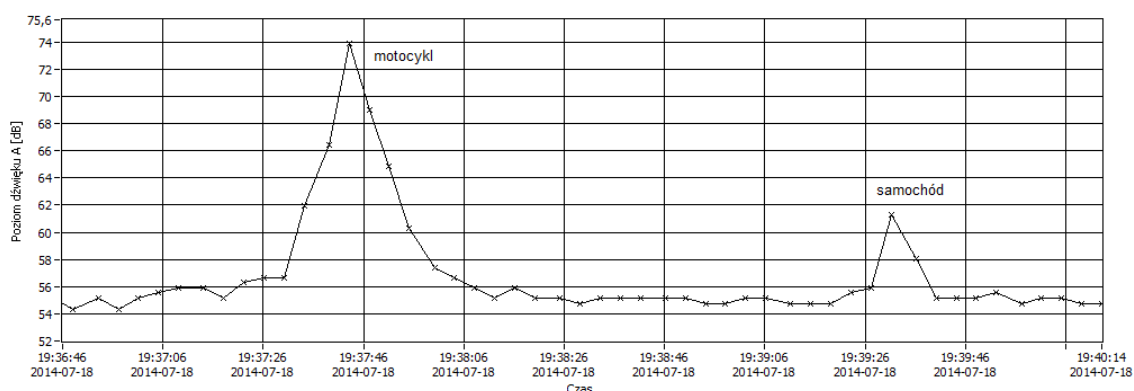
$$T \geq \sum_{i=1}^3 n_i t_i,$$

- równoważny poziom dźwięku dla tła akustycznego jest niższy niż najniższy równoważny poziom dźwięku emitowanego przez pojazdy (ruch drogowy jest głównym źródłem hałasu).

5.3. POMIARY I WYZNACZENIE POTRZEBNYCH WIELKOŚCI

Kolejnym krokiem było przeprowadzenie pomiarów w celu wyznaczenia potrzebnych wielkości. Należało wyznaczyć równoważny poziom dźwięku A opisujący hałas wyemitowany przez pojazd każdej z wyżej wymienionych klas oraz zmierzyć równoważny poziom dźwięku A tła akustycznego. W tym celu przeprowadzono ciągłą serię pomiarów trwającą ponad 6 godzin. Pomiary były wykonywane w odległości ok. 10 m od krawędzi jezdni na wysokości 0,5 m nad ziemią.

Na rys. 5.1 przedstawiono przykładowy zarejestrowany przejazd motocykla i samochodu osobowego.



Rys. 5.1. Wykres poziomu dźwięku A przy przejeździe motocykla i samochodu osobowego

Dla każdego pojazdu wyznaczono czas przejazdu oraz wartość ekspozycji na hałas (wzór 2.10). Wyniki zebrano w tablicy B.1 w dodatku B. W celu obliczenia średniej wartości równoważnego poziomu dźwięku A odpowiadającego przejazdowi pojazdu danej klasy, zsumowano wszystkie ekspozycje i czasy przejazdu w danej klasie i podstawiono do wzoru (2.9). Na koniec obliczono średni czas przejazdu pojazdu każdej z klas. Wyniki zebrano w tablicy 5.1.

Tab. 5.1. Wartości równoważnego poziomu dźwięku A i średniego czasu przejazdu dla pojazdów analizowanych klas

Wielkość	Samochód	Motocykl	Skuter
Równoważny poziom dźwięku A (L_{Aeq}) [dB]	60,2	65,4	57,6
Średni czas przejazdu (t) [s]	25,55	40,17	15,87

Równoważny poziom dźwięku A tła akustycznego wyznaczono na podstawie 5 minut pomiaru pomiędzy przejazdami pojazdów. Wyniósł on około 54,5 dB.

