

**Oddział Górnośląski
Polskiego Towarzystwa Akustycznego
Komitet Akustyki Polskiej Akademii Nauk**

**Materiały XLIV Szkoły Zimowej
Akustyki Środowiska
i Wibroakustyki**

**Gliwice-Szczyrk
2016-02-29 – 03-04**

Organizatorzy konferencji:

Oddział Górnośląski Polskiego Towarzystwa Akustycznego
Komitet Akustyki Polskiej Akademii Nauk

Redakcja Materiałów Szkoły: dr inż. Roman Bukowski

Artykuły wydrukowano na podstawie maszynopisów dostarczonych przez autorów
bez wprowadzania zmian w ich treść.

Wydawca:

Polskie Towarzystwo Akustyczne – Oddział Górnośląski
ul. Krzywoustego 2, 44-100 Gliwice
<http://ogpta.polsl.pl/>

ISBN: 978-83-931744-6-1

Drukarnia: "Cyfrodruk", ul. Akademicka 2, 44-100 Gliwice

Komitety Programowy
XLIV Szkoły Zimowej
Akustyki Środowiska i Wibroakustyki
Szczyrk, 2016-02-29 – 03-04

prof. dr hab. inż. Wojciech BATKO (AGH)

dr hab. inż. Grażyna GRELOWSKA (PGd)

prof. zw. dr hab. Edward HOJAN (UAM)

prof. dr hab. inż. Jan KAŻMIERCZAK (PŚI)

dr hab. Janusz KOMPAŁA (GIG)

prof. dr hab. inż. Eugeniusz KOZACZKA (PGd)

prof. dr hab. inż. Marek PAWEŁCZYK (PŚI)

dr hab. inż. Dariusz PLEBAN (CIOP – PIB)

dr inż. Krzysztof RUDNO-RUDZIŃSKI (PW r)

dr hab. Ewa SKRODZKA (UAM)

prof. dr hab. inż. Stefan WEYNA (ZUT)

prof. dr hab. inż. Jerzy WICIAK (AGH)

XLIV Szkoła Zimowa Akustyki Środowiska i Wibroakustyki

Szczyrk, 2016-02-29 – 03-04

SPIS TREŚCI

Autor(rzy)/Tytuł	Str.
1. KUJAWA-ŁOBACZEWSKA Honorata, MACIEJCZYK Jerzy <i>Wstępne pomiary hałasu powodowanego w środowisku przez rekreacyjne jednostki pływające</i>	7
2. KWAPISZ Leszek, RADZIĘŃSKI Maciej, JAKUBOWSKI Piotr <i>Analysis of sound passing through the window due to a laser vibrometer measurements</i>	21
3. MORZYŃSKI Leszek <i>System aktywnej redukcji sygnału uprzywilejowania do zastosowania w hełmach strażackich</i>	33
4. MORZYŃSKI Leszek, KRUKOWICZ Tomasz <i>Wielowarstwowa struktura aktywna do ograniczania transmisji hałasu przez obudowy</i>	41
5. ORCZYK Małgorzata <i>Analiza rozkładu poziomów dźwięku w tramwaju Solaris Tramino na postoju i podczas jazdy</i>	49
6. ORCZYK Małgorzata, TOMASZEWSKI Franciszek <i>Badania i analiza widmowo-czasowa hałasu na skrzyżowaniu typu rondo</i>	57
7. PLEBAN Dariusz, RADOSZ Jan, SMAGOWSKA Bożena <i>Hałas i hałas infradźwiękowy na stanowiskach pracy w pobliżu turbin wiatrowych</i>	67
8. SMAGOWSKA Bożena <i>Zagrożenie hałasem o częstotliwości 10-40 kHz na stanowiskach pracy przy produkcji szyb samochodowych</i>	75
9. SZCZEPAŃSKI Grzegorz, MORZYŃSKI Leszek <i>Autonomiczny system zdalnego monitoringu parametrów wibroakustycznych do kontroli zagrożeń występujących w środowisku pracy</i>	81
Indeks Autorów	89

WSTĘPNE POMIARY HAŁASU POWODOWANEGO W ŚRODOWISKU PRZESZ REKREACYJNE JEDNOSTKI PŁYWAJĄCE

Honorata KUJAWA-ŁOBACZEWSKA¹⁾, Jerzy MACIEJCZYK²⁾

¹⁾Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Bydgoszczy
ul. Piotra Skargi 2, 85-018 Bydgoszcz, Polska
e-mail: honorata.kujawa-lobaczewska@wios.bydgoszcz.pl

²⁾Liga Walki z Hałasem
ul. Bernardyńska 2/61, 02-904 Warszawa, Polska
e-mail: biuro@wapl.pl

1. WSTĘP

Wieloletnie badania wykazują, że hałas ma niekorzystny wpływ na ludzi oraz środowisko i jako jedno z jego zanieczyszczeń powinien być eliminowany już u źródła powstawania. Dominującym na terenie Polski źródłem hałasu jest komunikacja samochodowa. Hałas kolejowy oraz lotniczy posiada znaczenie marginalne i jedynie lokalne oddziaływanie. Uciążliwości hałasu pochodzące od źródeł przemysłowych są systematycznie redukowane. Dostępność i rozwój techniki zaowocował w ostatnim dziesięcioleciu pojawieniem się w naszym kraju nowych źródeł hałasu emitowanego do środowiska, tj. wentylatory i klimatyzatory, urządzenia do utrzymania porządku na trawnikach, w ogrodach, jak również sprzęt wykorzystywany do aktywnego wypoczynku, w tym rekreacyjne jednostki pływające.

W ciągu ostatnich lat rekreacyjne korzystanie z jednostek pływających wyposażonych w silniki spalinowe wzrosło znacząco. Zwiększeniu uległa także moc stosowanych silników. Tym samym wzrósł hałas odczuwany na linii brzegowej zbiorników wodnych, a to z kolei spowodowało wzrost liczby skarg na naruszenia komfortu akustycznego od osób wypoczywających lub właścicieli nieruchomości położonych na obszarach przywodnych na terenach rekreacyjno-wypoczynkowych lub terenach zabudowy jednorodzinnej. Na poziom hałasu od jednostek pływających wpływa m.in. liczba oraz czas przepływania oraz typ łodzi, a także rodzaj silnika. Jako jeden ze sposobów zapewnienia odpowiednich warunków akustycznych na ww. terenach przeznaczonych do wypoczynku, krajowe ustawodawstwo dało uprawnienia w tym zakresie radom powiatów.

Na podstawie ustaw [1, 2, 3] rada powiatu może:

- ograniczyć możliwości używania jednostek pływających,
- całkowicie zakazać ich eksploatacji,

➤ zabronić wykorzystywania niektórych ich rodzajów,
na określonych zbiornikach powierzchniowych wód płynących oraz wodach stojących, jeżeli jest to konieczne do zapewnienia odpowiednich warunków akustycznych na terenach przeznaczonych na cele rekreacyjno-wypoczynkowe.

Rady poszczególnych powiatów województwa kujawsko-pomorskiego całkowicie zakazały używania jednostek pływających z silnikami spalinowymi na ponad 200 jeziorach (stan na koniec 2012 r.). Na kilku jeziorach wprowadzono częściowe ograniczenia m.in. w zakresie terminu, którego zakaz dotyczy, wyznaczonych godzin lub też odległości od linii brzegowej, a także rodzaju jednostek pływających i mocy ich silników. Wykaz akwenów, na których wprowadzone zostały ww. ograniczenia dostępny jest na Portalu informacji o środowisku WIOŚ pod adresem <http://srodowisko.wios.bydgoszcz.pl> w zakładce Hałas komunikacyjny.

Przestrzeganie przepisów w zakresie prawidłowego wykorzystywania sprzętu motorowodnego nie jest jednak przez samorządy terytorialne egzekwowane.

Kwestię wymagań dotyczących emisji hałasu przez sprzęt motorowodny w ustawodawstwie krajowym reguluje również rozporządzenie [4]. Przepisy ww. rozporządzenia wdrażają postanowienia dyrektyw [5, 6]. Każdy producent silników stosowanych w rekreacyjnych jednostkach pływających oraz skuterach wodnych jest zobowiązany załączać do silnika deklarację zgodności z tymi dyrektywami. Ponadto instrukcje obsługi ww. sprzętu motorowodnego powinny zawierać informacje niezbędne do utrzymania ich w stanie, który zapewni, że ich użytkowanie nie będzie powodować naruszenia dopuszczalnych wartości poziomu dźwięku przy ich normalnej eksploatacji. Analogiczne wymagania dotyczą stosowania silników zaburtowych, a instrukcja obsługi powinna zawierać informacje konieczne do utrzymania silnika w stanie, który zapewni zgodność z wymaganymi dopuszczalnymi wartościami hałasu. Zgodnie z zapisami ww. dyrektyw producenci silników do rekreacyjnych jednostek pływających muszą zapewnić dotrzymanie wielkości zamieszczonych w tabeli 1.

Tab. 1. Dopuszczalne wielkości emisji hałasu w zależności od mocy silnika [4]

Moc pojedynczego silnika w kW	Maksymalny poziom ciśnienia akustycznego L_{pASmax} w dB
$P_N \leq 10$	67
$10 < P_N \leq 40$	72
$P_N > 40$	75

gdzie: P_N – moc znamionowa silnika w kW przy prędkości znamionowej; L_{pASmax} – maksymalny poziom ciśnienia akustycznego w dB

Zgodnie z normą [10] maksymalny poziom ciśnienia akustycznego mierzony w odległości 25 m od źródła poruszającego się z pełną prędkością (maksymalnie do 38 węzłów) dla jednostki z jednym silnikiem nie powinien przekroczyć wartości 75 dB, z dwoma silnikami 78 dB.

W literaturze zagranicznej spotkać można kilka wzmianek dotyczących uregulowań legislacyjnych w zakresie emisji hałasu od rekreacyjnych jednostek pływających. Nordic Ecolabel, instytucja zajmująca się oznakowaniem ekologicznym produktów w zakresie hałasu od silników używanych na łódkach w Norwegii, określiła dopuszczalne poziomy dźwięku w zależności od częstotliwości (Tab. 2).

Tab. 2. Maksymalny dopuszczalny poziom hałasu dla częstotliwości środkowych pasm oktaowych [11]

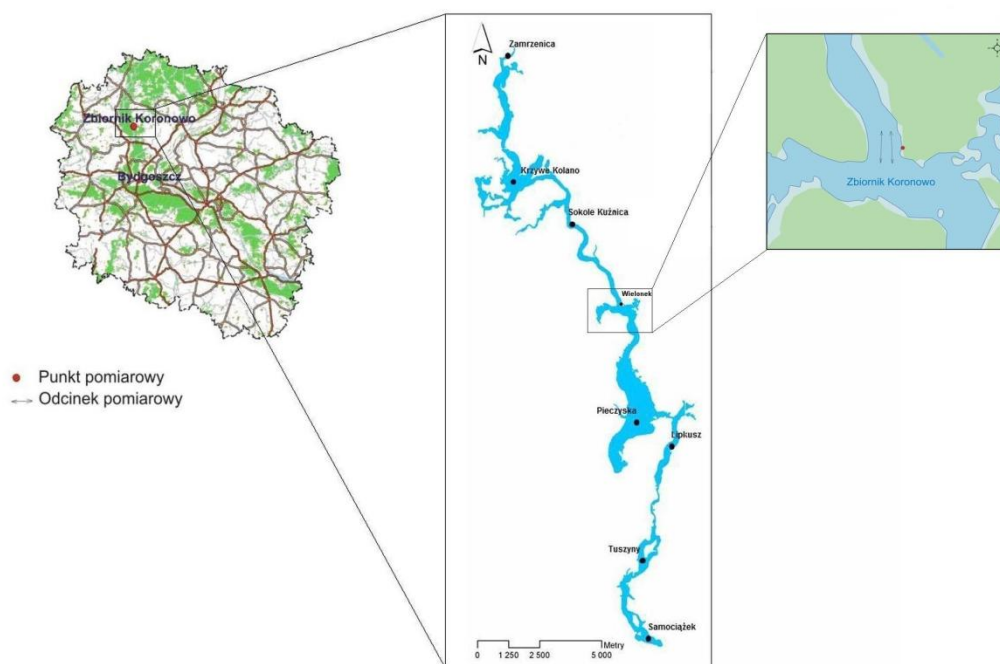
Częstotliwość [Hz]	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Poziom dźwięku [dB]	103,1	90,8	92,9	77,1	73,0	70,0	67,5	65,7	64,1

Według ich wytycznych hałas od łodzi powinien być mierzony w funkcji częstotliwości w odległości 25 m od źródła zgodnie z normą ISO 14509-1.

Z kolei brytyjska Federacja Narciarstwa Wodnego wydała dokument pn. 'Code of Practice for Water Skiing & Noise' [12], w którym określa, że dopuszczalna maksymalna wartość poziomu dźwięku od jednej pływającej jednostki rekreacyjnej wynosi 75 dB ($v = 35,4$ km/h, w odległości 25 m od źródła). Maksymalny poziom dźwięku od jednostki używanej do narciarstwa wodnego wynosi 98 dB (dla łodzi poruszającej się ze stałą, maksymalną prędkością silnika, w odległości 30 m od brzegu) oraz 105 dB w przypadku międzynarodowych oraz światowych mistrzostw. W Holandii również przyjęto poziom 75 dB, jako maksymalny poziom ciśnienia akustycznego wytwarzanego przez łódź w odległości 25 m od brzegu [12].

2. METODA BADAŃ

W reakcji na coraz liczniej zgłaszane problemy występujące na akwenach w województwie kujawsko-pomorskim związane z emisją hałasu przez użytkowane rekreacyjnie jednostki pływające wyposażone w silniki spalinowe, Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Bydgoszczy przeprowadził w czerwcu 2013 roku wstępne pomiary hałasu. Punkt pomiarowy zlokalizowano na Zbiorniku Koronowo w okolicach miejscowości Wielonek (Rys. 1).



Rys. 1. Lokalizacja miejsca pomiaru hałasu

Pod kątem zagospodarowania terenu jest to obszar chroniony, nieprzeznaczony pod zabudowę. Badania wykonano na pomoście w linii brzegowej zbiornika wodnego, mikrofon umieszczono na wysokości 1,5 m n.p.p.

Badaniu poddano łódź motorowo-wiosłową o długości kadłuba 4,20 m, wyposażoną w dwusuwowy silnik zaburtowy marki Merkur 25 KM (18 kW) (Rys. 2) poruszającą się kursem równoległym do linii brzegowej. Nawigację prowadzono przy użyciu echosondy wyposażonej w moduł GPS. Poddana eksperymentowi jednostka pływała w 4 wariantach pomiarowych:

I wariant	-	odległość łodzi od linii brzegowej – 50 m prędkość poruszania się – 15 km/h
II wariant	-	odległość łodzi od linii brzegowej – 50 m prędkość poruszania się – 30 km/h
III wariant	-	odległość łodzi od linii brzegowej – 100 m prędkość poruszania się – 15 km/h
IV wariant	-	odległość łodzi od linii brzegowej – 100 m prędkość poruszania się – 30 km/h

Pomiary wykonano miernikiem poziomu dźwięku firmy Brüel & Kjaer typ 2236A z ważnym świadectwem wzorcowania. Warunki meteorologiczne podczas wykonywania pomiarów: brak opadów atmosferycznych, temperatura powyżej -50°C , prędkość wiatru od 0 do 5 m/s.



Rys. 2. Poligon badawczy na Zalewie Koronowskim (fot. J. Goszczyński)

Pomiary przeprowadzono zgodnie z metodyką referencyjną wprowadzoną rozporządzeniem [7]. Dla każdej z czterech sytuacji pomiarowych wykonano pomiary pojedynczych zdarzeń akustycznych, przyjmując zasadę, że czas pomiaru poziomu L_{AE} dla każdego pojedynczego badania nie może być mniejszy niż akustyczny czas trwania zjawiska, tzn:

$$L_{Amax} - 10 \text{ dB} \leq L_A(t) \leq L_{Amax}$$

Dla każdego z ww. wariantów badawczych wykonano od 5 do 7 pomiarów.

Na podstawie wykonanych pomiarów obliczono średnią wartość poziomu ekspozycyjnego wg wzoru:

$$L_{AEk} = 10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{0,1 L_{AEki}} \right]$$

gdzie: n – liczba pomiarów pojedynczych zdarzeń akustycznych; L_{AEk} – średni poziom ekspozycyjny dla danej klasy zdarzeń; L_{AEki} – zmierzona wartość poziomu ekspozycyjnego dla danej klasy.

Odchylenie standardowe obliczono wg wzoru:

$$\sigma_{LAEk} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (L_{AEki} - L_{AEk})^2}$$

gdzie: n – liczba pomiarów pojedynczych zdarzeń akustycznych; L_{AEk} – średni poziom ekspozycyjny dla danej klasy zdarzeń; L_{AEki} – zmierzona wartość poziomu ekspozycyjnego dla danej klasy.

Na podstawie uzyskanych wyników obliczono wartość równoważnego poziomu dźwięku w oparciu o wzór:

$$L_{Aeq} = 10 \log \left[\frac{1}{T} \sum_{k=1}^m N_k 10^{0,1 L_{AEk}} \right]$$

gdzie: T – czas odniesienia [s]; N_k – liczba pojedynczych zdarzeń akustycznych dla czasu odniesienia; L_{AEk} – średni poziom ekspozycyjny; m – liczba klas pojedynczych zdarzeń akustycznych.



Rys. 3. Łódź w trakcie pomiarów (fot. J. Goszczyński)

Standardy dotyczące klimatu akustycznego określają rozporządzenia [8, 9]. W rozporządzeniu zawarte są dopuszczalne poziomy hałasu dla poszczególnych rodzajów źródeł (dróg i linii kolejowych, linii elektroenergetycznych, startów, przelotów i lądowań statków powietrznych oraz pozostałych obiektów i grup źródeł hałasu), w odniesieniu do rodzaju terenów wyróżnionych ze względu na sposób zagospodarowania i pełnione funkcje. Wskaźnikiem oceny hałasu stosowanym w działalności kontrolnej jest poziom równoważny L_{AeqD} dla pory dnia ($6^{00} - 22^{00}$) oraz poziom równoważny L_{AeqN} dla pory nocy ($22^{00} - 06^{00}$). Dla analizowanego obszaru Zbiornika Koronowo w okolicach Wielonka, zaliczanego do terenów rekreacyjno-wypoczynkowych dopuszczalny poziom dźwięku wynosi:

$$L_{AeqD} - \text{dla pory dnia } (6^{00} - 22^{00}) \quad - \quad 55 \text{ dB}$$

$$L_{AeqN} - \text{dla pory nocy } (22^{00} - 06^{00}) \quad - \quad 45 \text{ dB}$$

3. WYNIKI I ANALIZA

Wartości zmierzonych ekspozycyjnych poziomów dźwięku (Tab. 4) wahają się w zakresie od 70,1 dB do 75,8 dB. Dla poszczególnych wariantów przedstawia się to następująco:

- I wariant pomiarowy: od 72,2 do 73,5 dB
- II wariant pomiarowy: od 73,8 do 75,8 dB
- III wariant pomiarowy: od 70,6 do 72,4 dB
- IV wariant pomiarowy: od 70,1 do 72,1 dB.

Najbardziej niekorzystne warunki akustyczne obserwuje się dla wariantu II ($d = 50$ m, $v = 30$ km/h). W przypadku wariantu III i IV mierzone poziomy osiągały zbliżone wartości, oscylujące w granicach 70,1 dB do 72,4 dB.

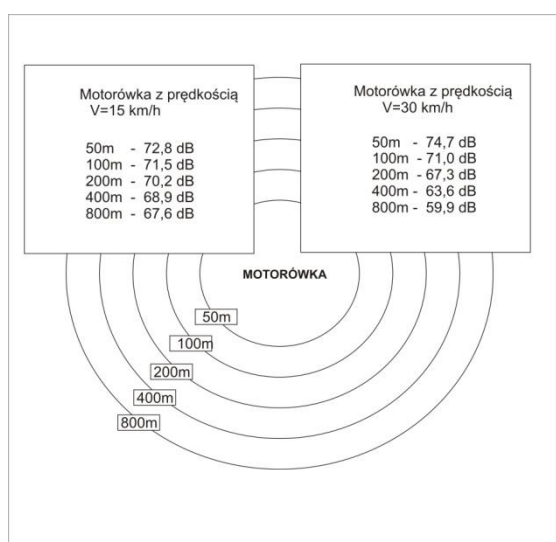
Rezultaty badań prowadzonych przez WIOŚ w Bydgoszczy dla silnika z podwodnym wylotem spalin zobrazowane zostały na Rys. 4.

Średnia wartość ekspozycyjnego poziomu dźwięku w odległości 50 m od źródła hałasu przy prędkości 15 km/h wynosi 72,8 dB, a w odległości 100 m – 71,5 dB, natomiast przy prędkości 30 km/h jest to odpowiednio 74,7 dB oraz 71,0 dB.

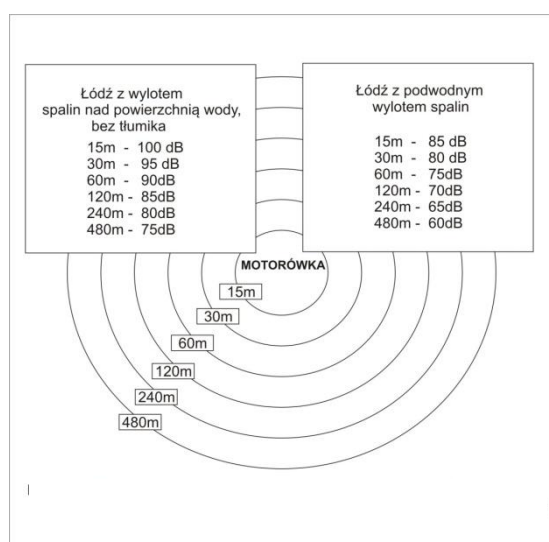
Przeprowadzone badania jednoznacznie pozwalają na stwierdzenie, że w odległości 50 m od brzegu podwojenie prędkości motorówki powoduje zwiększenie ekspozycyjnego poziomu dźwięku. W odległości 100 m od linii brzegowej przy obu prędkościach jednostki pływającej uzyskano podobne wartości poziomu dźwięku.

Z kolei podwojenie odległości przy prędkości 15 km/h spowodowało spadek hałasu o 1,3 dB, a przy prędkości 30 km/h aż o 3,7 dB.

Dla porównania można podać, że wyniki badań hałasu od silników używanych w rekreacyjnych jednostkach pływających w USA, prowadzone przez amerykańską Agencję Ochrony Środowiska (EPA) wskazują, że podwojenie odległości od 15 m do 30 m powoduje zmniejszenie poziomu hałasu o 5 dB (z wartości 100 dB do 95 dB) dla łodzi z silnikiem z podwodnym wylotem spalin (Rys. 5). Dla takich łodzi EPA uzyskiwała wynik 75 dB



Rys. 4. Rejestrowana i obliczona wartość ekspozycyjnego poziomu dźwięku w zależności od odległości od źródła oraz prędkości łodzi



Rys. 5. Wartość poziomu dźwięku w zależności od źródła hałasu oraz rodzaju silnika używanego w łodzi [15]

w odległości około 60 m oraz 70 dB w odległości ok. 120 m od źródła. Dla łodzi z wylotem spalin ponad powierzchnią wody wyniki amerykańskich badaczy wskazują, że poziom dźwięku o wartości 75 dB osiągnięty zostanie dopiero w odległości około 500 m od linii brzegowej. Jednakże większość polskich jezior to małe zbiorniki, dla których ta odległość nie może zostać zachowana [15].

W badaniach przeprowadzonych przez EPA brak informacji dotyczących prędkości poruszających się obiektów badawczych. Zestawione w tabeli 3 wyniki średniego ekspozycyjnego poziomu dźwięku (przy $v = 30$ km/h) uzyskane przez WIOŚ w Bydgoszczy oraz dane amerykańskiej Agencji Ochrony Środowiska (dla łodzi z podwodnym wylotem spalin) są zbieżne. Wyższe poziomy dźwięku zarejestrowano dla łodzi bez tłumika z wylotem spalin nad powierzchnią wody.

W polskim ustawodawstwie normowany jest poziom równoważny dla określonego czasu odniesienia, który w przypadku pomiarów hałasu od rekreacyjnych jednostek motorowodnych oblicza się na podstawie wykonanych badań ekspozycyjnego poziomu dźwięku od pojedynczego przepłynięcia jednostki.

Tab. 3. Zestawienie wyników badań wykonanych przez WIOŚ w Bydgoszczy oraz amerykańską Agencję Ochrony Środowiska

	Odległość łodzi od brzegu	Zmierzony poziom dźwięku
WIOŚ $v = 15$ km/h	50 m	~ 73 dB
	100 m	~ 71 dB
WIOŚ $v = 30$ km/h	50 m	~ 75 dB
	100 m	~ 71 dB
EPA (łódź z podwodnym wylotem spalin)	60 m	~ 75 dB
	120 m	~ 70 dB
EPA (łódź z wylotem spalin nad powierzchnią wody, bez tłumika)	60 m	~ 90 dB
	120 m	~ 85 dB

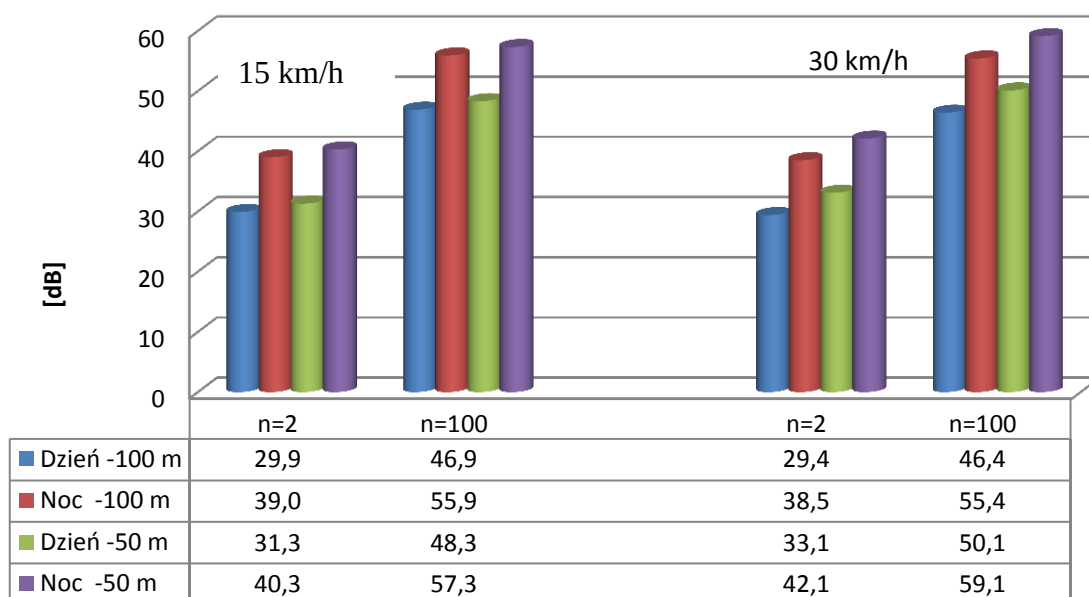
W Tab. 4 przedstawiono wyniki obliczeń równoważnych poziomów dźwięku dla pory dnia i nocy, wykonanych na podstawie zmierzonych poziomów ekspozycyjnych. Do analizy przyjęto założenia, że łódź będzie przepływać przed stanowiskiem pomiarowym dwu- lub stukrotnie. Tabela 4 pokazuje, że dla analizowanej jednostki motorowo-wiosłowej wyposażonej w silnik Merkury 25 KM, dla którego producent deklaruje osiągnięcie maksymalnego poziomu ciśnienia akustycznego o wartości nie większej niż 72 dB, obliczony poziom równoważnego poziomu dźwięku dla pory dziennej przyjmuje wartości niższe niż dopuszczalna norma dla obszaru zaliczonego do terenów rekreacyjno-wypoczynkowych zarówno dla dwu- jak i stukrotnego przepłynięcia, dla obu odległości i prędkości łodzi.

Z kolei obliczony poziom równoważnego poziomu dźwięku dla pory nocnej dla przyjętego do analizy dwukrotnego przepłynięcia jednostki, przyjmuje wartości niższe niż dopuszczalna norma dla tego terenu, dla obu odległości i prędkości łodzi. Natomiast przy stukrotnym przepłynięciu w porze nocnej spodziewać się można przekroczeń dla każdego wariantu pomiarowego, w zakresie od 10,4 dB do 14,1 dB (Tab. 4).

Ponadto, z przeprowadzonej analizy wynika, że dla pory nocy spodziewać się można przekroczeń dopuszczalnego poziomu dźwięku już przy 5-krotnym przepłynięciu poddanej badaniu jednostki motorowo-wiosłowej, przy prędkości 30 km/h, w odległości 50 m od linii brzegowej, a wskaźnik naruszenia klimatu akustycznego przyjmie wtedy wartość 1,1 dB. Przy prędkości 15 km/h w odległości 50 m od brzegu koniecznych jest już 6 operacji, aby naruszyć komfort akustyczny badanego środowiska o 0,8 dB.

Natomiast przy prędkości łodzi 15 km/h i w odległości 100 m od brzegu, przekroczenia dopuszczalnego poziomu dźwięku dla pory nocnej w wysokości 0,5 dB, odnotowuje się przy 9 operacjach. Z kolei, gdy łódź porusza się w ww. odległości z prędkością 30 km/h naruszenie komfortu akustycznego o 0,4 dB następuje przy 10. przepłynięciach jednostki.

Najwyższa wartość równoważnego poziomu dźwięku dla pory dziennej wyniosła 50,1 dB, przy prędkości łodzi 30 km/h w odległości 50 m od linii brzegowej ($n = 100$). W tych samych warunkach w porze nocnej hałas osiągnął wartość 59,1 dB.



Rys. 6. Obliczone wartości równoważnego poziomu dźwięku dla pory dnia i nocy w zależności od odległości od linii brzegowej oraz prędkości poruszania się jednostki motorowodnej (przy założeniu, że liczba operacji przepływania $n = 2$ lub 100)

Zgłaszane uciążliwości akustyczne od rekreacyjnych jednostek pływających w głównej mierze zależą od rodzaju wykorzystywanego sprzętu motorowodnego. Przeprowadzone badania wykazują, że użytkowanie łodzi z silnikiem zaburtowym o mocy 25 KM nie powinno powodować konfliktów akustycznych na obszarach przeznaczonych na wypoczynek, pod warunkiem zachowania etyki wodniackiej przez osoby eksploatujące łodzie w celach rekreacyjnych, tzn. dostosowania prędkości, odległości oraz częstotliwości przemieszczania się i uwzględnieniu niekorzystnego wpływu na pozostałych użytkowników ogólnodostępnych akwenów wodnych.