5.4. SPRAWDZENIE MODELU

W celu sprawdzenia poprawności modelu, dla kilku wybranych odcinków czasu zliczono liczbę i rodzaj pojazdów. Wyniki obliczeń równoważnego poziomu dźwięku A na podstawie modelu ($L_{Aeq,m}$) porównano z wynikami obliczeń na pod-

stawie pomiarów ($L_{Aeq,p}$) w danym przedziale czasu (tab. 5.2). Maksymalny moduł z błędu wyniósł 1,1 dB. Wartość ta jest możliwa do zaakceptowania. Można zatem stwierdzić, że model został wyznaczony poprawnie.

Tab. 5.2. Wyniki pomiarów i predykcji równoważnego poziomu dźwięku A

L. samochodów	L. motocykli	L. skuterów	Czas pomiaru [min]	$L_{Aeq,m}$ [dB]	$L_{Aeq,p}$ [dB]	Błąd [dB]
0	3	0	15,1	58,5	57,7	0,9
11	5	5	42,7	58,0	57,2	0,7
8	0	4	33,2	55,7	56,2	0,4
1	4	1	8,2	61,4	60,3	1,1
3	1	5	14,9	57,2	58,2	1,0
7	2	2	32,4	56,9	56,3	0,6
3	1	0	9,4	57,9	57,7	0,2
8	5	2	27,8	58,9	58,9	0,1

Na wartość błędu mają wpływ szczególnie takie czynniki, jak:

- każdy hałas pochodzący z innego źródła niż jezdnie, np. kosiarka, gra w piłkę, prace przy domu, każda inna aktywność człowieka,
- każdy hałas drogowy nieuwzględniony w modelu, np. rowerzyści, piesi, itp.,
- różne marki pojazdów w danej klasie,
- różne prędkości przejazdu pojazdów.

Rozdział 6. WNIOSKI Z PRACY

6.1. PODSUMOWANIE

Zapewnienie pracownikom odpowiedniej ochrony przed narażeniem na nadmierny hałas jest jednym z zadań pracodawcy. Dopuszczalne wartości poziomu dźwięku w Polsce są określone przez rządowe rozporządzenia oraz normy. W związku z tym konieczne jest wykonywanie pomiarów hałasu. Wiąże się z tym także potrzeba budowania urządzeń pomiarowych. Utworzone w ramach niniejszej pracy urządzenie wraz z programem komputerowym spełnia wszystkie postawione we wstępie założenia. Są to:

- ciągły monitoring hałasu,
- bezprzewodowa komunikacja z serwerem,
- obsługa wielu urządzeń pomiarowych,
- wizualizacja danych pomiarowych za pomocą wykresu,
- archiwizacja danych,
- przeglądanie danych archiwalnych.

Urządzenie zostało skalibrowane, a następnie wyznaczono jego dokładność. Wynosi ona $\pm 4,2$ dB. Działanie i możliwości urządzenia sprawdzono wykonując badania. W ich wyniku wyznaczono model pozwalający na predykcję równoważnego poziomu dźwięku A w pewnej odległości od drogi, w określonym przedziale czasowym, na podstawie jakościowej i ilościowej informacji o ruchu pojazdów. Maksymalny błąd bezwzględny predykcji na podstawie modelu wyniósł 1,1 dB.

W trakcie realizacji projektu napotkano również na pewne problemy. Jednym z nich była nieudana próba połączenia części analogowej z cyfrową bezpośrednio przez listwy J1 i J2. W tej konfiguracji wskazania urządzenia były podobne do sinusoidy o względnie dużej amplitudzie. Urządzenie nie było wtedy czułe na żadne dźwięki. Prawdopodobnie było to spowodowane okresowym przesyłaniem danych do serwera i konwersją na przetworniku A/C. Pociągało to za sobą zmiany poboru prądu przez moduł komunikacyjny oraz duże zakłócenia elektromagnetyczne w

obwodach części analogowej. Problem ten rozwiązano łącząc obie części urządzenia za pomocą przewodów. Pozwoliło to na oddalenie ich od siebie. Ponadto także zasilanie obu części zostało oddzielone w pobliżu gniazda zasilania. Dzięki temu zmniejszono ilość zakłóceń, na które była poddana część analogowa. Takie rozwiązanie pozwoliło uzyskać poprawne i stabilne pomiary.

Kolejną kwestią, którą należało rozwiązać były zmiany wskazań sonometru w dolnym zakresie poziomów dźwięku (50 – 70 dB) w zależności od rodzaju źródła zasilania. Mimo iż wszystkie zastosowane źródła zasilania dawały napięcie równe w przybliżeniu 5V (z wyjątkiem baterii – 4,5V) pomiar napięcia dla dźwięku o poziomie 50 dB wahał się w zakresie od 0,006 do 1,022 V. Prawdopodobnie było to spowodowane zakłóceniami indukowanymi przez zasilacze impulsowe. Bateria była pozbawiona tych zakłóceń. W związku z tym zaprojektowano i zmontowano prosty zasilacz stabilizowany. Wyniki pomiarów przy zastosowaniu zasilacza stabilizowanego były zbliżone do tych uzyskanych z użyciem baterii. Dzięki takiemu rozwiązaniu osiągnięto większą czułość urządzenia szczególnie widoczną dla dźwięków z zakresu 50 – 70 dB.

Sprawdzono także wpływ obudowy urządzenia na wynik pomiaru. W tym celu wykreślono zależność pomiaru poziomu dźwięku od oddalenia mikrofonu od obudowy. Na podstawie wyników doświadczenia wnioskuje się, że dopiero dla położenia mikrofonu w odległości powyżej 5,5 cm od obudowy jej wpływ na pomiar można pominąć.

Zbudowane urządzenie z powodzeniem nadaje się do ciągłego monitoringu hałasu drogowego (co zostało wykazane w trakcie badań), hałasu w pracy lub szkole. Napisane oprogramowanie pozwala na budowę wieloczuJNIKOWEGO systemu pomiarowego pozwalającego np. na identyfikowanie czasu i miejsca, w którym zostały przekroczone wartości dopuszczalne hałasu. Z tego względu, zdaniem autora, utworzony system może znaleźć zastosowanie w ośrodkach dydaktycznych, zakładach pracy lub jednostkach samorządu terytorialnego, jako pomoc w lepszym wypełnianiu ich zadań w dziedzinie ochrony ludności przed nadmiernym narażeniem na hałas.

6.2. MOŻLIWOŚCI ROZWOJU PROJEKTU

Możliwości urządzenia mogłyby zostać pomnożone, gdyby zastąpiono w module ATZB-24-A2 oprogramowanie SerialNet autorskim programem zbudowanym z użyciem funkcji C API stosu BitCloud. Pozwoliłoby to na wykorzystanie wszystkich możliwości mikrokontrolera ATmega1281V, jak choćby ustawienie w przetworniku wewnętrznego źródła zasilania. Skutkowałoby to zwiększeniem dokładności pomiarów.