W przypadku wykorzystywania jednostek z silnikami o większej mocy i z większą częstotliwością użytkowania oraz dłuższym czasem narażenia na oddziaływanie wytwarzanego hałasu, w odległości bliższej niż 100 m od brzegu, spodziewać się można występowania konfliktów akustycznych. Poza wymienionym we wstępie rozporządzeniem dot. restrykcji w zakresie dotrzymania wymagań hałasowych silników produkowanych do jednostek pływających, w ustawodawstwie krajowym brak jest szczegółowych uregulowań prawnych regulujących kwestię emisji hałasu przez rekreacyjne jednostki pływające i skutery. Przeniesienie na rady powiatów odpowiedzialności za zapewnienie odpowiednich warunków akustycznych na terenach przeznaczonych na cele rekreacyjno-wypoczynkowe owocuje w przypadku zbiornika położonego na terenie kilku powiatów różnie brzmiącymi uchwałami. Taka sytuacja ma miejsce w przypadku analizowanego Zbiornika Koronowo, gdzie akwen znajduje się na terenie powiatów bydgoskiego oraz tucholskiego. Rada Powiatu Tucholskiego wprowadziła zakaz używania jednostek pływających z włączonymi silnikami, z zastrzeżeniem, że nie dotyczy to jachtów żaglowych z silnikami o mocy 15 kW (20,39 KM) oraz pozostałych jednostek z silnikami o mocy 10 kW (13,59 KM) [13]. Zakaz ten dotyczy więc również wybranego do badań obszaru w okolicach m. Wielonek należącego do powiatu tucholskiego. Rada Powiatu Bydgoskiego pozwoliła na używanie jednostek pływających z włączonym silnikiem spalinowym o mocy nie przekraczającej 44 kW (60 KM). Ponadto, w odległości do 100 m od brzegu można się poruszać z prędkością manewrową do 15 km/h [14]. Przepisy te nie poruszają kwestii emisji hałasu od jednostek pływających. Wydaje się więc zasadne, że z uwagi na dowolność w tworzeniu zapisów konieczne jest podjęcie szerszych badań pozwalających na określenie warunków występowania naruszeń klimatu akustycznego na terenach rekreacyjno-wypoczynkowych wokół akwenów wodnych, pozwalających na stworzenie ram prawnych godzących interesy wszystkich użytkowników wód.

Tab. 4. Wyniki pomiarów hałasu od łodzi motorowo-wiosłowej z silnikiem o mocy 25 KM

Lokalizacja punktu pomiarowego	Wysokość pkt. pomiarowego	Odległość od linii brzegowej	Prędkość pojazdu	SEL	Czas pomiaru	Średni ekspozycyjny poziom dźwięku SEL	Równoważny poziom dźwięku dla pory dziennej L_{AeqD}	Równoważny poziom dźwięku dla pory nocnej L_{AeqN}
	[m]	[m]	[km/h]	[dB]	[s]	[dB]	[dB]	[dB]
Zbiornik Koronowo N: 53°23'29.50" E: 17°57'51.07"	1,5	50	15	73,5	47	72,8 $\sigma=0,4$	dla n=2 $L_{Aeq}=31,3$ dB dla n=100 $L_{Aeq}=48,3$ dB	dla n=2 $L_{Aeq}=40,3$ dB dla n=100 $L_{Aeq}=57,3$ dB
				72,9	23			
				72,6	36			
				72,6	38			
				72,8	50			
				73,3	60			
				72,2	32			
			30	74,6	28	74,7 $\sigma=0,5$	dla n=2 $L_{Aeq}=33,1$ dB dla n=100 $L_{Aeq}=50,1$ dB	dla n=2 $L_{Aeq}=42,1$ dB dla n=100 $L_{Aeq}=59,1$ dB
				74,6	24			
				73,8	24			
				74,7	20			
				74,4	26			
				75,8	25			
		100	15	70,6	39	71,5 $\sigma=0,8$	dla n=2 $L_{Aeq}=29,9$ dB dla n=100 $L_{Aeq}=46,9$ dB	dla n=2 $L_{Aeq}=39,0$ dB dla n=100 $L_{Aeq}=55,9$ dB
				71,6	48			
				70,8	43			
				71,9	58			
				72,4	38			
			30	72,1	31	71,0 $\sigma=0,9$	dla n=2 $L_{Aeq}=29,4$ dB dla n=100 $L_{Aeq}=46,4$ dB	dla n=2 $L_{Aeq}=38,5$ dB dla n=100 $L_{Aeq}=55,4$ dB
				71,6	28			
				70,1	27			
				70,5	34			
				70,4	33			

n - liczba operacji/przeptynięć

σ - odchylenie standardowe

4. LITERATURA

- [1] Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska (Dz. U. z 2008 r. Nr 25, poz. 150) – art. 116 ust. 1 i 4
- [2] Ustawa z dnia 5 czerwca 1998 r. o samorządzie powiatowym (Dz. U. z 2001 r. Nr 142, poz. 1592) – art. 40 ust. 1, art. 42 ust. 1
- [3] Ustawa z dnia 5 czerwca 1998 r. o samorządzie powiatowym (Dz. U. z 2001 r. Nr 142, poz. 1592) – art. 44
- [4] Rozporządzenie Ministra Gospodarki i Pracy z dnia 19 listopada 2004 r. w sprawie zasadniczych wymagań dla rekreacyjnych jednostek pływających (Dz. U. z 2004 r. Nr 258, poz. 2584)
- [5] Dyrektywa 94/25/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 16 czerwca 1994 r. w sprawie w sprawie zbliżenia przepisów ustawowych, wykonawczych i administracyjnych Państw Członkowskich odnoszących się do rekreacyjnych jednostek pływających (Dz. U. z 2002 r. Nr 166, poz. 1360 Dyrektywy europejskie).
- [6] Dyrektywa 2003/44/WE Parlamentu Europejskiego i rady z dnia 16 czerwca 2003 r. zmieniająca dyrektywę 94/25/WE w sprawie zbliżenia przepisów ustawowych, wykonawczych i administracyjnych Państw Członkowskich odnoszących się do łodzi rekreacyjnych (Dz. U. z 2002 r. Nr 166, poz. 1360 Dyrektywy europejskie).
- [7] Rozporządzenie Ministra Środowiska z 16 czerwca 2011 r. w sprawie wymagań w zakresie prowadzenia pomiarów poziomów w środowisku substancji lub energii przez zarządzającego drogą, linią kolejową, linią tramwajową, lotniskiem lub portem (Dz. U. z 2011 r. Nr 140, poz. 824).
- [8] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 14 czerwca 2007 roku w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku (Dz. U. z 2007 r., Nr 120, poz. 826).
- [9] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 1 października 2012 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku (Dz. U. z 2012 r., poz. 1109).
- [10] Norma PN-EN ISO 14509-1:2010P *Małe statki – Rozprzestrzenianie się w powietrzu dźwięku emitowanego przez jednostki rekreacyjne z napędem mechanicznym – Część 1: Metody pomiaru przy przejściu jednostki.*
- [11] Hendriksen P., red., Stocktaking study on the current status and developments of technology and regulations related to the environmental performance of recreational marine engines, TNO, Belgium 2004
- [12] <http://www.bsw.org.uk/resources/code-of-practice-noise>

- [13] Uchwała Nr VIII/64/2011 Rady Powiatu Tucholskiego z dnia 27.06.2011 r. w sprawie wprowadzenia ograniczeń na wodach powierzchniowych na terenie obszaru chronionego krajobrazu Zalewu Koronowskiego (Dz. Urz. Woj. Kuj-Pom. z 26.08.2011 r. Nr 198, poz. 1830).
- [14] Uchwała Nr 241I/XXXVIII/10 Rady Powiatu Bydgoskiego z dnia 7.01.2010 r. w sprawie wprowadzenia zakazu używania niektórych rodzajów jednostek pływających na wodach powierzchniowych Powiatu Bydgoskiego (Dz. Urz. Woj. Kuj-Pom. z 19.03.2010 r. Nr 59 poz. 608)
- [15] Lanpheer R.A., Pleasure Motorboat Model Noise Act, New York 2000
- [16] Engel Z., Ochrona środowiska przed drganiami i hałasem, PWN, Warszawa 2001.
- [17] Kucharski R. i in., Zanieczyszczenie środowiska hałasem w świetle badań WIOŚ, BMŚ, Warszawa 2004.
- [18] Kujawa-Łobaczewska H., red, Klimat akustyczny województwa kujawsko-pomorskiego w badaniach WIOŚ, BMŚ, Bydgoszcz 2004.

ANALYSIS OF SOUND PASSING THROUGH THE WINDOW DUE TO A LASER VIBROMETER MEASUREMENTS

Leszek KWAPISZ¹⁾, Maciej RADZIŃSKI¹⁾, Piotr JAKUBOWSKI²⁾

¹⁾Institute of Fluid-flow Machinery Polish Academy of Sciences
Fischer 14 st., 80-231 Gdańsk
kwapi@imp.gda.pl

²⁾Ship Design and Research Center (CTO)
Szczecińska 65 st., 80-392 Gdańsk

1. INTRODUCTION

Laser Doppler Vibrometer (LDV) is a device allowing optical vibration mapping and analysis of a vibration. This is non-contact system, so there is no need to attach sensors or cables. Measurements can be made accurately from large working distances, without any interference caused by the surface features. Vibrations are measured exactly as they occur. The principle of operation of the laser vibrometer explains Fig. 1.

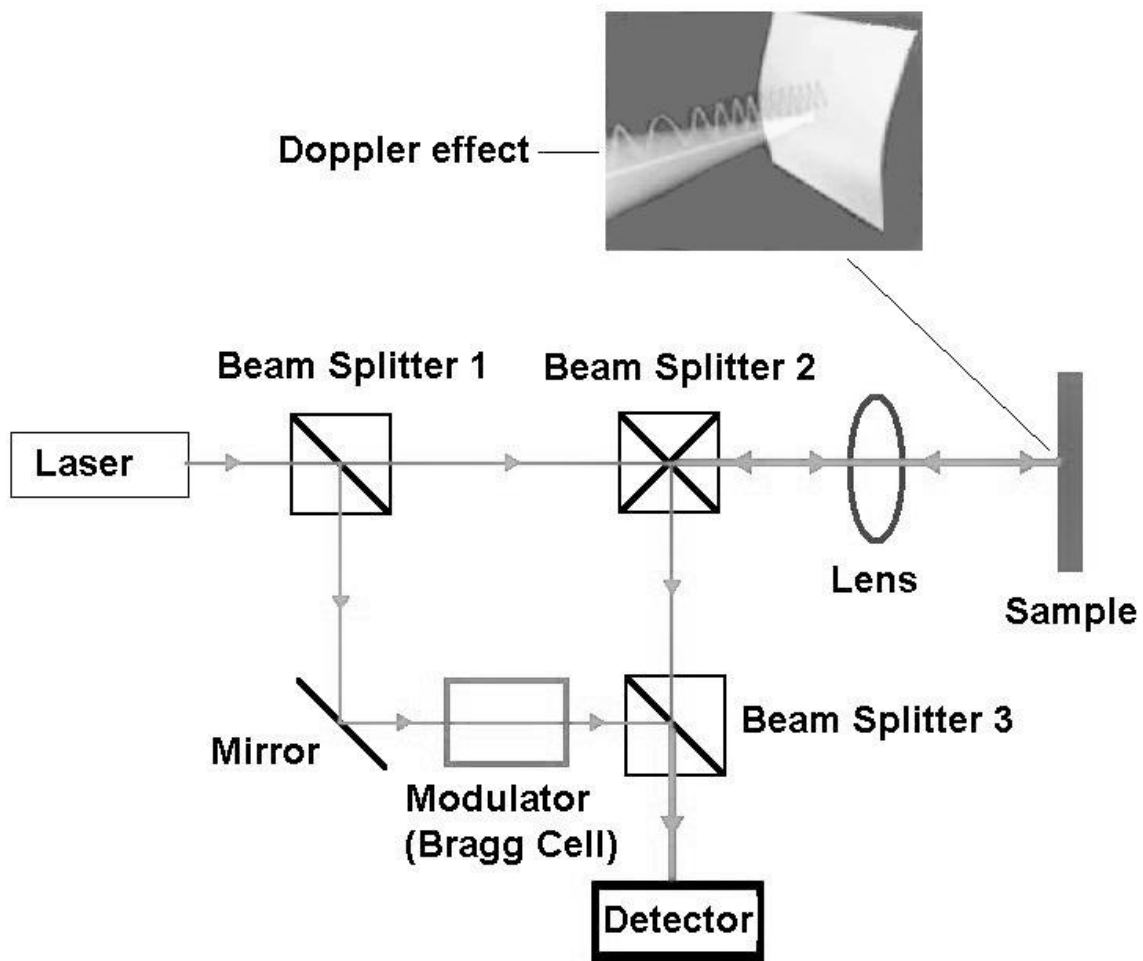


Fig. 1 The principle of LDV measuring

Direct measurement of speed is subjected to all sample points on assumed grid during the oscillation, forced by a sound wave or actuators. The device sets also displacements and acceleration of sample points as a result of integration or differentiation of the speed charts.

In our study we used scanner Polytec 400 to perform high resolution modal analysis of one of the windows in a wide range of frequencies by acoustic excitation. This was u the studies to test sound insulation of windows performed on a series of windows with variable parameters within the **PBS grant no. PBS2/B2/9/2013**.

2. MEASUREMENT SETUP

The tested window has been mounted in the partition between the emitting and the receiving reverberation chambers in the CTO Gdańsk acoustic laboratory. In the emitting chamber there was broadband speaker. The measurement was performed from the side of the receiving chamber (Fig. 2).

The front side of the test window from which measurements were performed, has been covered with retroreflective tape. It will allow to increase the signal to noise ratio recorded waveforms.

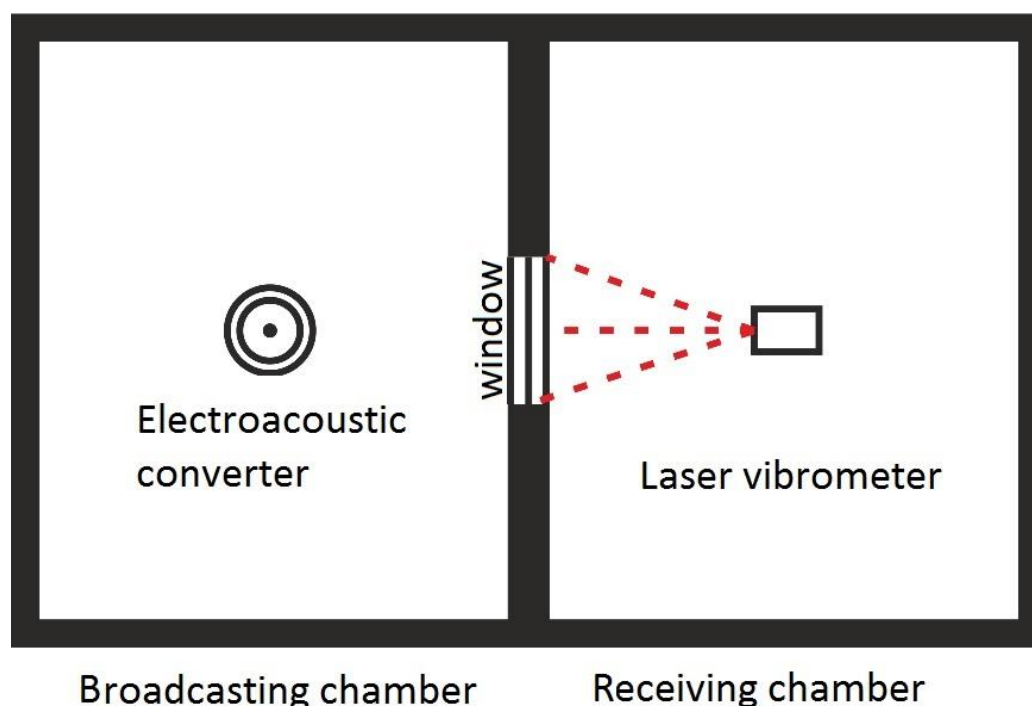


Fig 2. Measurement setup. Measurements of the amplitude-frequency characteristics was performed by the scanning laser vibrometer (Polytec PSV-400)

Diagram of the measurement system is shown in Fig. 2 and Fig. 3. The vibrations of the sample were enforced by specifying a modulated electrical signal from digital generator via

the amplifier on the transducer. The system response (speed transverse vibration at a given point) was recorded in a given grid in 7663 (97×79) measurement points (Fig. 4).

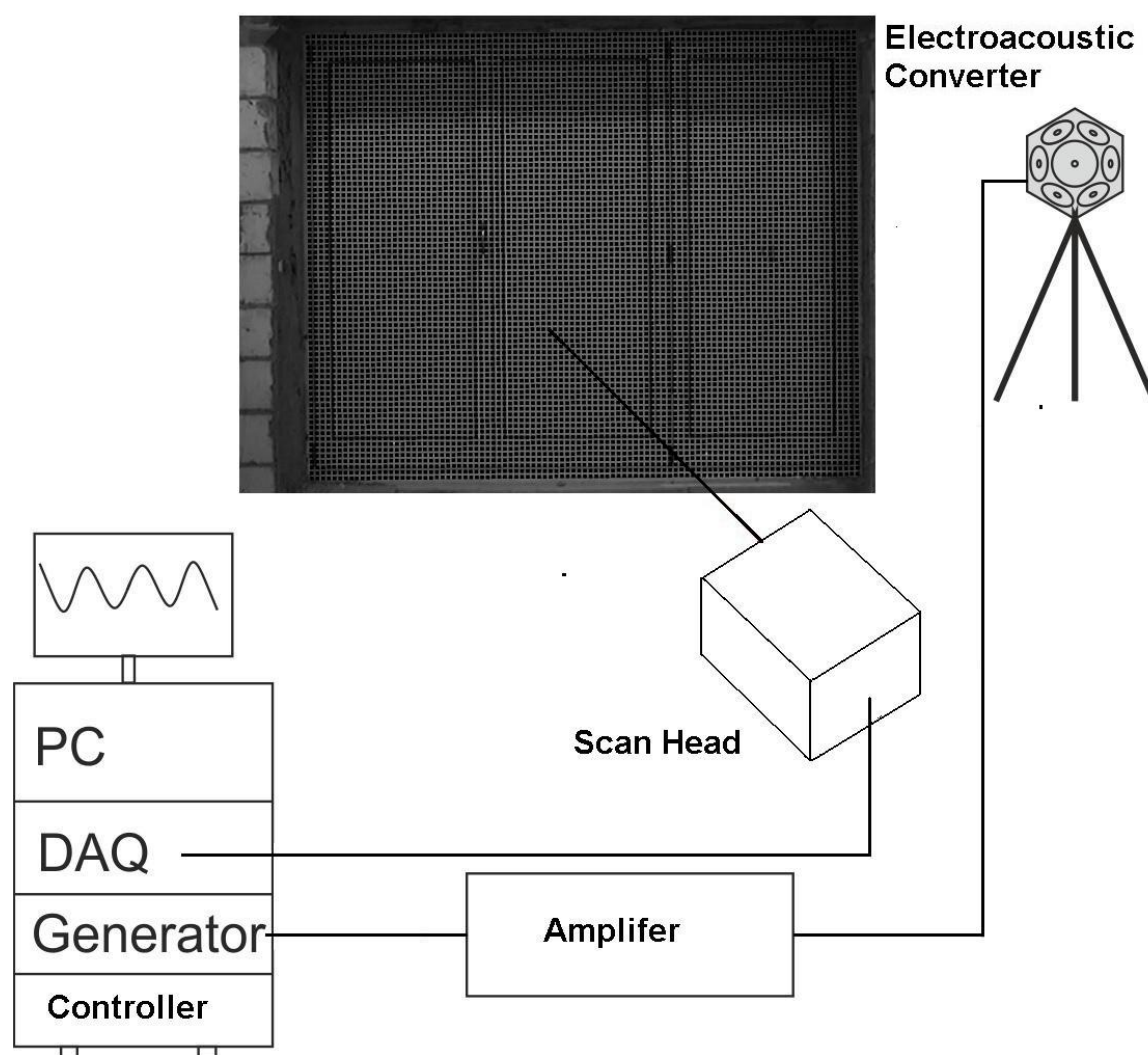


Fig. 3. Schematic of the measuring system

3. THE OBTAINED AMPLITUDE-FREQUENCY CHARACTERISTICS

We determined the frequency characteristics of the tested window at each of the 7663 measurement points for frequency ranges 50-5000 Hz with a resolution of 0.78125 Hz at a periodic chirp excitation. Averaged over all the measuring points of the frequency responses are shown on Fig. 5 – 7.

During the measurements the vibration of the window are induced by periodic chirp sound at each point in sequence. The speed of the point is measured in time. The resultant waveform is decomposed using the FFT analysis by assigning a found values to a specific

frequency. For each frequency the results from all points are summed up and divided by number of measurement points. This produces the frequency characteristics.

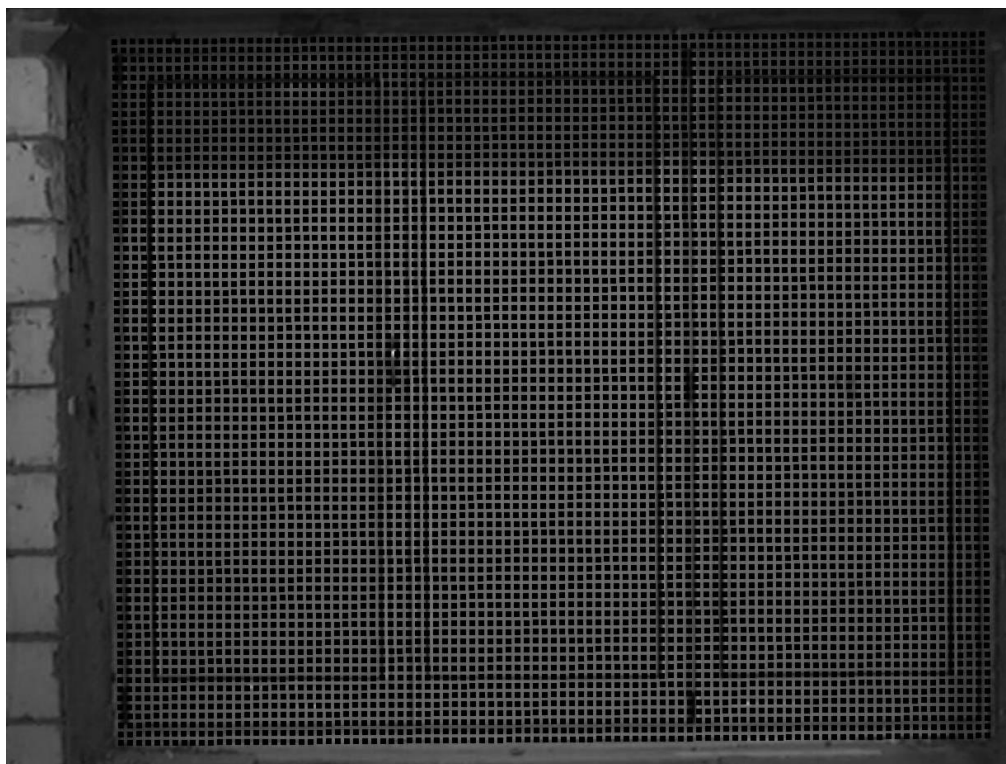


Fig. 4. Grids for 7663 (97×79) points.

The front side of the test window has been covered with retroreflective tape

Only the speed was measured in the experiment. Displacement and acceleration were determined by integration and differentiation of the speed waveforms. As one can see on the shown graphs character of the displacement ,speed and acceleration are similar.