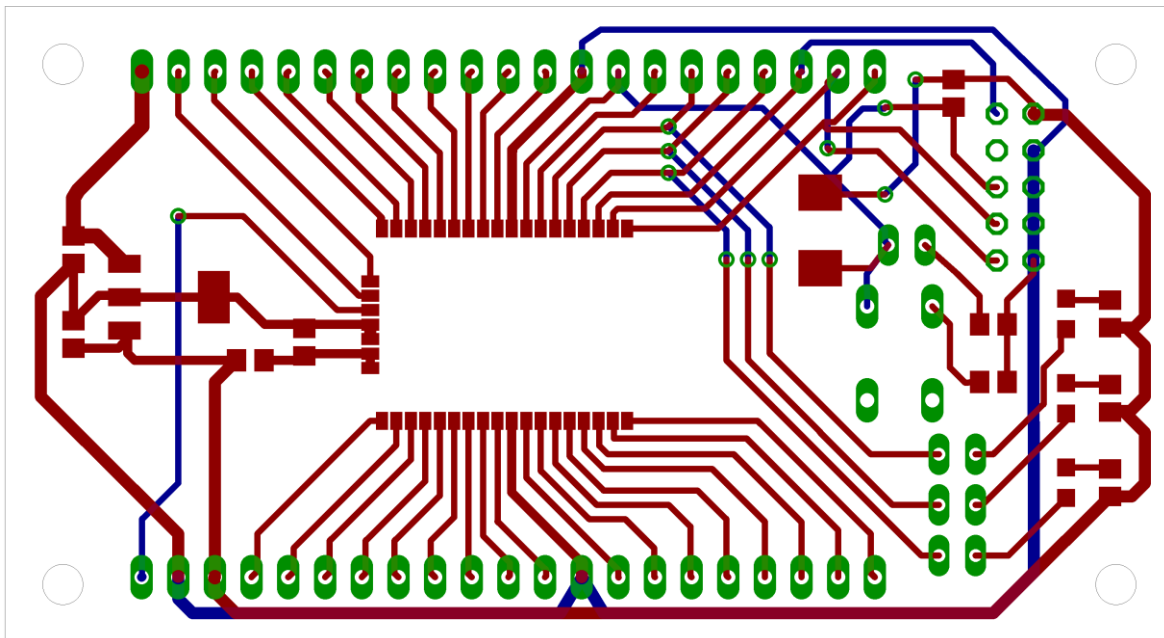
Kolejną rzeczą mogłoby być wprowadzenie do urządzenia wyświetlacza ciekłokrystalicznego. Dzięki temu możliwa byłaby obserwacja wyników pomiarów bez pośrednictwa komputera. W połączeniu z zasilaniem baterijnym urządzenie to niewiele różniłoby się od klasycznych sonometrów trzymanyh w dłoni.

BIBLIOGRAFIA

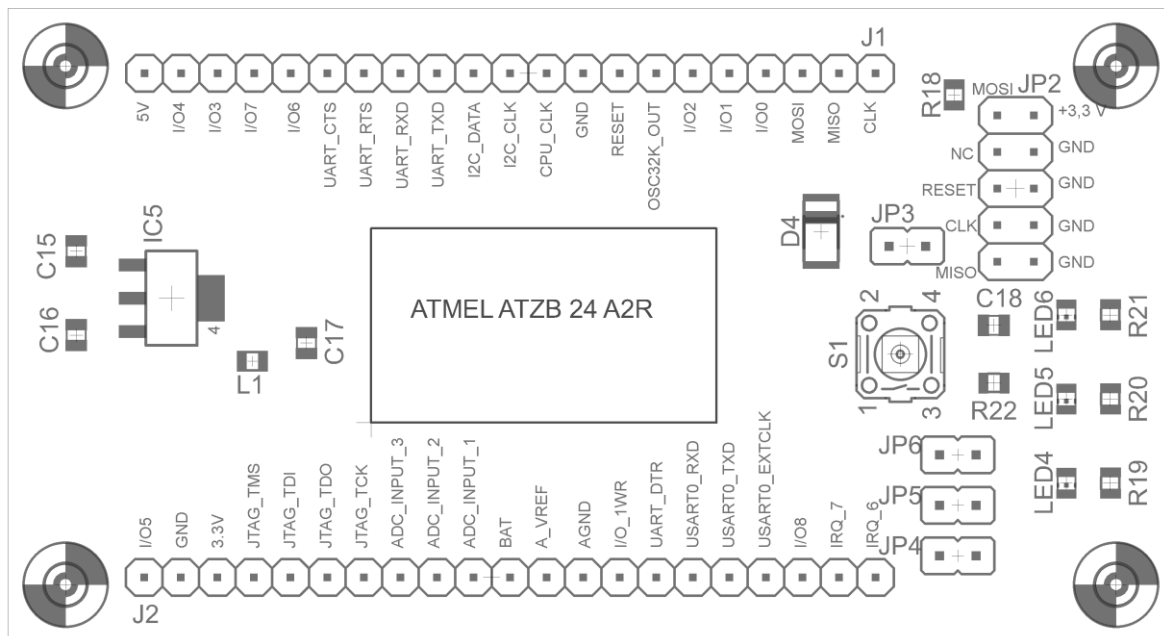
- [1] Z. Engel, *Ochrona Środowiska przed drganiami i hałasem*, Wyd. Nauk. PWN, Warszawa 2001.
- [2] ISO 226:1987, *Acoustics – Normal equal-loudness level contours*, International Committee for Standardization, Geneva 1999.
- [3] *Słownik encyklopedyczny. Fizyka*, praca zbiorowa pod red. R. Cacha, Wydawnictwo Europa, Wrocław 2001.
- [4] ISO 1999:1975, *Acoustics – Assessment of occupational noise exposure for hearing conservation purposes*, International Committee for Standardization, Geneva 1975.
- [5] World Health Organization, *WHO LARES. Final report. Noise effects and morbidity*, 2004.
- [6] *Minimalizowanie skutków uszkodzenia słuchu w miejscu pracy*, praca zbiorowa pod red. M. Pawlaczyk-Łuszczynskiej, Oficyna Wydawnicza Instytutu Medycyny Pracy im. prof. J. Nofera, Łódź 2010.
- [7] ISO 1999:1990, *Acoustics – Determination of occupational noise exposure and estimation of noise-induced hearing impairment*, International Committee for Standardization, Geneva 1999.
- [8] PN-N-01307:1994 *Hałas. Dopuszczalne wartości hałasu w środowisku pracy. Wymagania dotyczące przeprowadzania pomiarów*, Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 1994.
- [9] *Zanieczyszczenie środowiska hałasem w świetle badań WIOŚ w 1999 roku*, praca zbiorowa pod red. E. Żrałek, Główny Inspektorat Ochrony Środowiska, Warszawa 2000.
- [10] Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 29 listopada 2002 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (Dz. U. z 2002 r. nr 217, poz. 1833 z późn. zm.; Dz. U. z 2005 r. nr 212, poz. 1769; Dz. U. z 2007 r. Nr 161, poz. 1142; Dz. U. z 2009 r. nr 105, poz. 873; Dz. U. z 2010 r. nr 141, poz. 950).

- [11] Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 10 września 1996 r. w sprawie wykazu prac wzbronionych kobietom (Dz. U. z 1996 r. nr 114, poz. 545 z późn. zm.; Dz. U. z 2002 r. nr 127, poz. 1092).
- [12] Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 24 sierpnia 2004 r. w sprawie wykazu prac wzbronionych młodocianym i warunków ich zatrudniania przy niektórych z tych prac (Dz. U. z 2004 r. nr 200, poz. 2047 z późn. zm.; Dz. U. z 2005 r. nr 136, poz. 1145; Dz. U. z 2006 r. nr 107, poz. 724).
- [13] A. Banaszewska, *Sonometr do pomiarów hałasu w szkołach*, Gliwice 2012.
- [14] P. Górecki, Z. Orłowski, *Prosty zasilacz stabilizowany*, „Elektronika Dla Wszystkich” 1998, nr 2.
- [15] Atmel Corporation, *ZigBit 2.4GHz wireless modules. ATZB-24-A2/B0 data-sheet*, 2013.
- [16] Atmel Corporation, *Atmel AVR2051: Atmel BitCloud SerialNet User Guide*, 2012.
- [17] Atmel Corporation, *Atmel AVR2054: Serial Bootloader User Guide*, 2013.
- [18] A. Piernikarczyk, *Bezprzewodowy pomiar napięcia za pomocą transmisji ZigBee i układu ATZB-24*, Gliwice 2014.
- [19] Voltcraft, *Decybelomierz Voltcraft SL-100 / SL-200. Instrukcja obsługi*, 2008.
- [20] National Instruments Corporation, *LabVIEW. Getting Started with LabVIEW*, 2010.
- [21] C. Steele, *A critical review of some traffic noise prediction models*, “Applied Acoustics” 2001, nr 62.
- [22] Dyrektywa 2002/49/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 25 czerwca 2002 r. odnosząca się do oceny i zarządzania poziomem hałasu w środowisku (Dz. U. WE L 189 z 18.7.2002).
- [23] R. J. Kucharski, *Hałas drogowy*, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 1979.