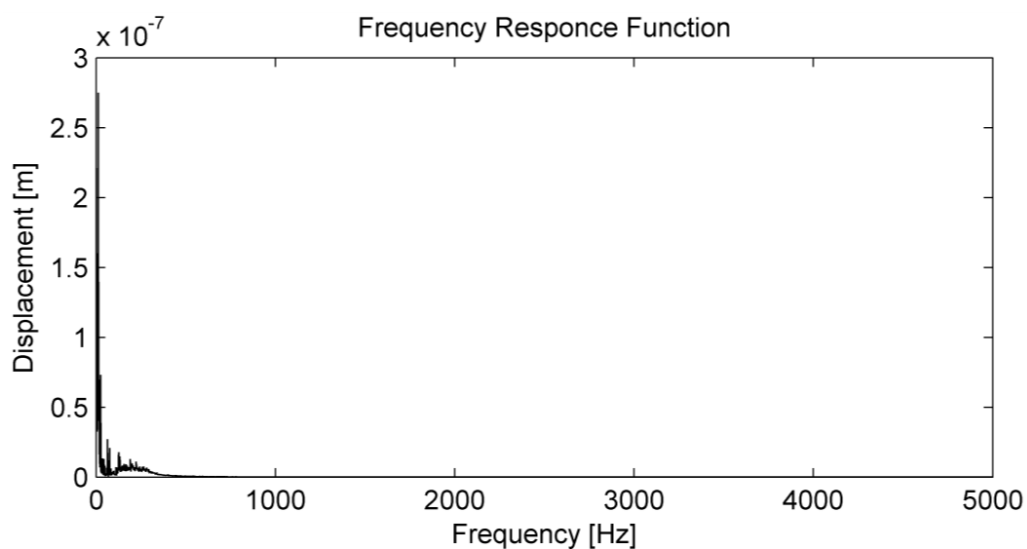


Fig. 5a. Displacements graphs – linear scale. Excitation: periodic chirp

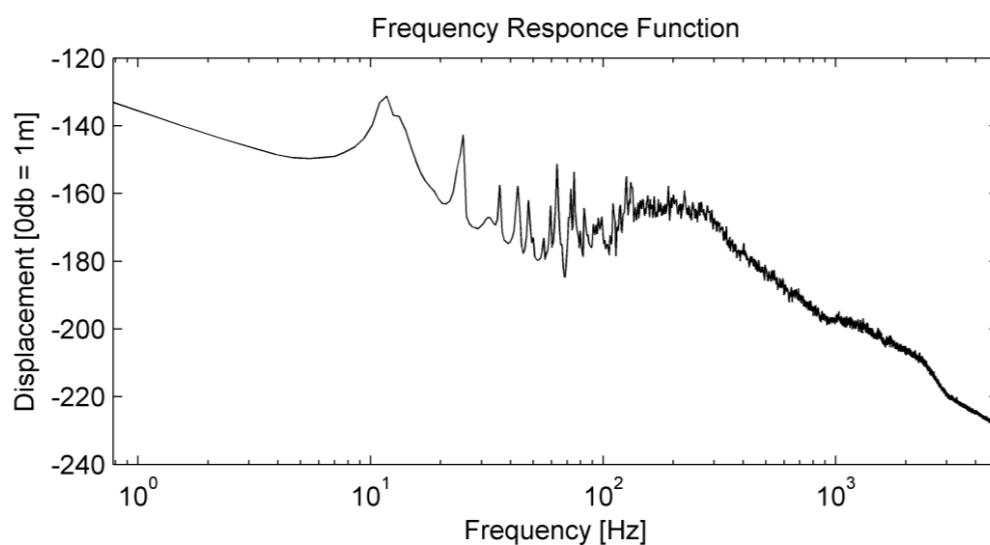


Fig. 5b. Displacements graphs – logarithmic scale. Excitation: periodic chirp

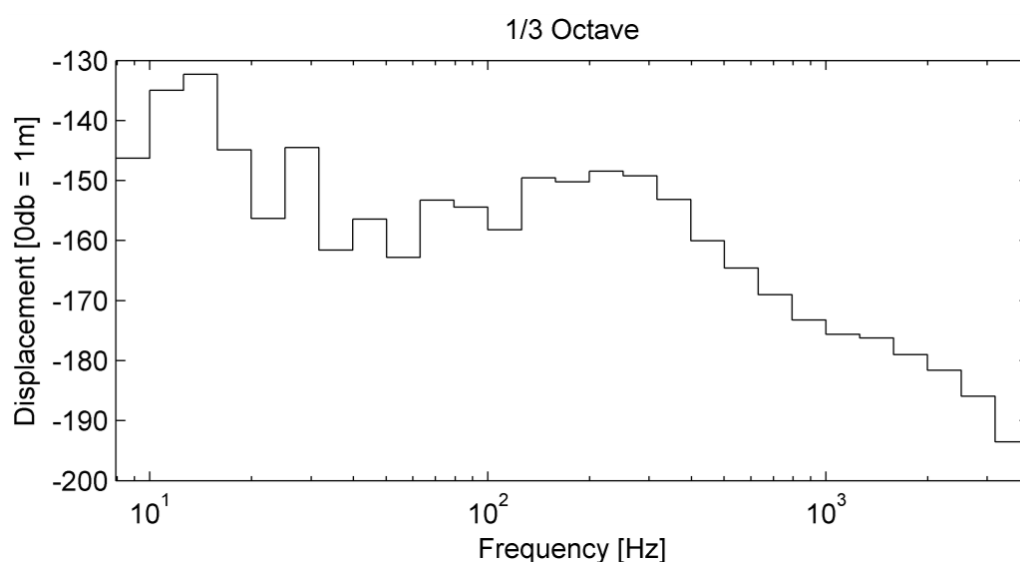


Fig. 5c. Displacements graphs – terce scale. Excitation: periodic chirp

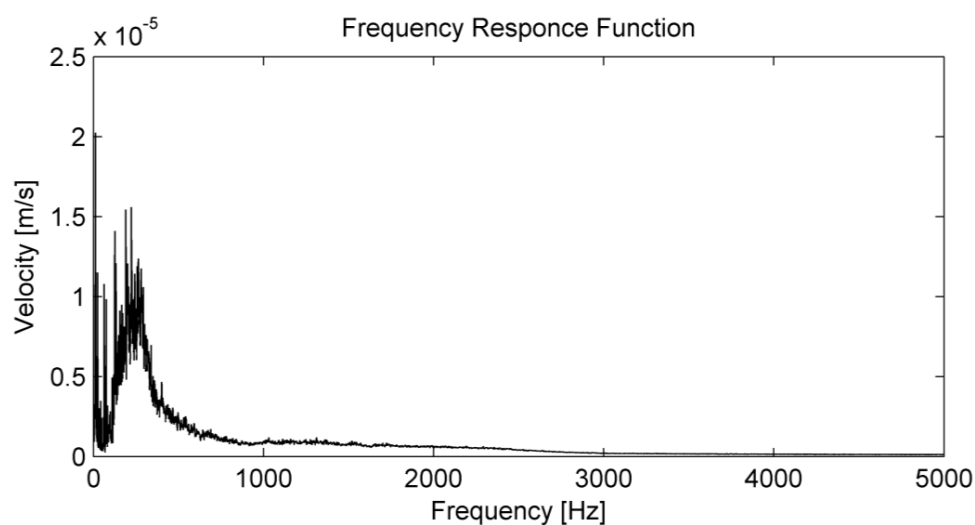


Fig. 6a. Velocity graphs – linear scale. Excitation: periodic chirp

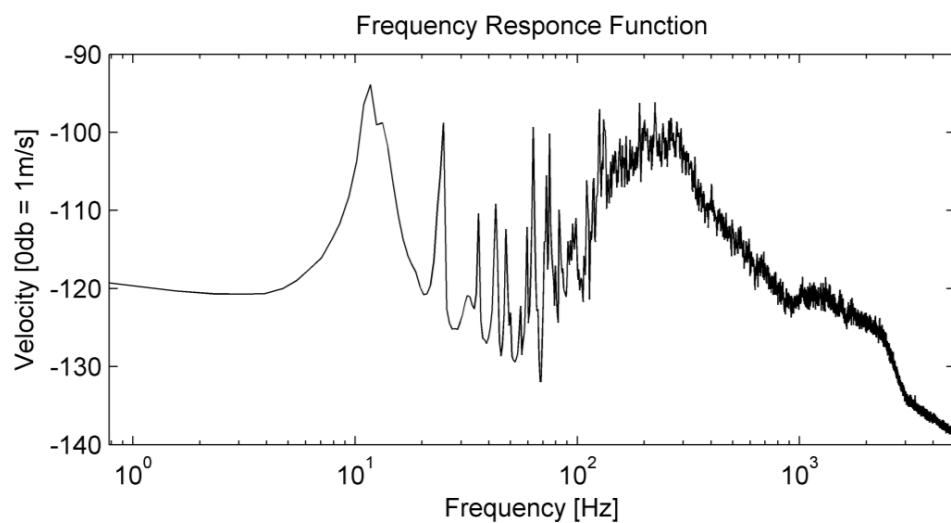


Fig. 6b. Velocity graphs – logarithmic scale. Excitation: periodic chirp

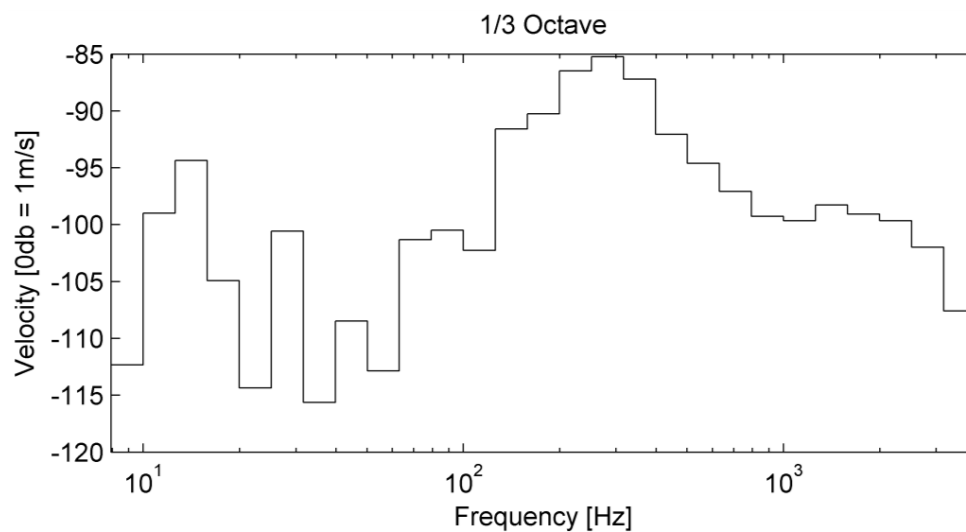


Fig. 6c. Velocity graphs – terce scale. Excitation: periodic chirp

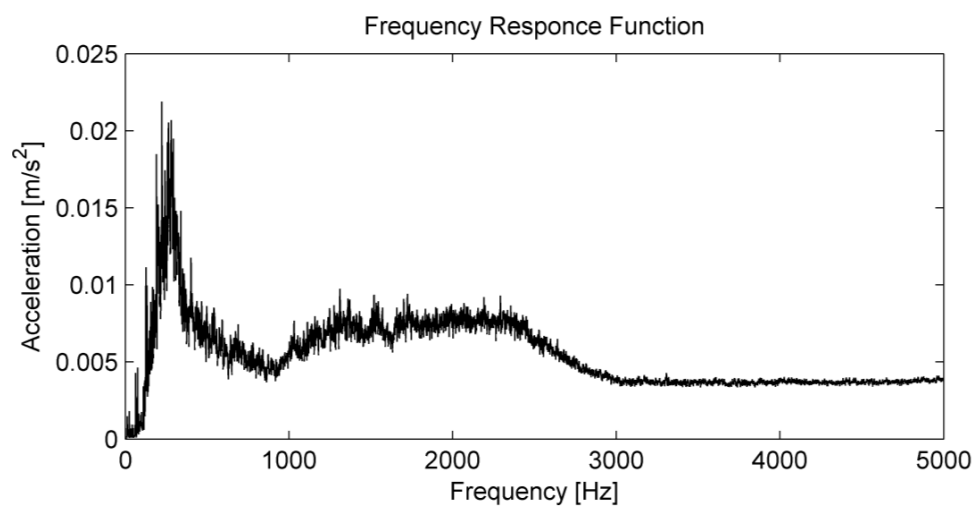


Fig. 7a. Acceleration graphs – linear scale. Excitation: periodic chirp

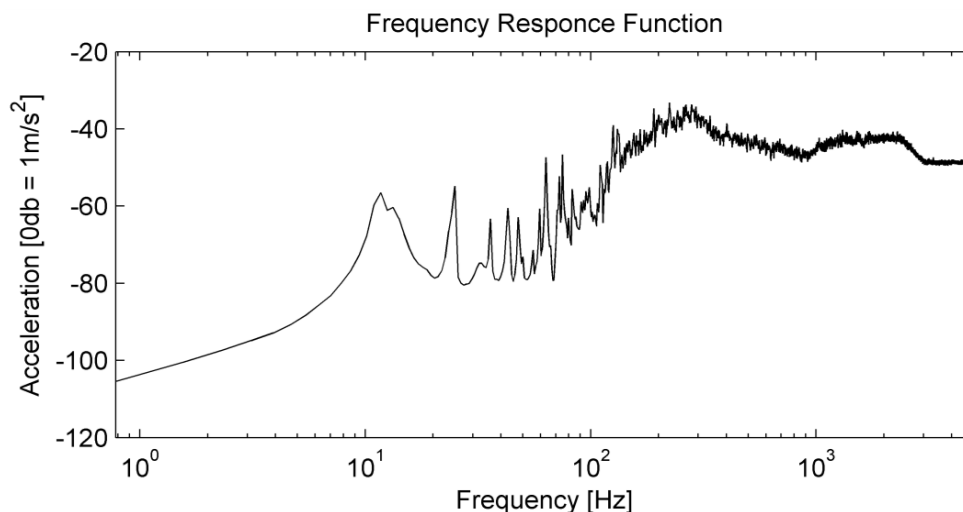


Fig. 7b. Acceleration graphs – logarithmic scale. Excitation: periodic chirp

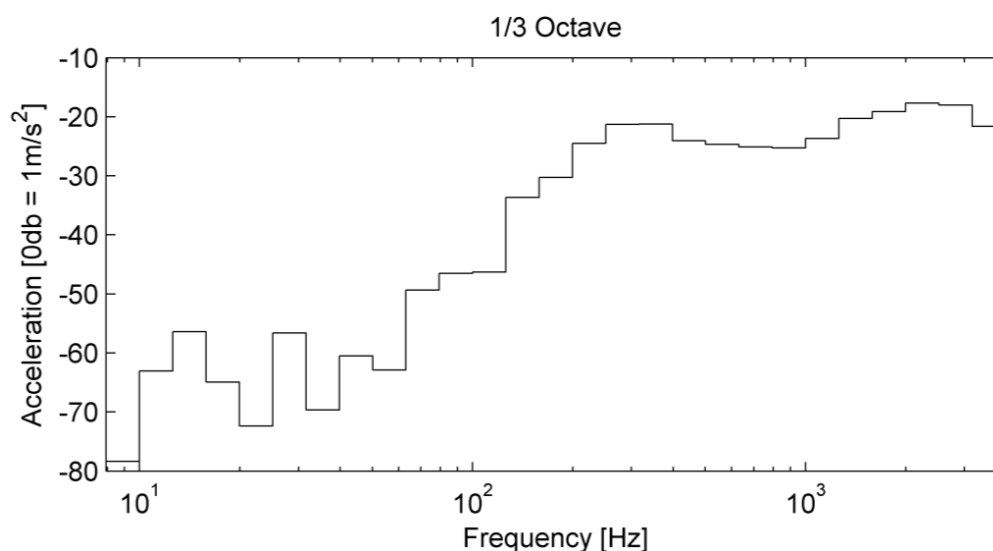


Fig. 7c. Acceleration graphs – terce scale. Excitation: periodic chirp

4. THE RESULTING WINDOW MODES FOR SELECTED NATURAL FREQUENCIES

On the basis of amplitude-frequency characteristics operational deflection of the structure were determined for the vibration natural frequencies. Selected of these are presented below Fig. 9 – 15.

Unfortunately, during measurements in the 3 part of the window after several hours of emitting periodic chirp sound speakers was overheated and there was a jump in their power at two points "1" and "2" (Fig. 8). To save the results the correction coefficients was applied to areas "A" and "B" (Fig. 8). Errors associated with the loss of sound power during measurements in some points was partially compensate for multiplying the results at these

points by arbitrary chooses correction coefficients. The correction coefficients depend on the frequency of oscillations. Most of them fluctuated around the $k_1 = 1,35$, $k_2 = 2,45$.

Many of the vibration modes are asymmetrical. It is clearly visible for frequency e.g. 75 Hz .This is strange because the tested window was basically symmetrical.

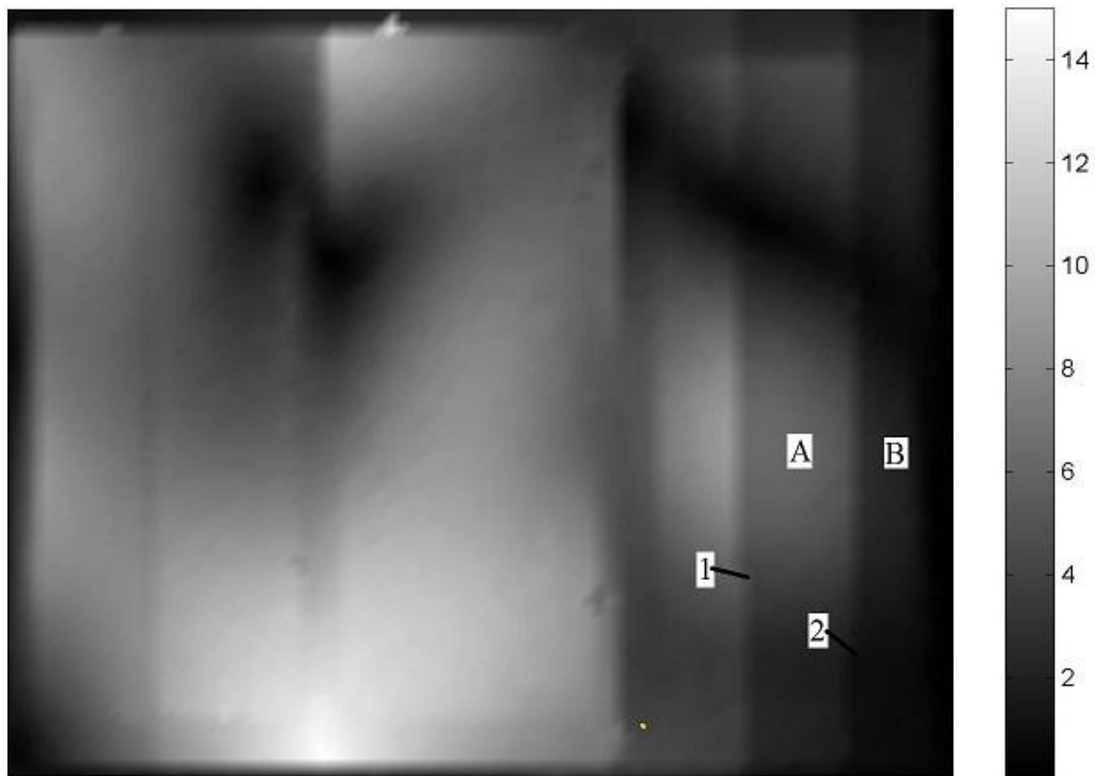


Fig. 8. In the 3rd part of the window there was a large decline in the power of speakers

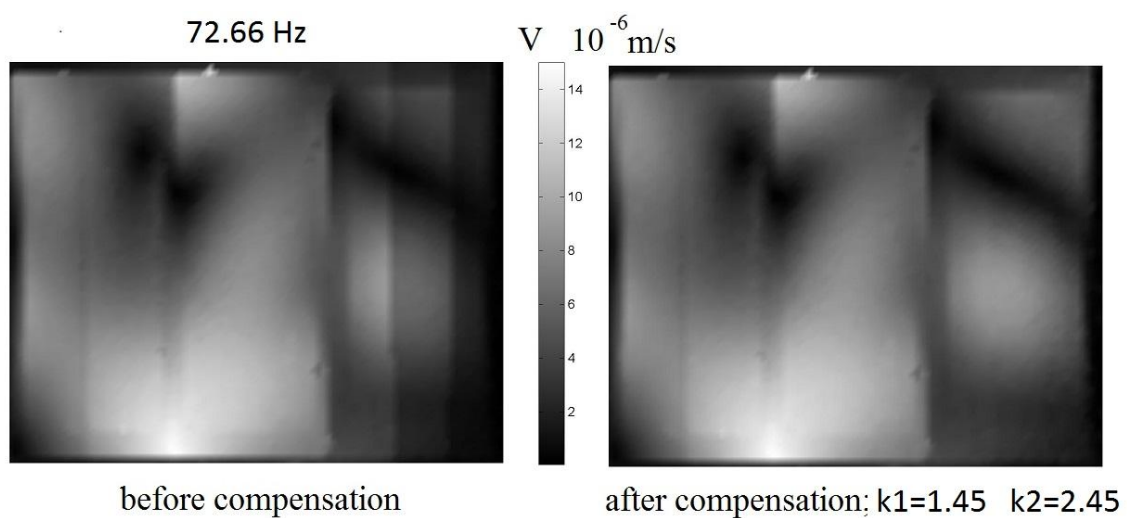


Fig. 9. The form of vibration for frequency 72,66 Hz before and after compensation

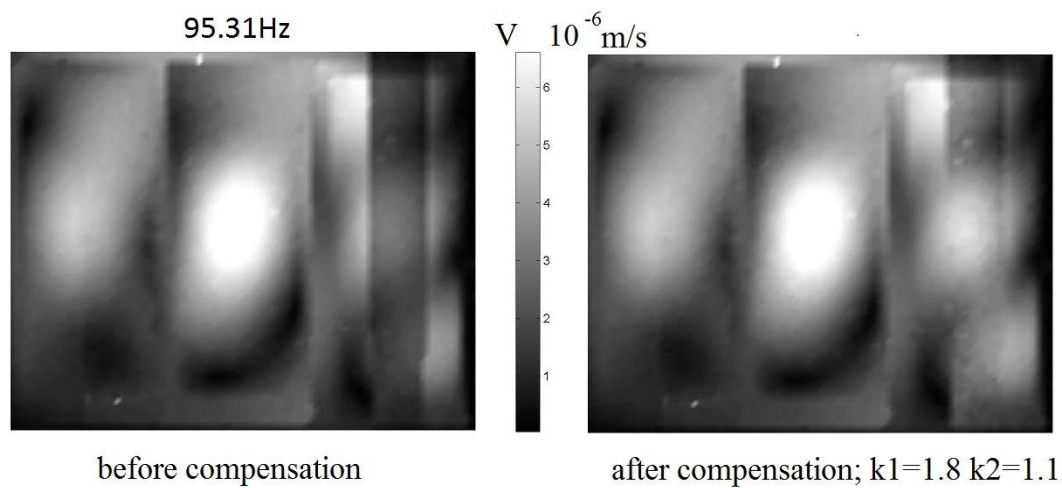


Fig. 10. The form of vibration for frequency 95,31 Hz before and after compensation

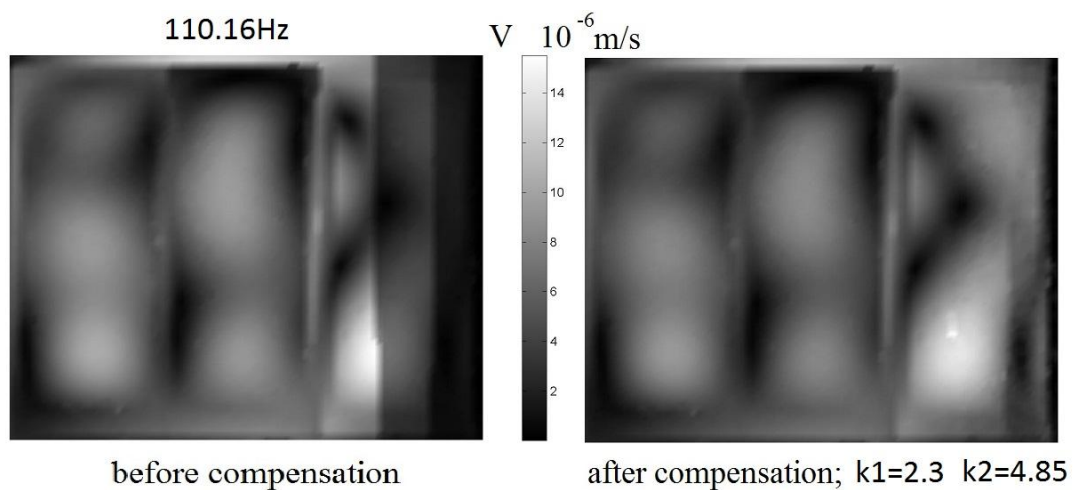


Fig. 11. The form of vibration for frequency 110,16 Hz before and after compensation

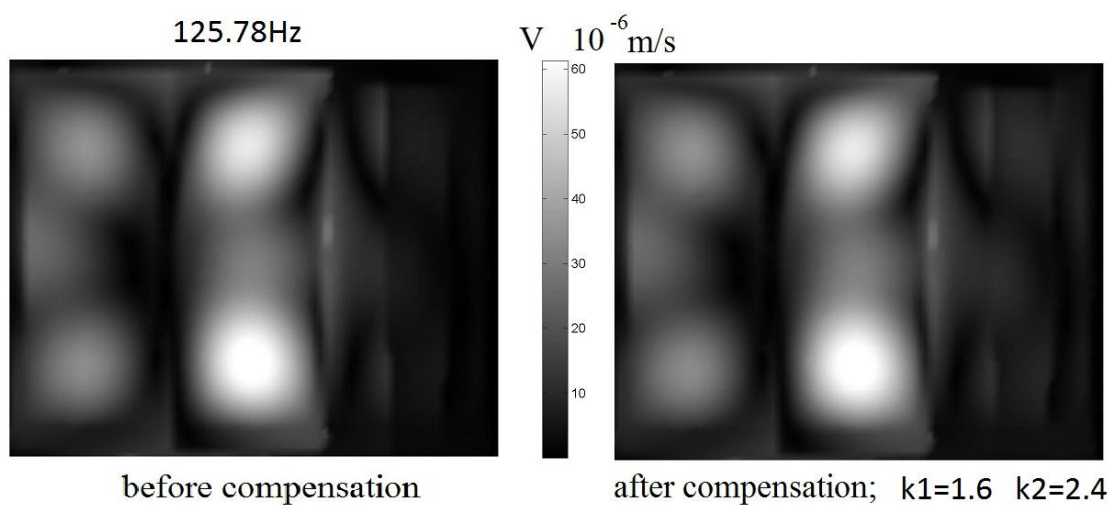


Fig. 12. The form of vibration for frequency 125,78 Hz before and after compensation

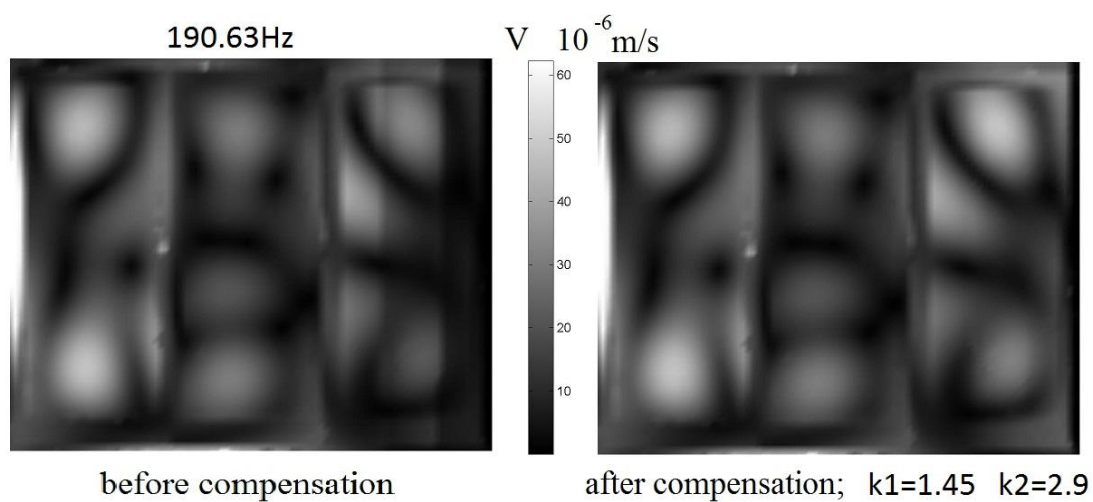


Fig. 13. The form of vibration for frequency 190,63 Hz before and after compensation

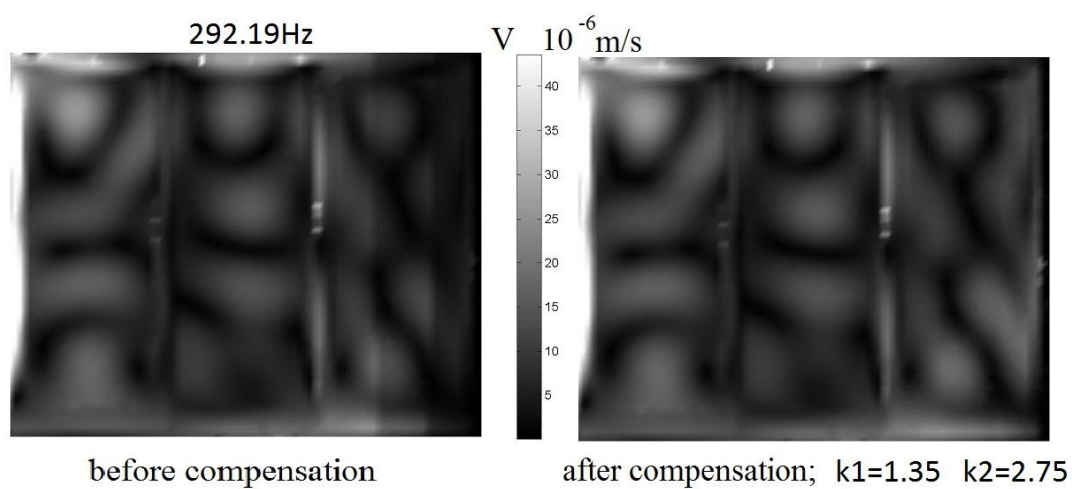


Fig. 14. The form of vibration for frequency 292,19 Hz before and after compensation

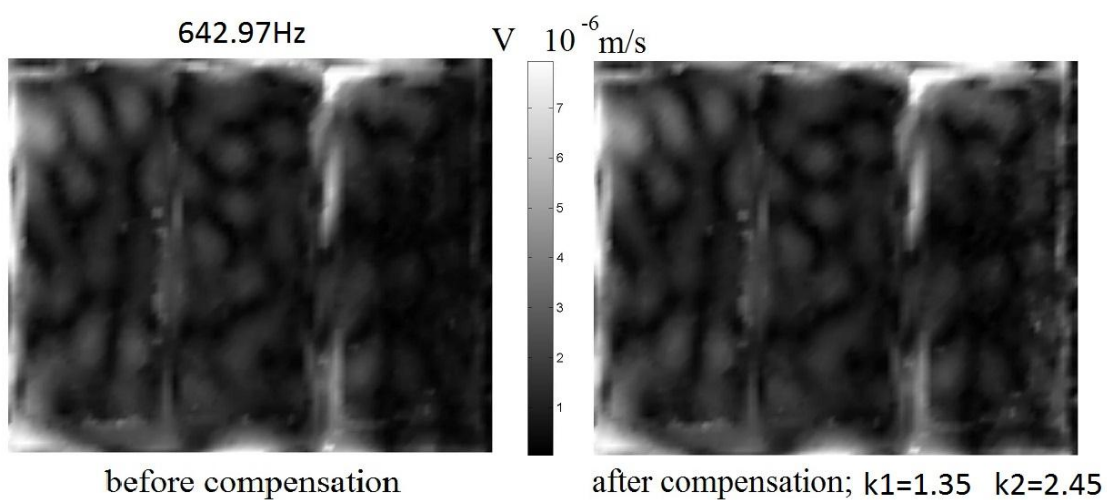


Fig. 15. The form of vibration for frequency 642,97 Hz before and after compensation

5. MAPS OF VIBRATIONS

Based on the results of vibration excited by periodic chirp signal the maps of the vibration was drawn (Fig. 16, 17) (Root Mean Square of vibration velocity in the range 50 – 500 Hz and 500 – 5000 Hz). Sometimes it is called mean effective velocity value.

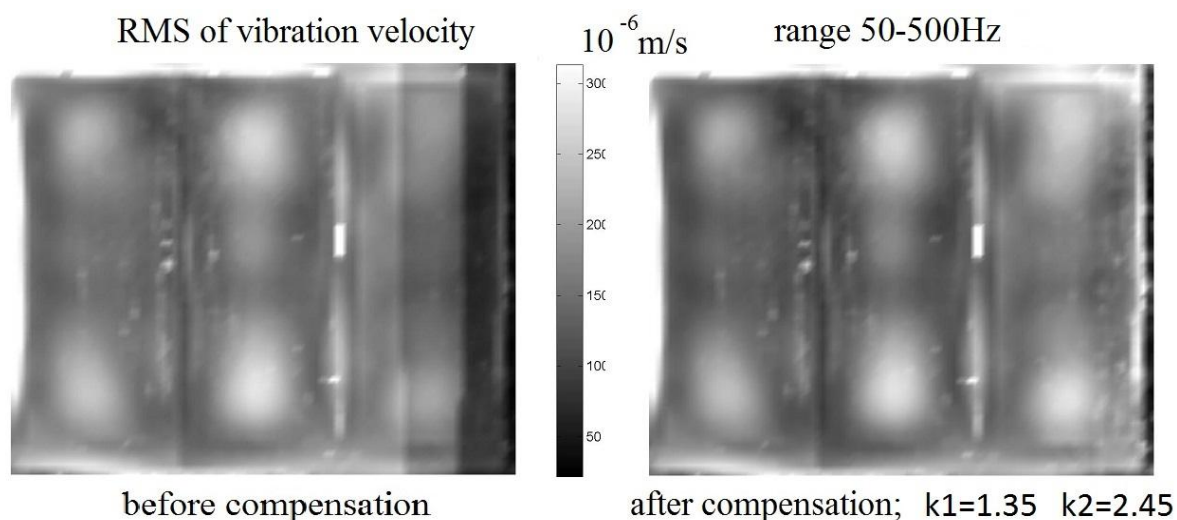


Fig. 16. Map of window vibration in the range 50 – 500 Hz (RMS of vibration velocity)

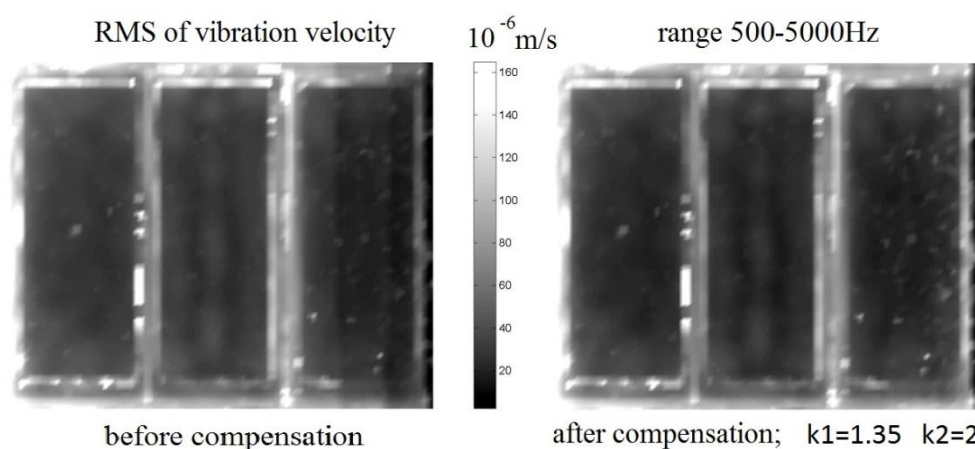


Fig. 17. Map of window vibration in the range 500 – 5000 Hz (RMS of vibration velocity)

The maps show that for the frequency range of 50 – 500 Hz vibrates both the glass and the frame. For the frequency range of 500 – 5000 Hz frame oscillations are predominant.

This map allows you to see the character of the window vibrations enforced by sound coming through the window. This enables a better understanding of the phenomenon of sound penetration through the window.

Spatial maps of acoustic energy passing through the window determined of the basis of sensitive measurements of pressure can be found in the book of Weyna [3] (Fig. 11.11, p. 357).

6. CONCLUSIONS

- 1) Laser vibrometer is a powerful tool for the vibroacoustic study of windows. With its help it is easily obtain forms of vibrations and energy assigned to them and notice even minor structural or fixing asymmetries.
- 2) Hours of vibration excitation in large number of measuring points for the large windows can lead to overheating of the sound system what distort the measurement results.
- 3) Errors associated with the loss of sound power during measurements in some points can be partially compensate for multiplying the results at these points by correction coefficients.
- 4) The dependence of compensation coefficient from the vibration mode can be explained by different damping dependent on the frequency of exciting force and not a fully linear speaker characteristics especially after overheating.