DODATEK A. SCHEMATY ELEKTRYCZNE



Rys. A.1. Mozaika ścieżek na płycie drukowanej części cyfrowej sonometru



Rys. A.2. Rozmieszczenie elementów na płycie drukowanej części cyfrowej sonometru

DODATEK B. POMIARY I WYNIKI OBLICZEŃ

Tab. B.1. Wyniki pomiarów czasu przejazdu i obliczeń wartości ekspozycji na hałas spowodowanej przejazdem pojazdu

Samochody		Motocykle		Skutery	
t [s]	$E_{A,t} [\text{Pa}^2 \cdot \text{s}]$	t [s]	$E_{A,t} [\text{Pa}^2 \cdot \text{s}]$	t [s]	$E_{A,t} [\text{Pa}^2 \cdot \text{s}]$
16	0,0041	36	0,0403	17	0,0033
18	0,0052	37	0,0366	20	0,0031
21	0,0104	55	0,0841	12	0,0035
17	0,0064	50	0,0356	17	0,0063
24	0,0066	31	0,0114	13	0,0040
54	0,0196	33	0,0754	16	0,0036
32	0,0133	29	0,0210	17	0,0028
21	0,0046	28	0,0272	17	0,0040
21	0,0055	46	0,4132	13	0,0031
17	0,0052	37	0,0836	17	0,0038
29	0,0063	42	0,0242	17	0,0036
26	0,0149	50	0,0379	16	0,0033
17	0,0086	25	0,0203	17	0,0061
27	0,0369	37	0,0340	16	0,0027
29	0,0378	38	0,0441	13	0,0019
34	0,0195	38	0,0321		
42	0,0171	54	0,0498		
29	0,0157	42	0,0776		
25	0,0129	51	0,0193		
33	0,0183	59	0,0462		
46	0,0140	50	0,0364		
29	0,0169	50	0,0738		
29	0,0366	38	0,0251		
55	0,0492				
17	0,0066				
13	0,0039				
26	0,0102				
25	0,0064				
25	0,0078				

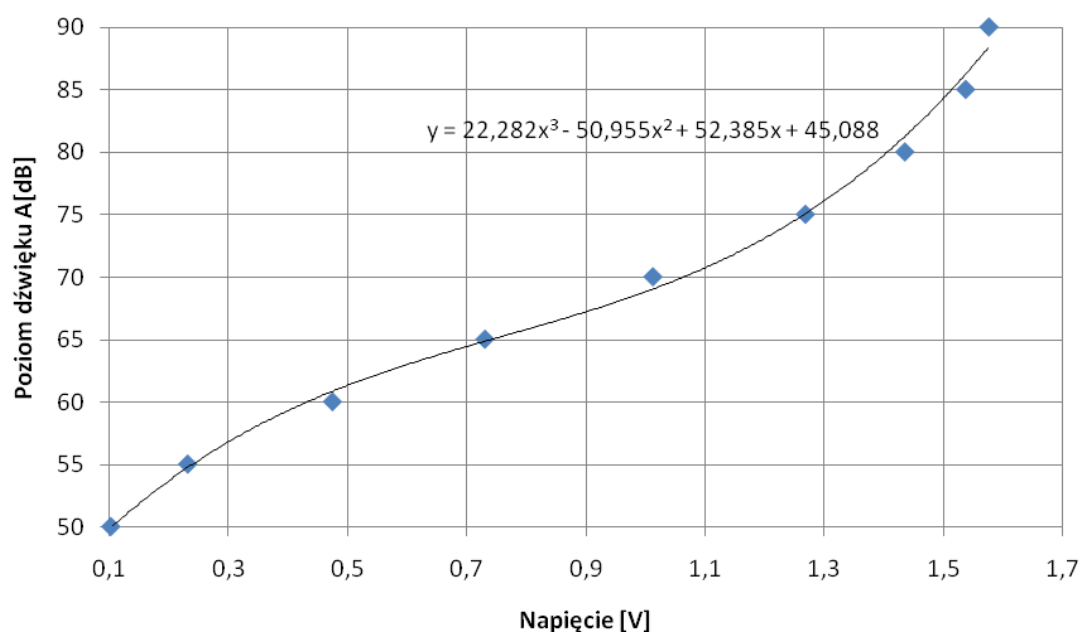
Samochody	
t [s]	$E_{A,t}$ [Pa ² ·s]
17	0,0057
17	0,0050
25	0,0080
17	0,0052
21	0,0097
21	0,0073
25	0,0076
17	0,0052
42	0,0214
12	0,0037
25	0,0059
21	0,0048
21	0,0041
29	0,0065
17	0,0034
33	0,0099
21	0,0062
29	0,0060
25	0,0070
17	0,0064
17	0,0040
21	0,0030
33	0,0053
26	0,0036
29	0,0071
30	0,0054