7. LITERATURE

- [1] Basic Principles of Vibrometry <http://www.polytec.com/us/solutions/vibration-measurement/basic-principles>
- [2] Radzieński M., Cyfrowe przetwarzanie sygnałów wibracyjnych w detekcji uszkodzeń elementów konstrukcji, Ph. D. Thesis, Department of Electrical Engineering and Automatics, December 2011
- [3] Weyna S., Rozpływ energii akustycznych źródeł rzeczywistych , Wydawnictwo WNT 2005

SYSTEM AKTYWNEJ REDUKCJI SYGNAŁU UPRIWILEJOWANIA DO ZASTOSOWANIA W HEŁMACH STRAŻACKICH

Leszek MORZYŃSKI

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Czerniakowska 16, 00-701 Warszawa

1. WPROWADZENIE

Pojazdy uprzywilejowane stanowią stosunkowo niewielką, ale bardzo ważną grupę użytkowników dróg, ponieważ od ich szybkiego i sprawnego przemieszczania się często zależy ludzkie życie. O nadjeżdżającym pojeździe uprzywilejowanym kierowcy zwykle dowiadują się najpierw za pomocą słuchu i dopiero później lokalizują pojazd uprzywilejowany na podstawie sygnału świetlnego. Z tego względu, dźwiękowy sygnał uprzywilejowania powinien być słyszalny i rozpoznawalny dla wszystkich uczestników ruchu drogowego. W warunkach ruchu drogowego na możliwość percepcji akustycznego sygnału uprzywilejowania przez uczestników ruchu drogowego wpływa szereg różnych i niezależnych czynników, takich jak: hałas ruchu ulicznego, izolacyjność akustyczna pojazdu, hałas wewnątrz pojazdu (np. hałas układu wentylacji), obecność sygnałów z radia lub odtwarzacza samochodowego czy stosowanie ochronników słuchu (np. podczas prac przy drogach). Ponieważ w warunkach ruchu drogowego nie jest możliwe przewidzenie i określenie poziomów ciśnienia akustycznego wszelkich dźwięków składających się na hałas tła oraz ich zmienności w czasie jak również tłumienia sygnału uprzywilejowania na drodze jego propagacji, zapewnienie prawidłowej percepcji sygnału uprzywilejowania wymaga stosowania sygnału uprzywilejowania, który obok odpowiedniej struktury czasowo-częstotliwościowej cechuje się wysokim poziomem ciśnienia akustycznego. W praktyce poziom dźwięku A sygnału uprzywilejowania na zewnątrz pojazdu uprzywilejowanego najczęściej przekracza 110 dB w odległości 7 m przed pojazdem [1, 2]. Niestety emitowanie sygnału ostrzegawczego o wysokich poziomach ciśnienia akustycznego powoduje, że docierając do wnętrza pojazdu jest on postrzegany jako uciążliwy, a nawet szkodliwy dla zdrowia hałas. Jak pokazują wyniki badań [1, 2, 3], poziom dźwięku A tego hałasu może przekraczać wartość 90 dB. Długotrwałe narażenia na taki hałas może być przyczyną uszkodzeń słuchu. Ponadto hałas taki utrudnia w znacznym stopniu komunikację słowną pomiędzy członkami załogi pojazdu uprzywilejowanego oraz dyspozytorem (drogą radiową) oraz może negatywnie oddziaływać na sprawności psychofizyczne kierowcy pojazdu uprzywilejowanego.

Potrzeba zapewnienia funkcji informacyjnej sygnału uprzywilejowania powoduje, że nie jest możliwe obniżenie jego poziomu ciśnienia akustycznego w celu ograniczenia hałasu we wnętrzu pojazdu uprzywilejowanego. Stosowanymi obecnie metodami redukcji tego hałasu jest zwiększanie izolacyjności akustycznej kabiny pojazdu, a także zmiana położenia syreny emitującej sygnał uprzywilejowania z dachu pojazdu do jego przedziału silnikowego. Rozwiązania te mogą być jednak stosowane w ograniczonym zakresie, gdyż zwiększanie izolacyjności kabiny może skutkować nadmiernym odizolowaniem kierowcy od sygnałów i dźwięków pochodzących od pozostałych użytkowników ruchu, co przekłada się na zwiększone ryzyko spowodowania wypadku, natomiast zmiana umiejscowienia źródła sygnału wpływa negatywnie na jego propagację w warunkach ruchu drogowego, a tym samym na możliwość jego percepcji [4]. W obliczu przedstawionych problemów odpowiednim sposobem obniżenia poziomu hałasu we wnętrzu pojazdu uprzywilejowanego może być zastosowanie metod aktywnych redukcji hałasu [5, 6, 7].

2. KONCEPCJA SYSTEMU AKTYWNEJ REDUKCJI HAŁASU DO ZASTOSOWANIA

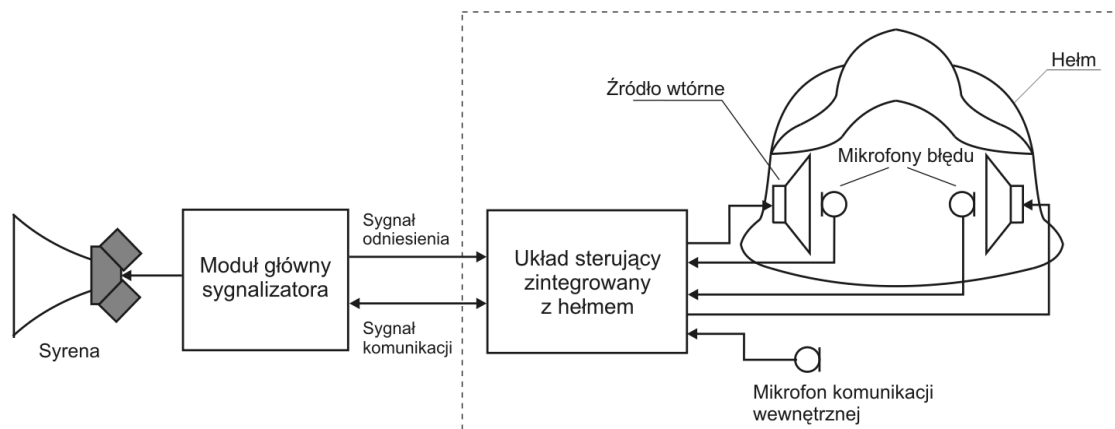
W HELMACH STRAŻACKICH

Obecnie stosowane sygnały uprzywilejowania, są tonami o zmiennej częstotliwości, która mieści się w zakresie od 500 do 2000 Hz. W zależności od charakteru zmian częstotliwości sygnału wyróżnia się trzy powszechnie stosowane sygnały uprzywilejowania:

- Le-On (ang. HI-LO) – sygnał o dwóch zmieniających się na przemian skokowo częstotliwościach np. 950 i 1150 Hz. Zmiana częstotliwości sygnału następuje w określonych odstępach czasu wynoszących ok. 0,5 s.
- Wilk (ang. Wail) – sygnał o płynnie zmieniającej się częstotliwości w zakresie od ok. 500 do 2000 Hz, przy czym czas narastania i opadania częstotliwości sygnału jest taka sama, a pełny okres zmian wynosi ok. 8 s.
- Pies (ang. Yelp) – sygnał o płynnie zmieniającej się częstotliwości z zakresu np. od 600 do 1800 Hz, przy czym w przeciwieństwie do sygnału Wilk czasy narastania i opadania częstotliwości są różne a pełny okres czasu zmian znacznie krótszy, wynoszący ok. 0,25 s.

Prezentowane w publikacjach prace poświęcone aktywnej redukcji hałasu (ARH) pochodzącego od sygnału uprzywilejowania dotyczyły układów, których źródła wtórne umieszczane były w zagłówku siedziska lub noszy pacjenta przewożonego karetką pogotowia ratunkowego [8, 9]. W takim rozwiązaniu przy częstotliwościach sygnału uprzywilejowania dochodzących do 2000 Hz, uzyskiwane strefy ciszy mogą mieć ograniczone wymiary co

powoduje, że przy większym ruchu głową uszy osoby chronionej znajdują się poza obszarem obniżonego ciśnienia akustycznego. Inną koncepcję realizacji układu aktywnej redukcji hałasu sygnału uprzywilejowanego przyjęto w prac badawczych prowadzonych w CIOP – PIB [10]. Prace te prowadzone były głównie w odniesieniu do kierowcy pojazdu uprzywilejowanego. Uwzględniały one zarówno hałas docierający do uszu kierowcy jak i do toru komunikacji pomiędzy załogą pojazdu uprzywilejowanego a dyspozytorem. W opracowanym rozwiązaniu jako źródła wtórne układu aktywnej redukcji hałasu zastosowano nagłowne słuchawki elektroakustyczne. Dzięki zastosowaniu tego rodzaju źródła wtórnego uzyskano dużą skuteczność aktywnej redukcji hałasu i jednocześnie zachowano możliwość odbierania przez kierowcę innych, użytecznych dźwięków płynących z otoczenia. W przypadku strażaków, których standardowym wyposażeniem jest hełm strażacki, zastosowanie wspomnianego powyżej rozwiązania wykorzystującego słuchawki aktywne z oczywistych względów nie jest możliwe. Aby zapewnić strażakom ochronę przed hałasem pochodzącym od sygnalizatora uprzywilejowania i jednocześnie poprawić jakość komunikacji słownej zaproponowano koncepcję systemu integrującego układy ARH i usuwania szumów z sygnału komunikacji z hełmem strażackim. Schemat takiego układu przedstawiono na Rys. 1.

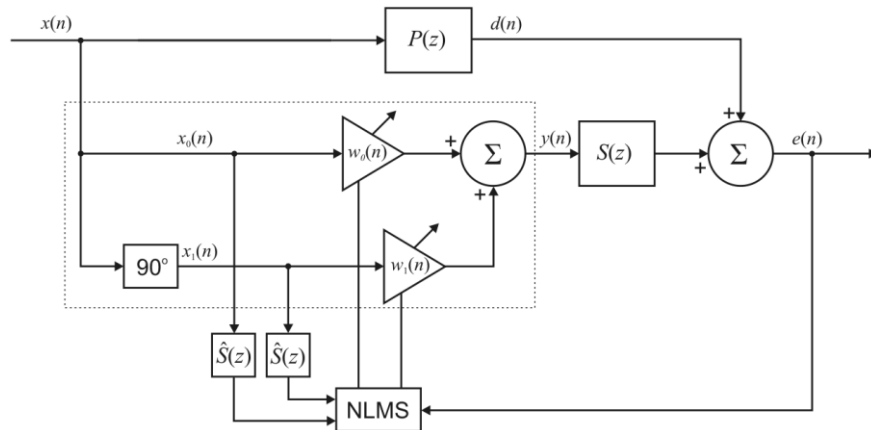


Rys. 1. Schemat układu aktywnej redukcji hałasu do zastosowania w hełmach strażackich

Według przyjętej koncepcji z hełmem zintegrowany zostanie układ sterujący, który będzie realizował dwa niezależne (dla każdego z uszu strażaka) układy ARH ze sprzężeniem w przód. Sygnałem odniesienia będzie sygnał uprzywilejowania podawany bezpośrednio w formie elektrycznej z modułu głównego sygnalizatora. W hełmie umieszczone zostaną dwa źródła wtórne układu aktywnej redukcji hałasu oraz odpowiadające im mikrofony błędu. Źródła wtórne będą pełnić jednocześnie funkcję źródeł sygnału komunikacji wewnętrznej, przesyłanego z modułu głównego sygnalizatora. Dodatkowo na hełmie zamocowany będzie

mikrofon komunikacji wewnętrznej, którym rejestrowany będzie sygnał mowy. Sygnał mowy zostanie poddany filtracji adaptacyjnej pozwalającej na usunięcie z zaszumionego sygnału mowy sygnału uprzywilejowania. Sygnał mowy będzie przesyłany do modułu głównego sygnalizatora skąd będzie rozprowadzany do pozostałych hełmów strażackich dołączonych do systemu.

Istotnym elementem przy realizacji układów ARH dobór odpowiedniego algorytmu sterowania. Charakterystyczną cechą zaproponowanego w pracy rozwiązania jest to, że redukowany sygnał uprzywilejowania jest sygnałem sinusoidalnym o zmiennej częstotliwości oraz, że sygnał odniesienia będzie pobierany bezpośrednio z generatora sygnału uprzywilejowania. Ze względu na te właściwości zdecydowano się na zastosowanie w układzie sterowania wąskopasmowych filtrów adaptacyjnych typu notch [11, 12, 13]. Aby poprawić szybkość zbiegania algorytmu do adaptacji filtra sterującego zostanie zastosowany algorytm o zmiennym kroku adaptacji, NLMS [6, 11, 14]. Schemat algorytmu sterowania dla układów ARH w hełmie strażackim przedstawiono na Rys. 2.



Rys. 2. Algorytm sterowania dla układów ARH w hełmie strażackim

Jest to algorytm NFXLMS z regulatorem w postaci filtra notch. Na schemacie $P(z)$ oznacza ścieżkę pierwotną, $S(z)$ – ścieżkę wtórną, $\hat{S}(z)$ – model ścieżki wtórnej, $W(z)$ oznacza filtr sterujący, $x(n)$ – sygnał odniesienia, $d(n)$ – sygnał kompensowany, a $e(n)$ – sygnał błędny. Wagi filtra sterującego adaptowane są zgodnie z zależnościami:

$$\begin{aligned} w_0(n+1) &= w_0(n) - \mu(n)x'_0(n)e(n) \\ w_1(n+1) &= w_1(n) - \mu(n)x'_1(n)e(n) \end{aligned} \quad (1)$$

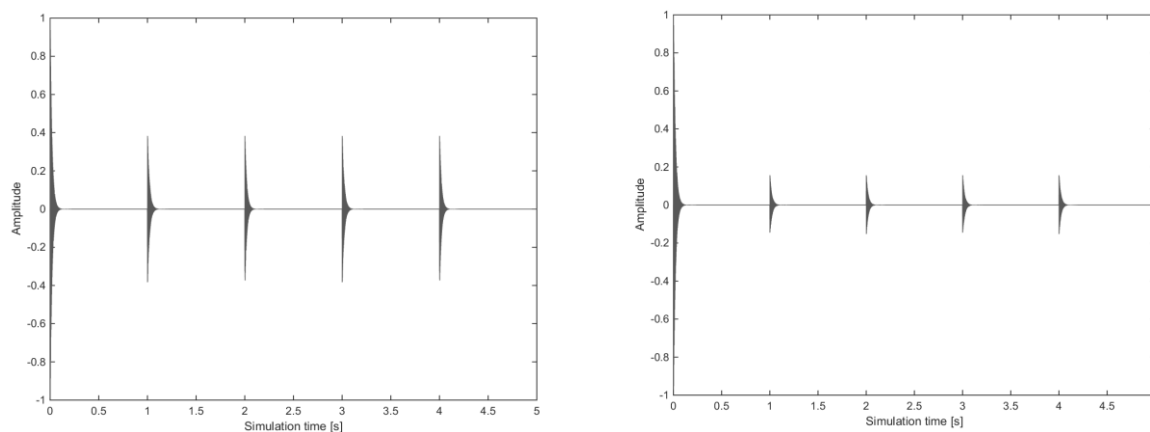
gdzie $x'_0(n) = \hat{s}^T \mathbf{x}_0(n)$ i $x'_1(n) = \hat{s}^T \mathbf{x}_1(n)$ są przefiltrowanymi sygnałami odniesienia.

3. BADANIA SYMULACYJNE

Badania symulacyjne układu ARH przeznaczonego do redukcji hałasu uprzywilejowania w hełmach strażackich przeprowadzono z wykorzystaniem środowiska

obliczeniowego Matlab oraz platformy sprzętowej w postaci mikrokontrolera STM32F4. Mikrokontroler ten jest przewidywany jako docelowa platforma, w oparciu o którą zostanie zrealizowany model układu ARH do zastosowania w hełmach strażackich. Badania przeprowadzono dla różnego rodzaju sygnałów uprzywilejowania. W trakcie badań symulacyjnych ścieżka pierwotna sygnału była modelowana filtrem dolnoprzepustowym o dwudziestu współczynnikami zaś ścieżka wtórna filtrem pasmowo przepustowym o piętnastu współczynnikami. Jako model ścieżki wtórnej zastosowano bufor opóźniający sygnału odniesienia.

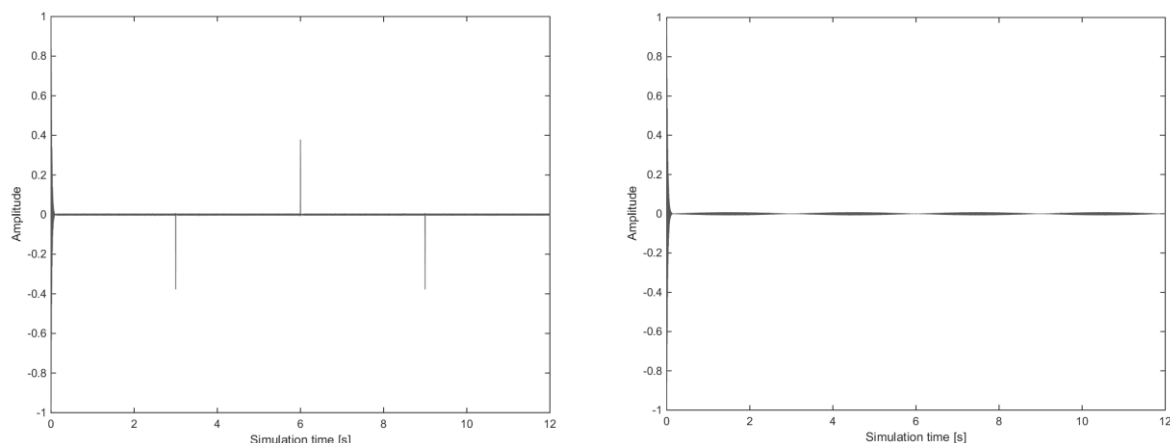
Na Rys. 3 przedstawiono wyniki badań symulacyjnych (sygnał błędu) układu ARH dla sygnału Le-On. Układ działa w sposób prawidłowy redukując sygnał uprzywilejowania. Skokowe zmiany wartości sygnału błędu związane są ze skokową zmianą częstotliwości generowanego sygnału. Są one tym mniejsze im mniejsza jest różnica częstotliwości pomiędzy składowymi sygnału uprzywilejowania. Wartość sygnału błędu od momentu przełączenia częstotliwości sygnału szybko maleje w wyniku adaptacji wag filtra, jednak pojawiające się w sygnale błędu zmiany o charakterze hałasu impulsowego, pomimo niewielkiej amplitudy i krótkiego czasu trwania, mogą być odbierane przez człowieka jako nieprzyjemne trzaski.



Rys. 3. Sygnał błędu dla sygnału Le-On o częstotliwościach składowych 500 i 1000 Hz (po lewej) oraz 950 i 1150 Hz (po prawej)

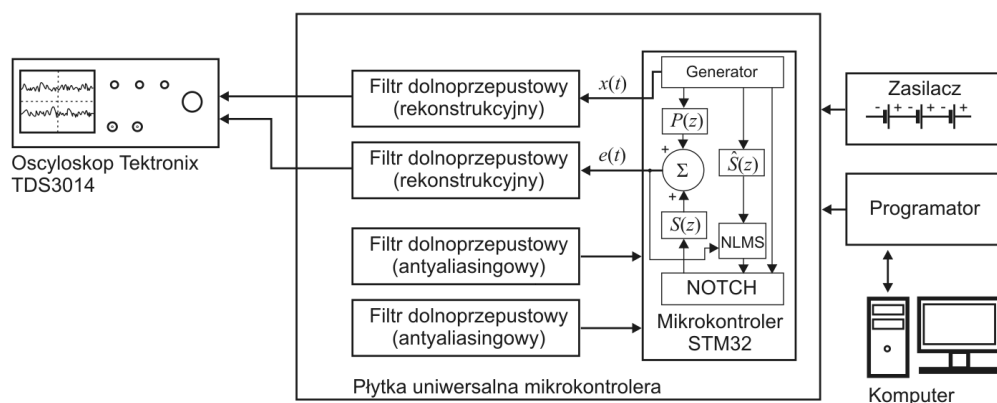
Na Rys. 4 przedstawiono wyniki badań symulacyjnych (sygnał błędu) układu ARH dla sygnału Wilk. Wykres po lewej stronie przedstawia sygnał błędu dla typowego sygnału Wilk, którego częstotliwość w czasie liniowo narasta i maleje w zakresie od 500 do 1500 Hz (modulacja częstotliwości sygnału przebiegiem piłokształtnym). W sygnale błędu widoczne są impulsowe zmiany w chwilach zmiany kierunku modulacji częstotliwości sygnału. Impulsy te mają niewielką amplitudę i krótki czas trwania jednak mogą być odbierane przez człowieka jako nieprzyjemne trzaski. Zaproponowano zatem modyfikację

sygnału Wilk, tak, aby modulacja jego częstotliwości miała charakter sinusoidalny. Powstały w ten sposób sygnał Wilk_sin wywołuje u człowieka wrażenia słuchowe równoważne sygnałowi Wilk, jednak w przypadku redukcji tego sygnału metodami aktywnymi w sygnale błędu nie powstają zmiany o charakterze impulsowym (Rys. 4, wykres po prawej).



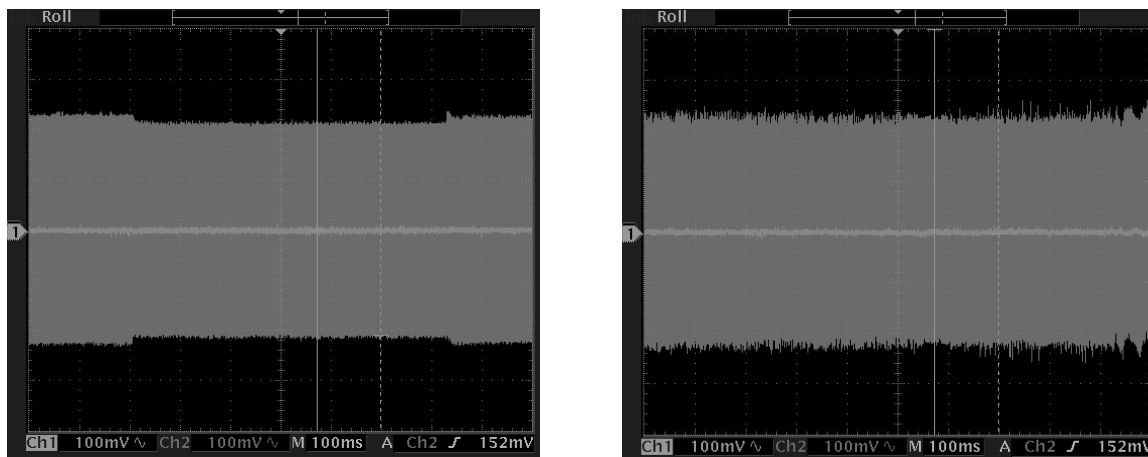
Rys. 4. Sygnał błędu dla sygnału Wilk o częstotliwościach z zakresu 500 – 1500 Hz (po lewej) oraz zmodyfikowanego sygnału Wilk_sin (po prawej)

Badania symulacyjne przeprowadzone z wykorzystaniem platformy sprzętowej mikrokontrolera STM32F4 miały podobny przebieg jak badania przeprowadzone w środowisku Matlab. Działanie układu ARH sprowadzono do operacji arytmetycznych realizowanych przez mikrokontroler na próbkach sygnałów z wykorzystaniem opracowanego oprogramowania. Celem tych badań było sprawdzenie poprawności implementacji w oprogramowaniu mikrokontrolera algorytmów umożliwiających generowanie sygnału uprzywilejowania oraz jego aktywną redukcję. Schemat układu, w którym prowadzono badania przedstawiono na Rys. 5. Z układu mikrokontrolera wyprowadzono na zewnątrz



Rys. 5. Schemat układu do badań symulacyjnych z wykorzystaniem platformy sprzętowej mikrokontrolera STM32F4

(z użyciem przetworników C/A) sygnały odniesienia i błędu, dzięki czemu wyniki badań symulacyjnych mogły być obserwowane na ekranie oscyloskopu. Przykładowe wyniki tych badań dla sygnału Le-On i Wilk przedstawiono na Rys. 6. Można zaobserwować, że w obu przypadkach układ działał w sposób prawidłowy a osiągnięta redukcja dochodziła do 15 dB.



Rys. 6. Oscylogramy sygnału pierwotnego (ciemnoszary) i błędu (jasnoszary) dla sygnałów Le-On o częstotliwościach składowych 500 i 1000 Hz (po lewej) oraz sygnału Wilk o częstotliwościach z zakresu 500 – 1500 Hz (po prawej)

4. PODSUMOWANIE

Akustyczny sygnał uprzywilejowania emitowany przez pojazdy uprzywilejowane powinien być słyszalny i rozpoznawalny przez uczestników ruchu drogowego. Wysoki poziom ciśnienia akustycznego emitowanego sygnału powoduje, że dla załogi pojazdu uprzywilejowanego staje się on uciążliwym hałasem. W artykule przedstawiono koncepcję i wyniki badań symulacyjnych układu aktywnej redukcji hałasu do zastosowania w hełmie strażackim działającego w oparciu o filtry wąskopasmowe typu notch. Osiągnięte wyniki pokazały, że zaproponowany system może być efektywnym rozwiązaniem zmniejszającym narażenia na hałas załóg straży pożarnej i poprawiającym jakość ich komunikacji słownej.

Opracowano na podstawie badań zrealizowanych w latach 2014-2016 w ramach działalności statutowej Centralnego Instytutu Ochrony Pracy – Państwowego Instytutu Badawczego, sfinansowanych ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

5. LITERATURA

- [1] Morzyński L., Badania hałasu powodowanego przez sygnalizatory dźwiękowe pojazdów przywilejowanych, Materiały XLIII Zimowej Szkoły Zwalczania Zagrożeń Wibroakustycznych, Gliwice-Szczyrk, 02.03 – 06.03.2015 r. str. 23-28
- [2] Górski P., Occupational exposure to noise from authorized emergency vehicle sirens International Journal of Occupational Safety and Ergonomics 20.3 (2014), pp. 515-523

- [3] Górski P. Problem zawodowego narażenia kierowców na hałas pochodzący od dźwiękowych sygnałów uprzywilejowania, *Przegląd Komunikacyjny*, 4/2014, str. 6-13
- [4] Górski P., Zawieska W. M., The influence of location of the privileged vehicle siren on the vehicle traffic safety, *Inter-Noise*, 2014
- [5] Engel Z., Makarewicz G., Morzyński L., Zawieska W. M., *Metody aktywne redukcji hałasu*, CIOP, Warszawa 2001
- [6] Hansen C. H., Snyder S., Qiu X., Brooks L., Moreau D., *Active control of noise and vibration*, CRC Press 2013
- [7] Pawełczyk, M., Active noise control – a review of control-related problems, *Archives of Acoustics* 33.4 (2008), pp. 509-520
- [8] Usagawa Tsuyoshi, An active Control System of Ambulance Siren by means of Loudspeakers Mounted in Headrest, *Inter-Noise 2003*, Seogwipo, Korea, 2003, pp. 1020-1024
- [9] Sepehr H., Ahmadi M., Brennan P., Siren noise attenuation by non-linear processing of time-frequency information. 7th WSEAS International Conference on Signal Processing, Istanbul, Turkey 2008, May
- [10] Morzyński L., Górski P., Sygnalizator ostrzegawczy w pojazdach uprzywilejowanych zintegrowany z systemem aktywnej redukcji hałasu, *Bezpieczeństwo Pracy* 7-8/2008, pp. 24–27
- [11] Kuo S. M., Morgan D. R., *Active Noise Control Systems. Algorithms and DSP Implementations*. John Wiley & Sons, New York 1996
- [12] Górski P., Model of active hearing protector controlled by notch filters, *International Congress on Sound and Vibration (ICSV20)*, lipiec 2013
- [13] Górski P., Morzyński L., Active noise reduction algorithm based on NOTCH filter and genetic algorithm, *Archives of Acoustic*, vol. 38, no. 2, 2013, pp. 185-190
- [14] Makarewicz G., *Wybrane cyfrowe systemy aktywnej redukcji hałasu*, monografia, Centralny Instytut Ochrony Pracy, Warszawa 2002

WIELOWARSTWOWA STRUKTURA AKTYWNA DO OGRANICZANIA TRANSMISJI HAŁASU PRZEZ OBUDOWY

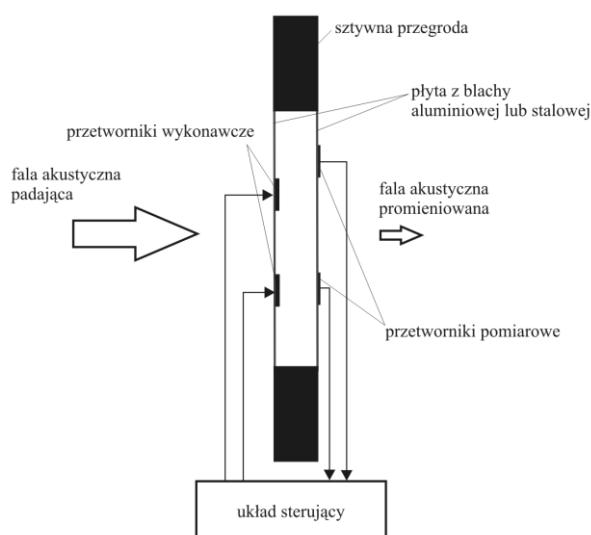
Leszek MORZYŃSKI, Tomasz KRUKOWICZ
Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Czerniakowska 16, 00-701 Warszawa

1. WPROWADZENIE

Pasywne metody redukcji hałasu, np. obudowy dźwiękoizolacyjne, cechuje mała skuteczność w zakresie niskich częstotliwości akustycznych. W ostatnich latach obserwuje się wzrost liczby badań nad poprawą tej skuteczności z zastosowaniem układów aktywnych stanowiących całość lub wybrany element danego zabezpieczenia przeciwhałasowego. Struktury aktywne są zbudowane z konstrukcyjnych materiałów pasywnych, (takich jak stal, aluminium, szkło lub tworzywa sztuczne), w postaci jednej lub kilku płyt zamocowanych w ramie, na których rozmieszczane są przetworniki pomiarowe i wykonawcze (wzбудniki). Efekt ograniczenia transmisji hałasu przez strukturę w tych układach osiąga się redukując drgania elementów składowych struktury. Popularnymi typami tych elementów wykonawczych są przetworniki piezoceramiczne [1, 2], także jako kompozyty [3, 4, 5]. Coraz częściej jako przetworniki wykonawcze stosuje się również magnetoelektryczne wzбудniki inercyjne przytwierdzone bezpośrednio do powierzchni drgającej [6, 7]. Zaletami przetworników piezoceramicznych w aspekcie ich stosowalności w systemach ASAC jest duża trwałość, krótki czas reakcji, niewielki ciężar oraz wytwarzana siła. Wadą jest konieczność stosowania wysokich napięć polaryzacji (od 60 do 500 V) mających na celu linearyzację charakterystyki napięcie-odkształcenie. Ponadto przetworniki w formie kryształów charakteryzują się niewielkimi odkształceniami (0,1 – 0,2 %). Praktyczne wykorzystanie przetworników piezoelektrycznych wymaga stosowania dodatkowych układów polaryzacji, co wiąże się z dodatkowymi kosztami aparaturowymi oraz niebezpieczeństwem związanym z porażeniem elektrycznym. Z tego względu korzystniejsze wydaje się wykorzystanie do redukcji drgań inercyjnych przetworników magnetoelektrycznych. W roli przetworników pomiarowych wykorzystywane są najczęściej przetworniki piezoelektryczne (ceramiczne, kompozytowe lub PVDF) lub mikrofony [7]. Jednym z możliwych rozwiązań jest zastosowanie techniki mikrofonu wirtualnego [8]. Odrębne zagadnienie stanowi sposób realizacji sterowania strukturą aktywną. Wykorzystywane są układy zarówno ze sprzężeniem zwrotnym [3, 9] jak i ze sprzężeniem do przodu [7, 10, 11], w tym z użyciem sieci neuronowych [12].

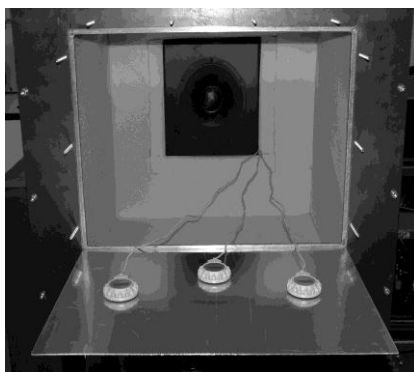
2. MODEL WIELOWARSTWOWEJ STRUKTURY AKTYWNEJ

Podstawowy schemat wielowarstwowej struktury aktywnej przedstawiono na Rys. 1. Struktura składa się z dwóch podpartych lub sztywno zamocowanych na wszystkich krawędziach płyt oraz komory rozdzielającej płyty, wypełnionej powietrzem. Płyta wewnętrzna (tzn. znajdująca się od strony źródła hałasu) określana jest mianem incydentnej, płyta zewnętrzna (tzn. znajdujący się po stronie obszaru chronionego przed hałasem) określana jest jako promieniująca. Na powierzchni jednej z płyt umieszczone są przetworniki wykonawcze będące źródłem dodatkowych, kompensujących wymuszeń. Również na powierzchni jednej z płyt umieszczone są przetworniki pomiarowe rejestrujące sygnał błędu sterowania.



Rys. 1. Schemat wielowarstwowej struktury aktywnej

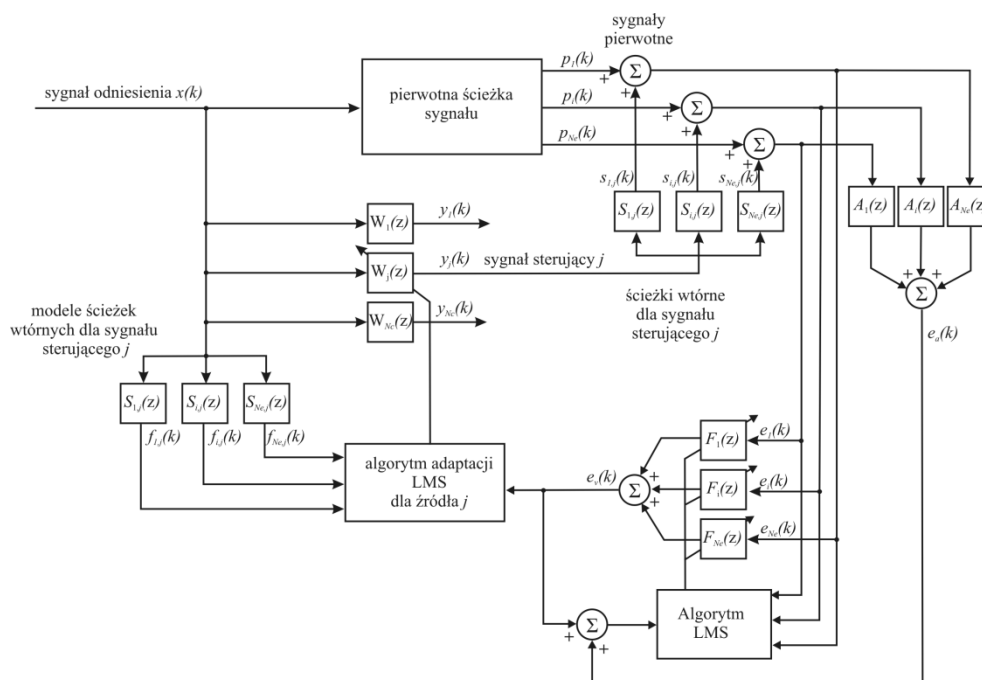
struktury umieszczono magnetoelektryczne, inercyjne przetworniki wykonawcze, natomiast na zewnętrznej przetworniki piezoelektryczne kompozytowe MFC pełniące rolę przetworników kompozytowych. Rama konstrukcyjna separująca obie płyty może mieć różną głębokość.



Rys. 2.

Model wielowarstwowej struktury aktywnej na stanowisku laboratoryjnym. Widoczna płyta promieniująca z trzema pomiarowymi przetwornikami MFC (po lewej) i płyta incydentna z trzema magnetoelektrycznymi przetwornikami wykonawczymi (po prawej).

Schemat algorytmu sterowania strukturą przedstawiono na Rys. 3. Do sterowania struktury aktywnej zastosowano sterowanie adaptacyjne z wyprzedzeniem.



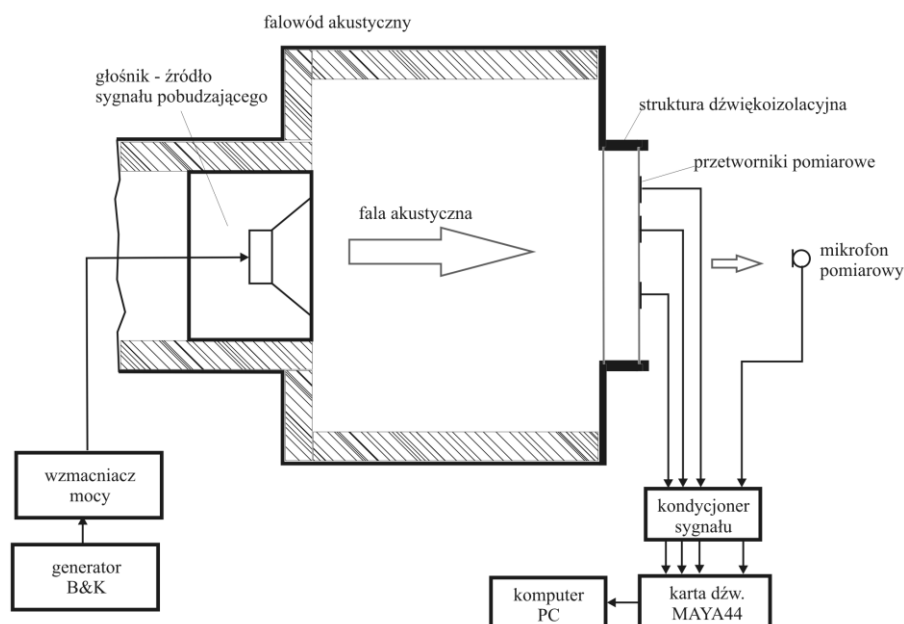
Rys. 3. Algorytm sterowania wielowarstwowej struktury aktywnej

Zastosowanie w układzie sterowania omawianej struktury detektora sygnału błędu w postaci mikrofonu umieszczonego w pewnej odległości od płyty poprawia przyczynowość sterowania i pozwala uzyskanie lepszych rezultatów niż w przypadku przetworników drganiowych, jednak jest niepraktyczne w warunkach rzeczywistych. Z tego powodu w algorytmie sterowania zaproponowano zastosowanie ekstrapolacji sygnału mikrofonowego w oparciu o sygnały z przetworników piezoelektrycznych.

3. BADANIA SYMULACYJNE

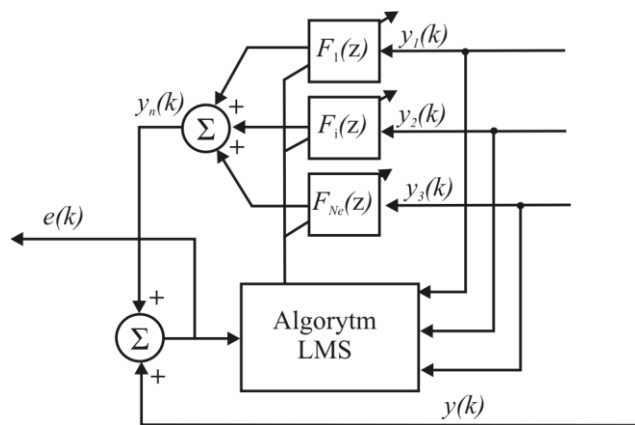
Badania symulacyjne prowadzone w środowisku obliczeniowym Matlab miały na celu sprawdzenie metody ekstrapolacji sygnału z mikrofonu umieszczonego w pewnej odległości od płyty z wykorzystaniem sygnałów rejestrowanych czujnikami drgań umieszczonymi na płycie promieniującej. Przed przystąpieniem do badań symulacyjnych wykonano model wielowarstwowej struktury aktywnej, a następnie w układzie, którego schemat przedstawiono na Rys. 4 zarejestrowano sygnały akustyczny i drganiowe, będące podstawą do badań symulacyjnych. W początkowej fazie badań wykorzystując pobudzenie w postaci tonu o zmiennej częstotliwości zidentyfikowano częstotliwości rezonansowe struktury, na podstawie sygnałów z czujników pomiarowych. Częstotliwościami, dla których drgania płyty promieniującej miały największą amplitudę, wynosiły odpowiednio: 58,5, 59,2, 63,2, 91,2,

104,5, 113,3, 117,8 183, 203,7 212,9 i 237,9 Hz. Następnie dla pobudzeń struktury sygnałami o podanych powyżej częstotliwościach zarejestrowano sygnały pochodzące z przetworników pomiarowych i mikrofonu.



Rys. 4. Schemat układu pomiarowego

Schemat symulowanego układu przedstawiono na Rys. 5. Symbolami $y_1 - y_3$ oznaczono sygnały z czujników drganiowych zarejestrowane w układzie modelowym, natomiast symbolem y sygnał z mikrofonu pomiarowego. Błąd ekstrapolacji oznaczono symbolem e .

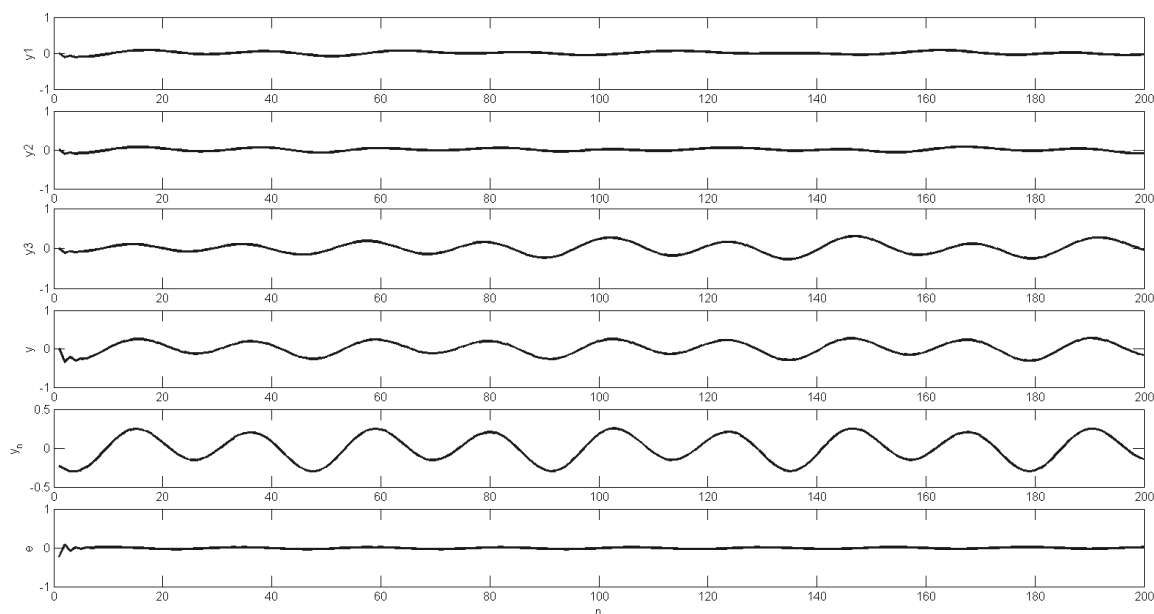


Rys. 5. Schemat metody ekstrapolacji sygnału akustycznego z wykorzystaniem czujników drganiowych

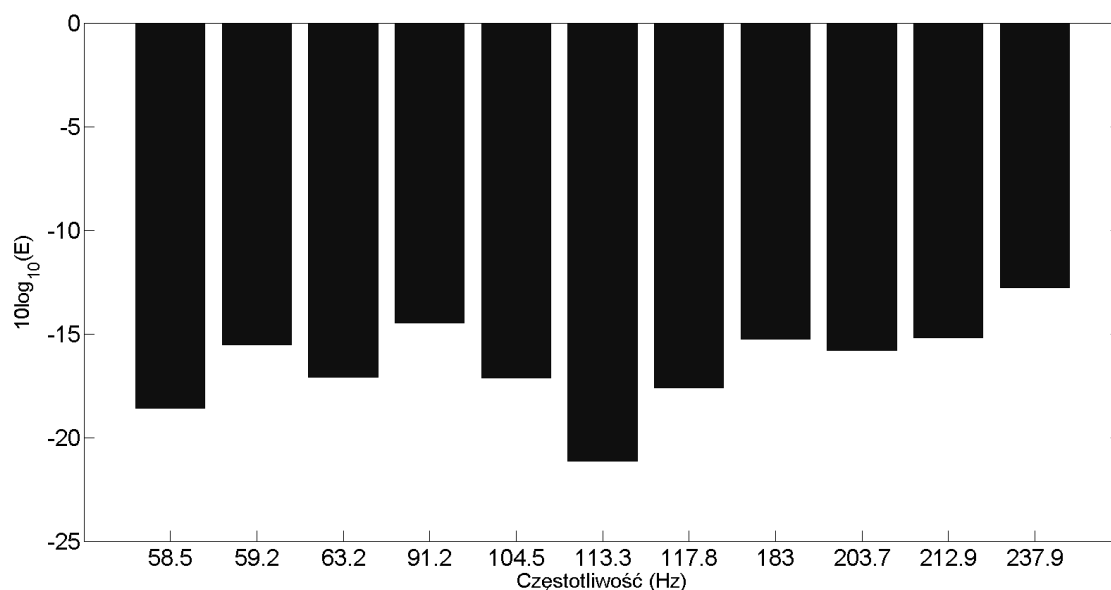
Przykładowe wyniki badań symulacyjnych obrazujące przebiegi czasowe poszczególnych sygnałów w symulowanym układzie dla częstotliwości pobudzenia wynoszącej 91,2 Hz przedstawiono na Rys. 6. Ocenę jakości ekstrapolacji wykonano poprzez obliczenie stosunku energii błędu ekstrapolacji do energii sygnału z mikrofonu dla

kolejnych częstotliwości rezonansowych. Wyniki tej oceny przedstawiono na Rys. 7.

Jak wynika z danych przedstawiony na wykresie z Rys. 7 wartość błędu ekstrapolacji zawierała się w przedziale od -13 do -22 dB. Wynik taki można uznać za zadowalający, a dalszą poprawę dokładności ekstrapolacji można osiągnąć dobierając odpowiednie struktury filtrów.



Rys. 6. Wyniki badań symulacyjnych dla częstotliwości 91,2 Hz



Rys. 7. Wyniki badań symulacyjnych – błąd ekstrapolacji sygnału mikrofonowego w zależności od częstotliwości pobudzenia

4. PODSUMOWANIE

Pasywne obudowy dźwiękoizolacyjne stosowane powszechnie do ograniczania hałasu w środowisku pracy cechują się spadkiem izolacyjności akustycznej wraz ze spadkiem częstotliwości hałasu. W artykule przedstawiono budowę wielowarstwowej struktury aktywnej, której zastosowanie może przyczynić się do poprawy izolacyjności akustycznej obudów w zakresie niskich częstotliwości akustycznych. Przedstawiono algorytm sterowania tą strukturą, w którym zastosowano ekstrapolację mikrofonowego sygnału błędu w oparciu

o sygnały z przetworników drgań rozmieszczonych na powierzchni struktury. Wyniki zaprezentowanych badań symulacyjnych wykazały, że takie rozwiązanie działa w sposób prawidłowy i może przyczynić się do poprawy jakości sterowania strukturą aktywną.

Publikacja opracowana na podstawie wyników III etapu programu wieloletniego pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, finansowanego w latach 2014-2016 w zakresie badań naukowych i prac rozwojowych ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego/Narodowego Centrum Badań i Rozwoju. Koordynator programu: Centralny Instytut ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.

5. LITERATURA

- [1] Baudry M., Berry A., Micheau P., Decentralized active vibration control of a flexible plate using PZT actuator – PVDF sensor pairs, Proceedings of ACTIVE 04, pp. 20-22 September, 2004
- [2] Clark R. L., Fuller C. R., Optimal placement of piezoelectric actuators and polyvinylidene fluoride error sensors in active structural acoustic control approaches, J. Acoust. Soc. Am., 92 (3), pp 1521-1533, 1992
- [3] Alujevic N., Gardonio P., Frampton K. D., Smart double panel with decentralized active damping units for the control of sound transmission. The American Institute of Aeronautics and Astronautics Journal, 46(6), pp.1463-1475, 2008
- [4] Górski, Paweł, and Michał Kozupa. "Variable Sound Insulation Structure with MFC Elements." Archives of Acoustics 37.1 (2012): 115-120.
- [5] Xia P., Forrest J. A. "Active Structural Acoustic Control of Sound Radiation from Flat Plates." Proc. Inter. Cong. Acoust, 2010
- [6] Ho J., Berkhoff A., Comparison of various decentralised structural and cavity feedback control strategies for transmitted noise reduction through a double panel structure, Journal of Sound and Vibration 333(7), pp. 1857-1873, 2014
- [7] Wrona S., Pawełczyk M., Employment of double-panel casing for active reduction of device noise, Proc of. 12th Conference on Active Noise and Vibration Control Methods, June 8-11, 2015, Kraków – Krynica Zdrój.
- [8] Mazur K., Pawełczyk M., Virtual microphone control for an active noise-canceling casing, Proc of. 12th Conference on Active Noise and Vibration Control Methods, June 8-11, Kraków-Krynica Zdrój, 2015
- [9] Jakob A., Möser M., Active control of double-glazed windows. Part II: Feedback control., Applied Acoustics 64.2, pp. 183-196, 2003

- [10] Jakob A., Möser M., Active control of double-glazed windows. Part I: Feedforward control., *Applied Acoustics* 64.2, pp. 163-182, 2003
- [11] Carneal J. R., Fuller C. R., An analytical and experimental investigation of active structural acoustic control of noise transmission through double panel systems, *Journal of Sound and Vibration* 272(3–5), pp. 749-771, 2004
- [12] Kurczk S., Pawełczyk M., Active casing controlled with a partial-update neural network, *Proc of. 12th Conference on Active Noise and Vibration Control Methods*, June 8-11, Kraków-Krynica Zdrój, 2015

ANALIZA ROZKŁADU POZIOMÓW DŹWIĘKU W TRAMWAJU SOLARIS TRAMINO NA POSTOJU I PODCZAS JAZDY

Małgorzata ORCZYK

Politechnika Poznańska
Instytut Silników Spalinowych i Transportu
Zakład Pojazdów Szynowych
ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań
Małgorzata.Orczyk@put.poznan.pl

1. WPROWADZENIE

Hałas jest zjawiskiem niepożądanym w codziennym życiu człowieka. Powoduje zakłócenie aktywności (wypoczynku, komunikacji słownej, pracy umysłowej itp.), stwarzając odczucie dyskomfortu i uciążliwości. W środkach transportu każdy generowany dźwięk jest niepożądany z punktu widzenia podróżnych jak i operatora pojazdu (kierowcy, maszynisty, motorniczego). Współczesne pojazdy powinny być konstruowane tak, aby zapewnić maksimum komfortu jazdy pasażerom oraz osobom obsługującym pojazd, w tym minimalnego poziomu hałasu [4]. Obecnie warunkiem dopuszczenia środków komunikacji miejskiej do eksploatacji jest spełnienie przez te pojazdy tylko norm dotyczących nieprzekroczenia dopuszczalnego poziomu dźwięku w stosunku do hałasu zewnętrznego.

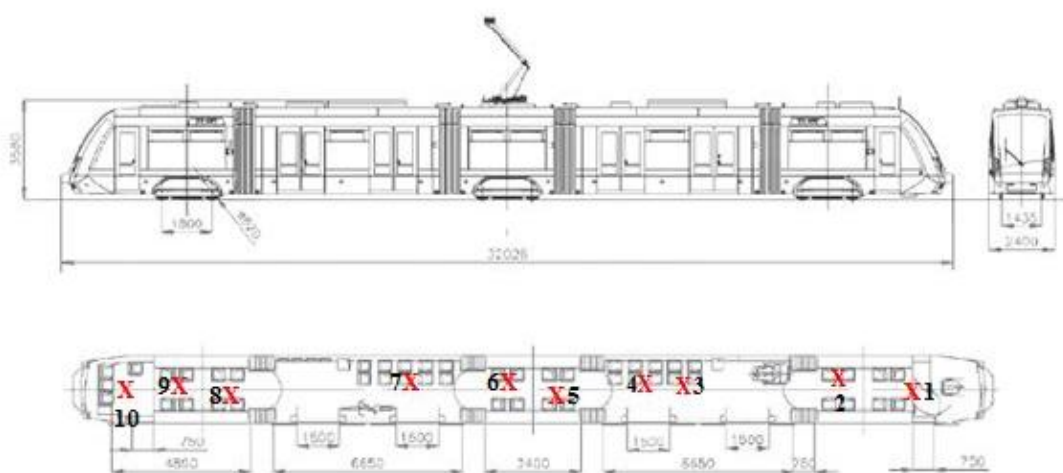
W artykule przedstawione zostaną wyniki pomiarów hałasu we wnętrzu tramwaju podczas jazdy i na postoju. Do badań wybrano najnowszą konstrukcję tramwaju Solaris Tramino jeżdżącego w mieście Poznaniu. Wagony tramwajowe typu Solaris Tramino zostały dostarczone do Poznania w 2012 roku, łącznie przebadano 10 sztuk omawianego typu tramwaju. Na podstawie zrealizowanego materiału badawczego wyznaczono poziomy dźwięku i wykonano analizę widmową dla poszczególnych stanów pojazdu (jazda i postój).

2. METODYKA POMIARÓW

Obiektem badań były wagony tramwaju Solaris Tramino. Jest to najnowsza konstrukcja wagonu tramwajowego eksploatowanego przez Miejskie Przedsiębiorstwo Komunikacyjne w Poznaniu. Tramwaj Solaris Tramino jest produkowany przez polską firmę Solaris Bus & Coach S.A. mającą swoją lokalizację w Bolechowie koło Poznania. To pojazd całkowicie niskopodłogowy, przegubowy, jednoprzestrzenny i pięciocłonowy oparty na trzech dwuosiowych wózkach jezdnych, przeznaczony do jazdy po torze o szerokości wynoszącej 1435 mm. Napęd wagonu realizują cztery asynchroniczne silniki trakcyjne o mocy 105 kW każdy, co daje łączną moc pojazdu 420 kW. Tramwaj jest w pełni

klimatyzowany, zarówno w przestrzeni pasażerskiej jak i w kabinie motorniczego. Wagony Solaris Tramino zostały dostarczone do Miejskiego Przedsiębiorstwa Komunikacyjnego w Poznaniu w 2012 roku i obecnie firma dysponuje 45 sztukami tego tramwaju. Do badań zostało wybranych 10 wagonów tego tramwaju [1].

W związku z brakiem przepisów dotyczących metod i oceny hałasu wewnątrz tramwajów podczas jazdy i na postoju opracowano własną metodykę pomiarową opartą na normie kolejowej PN-EN ISO 3381 Railway applications – Acoustics – Measurement of noise inside railbound vehicles. W przestrzeni pasażerskiej badanych tramwajów rozmieszczono 10 mikrofonów pomiarowych, które znajdowały się na wysokości 1,6 m nad poziomem podłogi. Na Rys. 1 przedstawiono rozmieszczenie mikrofonów w przestrzeni pasażerskiej tramwaju Solaris Tramino.



Rys. 1. Rozmieszczenie punktów pomiarowych w przestrzeni pasażerskiej w tramwaju Solaris Tramino. Opracowanie własne na podstawie [1].

Wszystkie dostarczone do badań hałasu wagony były nowe. Przejazdy pomiarowe odbywały się pustymi wagonami, w warunkach normalnego ruchu miejskiego, podczas przejazdu wszystkie okna w wagonach były pozamykane, klimatyzacja maksymalnie skręcona. Całkowite wyłączenie nawiewu klimatyzacji było niemożliwe, gdyż urządzenie było nastwione automatycznie na załączanie się gdy temperatura na zewnątrz pojazdu przekraczała 21°C. Zmiana parametrów pracy klimatyzacji pociągała za sobą przeprowadzenie dodatkowych prac przez personel techniczny. Przejazdy odbywały się po tej samej trasie liczącej około 17 km. Wybór takiej trasy pomiarowej był uwarunkowany faktem, że znajdują się na niej trzy rodzaje torowiska:

- torowisko klasyczne – wydzielone,
- torowisko zabudowane w jezdni z wibroizolacją,

- torowisko klasyczne zabudowane w jezdni.

Czas przejazdu pomiędzy punktem początkowym – zajezdnią tramwajową a punktem końcowym – zajezdnią tramwajową wynosił około 1 godzinę.

Wszystkie pomiary były realizowane w miesiącach od kwietnia do sierpnia, co zapewniało korzystną i porównywalną pogodę dla wszystkich przejazdów wagonów tramwajowych głównie ze względu na brak opadów atmosferycznych – pomiary odbywały się na suchych szynach i prędkości wiatru nie przekraczającej 5 m/s.

Wszystkie pomiary w udostępnionych do badań pojazdach wykonano zestawem 10 mikrofonów 1/2" pola swobodnego firmy B&K typ 4189. Rejestracja sygnałów akustycznych została przeprowadzona z wykorzystaniem systemu PULSE® firmy Brüel&Kjær. System bazuje na wielokanałowej kasecie akwizycji sygnałów dynamicznych typ B&K 3560C, zapewniającą bezstratną, równoległą rejestrację sygnałów w paśmie od 0 do 25,6 kHz przy częstotliwości próbkowania 65536 próbek na sekundę. Jednocześnie zastosowana technologia czterdziestoośmiobitowego przetwarzania sygnału pozwala na rejestrację sygnałów z dynamiką dochodzącą do 160 dB. Sterowanie zestawem pomiarowym oraz archiwizacja danych jest realizowana przez komputer z dedykowanym oprogramowaniem strukturalnym firmy Brüel & Kjær. Przed i po zakończeniu badań tory pomiarowe skalibrowano kalibratorem firmy Brüel & Kjær typu 4228 sygnałem kalibracyjnym o częstotliwości 250 Hz i poziomie 124 dB (Lin). Tor pomiarowy został także uzupełniony o ręczne urządzenie do pomiaru prędkości GPS GarminTrex 20 umożliwiające precyzyjny pomiar prędkości poruszających się pojazdów [2, 3, 5].

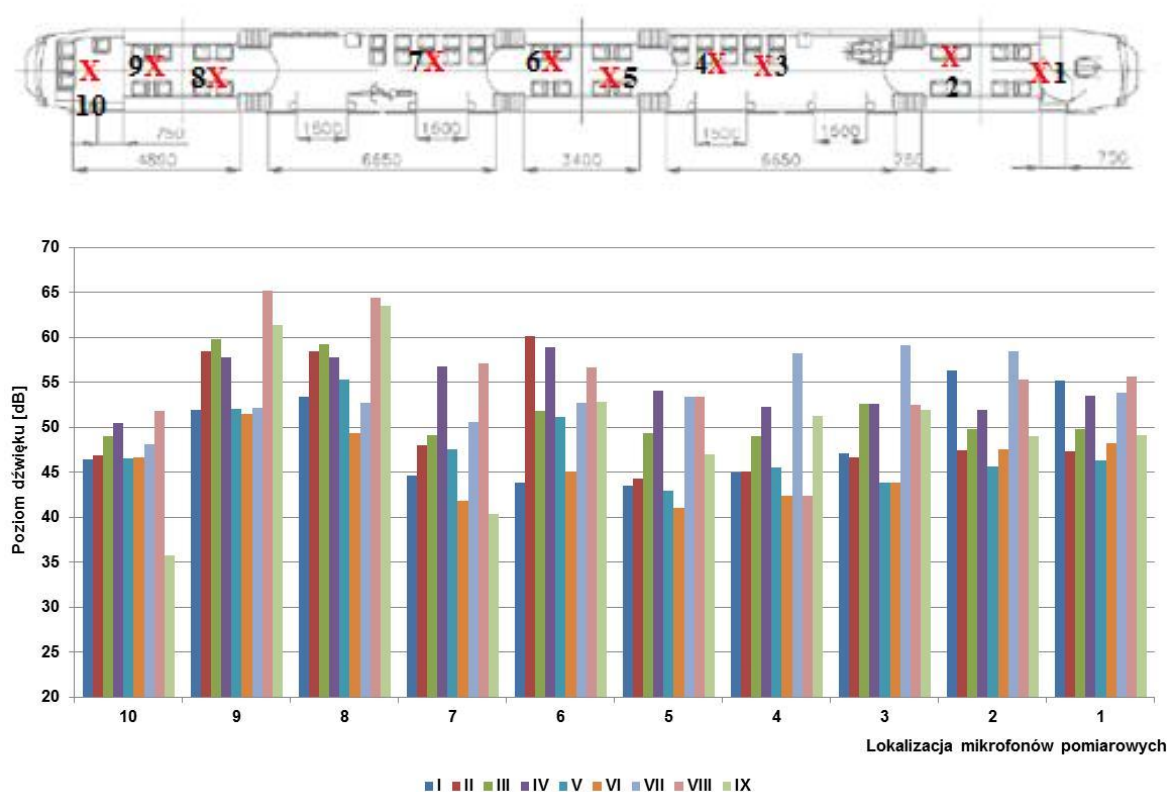
3. WYNIKI BADAŃ

Pomiary hałasu w wytypowanych do badań wagonach realizowane były na postoju i podczas jazdy. Badania realizowane były na trzech rodzajach torowisk: torowisko klasyczne – wydzielone i zabudowane w jezdni oraz torowisko zabudowane w jezdni z wibroizolacją. Dla łatwiejszego analizowania wyników pomiarów cały wagon tramwaju podzielono na 5 stref. W strefie pierwszej zlokalizowano dwa mikrofony pomiarowe nr 1 i nr 2. W drugiej strefie pomiarowej znajdowały się mikrofony nr 3 i nr 4. Trzecia strefa zawierała mikrofony nr 5 i nr 6. W czwartej strefie umieszczono tylko jeden mikrofon nr 7. Natomiast w piątej strefie pojazdu miały lokalizację trzy mikrofony pomiarowe nr 8, 9 i 10 (Rys. 2).

3.1. Ocena hałasu na postoju

Pomiary na postoju we wszystkich tramwajach były realizowane na terenie zajezdni tramwajowej. W dostarczonych do badań pojazdach pantograf znajdował się przy sieci

jezdnej i pracowały wszystkie urządzenia, które powinny pracować podczas fazy postoju tramwaju. Czas pomiaru hałasu na postoju wynosił dla wszystkich wagonów tramwajowych około 30 s. Ponadto przed przystąpieniem do badań zasadniczych wykonano za każdym razem pomiar tła akustycznego (bez zasilania elektrycznego) tramwajów, który wynosił około 40 dB. W każdym dostarczonym do badań tramwaju wyznaczono poziomy dźwięku oraz dokonano analizy widmowej w tercjowych pasmach częstotliwości. Na Rys. 2 przedstawiono wyniki pomiarów hałasu na postoju w poszczególnych miejscach usytuowania mikrofonów pomiarowych. Cyframi rzymskimi oznaczono poszczególne egzemplarze badanych tramwajów a cyframi arabskimi lokalizację mikrofonów pomiarowych w badanych wagonach.