Tab. B.2. Wyniki pomiarów napięcia na wyjściu części analogowej urządzenia dla dźwięku o częstotliwości 1000 Hz dla różnych rodzajów zasilania

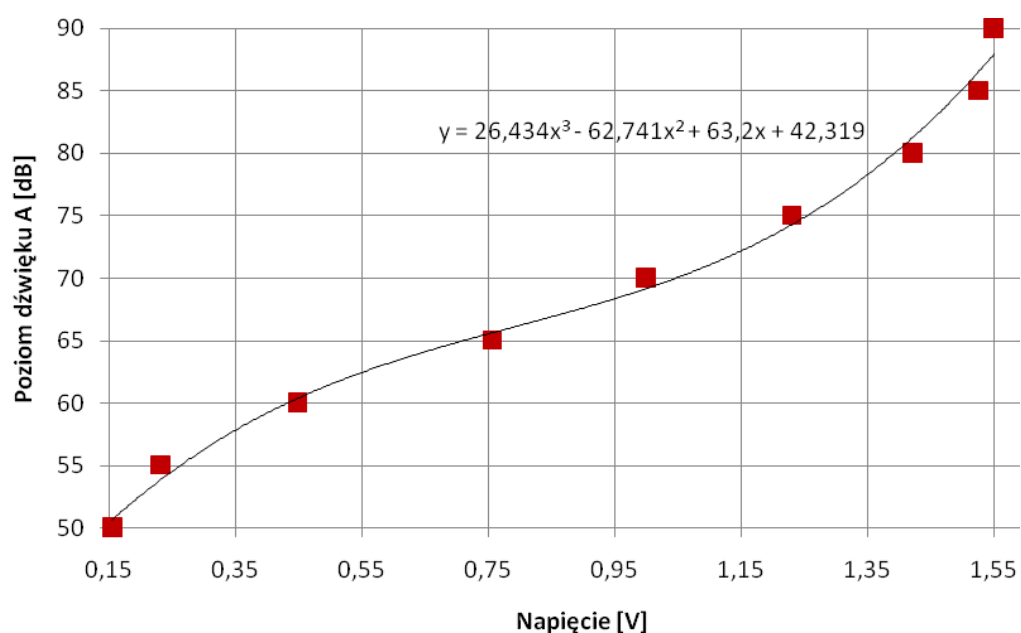
Poziom dźwięku A [dB]	Zasilacz 1 [V]	Zasilacz 2 [V]	Zasilacz 3 [V]	Bateria [V]
50,0	1,022	0,413	0,128	0,006
60,0	1,072	0,530	0,359	0,292
70,0	1,210	0,934	0,948	0,908
80,0	1,388	1,337	1,333	1,330
90,0	1,554	1,534	1,537	1,547
100,0	1,628	1,610	1,640	1,624