Rys. 2. Rozkład poziomów dźwięku na postoju we wnętrzu tramwaju Solaris Tramino.
Opracowanie własne na podstawie [1]

W tramwajach Solaris Tramino na postoju rozkład poziomów dźwięku w przestrzeni pasażerskiej był bardzo zróżnicowany i kształtował się na poziomie od 36 do 65 dB. Wśród przebadanych wagonów najgłośniejsze okazały się trzy wagony nr IV, VII i VIII. Biorąc pod uwagę klimat akustyczny panujący w całym wagonie tramwaju zmierzone poziomy dźwięku wynosiły dla wagonów o numerach inwentarzowych IV i VIII – 55 dB a dla wagonu VII – 54 dB. Najcichsze natomiast okazały się wagony o numerach: V, VI i I – uzyskane w tych wagonach poziomy dźwięku nie przekroczyły 50 dB.

Rozpatrując miejsca w tramwaju, gdzie jest najgłośniejsze i najciszej przeprowadzone badania wykazały, że miejscami o zmierzonych najwyższych poziomach dźwięku są następujące miejsca: koniec wagonu – strefa 5. wagonu w miejscu umieszczenia 8. i 9. mikrofonu pomiarowego oraz środek wagonu – strefa 3. w miejscu umieszczenia 6. mikrofonu pomiarowego. Najcichszym miejscem w badanych wagonach okazała się 2. strefa, gdzie zamontowano mikrofony nr 3 i nr 4 oraz sam koniec wagonu w miejscu zamontowania 10. mikrofonu pomiarowego.

W każdym wagonie tramwaju Solaris Tramino dokonano także analizy widmowej w tercjowych pasmach częstotliwości. Przeprowadzone analizy wykazały, że na postoju w tramwajach Solaris Tramino można wskazać charakterystyczne częstotliwości pasma tercjowego zarówno w odniesieniu do całego wagonu jak i miejsc usytuowania poszczególnych mikrofonów pomiarowych. Charakterystycznymi częstotliwościami pasma tercjowego, które odnotowano we wszystkich wagonach Solaris Tramino są trzy częstotliwości 25 Hz, 50 Hz, 100 Hz.

Częstotliwość pasma tercjowego 25 Hz jest charakterystyczna zarówno dla wszystkich pojazdów jak i wszystkich miejsc usytuowania mikrofonów. Zarejestrowane poziomy dźwięku w tym paśmie wahają się w przedziale od 53 do 79 dB. Wagonami o największej wartości poziomu dźwięku zanotowanymi przy tej częstotliwości okazały się wagony o numerach inwentarzowych I, IV, VIII.

Częstotliwość pasma tercjowego 50 Hz jest charakterystyczna dla wszystkich wagonów w miejscu usytuowania 1. mikrofonu pomiarowego. Zanotowane poziomy dźwięku przy tej częstotliwości wynoszą od 54 do 80 dB. Najwyższy poziom 80 dB odnotowano w tramwaju o numerze inwentarzowym VIII – w pozostałych wagonach odnotowane poziomy nie przekroczyły 60 dB. Częstotliwość ta jest także charakterystyczna dla całych wagonów o następujących numerach: I, III, VIII i IX.

Kolejną częstotliwością charakterystyczną pasma tercjowego jest częstotliwość 100 Hz. Jest ona charakterystyczna dla wszystkich przebadanych tramwajów w odniesieniu do całych wagonów o numerach inwentarzowych I, III i VIII, ale także jest charakterystyczna dla następujących stref:

- pierwsza strefa wagonu (miejsce usytuowania 1. i 2. mikrofonu),
- czwarta strefa wagonu (miejsce usytuowania 7. mikrofonu),
- piąta strefa wagonu (miejsce usytuowania 8. i 9. mikrofonu).

Zmierzone w tej częstotliwości poziomy dźwięku kształtują się na poziomie od 74 do 51 dB. Ponadto przeprowadzona analiza wykazała, że na postoju w wagonach Solaris

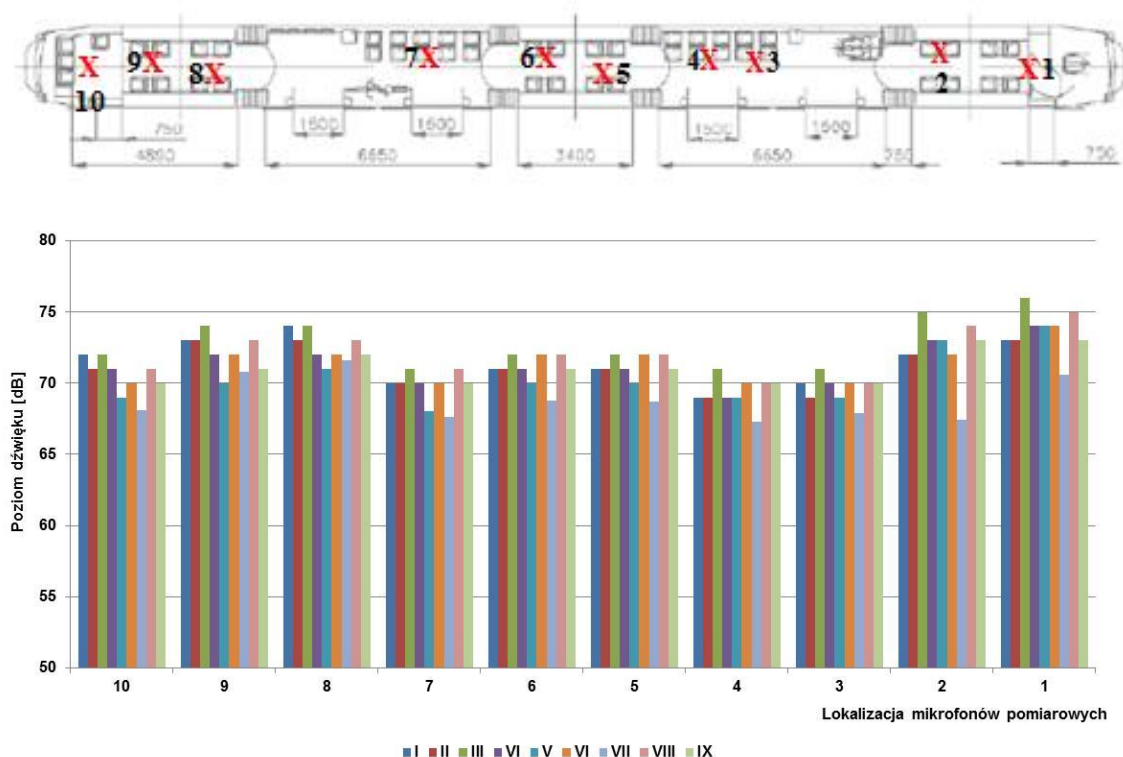
Tramino w strefie trzeciej wagonu (miejsce usytuowania 6. mikrofonu) i w strefie piątej (miejsce usytuowania 8. i 9. mikrofonu) charakterystyczną częstotliwością pasma tercjowego jest również częstotliwość 630 Hz. Zmierzone na tej częstotliwości poziomy dźwięku wynosiły w strefie trzeciej wagonu od 49 do 52 dB a w strefie piątej (mikrofon nr 8. i 9.) 46 – 65 dB.

3.2. Ocena hałasu podczas jazdy

Poniżej przedstawiono zestawienie wyników badań hałasu dla całego przejazdu badanych wagonów (od zajezdni do zajezdni). Przejazd obejmował całą wyznaczoną do badań trasę pomiarową i liczył 17 km i trwał około 1 godzinę. Przedstawione wyniki obejmują wszystkie fazy ruchu tramwaju: zatrzymania wynikające z postojów na światłach oraz przejazd przez trzy rodzaje torowiska (klasyczne wydzielone, zabudowane w jezdni oraz zabudowane w jezdni z wibroizolacją). Podczas realizowania przejazdów badanymi wagonami tramwajowymi nie brano pod uwagę stanu technicznego torowisk. Każdy z przebadanych tramwajów pokonał wyznaczony odcinek pomiarowy z inną prędkością wynikającą z faktu, że pomiary odbywały się na trasie, po której odbywał się normalny ruch miejski (sygnalizacja świetlna, obecność innych tramwajów wynikających z ustalonego rozkładu jazdy oraz stosowanie się motorniczych do ustalonych procedur przejazdów np. zwolnienie z okolic przystanków, używanie sygnalizacji dźwiękowej w pobliżu przystanków) i nie można było za bardzo wpływać na prędkość, z jaką jechał motorniczy. Na Rys. 3 przedstawiono wyniki zarejestrowanych poziomów dźwięku w poszczególnych lokalizacjach mikrofonów pomiarowych.

Podczas całego przejazdu badanymi tramwajami Solaris Tramino zarejestrowane poziomy dźwięku kształtowały się na poziomie od 69 do 73 dB. Najniższe poziomy zanotowano w tramwaju o numerze inwentarzowym VII – 69 dB, a najwyższe w tramwaju III – 73 dB.

Rozpatrując strefy w tramwaju o najniższych i najwyższych poziomach dźwięku przedstawiają się one następująco. Najwyższe poziomy dźwięku odnotowywano w dwóch strefach: w 1. strefie wagonu (w miejscu umieszczenia 1. i 2. mikrofonu pomiarowego) i w 5. strefie wagonu (w miejscu umieszczenia 8. i 9. mikrofonu pomiarowego). Najniższe poziomy dźwięku rejestrowano w 2. strefie tramwaju w miejscu umieszczenia 3. i 4. mikrofonu oraz w 4. strefie wagonu w miejscu zamontowania 7. mikrofonu pomiarowego. We wszystkich przebadanych egzemplarzach tramwajów zaobserwowano taki właśnie trend niezależnie od tego, po jakim torowisku jechał tramwaj. Nieco niższe poziomy były odnotowane podczas przejazdu tramwaju przez klasyczne torowisko zabudowane w jezdni: 60 – 69 dB.



Rys. 3. Rozkład poziomów dźwięku we wnętrzu tramwaju podczas jazdy w tramwaju Solaris Tramino. Opracowanie własne na podstawie [1]

Podczas jazdy przez poszczególne typy torowiska dokonano także analizy częstotliwościowej w tercjowych pasmach częstotliwości. Przeprowadzona analiza wykazała, że dominującym pasmem częstotliwości podczas przejazdu po tych torowiskach była częstotliwości 20 Hz. Częstotliwość ta była odnotowywana w całym wagonie we wszystkich lokalizacjach mikrofonów pomiarowych. Podczas przejazdu przez wydzielone torowisko klasyczne rejestrowane poziomy dźwięku dla częstotliwości 20 Hz wynosiły około 90 dB. Przejazd wagonu przez torowisko klasyczne zabudowane w jezdni powodował, że przy częstotliwości 20 Hz odnotowywano około 80 dB. Ponadto w uzyskanych widmach można zauważyć charakterystyczny spadek poziomów dźwięku w częstotliwościach pasma tercjowego 125 Hz i 160 Hz.

4. PODSUMOWANIE

Na postoju rejestrowane poziomy dźwięku w badanych wagonach były bardzo zróżnicowane. Zawierały się one w przedziale od 36 do 65 dB. Najwyższe poziomy dźwięku były rejestrowane w strefie trzeciej i piątej wagonu (miejsce lokalizacji 6., 8. i 9. mikrofonu pomiarowego). Najniższe poziomy uzyskano w drugiej strefie wagonu (3. i 4. mikrofon

pomiarowy) oraz na samym końcu wagonu – miejsce lokalizacji 10. mikrofonu. Wykonana analiza częstotliwościowa w trzecich pasmach częstotliwości wykazała, że na postoju można wskazać trzy charakterystyczne częstotliwości środkowe pasma tercjowego: 25 Hz, 50 Hz, i 100 Hz. Podczas jazdy badanymi wagonami zarejestrowane poziomy dźwięku zawierały się pomiędzy 69 – 73 dB. Najwyższe poziomy dźwięku występowały w pierwszej i piątej strefie wagonu w miejscu lokalizacji 1., 2., 8. i 9. mikrofonu pomiarowego. Najniższe poziomy odnotowano w drugiej i czwartej strefie wagonu – lokalizacja 3., 4. i 7. mikrofonu pomiarowego. Podczas jazdy dominującą częstotliwością pasma tercjowego była częstotliwość 20 Hz.

5. LITERATURA

- [1] Katalog reklamowy tramwaju Solaris Tramino Solaris Bus & Coach S.A. Komunikat Internetowy www.solarisbus.com, styczeń 2016
- [2] PN-EN ISO 3381 Railway application – Acoustics – Measurement of noise inside railbound vehicles
- [3] PN-EN ISO 3095 Acoustics – Railway applications – Measurement of noise emitted by railbound vehicles
- [4] Tomaszewski F., Orczyk M.: Ocena poziomu hałasu wewnętrznego tramwajów na podstawie badań. Pojazdy Szynowe, nr 4/2007, s. 1÷7
- [5] Ocena i modelowanie hałasu zewnętrznego i wewnętrznego środków transportu miejskiego. Projekt badawczy NCN – materiały niepublikowane

BADANIA I ANALIZA WIDMOWO-CZASOWA HAŁASU NA SKRZYŻOWANIU TYPU RONDO

Małgorzata ORCZYK, Franciszek TOMASZEWSKI
Politechnika Poznańska
Wydział Maszyn Roboczych i Transportu
ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań
Malgorzata.Orczyk@put.poznan.pl

1. WPROWADZENIE

Hałas jest problem spotykanym w codziennym życiu każdego człowieka w miejscu jego bytowania, podróżowania, pracy oraz wypoczynku, jest jednym z poważniejszych problemów obniżających jakość życia. Najbardziej narażona na działanie hałasu jest ludność dużych miast z całodobową komunikacją, gwarowym ruchem ulicznym, zgromadzona w wielopiętrowych blokach pozbawionych należytej ochrony przeciwdźwiękowej.

Do najpowszechniejszych i najbardziej uciążliwych, szczególnie w środowisku zurbanizowanym należą dźwięki, których głównymi źródłami są środki komunikacji miejskiej drogowej i tramwajowej. Poziomy dźwięku wynoszą najczęściej 70 do 95 dB i dla poszczególnych rodzajów źródeł hałasu kształtują się one następująco:

- pojazdy jednośladowe 79-87 dB,
- samochody ciężarowe 83-93 dB,
- autobusy i ciągniki 85-92 dB,
- samochody osobowe 75-84 dB,
- maszyny drogowe i budowlane 75-85 dB,
- wozy oczyszczania miasta 75-95 dB.

Hałas w środowisku to wszelkiego rodzaju niepożądane, nieprzyjemne i uciążliwe dźwięki w danym miejscu i czasie. Charakteryzuje się różnorodnością źródeł, powszechnością występowania i jest traktowany jako zjawisko losowe. Według różnych danych średnio w ciągu dnia spędzamy około 13 godzin w domu, około 7 godzin w pracy i około 90 minut w samochodzie a pozostały czas w środowisku miejskim.

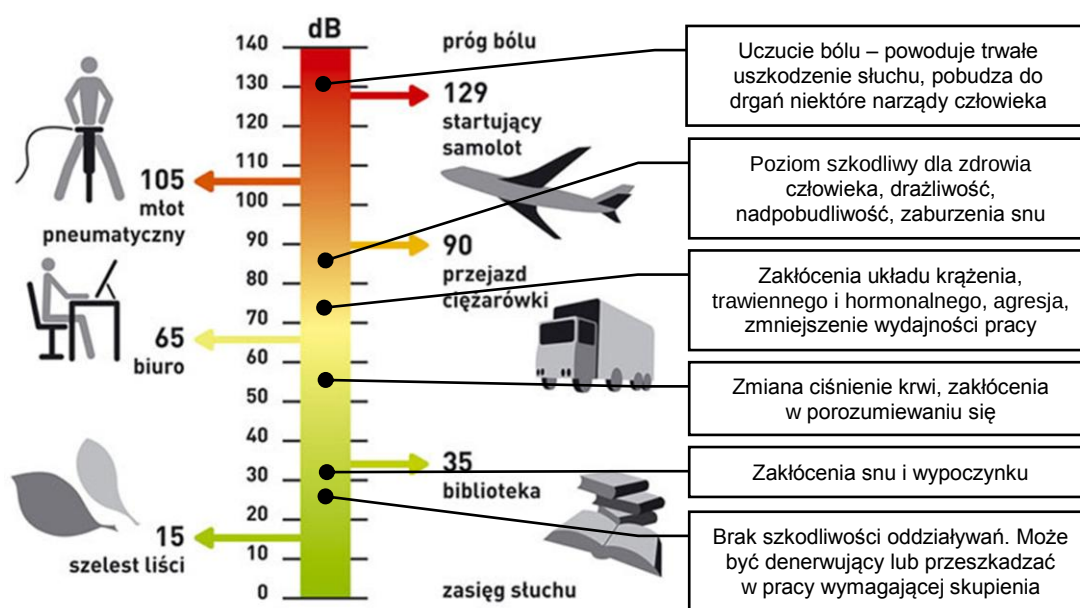
Hałas przede wszystkim prowadzi do ubytków słuchu. Jednak wpływa on również na zmniejszenie zrozumiałości mowy, zaburza wzrok, rozprasza uwagę i koncentrację. Udowodniono, że hałas jest przyczyną przedwczesnego starzenia i w 30 przypadkach na 100 skraca życie mieszkańców dużych miast o 8-12 lat. Nagły krótkotrwały hałas stawał się (głównie u dzieci) powodem zaburzeń widzenia, jąkania się a nawet padaczki. Natomiast

niektóre ośrodki lekarskie od wielu lat wysuwają hipotezę, jakoby nadmierny hałas mógł być przyczyną powstawania raka.

Ludzie narażeni na hałas mają częstsze zaburzenia ze strony:

- układu krążenia (bicie i kołatanie serca, szybkie męczenie się, duszności),
- układu pokarmowego,
- układu ruchu (bóle mięśni i stawów),
- układu dokrewnego (choroby przemiany materii),
- układu nerwowego (zakłócenia równowagi emocjonalnej, stany napięcia i niepokoju).

Na Rys. 1 przedstawiono znany „termometr” poziomów hałasu w decybelach z odniesionymi dla poszczególnych wartości skutków zdrowotnych będących wynikiem hałasu.



Rys. 1. Poziom hałasu generowany przez poszczególne źródła i odpowiadające im skutki dla zdrowia człowieka

Wśród wszystkich czynników oddziałujących na środowisko, hałas wyróżnia się tym, że oddziałuje na niemal wszystkich mieszkańców Ziemi i wpływa negatywnie na wszystkie organizmy żywe i wszystkie ich funkcje. Najbardziej zauważalne istnienie hałasu i jego skutki są odczuwalne w aglomeracjach miejskich ze względu na dużą ich różnorodność, zmienność w czasie i wysoki poziom.

W artykule przedstawiono wyniki pomiarów hałasu w aglomeracji miejskiej na przykładzie ostatnio popularnych i modnych skrzyżowań typu rondo. Pomiary wykonywane

były w charakterystycznych miejscach ronda: na wysepce tramwajowej, przy budynku, na przejściu dla pieszych i w parku.

2. WYBRANE NORMY I AKTY PRAWNE

W zakresie pomiarów i oceny poziomu hałasu w środowisku obowiązują dwa aktualne Rozporządzenia Ministra Środowiska pierwsze z dnia 16 czerwca 2011 roku w sprawie wymagań prowadzenia pomiarów poziomów substancji lub energii w środowisku przez zarządzającego drogą, linią kolejową, linią tramwajową, lotniskiem lub portem. Rozporządzenie to zawiera między innymi wymagania dotyczące pomiarów poziomów hałasu w środowisku, wyrażonych wskaźnikami $L_{Aeq D}$, $L_{Aeq N}$, obejmujących okres co najmniej jednej doby, wprowadzanego w związku z eksploatacją:

- a. dróg publicznych o średniorocznym natężeniu ruchu powyżej 3 mln pojazdów lub o procentowym udziale pojazdów ciężkich w potoku ruchu powyżej 20%, w przypadku średniego dobowego ruchu przekraczającego 5 tys. pojazdów,
- b. linii kolejowych o natężeniu ruchu powyżej 30 tys. pociągów rocznie,
- c. linii tramwajowych w odniesieniu do odcinków torowisk o natężeniu ruchu powyżej 100 tramwajów na dobę,
- d. lotnisk, na których ma miejsce łącznie ponad 5 tys. startów, lądowań i przelotów statków powietrznych w roku kalendarzowym, niezależnie od położenia lotniska,
- e. portów morskich o zdolności przeładunkowej powyżej 10 mln t na rok, położonych na terenach aglomeracji.

Okresowe pomiary poziomów hałasu, o których mowa w Rozporządzeniu, przeprowadza się co 5 lat. Referencyjne metodyki oraz kryteria lokalizacji punktów pomiarowych, w przypadku wykonywania pomiarów zawierają załączniki do niniejszego rozporządzenia.

Drugie Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 22 stycznia 2014 roku dotyczy dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku. W rozporządzeniu zawarte są dopuszczalne wartości poziomu hałasu w środowisku powodowanego przez poszczególne grupy źródeł hałasu, z wyłączeniem hałasu powodowanego przez starty, lądowania i przeloty statków powietrznych oraz linie elektroenergetyczne, wyrażone wskaźnikami L_{DWN} i L_N , które to wskaźniki mają zastosowanie do prowadzenia długookresowej polityki w zakresie ochrony przed hałasem. Rozporządzenie to odwołuje się do wcześniejszych Rozporządzeń z dnia 14 czerwca 2007 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku (Dz. U. Nr 120, poz. 826), z uwzględnieniem zmian wprowadzonych rozporządzeniem Ministra Środowiska

z dnia 1 października 2012 r. zmieniającym rozporządzenie w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku (Dz. U. poz. 1109) [2].

Istotnym dokumentem związanym z hałasem jest Dyrektywa 2002/49/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 25 czerwca 2002 roku odnosząca się do oceny i zarządzania poziomem hałasu w środowisku. Dyrektywa ta stanowi podstawę rozwijania i uzupełniania istniejącego zespołu środków wspólnotowych dotyczących emisji hałasu z głównych źródeł, w szczególności z pojazdów kołowych i szynowych oraz ich infrastruktury, samolotów, urządzeń pracujących na otwartej przestrzeni i urządzeń przemysłowych oraz maszyn samojezdnych, a także opracowywania dodatkowych długo-, średnio- i krótkookresowych środków i metod do oceny hałasu [3].

Niniejsza dyrektywa ma na celu zdefiniowanie wspólnego podejścia do unikania, zapobiegania lub zmniejszania szkodliwych skutków narażenia na działanie hałasu, w tym jego dokuczliwości, na podstawie ustalonych priorytetów. W tym celu zarządza się stopniowe wdrażanie następujących działań:

- a. ustalenie stopnia narażenia na hałas w środowisku poprzez sporządzanie map hałasu przy zastosowaniu wspólnych dla Państw Członkowskich metod oceny;
- b. zapewnienie społeczeństwu dostępu do informacji dotyczącej hałasu w środowisku i jego skutków;
- c. przyjęcie przez Państwa Członkowskie, na podstawie danych uzyskanych z map hałasu, planów działań zmierzających do zapobiegania powstawaniu hałasu w środowisku i obniżania jego poziomu tam, gdzie jest to konieczne, zwłaszcza tam, gdzie oddziaływanie hałasu może powodować szkodliwe skutki dla ludzkiego zdrowia, oraz zachowanie jakości klimatu akustycznego środowiska tam, gdzie jest ona jeszcze właściwa.

Dyrektywa ma zastosowanie do hałasu w środowisku, na jaki ludzie są narażeni w szczególności na obszarach zabudowanych, w publicznych parkach lub na innych obszarach względnie cichych w aglomeracji, na obszarach ciszy na otwartym terenie poza miastem, w pobliżu szkół, szpitali i innych wrażliwych na hałas budynków i obszarów.

3. METODYKA POMIARÓW HAŁASU

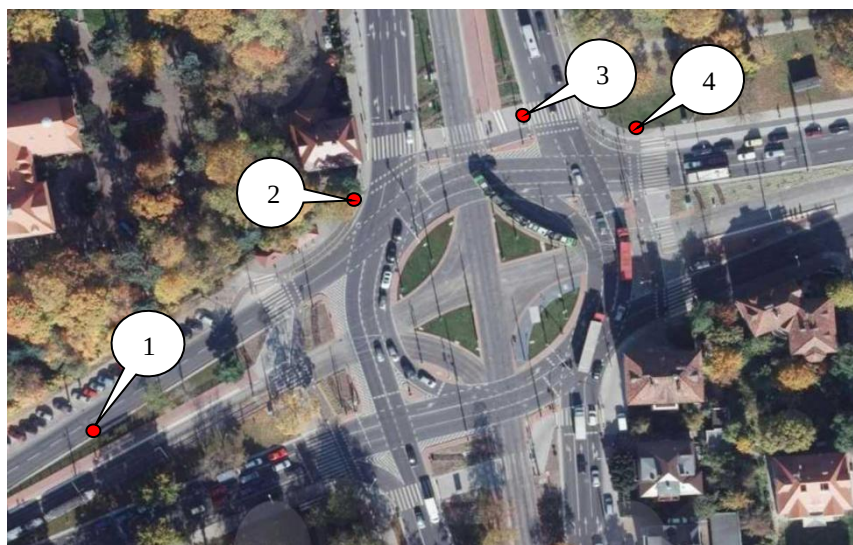
Metodyki pomiaru hałasu w komunikacyjnego oraz zalecenia wykonywania takich pomiarów przedstawione są w opracowaniu Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad [5], opracowaniu Laboratorium Badawczego firmy NTL-M. Kirpluk [6] oraz Dyrektywie 2002/49/WE, dotyczącej głównie sporządzania map akustycznych w miastach [3]. Brak jest

szczegółowych wytycznych dla pomiaru hałasu miejskiego samochodowo-tramwajowego w zabudowie miejskiej, są natomiast prace, w których zajmowano się hałasem miejskim [5, 7].

W związku z brakiem jednoznacznie sprecyzowanych metodyk pomiaru hałasu w miastach, zaproponowana została własna metodyka dla pomiarów hałasu w wybranych miejscach infrastruktury drogowo-tramwajowej miasta Poznania. Metodyka ta powstała w ramach projektu dotyczącego metody nauki orientacji przestrzennej osób niewidomych z wykorzystaniem dźwięków środowiska [8].

Miejscem pomiarów było skrzyżowanie typu rondo, z czterema pasami ruchu pojazdów samochodowych, pomiędzy którymi przebiega linia tramwajowa we wszystkich kierunkach. Na Rys. 2 przedstawiono mapę z zaznaczonymi miejscami pomiaru hałasu. Punkty te zlokalizowane były:

- 1 – wysepka tramwajowa,
- 2 – przy parkanie (murowany z cegły),
- 3 – na pasach dla pieszych,
- 4 – w sąsiedztwie parku.

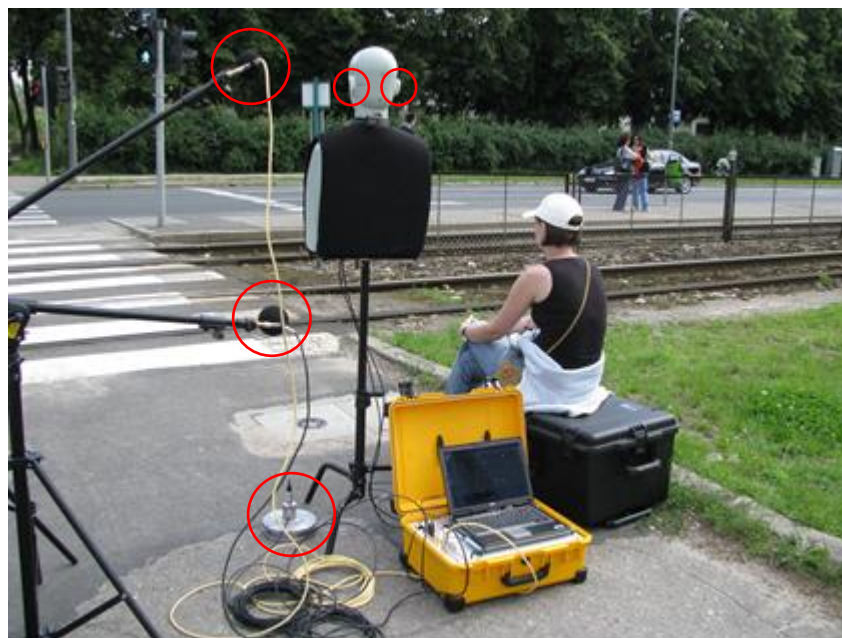


Rys. 2. Miejsca pomiaru hałasu na skrzyżowaniu typu rondo (rondo Jana Nowaka-Jeziorańskiego)

Ze względu na znaczną dynamikę sygnałów akustycznych występujących w mieście, rejestrację sygnałów akustycznych i drganiowych przeprowadzono z wykorzystaniem aparatury pomiarowej gwarantującej bezstratną rejestrację silnie niestacjonarnych zjawisk wibroakustycznych w pełnym paśmie pomiarowym od drgań sejsmicznych (ok. 0,1 Hz) do 22 kHz. Rejestracja sygnałów akustycznych i drganiowych została przeprowadzona z wykorzystaniem systemu PULSE® firmy Brüel&Kjær. System bazuje na wielokanałowej kasecie akwizycji sygnałów dynamicznych typ B&K 3560C, zapewniającą bezstratną,

równoległą rejestrację sygnałów w paśmie do 25,6 kHz przy częstotliwości próbkowania 65536 próbek na sekundę. Jednocześnie zastosowana technologia czterdziestośmiobitowego przetwarzania sygnału pozwala na rejestrację sygnałów z dynamiką dochodzącą do 160 dB. Sterowanie zestawem pomiarowym oraz archiwizacja danych jest realizowana przez komputer z dedykowanym oprogramowaniem strukturalnym firmy Brüel&Kjær. Ze względu na specyfikę odbiorców, pomiary hałasu wykonywano punktowo z mikrofonami zamocowanymi na wysokości 90 i 160 cm oraz dwuusznie na tych samych wysokościach. Dodatkowo mierzono drgania podłoża czujnikiem sejsmicznym.

Na Rys. 3 przedstawiono stanowisko pomiarowe hałasu z dwoma mikrofonami (60 i 160 cm) oraz torsem (pomiary dwuuszne) na wysokości 160 cm i na wysokości 90 cm (w uszach osoby siedzącej).