Tab. B.3. Wyniki pomiarów poziomu dźwięku w zależności od odległości mikrofonu od obudowy urządzenia

Odległość mikrofonu [cm]	Poziom dźwięku A [dB]
1	85,5
3	82,9
5,5	81,8
10,5	81,8

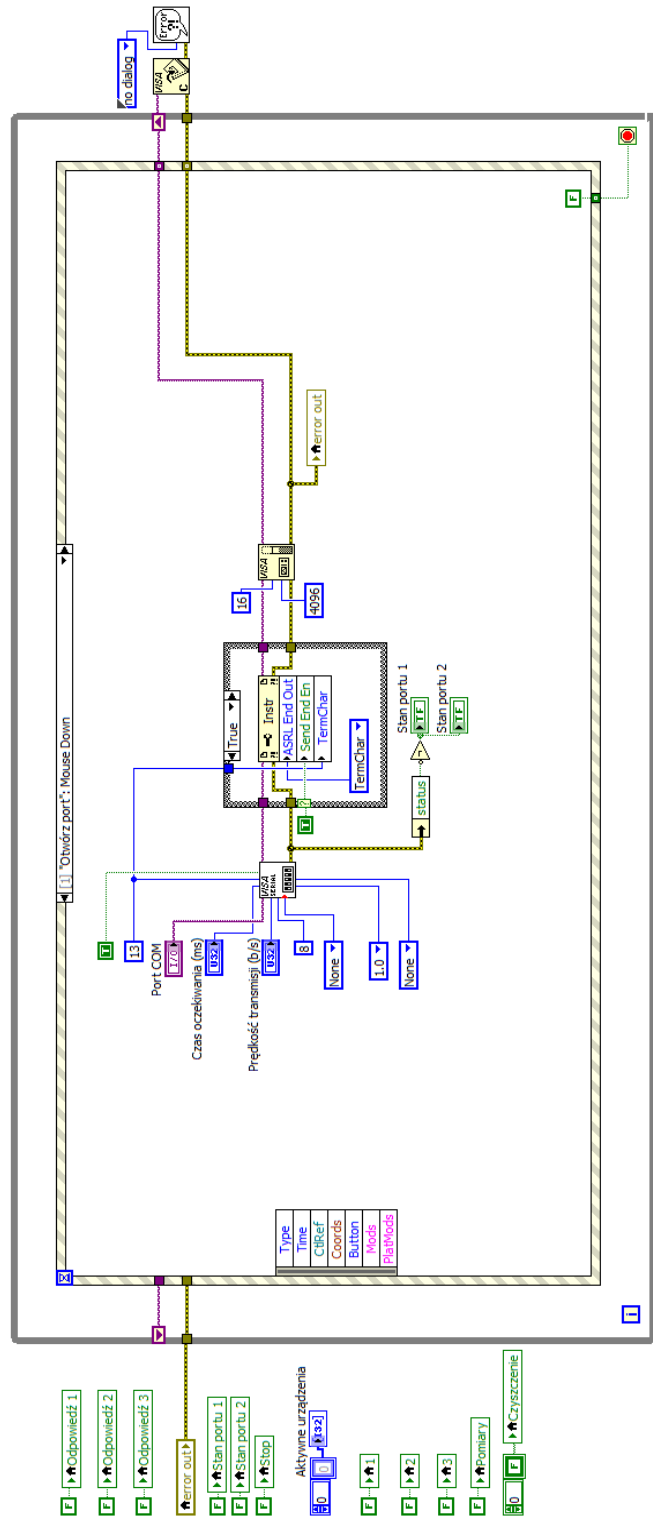


Rys. B.1. Równanie kalibracyjne urządzenia w przypadku zasilania z zasilacza



Rys. B.2. Równanie kalibracyjne dla przypadku zasilania bateryjnego

DODATEK C. KOD PROGRAMU KOMPUTEROWEGO



Rys. C.1. Schemat blokowy programu cz. 1