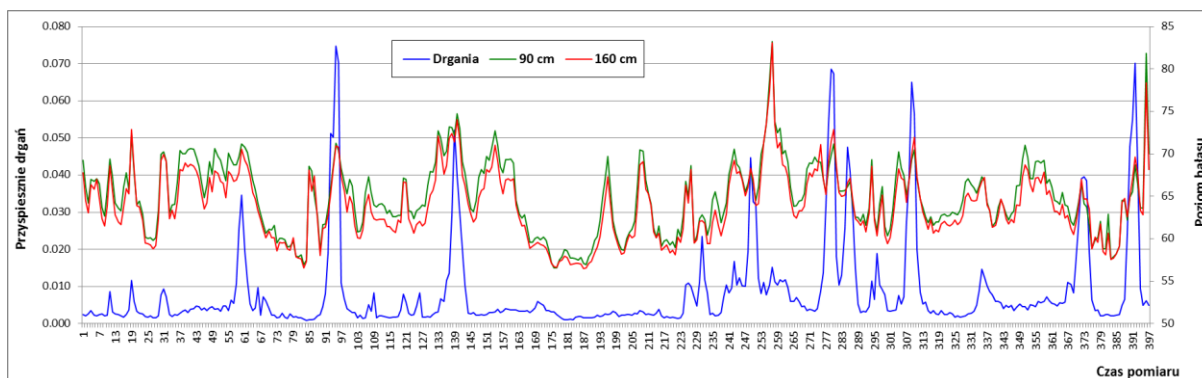
Rys. 3. Stanowisko pomiarowe hałasu w środowisku transportu miejskiego

W każdym punkcie pomiarowym stosowany był ten sam układ pomiarowy i rejestracji sygnałów, przy czym sygnały rejestrowane były raz prostopadle a drugi raz równolegle do osi kierunków ruchu pojazdów (samochodów i tramwajów). Ponadto rejestrowano przy pomocy kamery (umieszczonej na piersiach torsu pomiarowego) filmy, obrazujące sytuacje w otoczeniu miejsca pomiarowego, które zostały wykorzystane do identyfikacji przyczyn zmian w przebiegach czasowych sygnałów oraz widm częstotliwościowych.

4. WYBRANE WYNIKI POMIARÓW HAŁASU

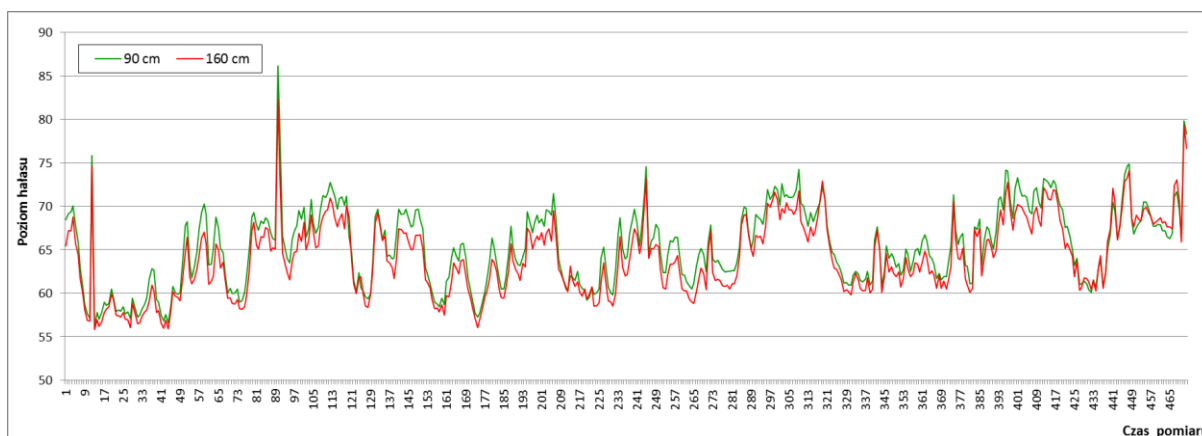
W artykule przedstawiono tylko wybrane wyniki badań poziomu hałasu generowanego przez środki transportu drogowego i szynowego (tramwajowego) wraz z hałasem komunalnym na skrzyżowaniu typu rondo.

Na Rys. 4 przedstawiono przebiegi czasowe poziomu hałasu na wysokości 90 i 160 cm oraz przebiegu przyspieszeń drgań podłoża przystanku tramwajowego. Mikrofony pomiarowe ustawione były równoległe do kierunku ruchu pojazdów samochodowych.



Rys. 4. Przebiegi czasowe poziomu hałasu na wysokości 90 i 160 cm oraz przebiegu przyspieszeń drgań podłoża przystanku tramwajowego

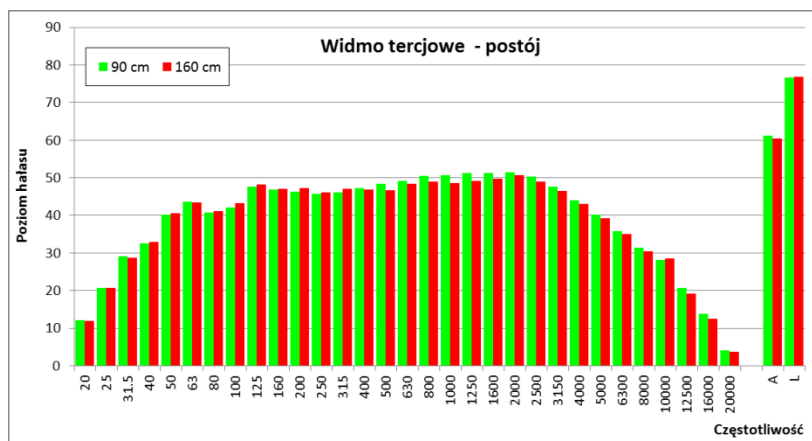
Na Rys. 5 przedstawiono przebiegi czasowe poziomu hałasu na wysokości 90 i 160 cm, mikrofony pomiarowe ustawione były prostopadłe do kierunku ruchu pojazdów samochodowych.



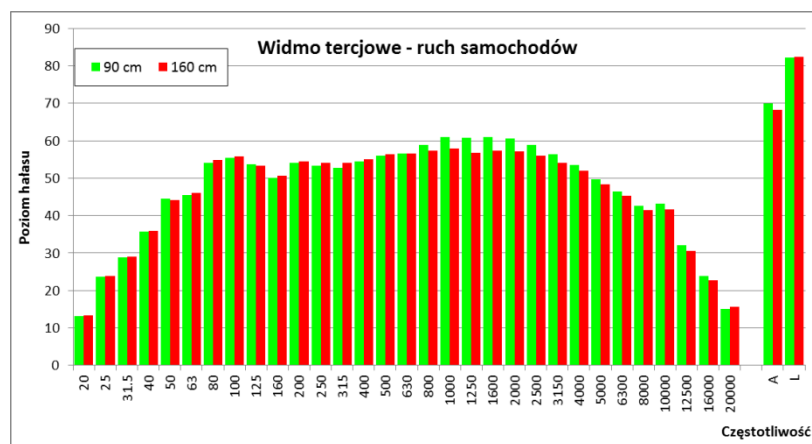
Rys. 5. Przebiegi czasowe poziomu hałasu na wysokości 90 i 160 cm oraz przebiegu przyspieszeń drgań podłoża przystanku tramwajowego

Przedstawione przykładowe przebiegi czasowe sygnałów hałasu i drgań na Rys. 4 i samego hałasu na Rys. 5, dotyczą określonych (losowych) zdarzeń, jakie wystąpiły w ruchu samochodowym i tramwajowym w czasie rejestracji sygnałów. Zdarzenia te podczas pomiarów były rejestrowane kamerą współbieżnie z pomiarami hałasu. Rejestracja wizualna była wykorzystywana do identyfikacji zmian w przebiegach czasowych sygnałów i wyboru

charakterystycznych odcinków czasowych do szczegółowej ich analizy w postaci widm częstotliwościowych oraz badania relacji między hałasem a drganiami podłoża wynikającego tylko z ruchu pojazdów w obrębie skrzyżowania (ronda). Na rysunkach 6 i 7 przedstawiono przykładowe widma z odcinków czasowych sygnału hałasu. Rys. 6 przedstawia widma tercjowe sygnału zarejestrowanego na wysokościach 90 i 160 cm podczas oczekiwania samochodów na zielone światło, a na Rys. 7 podczas przejazdu samochodów przez skrzyżowanie.



Rys. 6. Widmo tercjowe hałasu na wysokościach 90 i 160 cm podczas postoju samochodów (światło czerwone)



Rys. 7. Widmo tercjowe hałasu na wysokościach 90 i 160 cm podczas ruchu samochodów (światło zielone)

Z przedstawionych przykładowych widm tercjowych sygnału hałasu widać istotne różnice w poziomie liniowym L oraz L_A hałasu podczas oczekiwania samochodów na światła zielone (Rys. 6) oraz podczas przejazdu samochodów przez skrzyżowanie (Rys. 7). Różnica poziomu hałasu wynosi 5 dB dla L i prawie 10 dB dla L_A . Zauważyć można też różnice w poziomach hałasu w poszczególnych pasmach widma oraz kształcie widma. Analiza korelacyjna pomiędzy drganiami a hałasem na wysokościach 90 cm i 160 wykazała brak związku między tymi sygnałami, a wyznaczone wartości współczynnika korelacji wynoszą

odpowiednio $r_{d-90} = 0,32$ i $r_{d-160} = 0,43$, natomiast współczynnik korelacji pomiędzy sygnałami hałasu na wysokości 90 i 160 cm wynosi $r_{90-160} = 0,98$. Wartości współczynników korelacji wyznaczone zostały dla tego samego miejsca pomiaru i tych samych czasów rejestracji sygnałów. Oprócz analiz widmowych i korelacyjnych wykonano mapy czasowo-widmowe poziomu dźwięku dla charakterystycznych zdarzeń oraz środków transportu [9].

5. PODSUMOWANIE

W artykule przedstawiono wybrane wyniki pomiarów hałasu na skrzyżowaniu ronda z czterema pasami ruchu samochodowego oraz ruchem tramwajowym. Skrzyżowania takie charakteryzują się dużą częstotliwością ruchu samochodowego i tramwajowego oraz zmieniającymi się w czasie potokami ruchu. Przeprowadzone badania hałasu w czterech charakterystycznych miejscach wykazały, że poziom hałasu waha się w granicach od 57 dB_A do 83 dB_A na obu wysokościach pomiarowych (90 i 160 cm). Różnice poziomu hałasu podczas postoju samochodów na światłach a przejazdem samochodów i tramwajów przez skrzyżowanie nie przekracza 10 dB_A.

Analiza widmowa hałasu wykazała, że poziom hałasu zmierzony na wysokości 90 cm podczas ruchu pojazdów jest 3 do 5 dB wyższy niż zmierzony na wysokości 160 cm. Średni poziom hałasu w poszczególnych punktach pomiarowych wahał się od 66 dB_A do 74 dB_A. Najwyższy średni poziom hałasu zarejestrowano w punkcie pomiarowym 2 (Rys. 2), a najmniejszy w punkcie pomiarowym 1. Punkt pomiarowy 2 zlokalizowany był przy zabudowaniu (teren szpitala miejskiego) z płotem murowanym, a punkt 1 na wysepce tramwajowej otoczonej zielenią.

6. LITERATURA

- [1] Rozporządzenie Ministra Środowiska w sprawie wymagań prowadzenia pomiarów poziomów substancji lub energii w środowisku przez zarządzającego drogą, linią kolejową, linią tramwajową, lotniskiem lub portem z dnia 16 czerwca 2011 roku. Dziennik Ustaw nr 140, pozycja 824
- [2] Rozporządzenie Ministra Środowiska w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku z dnia 22 stycznia 2012 roku. Dziennik Ustaw, pozycja 112.
- [3] Dyrektywa 2002/49/WE Parlamentu Europejskiego, dotycząca oceny i zarządzania poziomem hałasu w środowisku, z dnia 25 czerwca 2002 roku

- [4] Czechyra B., Orczyk M., Tomaszewski F., Problemy badań i oceny hałasu wybranych środków transportu. Materiały XLIII Szkoły Zimowej Zwalczenia Zagrożeń Wibroakustycznych, Szczyrk 2.03–6.03.2015, pp. 5–20, 2015
- [5] Wytyczne wykonywania pomiarów hałasu przy drogach krajowych prowadzonych w trakcie generalnego pomiaru ruchu. Opracowanie Biura Ekspertyz i Projektów Budownictwa Komunikacyjnego „EKKOM” Sp. z o.o., 2005
- [6] Kirpluk M., Badania hałasu komunikacyjnego. Opracowanie Laboratorium Badawczego firmy NTL-M. Kirpluk, rok 2013
- [7] Motylewicz M., Gardziejczyk W., Hałas od ruchu samochodowego w otoczeniu skrzyżowań. Budownictwo i Architektura, nr 13(1), 2014
- [8] Opracowanie metody nauki orientacji przestrzennej w dużym mieście dla osób niewidomych z wykorzystaniem dźwięków środowiska. Grant rozwojowy nr 0393/R/H03/2008/04. Okres realizacji 2008–2010
- [9] Czechyra B., Orczyk M., Tomaszewski F., Szymański G.: The possibilities of use of sounds generated by means of transport for orientation of the blind. Polish Journal of Environmental Studies. Vol. 20, No. 4A, 201

HAŁAS I HAŁAS INFRADŹWIĘKOWY NA STANOWISKACH PRACY W POBLIŻU TURBIN WIATROWYCH

Dariusz PLEBAN, Jan RADOSZ, Bożena SMAGOWSKA
Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Czerniakowska 16, 00-701 Warszawa

1. WPROWADZENIE

Wejście w życie Ustawy z dnia 20 lutego 2015 r. o odnawialnych źródłach energii [11] wdrażającej dyrektywę Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych [1] powinno przyspieszyć inwestycje w energetykę wiatrową w Polsce, ponieważ w 2020 r. udział energii ze źródeł odnawialnych w końcowym zużyciu energii w Polsce musi osiągnąć poziom 15%. W związku z tym osiągnięcie tego celu wymaga dynamicznego rozwoju energetyki wiatrowej. Według danych Urzędu Regulacji Energetyki w 2015 roku w Polsce znajdowało się 981 instalacji wiatrowych (zarówno pojedyncze turbiny jak i duże farmy) o łącznej mocy 4117,4 MW [2]. Według rządowych planów w 2020 r. ich moc ma wynosić 6650 MW. W 2015 r. w Polsce funkcjonowało 38 przemysłowych farm wiatrowych o mocy powyżej 5 MW każda, natomiast liczba turbin wiatrowych na terenie tych 38 przemysłowych farm wiatrowych wahała się od 2 do 60, a największą moc znamionową posiada farma w Margoninie – 120 MW.

Hałas, obok zjawisk optycznych, generowany przez turbiny wiatrowe należy do najczęściej wymienionych w literaturze czynników mogących wpływać na zdrowie osób mieszkających w sąsiedztwie turbin wiatrowych. Długo oczekiwane wyniki badań epidemiologicznych [3, 4, 9] przeprowadzonych przez Health Canada nie wykazały bezpośrednich związków między hałasem turbin wiatrowych a zdrowiem osób mieszkających w pobliżu turbin wiatrowych. Badania przeprowadzono na terenie dwóch kanadyjskich prowincji: Ontario (12 farm wiatrowych, 315 turbin wiatrowych) i Prince Edward Island (6 farm wiatrowych, 84 turbiny wiatrowe) i objęto nimi 1238 osób reprezentujących gospodarstwa domowe zlokalizowane w odległości od 600 m do 10 km od turbin wiatrowych.

Jak wykazały powyższe badania hałasu turbin wiatrowych, wyznaczone poziomy dźwięku A na zewnątrz badanych gospodarstw osiągały wartości do 46 dB (dla prędkości wiatru 8 m/s), natomiast wyznaczone poziomy dźwięku C wahały się w granicach 24-63 dB. Mierzone poziomy infradźwięków blisko podstawy turbin nie przekraczały progów słyszenia infradźwięków.

Przeprowadzone zaś badania subiektywne nie wykazały związku z ekspozycją na hałas:

- zaburzeń snu,

- zgłaszanych dolegliwości (zawrotów głowy, szumów usznych, migren i bólów głowy),
- odczuwanego stresu i jakości życia (wg. skali WHO).

Znaleziono natomiast statystycznie istotne związki między ekspozycją na hałas i reakcją dla poziomów dźwięku A hałasu turbin przekraczających 40 dB. Przy poziomach dźwięku A hałasu turbin większych od 35 dB następował statystycznie istotny wzrost uciążliwości hałasu. Uciążliwość była większa w lecie, na zewnątrz pomieszczeń, wieczorem i nocą, natomiast znacząco spadała, kiedy hałas tła przekraczał poziom hałasu turbin o 10 dB lub więcej. Natomiast uciążliwość była znacząco mniejsza wśród uczestników badania, którzy otrzymali korzyści osobiste.

Polskie badania ankietowe [5, 6] przeprowadzone na grupie 538 osób mieszkających w pobliżu farm wiatrowych wykazały między innymi, że zmierzone poziomy dźwięku A hałasu turbin wiatrowych o wartościach 33-50 dB były postrzegane:

- jako uciążliwe na zewnątrz pomieszczeń przez 27,3% mieszkańców,
- jako uciążliwe wewnątrz budynków przez 18,0% mieszkańców.

Natomiast brak jest w literaturze krajowej i zagranicznej danych na temat ekspozycji zawodowej na hałas emitowany przez turbiny wiatrowe pracowników zatrudnionych w pobliżu farm wiatrowych.

2. WYBÓR TURBINY DO BADAŃ

Z analizy danych dotyczących energetyki wiatrowej w Polsce [2] wynika, że na terenach 38 farm wiatrowych o mocy powyżej 5 MW jest zainstalowanych łącznie 646 turbin wiatrowych następujących producentów: Vestas, Gamesa, Enercon, Repower, Siemens, Nordex, Fuhrlander oraz AW.

Najpopularniejszym z w/w producentów turbin wiatrowych jest Vestas, którego turbiny w liczbie 239 są eksploatowane na 12 farmach wiatrowych, przy czym prawie 30% tych turbin (77 turbin) stanowią turbiny typu VESTAS V80-2,0 MW, które były źródłem hałasu i hałasu infradźwiękowego mierzonego na stanowiskach pracy zlokalizowanych w ich pobliżu.

Turbina wiatrowa VESTAS V80-2,0 MW jest modelem z trójładowym wirnikiem o średnicy 80 m wyposażonym w łopaty o zmiennym kącie nachylenia. Liczba obrotów wirnika waha się od 9-19 obr./min [12]. Turbina ta charakteryzuje się mocą znamionową 2 MW. Natomiast odległość piasty od podłoża badanych turbin wiatrowych VESTAS V80-2,0 MW wynosiła 100 m. Wybrane obiekty badań przedstawiono na Rys. 1 i 2.



Rys. 1. Turbiny wiatrowe
VESTAS V80-2,0 MW



Rys. 2. Gondola oraz wirnik turbiny
VESTAS V80-2,0 MW

3. KRYTERIA OCENY HAŁASU I HAŁASU INFRADŹWIĘKOWEGO

Kryteria szkodliwości i uciążliwości hałasu, według których oceniane jest narażenie oraz kryterium uciążliwości hałasu infradźwiękowego na stanowiskach pracy podano w Tab. 1, 2 i 3.

Tab. 1. Kryterium szkodliwości hałasu – wartości NDN (najwyższych dopuszczalnych natężeń) hałasu ustalone dla ogółu pracowników ze względu na ochronę słuchu [10]

Wielkości charakteryzujące hałas	Wartości NDN, dB
Poziom ekspozycji na hałas odniesiony do 8-godzinnej doby wymiaru czasu pracy, $L_{EX,8h}$ lub przeciętnego tygodniowego określonego w kodeksie wymiaru czasu pracy, $L_{EX,w}$	85
Maksymalny poziom dźwięku A, L_{Amax}	115
Szczytowy poziom dźwięku C, L_{Cpeak}	135

Tab. 2. Kryterium uciążliwości hałasu – wartości dopuszczalne hałasu ustalone ze względu na możliwość realizacji przez pracowników podstawowych zadań [7]

Stanowisko pracy	Wielkości charakteryzujące hałas	Wartości dopuszczalne, dB
W kabinach bezpośredniego sterowania bez łączności telefonicznej, w laboratoriach ze źródłami hałasu, w pomieszczeniach z maszynami i urządzeniami liczącymi, maszynami do pisania, dalekopisami i w innych pomieszczeniach o podobnym znaczeniu	Równoważny poziom dźwięku A w czasie pobytu pracownika na stanowisku pracy, $L_{Aeq,Te}$	75
	Maksymalny poziom dźwięku A, L_{Amax}	115
	Szczytowy poziom dźwięku C, L_{Cpeak}	135

W kabinach dyspozytorskich, obserwacyjnych i zdalnego sterowania z łącznością telefoniczną używaną w procesie sterowania, w pomieszczeniach do wykonywania prac precyzyjnych i w innych pomieszczeniach o podobnym przeznaczeniu	Równoważny poziom dźwięku A w czasie pobytu pracownika na stanowisku pracy, $L_{Aeq,Te}$	65
	Maksymalny poziom dźwięku A, L_{Amax}	115
	Szczytowy poziom dźwięku C, L_{Cpeak}	135
W pomieszczeniach: administracyjnych, biur projektowych, do prac teoretycznych, opracowania danych i innych o podobnym przeznaczeniu	Równoważny poziom dźwięku A w czasie pobytu pracownika na stanowisku pracy, $L_{Aeq,Te}$	55
	Maksymalny poziom dźwięku A, L_{Amax}	115
	Szczytowy poziom dźwięku C, L_{Cpeak}	135

Tab. 3. Kryterium uciążliwości hałasu infradźwiękowego na stanowiskach pracy [8]

Wielkości charakteryzujące hałas	Wartość, dB
Równoważny poziom ciśnienia akustycznego skorygowany charakterystyką częstotliwościową G, odniesiony do 8-godzinnego, dobowego lub do przeciętnego tygodniowego, określonego w kodeksie pracy, wymiaru czasu pracy, $L_{Geq,8h}$ lub $L_{Geq,w}$, dla ogółu pracowników	102
Równoważny poziom ciśnienia akustycznego skorygowany charakterystyką częstotliwościową G w czasie pobytu pracownika na stanowisku do wykonywania prac koncepcyjnych, $L_{Geq,Te}$	86

4. WYNIKI BADAŃ

Badania emitowanego przez turbiny wiatrowe hałasu oraz hałasu infradźwiękowego na stanowiskach pracy zlokalizowanych w pobliżu turbin wiatrowych przeprowadzono z wykorzystaniem następującego wyposażenia pomiarowo-badawczego:

- miernik poziomu dźwięku typ SVAN 945 z przedwzmacniaczem typ SV11 nr 5892 i mikrofonem typ 40AN (G.R.A.S),
- miernik poziomu dźwięku typ SVAN 945 z przedwzmacniaczem typ SV01A nr 5892 i mikrofonem typ 40AN (G.R.A.S),
- miernik poziomu dźwięku typ SVAN 979 z przedwzmacniaczem typ SV17 nr 5892 i mikrofonem typ 40AE (G.R.A.S),
- kalibrator akustyczny typ 4230 (Briel&Kjaer),
- stacja pogodowa Davis typ Vantage Vue,
- notebook Dell e630 z oprogramowaniem WeatherLink.

Warunki pogodowe (występujące podczas pomiarów na zewnątrz) w miejscach, w których były zlokalizowane mikrofony pomiarowe, były następujące: temperatura powietrza: od 6 do

10°C, wilgotność powietrza: od 55 do 58%, ciśnienie atmosferyczne: od 1023 do 1023,5 hPa, prędkość wiatru: od 5,7 do 8,1 m/s.

Ogółem wykonano badania na 7 następujących stanowiskach pracy zlokalizowanych w pobliżu 25 pracujących turbin wiatrowych VESTAS V80-2,0 MW:

- stanowiska pracy nauczycieli zlokalizowane w pokoju nauczycielskim na terenie szkoły oddalonej o 500 m od najbliższej turbiny wiatrowej,
- stanowiska pracy nauczycieli zlokalizowane na płycie boiska szkolnego oddalonego 470 m od najbliższej turbiny wiatrowej,
- stanowisko pracy w sklepie oddalonym o 800 m od najbliższej turbiny wiatrowej,
- stanowisko rozładunku towaru przed sklepem oddalone o 800 m od najbliższej turbiny wiatrowej,
- stanowisko pracy (na zewnątrz), na którym jest prowadzona działalność przyzagrodowa, oddalone 500 m od najbliższej turbiny wiatrowej,
- stanowisko pracy (wewnątrz budynku), na którym jest prowadzona działalność przyzagrodowa, oddalone o 530 m od najbliższej turbiny wiatrowej,
- stanowisko pracy na polu składowym (na zewnątrz), na którym jest prowadzony załadunek i rozładunek towarów, oddalone o 2300 m od najbliższej turbiny wiatrowej.

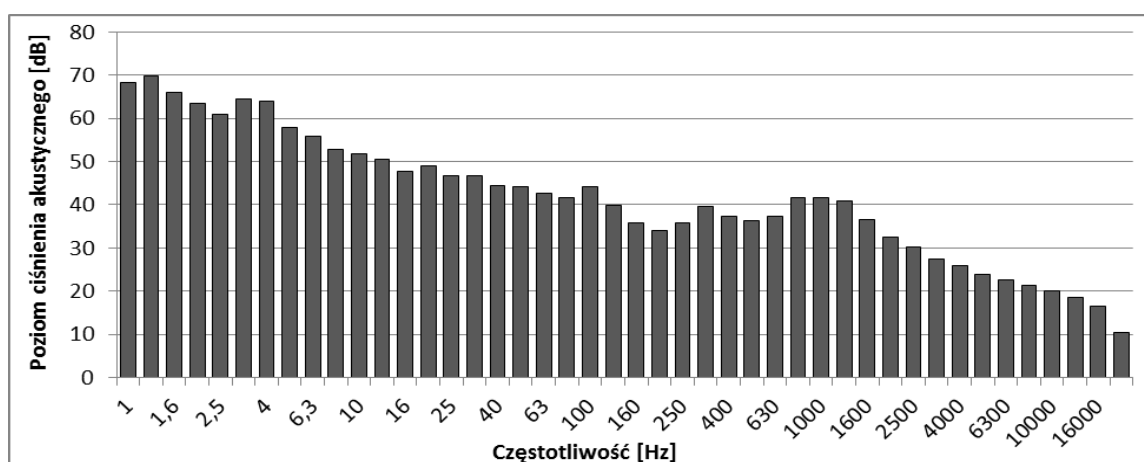
Na każdym w/w stanowisku pracy wyznaczane były następujące parametry charakteryzujące hałas i hałas infradźwiękowy docierający od turbin wiatrowych: równoważny poziom dźwięku A (L_{Aeq}), maksymalny poziom dźwięku A (L_{Amax}), szczytowy poziom dźwięku C (L_{Cpeak}), równoważny poziom ciśnienia akustycznego skorygowany charakterystyką częstotliwościową G (L_{Geq}), poziomy ciśnienia akustycznego w tercjowych pasmach częstotliwości o częstotliwościach środkowych od 1 Hz do 20 000 Hz.

Wyniki pomiarów zamieszczono w tabeli 4 oraz przykładowe widmo hałasu na Rys. 3.

Tab. 4. Wyniki badań emitowanego przez turbiny wiatrowe hałasu i hałasu infradźwiękowego na stanowiskach pracy zlokalizowanych w pobliżu turbin wiatrowych

Stanowisko pracy	L_{Aeq} [dB]		L_{Amax} [dB]		L_{Cpeak} [dB]		L_{Geq} [dB]	
	Pomiar	NDN/ Kryterium uciążliwości	Pomiar	NDN	Pomiar	NDN	Pomiar	Kryterium uciążliwości
Pokój nauczycielski (okna zamknięte)	41,3	85/55	46,8	115	71,4	135	48,4	86
Pokój nauczycielski (okna otwarte)	47,8	85/55	51,7	115	69,7	135	62,6	86
Boisko szkolne	51,2	85/55	52,8	115	82	135	79,1	86

Sklep	42,7	85/65	44,6	115	70,6	135	62,3	86
Rozładunek towaru przed sklepem	42,5	85/–	45,3	115	73,6	135	68,2	102
Działalność przyzagrodowa (na zewnątrz)	36,9	85/–	541,1	115	72,1	135	63,7	102
Działalność przyzagrodowa (wewnątrz budynku)	29,9	85/–	39,5	115	64,0	135	53,8	102
Pole składowe	41,7	85/–	46,1	115	73	135	67,6	102



Rys. 3. Widmo hałasu w pokoju nauczycielskim (okna otwarte)

5. PODSUMOWANIE

Z analizy danych pomiarowych uzyskanych na stanowiskach pracy zlokalizowanych w pobliżu turbin wiatrowych VESTAS V80-2,0 MW wynika, że w hałasie emitowanym przez te turbiny i docierającym na badane stanowisko pracy dominują niskie częstotliwości do 100 Hz. Wyznaczone równoważne poziomy dźwięku A na badanych stanowiskach pracy nie przekraczają wartości NDN, jak również wartości określonych jako kryteria uciążliwości. Podobnie zmierzone wartości maksymalnego poziomu dźwięku A oraz szczytowego poziomu dźwięku C są znacznie poniżej wartości NDN. Na żadnym z tych stanowisk pracy wyznaczone wartości równoważnych poziomów ciśnienia akustycznego skorygowanego charakterystyką częstotliwościową G nie przekraczają kryterium uciążliwości hałasu infradźwiękowego nie tylko dla ogółu pracowników (102 dB), ale także dla pracowników wykonujących prace koncepcyjne (86 dB).

Zatem na podstawie przeprowadzonych badań, uwzględniając znormalizowane kryteria dotyczące szkodliwości i uciążliwości hałasu oraz hałasu infradźwiękowego, można stwierdzić, że hałas, w tym hałas oraz hałas infradźwiękowy na stanowiskach pracy

zlokalizowanych w odległościach od 500 do 2300 m od turbin wiatrowych VESTAS V80-2,0 MW nie stanowi czynnika ani uciążliwego, ani szkodliwego.

Publikacja opracowana na podstawie wyników III etapu programu wieloletniego pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, finansowanego w latach 2014-2016 w zakresie badań naukowych i prac rozwojowych ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego/Narodowego Centrum Badań i Rozwoju. Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.

6. LITERATURA

- [1] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych zmieniająca i w następstwie uchylająca dyrektywy 2001/77/WE oraz 2003/30/WE (Dz. U. UE L 140/16 z 5.06.2009 r.)
- [2] Energetyka wiatrowa w Polsce, [http://pl.wikipedia.org/wiki/energetyka wiatrowa w Polsce](http://pl.wikipedia.org/wiki/energetyka_wiatrowa_w_Polsce)
- [3] Health Canada: Wind Turbine Noise and Health Study: Summary of Results. <http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/noise-bruit/turbine-eolienne/s>
- [4] Michaud D. S., Self-reported and objectively measured outcomes assessed in the Health Canada Wind Turbine Noise and Health Study: results support an increase in community annoyance, Proceedings INTER-NOISE 2015, San Francisco, 9-12.08.2015
- [5] Pawlaczyk-Łuszczynska M., Dudarewicz A., Zaborowski K., Zamojska-Daniszewska M., Waszkowska M., Annoyance related to wind turbin noise, Archives of Acoustics, 2014, Vol. 39, No 1, 89-102.
- [6] Pawlaczyk-Łuszczynska M., Zaborowski K., Dudarewicz A., Zamojska-Daniszewska M., Waszkowska M., Factors affecting subjective perception of annoyance, Proceedings ICSV22, 2015, Florencja, 12-16 lipca 2015
- [7] PN-N-01307:1994 Hałas. Dopuszczalne wartości hałasu w środowisku pracy. Wymagania dotyczące wykonywania pomiarów
- [8] PN-Z-01338:2010 Akustyka. Pomiar i ocena hałasu infradźwiękowego na stanowiskach pracy
- [9] Result of the Health Canada Wind Turbine Noise and Health Study – EWEA Workshop on wind turbine noise, Malmo 2014

- [10] <https://www.google.pl/search?q=health+canada's+wind+turbine+n>
- [11] Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 6 czerwca 2014 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (Dz.U. 2014, poz. 817)
- [12] Ustawa z dnia 20 lutego 2015 r. o odnawialnych źródłach energii (Dz. U. 2015, poz. 478)
- [13] VESTAS V80-2,0 MW z systemami OptiTip oraz OptiSpeed,
https://www.agroenergetyka.pl/articles/87/pdf/V8_pol.pdf.

ZAGROŻENIE HAŁASEM O CZĘSTOTLIWOŚCI 10-40 kHz NA STANOWISKACH PRACY PRZY PRODUKCJI SZYB SAMOCHODOWYCH

Bożena SMAGOWSKA

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Czerniakowska 16, 00-701 Warszawa

1. WPROWADZENIE

W niniejszym artykule przedstawiono wyniki pomiarów i oceny narażenia na hałas przeprowadzone na wybranych stanowiskach pracy (maszyny do cięcia formatek szkła płaskiego, pieca grawitacyjnego, autoklawu, pieca hartowniczego, prasy do kształtowania formatek szyb oraz linii przygotowania formatek szkła płaskiego) w zakładzie produkującym szyby samochodowe. W zakresie hałasu o częstotliwościach słyszalnych, największe wartości poziomu ekspozycji na hałas odniesionego do 8-godzinnego dnia pracy występują na stanowiskach: maszyny do cięcia formatek szkła płaskiego, pieca hartowniczego i prasy do kształtowania formatek szyb i przekraczają wartość dopuszczalną 85 dB. W zakresie hałasu ultradźwiękowego najwyższe równoważne poziomy ciśnienia akustycznego występują na stanowisku prasy do kształtowania formatek i przekraczają wartości dopuszczalne określone dla pasm częstotliwości o częstotliwościach środkowych: 10 kHz, 12,5 kHz, 16 kHz i 20 kHz. Wyniki pomiarów hałasu potwierdzają, że na badanych stanowiskach pracy hałas w zakresie częstotliwości słyszalnych i ultradźwiękowych, jest czynnikiem szkodliwym. W celu ograniczenia narażenia na hałas pracowników na badanych stanowiskach pracy konieczne jest zastosowanie odpowiedniej profilaktyki.

Według istniejącego w Polsce stanu prawnego hałas (w tym ultradźwiękowy) w środowisku pracy jest uznawany za czynnik szkodliwy, powodujący zagrożenie dla zdrowia pracowników [1, 2, 3]. Hałas (w zakresie częstotliwości słyszalnych) oddziałując na organizm ludzki powoduje nie tylko uszkodzenie narządu słuchu, ale powoduje również skutki pozasłuchowe, m.in.: zaburzenie funkcji fizjologicznych organizmu, spadek koncentracji uwagi oraz zwiększenie liczby popełnianych błędów, utrudnia porozumiewanie się mową a przy poziomach powyżej 80 dB zrozumienie mowy [4, 5]. Na podstawie danych dotyczących chorób zawodowych zawartych w Centralnym Rejestrze Chorób Zawodowych i opracowanych w Instytucie Medycyny Pracy (IMP), ubytek słuchu obecnie jest na 4 miejscu w strukturze chorób zawodowych, a na 3 miejscu wśród czynników fizycznych [6]. W roku 2013 w Polsce zarejestrowano 187 przypadków zawodowego uszkodzenia narządu słuchu.[6] W niniejszym artykule przedstawiono wyniki badań i oceny narażenia na hałas w zakresie

częstotliwości słyszalnych i ultradźwiękowych przeprowadzonych na wybranych stanowiskach pracy w zakładzie produkującym szyby samochodowe. Pomiary hałasu, dla potrzeb oceny narażenia pracownika na danym stanowisku pracy na ten czynnik, przeprowadza się w typowych dla tego stanowiska miejscach przebywania pracownika, z uwzględnieniem wszystkich wykonywanych przez niego czynności oraz standardowych warunków eksploatacji narzędzia, maszyny czy urządzenia będącego źródłem tego hałasu. Pomiary hałasu w zakresie częstotliwości słyszalnych i ultradźwiękowych przeprowadzono metodą pośrednią zgodną z wymaganiami zawartymi w normach: PN-EN ISO 9612: 2011 i PN-N-01307: 1994 [7,8] oraz z procedurą badawczą opracowaną przez CIOP-PIB i IMP [9]. Zgodnie z ich ustaleniami wyznacza się równoważny poziom dźwięku A, maksymalny poziom dźwięku A i szczytowy poziom dźwięku C w zakresie częstotliwości słyszalnych oraz równoważne i maksymalne poziomy ciśnienia akustycznego w pasmach tercjowych o częstotliwościach środkowych: 10 kHz, 12,5 kHz, 16 kHz, 20 kHz, 25 kHz, 31,5 kHz i 40 kHz w zakresie częstotliwości ultradźwiękowych.

Wartości dopuszczalne hałasu ze względu na ochronę zdrowia (wartości NDN) ogółu pracowników, obowiązujące w Polsce określone są Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 6 czerwca 2014 r. [1], Wartości dopuszczalne ze względu na możliwość realizacji przez pracowników podstawowych zadań na wybranych typach stanowisk określa Polska Norma PN-N-01307: 1994. W odniesieniu do kobiet ciężarnych i osób młodocianych mają zastosowanie niższe wartości dopuszczalne zamieszczone w rozporządzeniach [2] i [3].

2. WYNIKI POMIARÓW I OCENY HAŁASU NA STANOWISKACH PRACY

Pomiary hałasu w zakresie częstotliwości słyszalnych i ultradźwiękowych przeprowadzono na 6 stanowiskach pracy obsługi następujących maszyn i urządzeń: maszyny do cięcia formatek szkła płaskiego (Rys. 1), pieca grawitacyjnego, autoklawu (Rys. 2), pieca hartowniczego, prasy do kształtowania formatek szyb oraz linii przygotowania formatek szkła płaskiego.

Stanowiska powyższe były zautomatyzowane. Obsługa stanowisk w zależności od typu stanowiska polegała na kontroli procesu wzdłuż linii produkcyjnej, przy pulpicie sterowniczym bądź kontroli parametrów pracy urządzeń w kabinie sterowniczej. Pomiary parametrów charakteryzujących hałas w zakresie częstotliwości słyszalnych i ultradźwiękowych przeprowadzono za pomocą analizatora dźwięku Svan 912AE firmy Svantek, mikrofonów (o średnicy $\frac{1}{2}$ " i $\frac{1}{4}$ ") oraz kalibratora akustycznego BK typ 4230 firmy

B&K. Punkty pomiarowe były zlokalizowane w miejscach przebywania pracowników na stanowiskach pracy w odległości od 0,5 do 1 m od urządzenia.



Rys 1. Cięcie i szlifowanie formatek szkła



Rys 2. Autoklaw

Wyniki wielkości charakteryzujących hałas w zakresie częstotliwości słyszalnych: poziom ekspozycji na hałas odniesiony do 8-godzinnego dnia pracy, maksymalny poziom dźwięku A oraz szczytowy poziom dźwięku C zamieszczono w Tab. 3. Na podstawie wyników pomiarów na badanych stanowiskach należy stwierdzić, że poziom ekspozycji na hałas odniesiony do 8-godzinnego dnia pracy zawiera się w zakresie od 77 do 99 dB, mierzone maksymalne poziomy ciśnienia wahają się od 98 dB do 110 dB natomiast szczytowy poziom dźwięku C wynosi w granicach 105 dB do 123 dB.

Tab. 3. Wyniki hałasu na stanowiskach pracy oraz wartości dopuszczalne określone ze względu na ochronę słuchu.

L.p.	Stanowisko	T_e [min]	$L_{EX,8h}$ [dB]	$L_{EX,8h,dop}$ [dB]	$L_{Amax,8h}$ [dB]	$L_{Amax,8h,dop}$ [dB]	$L_{Cpeak,8h}$ [dB]	$L_{Cpeak,8h,dop}$ [dB]
1.	Obsługa maszyny do cięcia formatek szkła płaskiego	480	85,4	85	91,3	115	110,5	135
2.	Obsługa pieca grawitacyjnego	480	84,1	85	88,4	115	108,1	135
3.	Obsługa autoklawu	480	77,2	85	91,7	115	104,7	135
4.	Obsługa pieca hartowniczego	480	99,2	85	110,4	115	123,3	135
5.	Obsługa prasy do kształtowania formatek szyb	480	88,6	85	98,8	115	116,7	135
6.	Obsługa linii przygotowania formatek szkła płaskiego	480	82,6	85	89,7	115	108	135

Największe wartości poziomu ekspozycji na hałas odniesionego do 8-godzinnego dnia pracy występują na stanowiskach: maszyny do cięcia formatek szkła płaskiego, pieca hartowniczego i prasy do kształtowania formatek szyb i przekraczają wartość dopuszczalną 85 dB. Pozostałe wartości dopuszczalne maksymalnego poziomu dźwięku A oraz szczytowego poziomu dźwięku C określone ze względu na ochronę słuchu nie są przekroczone.

W zakresie hałasu ultradźwiękowego zmierzone równoważne poziomy ciśnienia akustycznego w pasmach tercjowych o częstotliwościach środkowych: 10 kHz, 12,5 kHz, 16 kHz, 20 kHz, 25 kHz, 31,5 kHz i 40 kHz przedstawiono w Tab. 4. Natomiast maksymalne poziomy ciśnienia akustycznego w pasmach tercjowych o częstotliwościach środkowych: 10 kHz, 12,5 kHz, 16 kHz, 20 kHz, 25 kHz, 31,5 kHz i 40 kHz zmierzone w czasie dnia pracy przedstawiono w Tab. 5. Jak wynika z Tab. 4 mierzone w pasmach tercjowych o częstotliwościach środkowych od 10 kHz do 40 kHz odniesione do 8-godzinnego dnia pracy, na badanych stanowiskach pracy wahają się w granicach 62-89 dB.

Tab. 4. Równoważny poziom ciśnienia akustycznego $L_{f,eq,8h}$ odniesiony do 8 godzin na stanowiskach pracy

Lp.	Nazwa urządzenia	Czynność	Równoważny poziom ciśnienia akustycznego odniesiony do 8 godzin $L_{f,eq,8h}$, w dB, w tercjowych pasmach częstotliwości, w kHz						
			10	12,5	16	20	25	31,5	40
1.	maszyny do cięcia formatek szkła płaskiego	cięcie formatek szkła płaskiego	74,4	75,4	78,2	77,3	79,6	82,0	82,0
2.	piec grawitacyjny	załadunek szkła w gorącej formie	65,5	62,3	64,1	63,7	62,5	63,2	63,2
3.	autoklaw	wygrzewanie szyb	73,3	73,0	75,1	75,2	77,2	78,5	77,7
4.	piec hartowniczy	wyginanie szkła	77,2	75,5	74,2	73,6	73,5	74,0	72,3
5.	prasa do kształtowania formatek szyb	kształtowanie formatek szyb	88,8	90,4	92,1	91,3	89,9	89,3	87,2
6.	linia przygotowania formatek szkła płaskiego	krojenie i szlifowanie	74,1	72,6	72,4	70,7	74,2	75,7	74,1

Tab. 5. Maksymalny poziom ciśnienia akustycznego, $L_{f,max}$, na stanowiskach pracy

Lp.	Nazwa urządzenia	Czynność	Maksymalny poziom ciśnienia akustycznego odniesiony do 8 godzin $L_{f,max,8h}$, w dB, w tercjowych pasmach częstotliwości, w kHz						
			10	12,5	16	20	25	31,5	40
7.	maszyny do cięcia formatek szkła płaskiego	cięcie formatek szkła płaskiego	80,6	82,4	83,9	84,2	86,3	87,3	86,5
8.	piec grawitacyjny	załadunek szkła w gorącej formie	81,3	73,6	71,9	73,1	73,9	71,0	72,4
9.	autoklaw	proces załadunku i wygrzewania szyb	81,0	81,3	84,7	85,1	87,5	89,3	88,4
10.	piec hartowniczy	wyginanie szkła	81,6	79,0	77,5	76,7	76,9	77,6	76,0
11.	prasa do kształtowania formatek szyb	kształtowania formatek szyb	93,3	94,9	97,0	96,2	94,4	93,9	91,5
12.	linia przygotowania formatek szkła płaskiego	krojenie i szlifowanie	78,7	77,2	76,9	75,2	78,7	80,5	79,5

Najwyższe równoważne poziomy ciśnienia akustycznego występują na stanowisku prasy do kształtowania formatek i przekraczają wartości dopuszczalne określone dla pasm częstotliwości o częstotliwościach środkowych: 10 kHz, 12,5 kHz, 16 kHz i 20 kHz, a więc w zakresie wysokich częstotliwości słyszalnych (do 20 kHz). Z kolei, jak widać z Tab. 5 mierzone maksymalne poziomy ciśnienia akustycznego w tercjowych pasmach częstotliwości od 10 kHz do 40 kHz wahają się w granicach ok. 71-96 dB i nie przekraczają wartości dopuszczalnych określonych dla tego zakresu częstotliwości.

3. PODSUMOWANIE

Wyniki pomiarów hałasu w zakresie częstotliwości słyszalnych i ultradźwiękowych potwierdzają, że na badanych stanowiskach pracy jest czynnikiem stwarzającym zagrożenie dla pracownika. Przyczyną tak dużych wartości hałasu ultradźwiękowego jest m.in. brak zastosowania ochrony przeciwhałasowej, np. obudowy czy osłony w części roboczej urządzenia [10, 11, 12]. Zamieszczone wyniki pomiarów parametrów hałasu w ich otoczeniu wskazują na potrzebę prowadzenia pomiarów kontrolnych tego czynnika na stanowiskach pracy [13]. Częstotliwość wykonywania pomiarów określona jest w rozporządzeniu Ministra Zdrowia z dnia 20 kwietnia 2005 r. w sprawie badań i pomiarów czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy. Uzależniona jest ona od występującej krotności przekroczenia dopuszczalnych wartości hałasu na stanowiskach pracy. W celu ograniczenia narażenia pracowników na hałas ultradźwiękowy na stanowiskach pracy konieczne jest podjęcie działań profilaktycznych technicznych, organizacyjnych i medycznych [10, 11, 12, 14].

Publikacja opracowana na podstawie wyników III etapu programu wieloletniego „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, finansowanego w latach 2014-2016 w zakresie zadań służb państwowych przez Ministerstwo Pracy i Polityki Społecznej.

Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

4. LITERATURA

- [1] Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 6 czerwca 2014 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy Dz. U 2014 poz. 817, t. 1
- [2] Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 10 września 1996 r. w sprawie wykazu *prac szczególnie uciążliwych lub szkodliwych dla zdrowia kobiet*. DzU 1996, nr 114, poz. 545; zm. DzU 2002, nr 127, poz. 1092

- [3] Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 24 sierpnia 2004 r. w sprawie wykazu *prac wzbronionych młodocianym i warunków ich zatrudniania przy niektórych z tych prac*. DzU 2004, nr 200, poz. 2047., zm. DzU 2005, nr 136, poz.1145
- [4] Engel Z., Zawieska W. M., Hałas i drgania w procesach pracy- źródła, ocena, zagrożenia, CIOP – PIB Warszawa 2010
- [5] Smagowska B., Pawlaczyk-Łuszczyńska M. Effects of action of ultrasonic noise on the human body – a bibliographic review, *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics JOSE* 19, 2, pp. 195-202, 2013
- [6] Szeszenia-Dąbrowska N., Wilczyńska U., Sobala W., Choroby zawodowe w Polsce w 2013 r. i ich czynniki przyczynowe, *Medycyna Pracy* 65, 4, pp.463–472, 2014
- [7] PN-N-01307: 1994, Hałas. Dopuszczalne wartości hałasu w środowisku pracy. Wymagania dotyczące wykonywania pomiarów
- [8] PN-EN ISO 9612: 2011, Akustyka – Wyznaczanie zawodowej ekspozycji na hałas – Metoda techniczna
- [9] Pawlaczyk-Łuszczyńska M., Koton J., Augustyńska D., Hałas ultradźwiękowy – Procedura pomiarowa, *Podstawy i Metody Oceny Środowiska Pracy* 28, 2, pp. 89-95, 2001
- [10] Dobrucki A., Żółtogórski B, Pruchnicki P., Bolejko R., Sound-Absorbing and Insulating Enclosures for Ultrasonic Range, *Archives of Acoustics* 35, 2, pp. 157-164, 2010
- [11] Pleban D., Method of Testing of Sound Absorption Properties of Materials Intended for Ultrasonic Noise Protection, *Archives of Acoustics* 38, 2, pp. 191-195, 2013
- [12] Młyński R., Kozłowski E., Determining attenuation of impulse noise with an electrical equivalent of a hearing protection device, *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 19, 1, pp. 127-141, 2013
- [13] Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 2 lutego 2011 r. w sprawie badań i pomiarów czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy. Dz. U 2011, nr 33, poz. 166.
- [14] Smagowska B., Profilaktyka narażenia na hałas ultradźwiękowy w środowisku pracy. *Podstawy i Metody Oceny Środowiska Pracy* 2, pp. 5-7, 2012

AUTONOMICZNY SYSTEM ZDALNEGO MONITORINGU PARAMETRÓW WIBROAKUSTYCZNYCH DO KONTROLI ZAGROŻEŃ WYSTĘPUJĄCYCH W ŚRODOWISKU PRACY

Grzegorz SZCZEPAŃSKI, Leszek MORZYŃSKI
Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Czerniakowska 16, 00-701 Warszawa

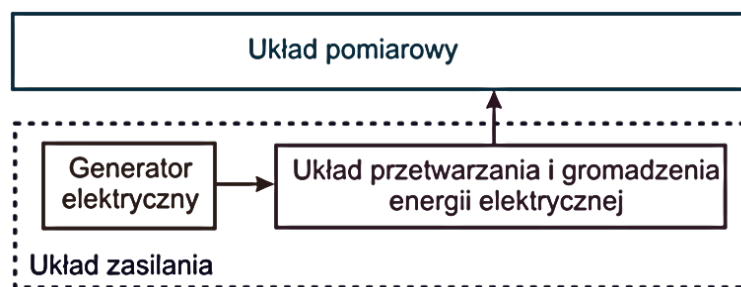
1. WPROWADZENIE

Występowanie czynników wibroakustycznych w środowisku pracy jest zjawiskiem powszechnym. W przypadku, gdy ekspozycja na hałas lub drgania mechaniczne przekroczy wartości dopuszczalne może prowadzić do chorób zawodowych [1]. Pracodawca, który zgodnie z obowiązkiem wynikającym z ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy podejmując się kontroli tych wielkości prowadzi pomiary w ograniczonych odcinkach czasu, nie bierze pod uwagę zachodzących dynamicznie zmian w parametrach procesów technologicznych i zmian spowodowanych zużyciem części maszyn.

Rozwiązaniem tego problemu może być przedstawiony w niniejszej publikacji autonomiczny system zdalnego monitoringu parametrów wibroakustycznych występujących w środowisku pracy. System ten pozwoli pracodawcom na sprawną i prawidłową ocenę zagrożeń wynikających z ekspozycji na czynniki wibroakustyczne, co w efekcie przełoży się na wdrożenie skutecznych planów poprawy warunków pracy. Przy opracowywaniu systemu kierowano się ideą, by funkcjonował on w sposób bezobsługowy i w pełni autonomicznie, bez potrzeby prowadzenia okablowania do zasilania z sieci energetycznej, czy też cyklicznego ładowania akumulatorów, dlatego też mierniki systemu zasilane są za pomocą odnawialnych źródeł energii.

2. BUDOWA SYSTEMU

W skład systemu wchodzi mierniki, które ulokowane będą w wybranych miejscach w zakładzie pracy oraz centrala systemu wyposażona w odpowiednie oprogramowanie. Miernik (schemat został przedstawiony na Rys. 1) składa się z układu pomiarowego oraz układu zasilania. Układ zasilania dzieli się natomiast na generator elektryczny wykorzystujący odnawialne źródła energii oraz układ przetwarzania i gromadzenia energii elektrycznej, który przy tego typu źródłach jest niezbędny.



Rys. 1. Schemat miernika

Dane pomiarowe uzyskiwane z układu pomiarowego po odpowiednim przetworzeniu będą przesyłane do centrali systemu z wykorzystaniem protokołu ZigBee.

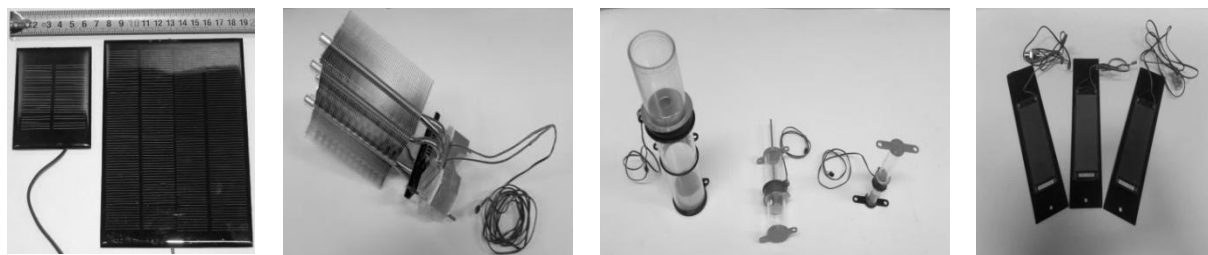
3. BUDOWA UKŁADÓW ZASILAJĄCYCH MIERNIKI

Głównym założeniem dotyczącym budowy systemu było wykorzystanie techniki „energy harvesting” do zasilania mierników [2]. Technika ta polega na zasilaniu urządzeń elektrycznych małej mocy przy pomocy energii występującej powszechnie w otoczeniu (takiej jak energia promieniowania optycznego, czy energia termiczna) i dedykowana jest przede wszystkim dla małych, bezprzewodowych, autonomicznych czujników pomiarowych [4, 7]. Przy opracowywaniu układów zasilania na potrzeby systemu przebadano ogólnodostępne na rynku niewielkie ogniwa fotowoltaiczne oraz opracowano własnej konstrukcji generatory (Rys. 2). Jednym z nich były generatory oparte na przetwornikach termoelektrycznych, znanych powszechnie jako układy Peltiera. Uzyskiwana w ten sposób energia elektryczna zależy od różnicy temperatur pomiędzy stroną ciepłą i zimną przetwornika. Do budowy generatorów tego typu wykorzystano również radiatory w celu sprawnego odprowadzania temperatury od strony zimnej, specjalnie przygotowane bloki aluminiowe z owalnymi wgłębieniami w celu mocowania generatorów termicznych do powierzchni owalnych oraz papier ceramiczny z płytą teflonową do izolacji termicznej stron generatora.

Kolejnym typem generatora były generatory indukcyjne bazujące na ruchu magnesu neodymowego poruszającego się w rurce wykonanej z plexi z wykorzystaniem sprężyn lub pola magnetycznego wzdłuż nieruchomej cewki indukcyjnej. Generator ten wykorzystał ruch drgający do generacji energii elektrycznej.

W oparciu o tę samą zasadę opracowano generatory piezoelektryczne bazujące na przetwornikach kompozytowych MFC przymocowanych do elementu tworzywa sztucznego, gdzie pod wpływem wywołanego na przetworniku naprężenia wytwarza on napięcie elektryczne.

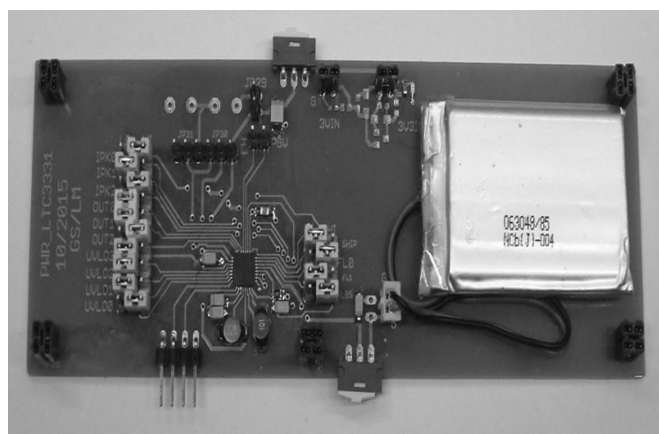
Opracowane generatory zostały poddane badaniom laboratoryjnym w celu określenia ich właściwości i możliwości ich zastosowania do zasilania mierników systemu.



Rys. 2. Wybrane przykłady generatorów: (od lewej) ogniwa fotowoltaiczne, generator termoelektryczny przystosowany do powierzchni owalnych, generatory indukcyjne, generatory piezoelektryczne

Wybór jako źródła zasilania miernika odnawialnych źródeł energii, oprócz niewątpliwych zalet, wiąże się z kilkoma problemami konstrukcyjnymi [3]. Przede wszystkim zwraca się uwagę na fakt, że wydajność źródła będzie zmieniać się dynamicznie oraz, że energia może nie być generowana w sposób ciągły. Kolejny problem wiąże się z samą postacią energii, bowiem w zależności od źródła energii generowane jest stałe (ogniwa fotowoltaiczne, generatory termoelektryczne) lub zmienne (generatory indukcyjne i piezoelektryczne) napięcie, dodatkowo moc elektryczna uzyskiwana z generatorów jest zależna od obciążenia, przy czym maksimum mocy dla danych rodzajów generatorów wypada przy znacząco różnych obciążeniach.

Uwzględniając problemy konstrukcyjne przyjęto modułową budowę mierników, przy czym układ przetwarzania i magazynowania energii (odpowiedzialny za pobranie energii elektrycznej z generatora i przetwarzanie jej z uwzględnieniem obciążenia zapewniającego największą moc elektryczną) dla danego generatora będzie wymiennym modulem, zależnym od



Rys. 3. Przykład układu przetwarzania i magazynowania energii elektrycznej oparty na układzie scalonym LTC3331

tego, z jakiego źródła energii korzystamy (Rys. 3). Ten sam układ wytwarza również napięcie podawane na układ pomiarowy, układ transmisji bezprzewodowej oraz magazynuje energię na wypadek większego zapotrzebowania systemu lub w przypadku braku zasilania z generatora. Ponieważ nie ma uniwersalnych układów scalonych, które byłyby w stanie przetworzyć napięcie elektryczne wytwarzane z dowolnego rodzaju generatora elektrycznego

opracowano łącznie 6 układów przetwarzania i gromadzenia energii elektrycznej używając w tym celu komponentów elektronicznych przeznaczonych do techniki energy harvesting produkowanych przez różnych producentów.

4. BUDOWA UKŁADÓW POMIAROWYCH

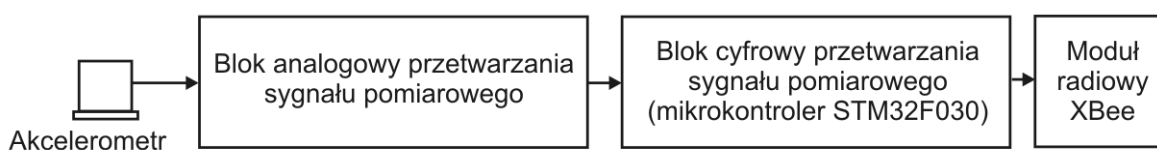
Układ pomiarowy hałasu (Rys. 4) składa się z detektora pomiarowego, układu przetwarzania sygnału pomiarowego oraz modułu radiowego XBee.



Rys. 4. Ogólny schemat blokowy układu pomiarowego hałasu

Jako detektor hałasu wykorzystywany jest mikrofon w postaci wkładki elektretowej typu POM-2244P-2-R. Mikrofon przekazuje sygnał pomiarowy do bloku analogowego przetwarzania sygnału pomiarowego. Sygnałami wyjściowymi z bloku analogowego są sygnał wartości skutecznej ciśnienia akustycznego skorygowanego charakterystyką częstotliwościową A oraz sygnał informujący o przekroczeniu wartości dopuszczalnej (równiej 135 dB) szczytowego poziomu dźwięku C [5, 6]. Sygnały wyjściowe z torów pomiarowych podawane są na blok cyfrowego przetwarzania sygnału pomiarowego w postaci mikrokontrolera z serii STM32F0, który jest odpowiedzialny za zakodowanie i przekazanie do modułu radiowego pakietu danych zawierających wszystkie niezbędne informacje na temat pomiaru. Mikrokontroler steruje również wzmocnieniem toru pomiarowego skorygowanego charakterystyką częstotliwościową A, zwiększając tym samym zakres dynamiki sygnału przetwarzanego. Moduł radiowy XBee odpowiada za transmisję danych drogą radiową zgodnie z zasadami protokołu ZigBee.

Układ do pomiaru drgań mechanicznych (Rys. 5) oparto na analogowych trzyosiowych akcelerometrach typu MEMS, umieszczonych na płytce drukowanej, przez co możliwe jest zamocowanie akcelerometru do układu wytwarzającego drgania. Przekazanie sygnału przez akcelerometr odbywa się analogicznie do pomiaru hałasu, tj. sygnał pomiarowy dla



Rys. 5. Ogólny schemat blokowy układu pomiarowego drgań mechanicznych

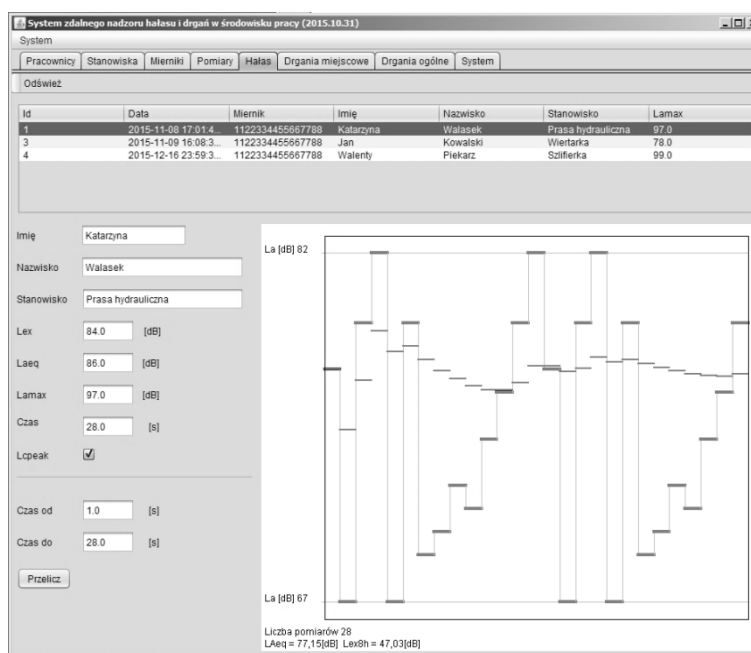
poszczególnych kierunków drgań wędruje do wzmacniacza buforującego – ogólny schemat blokowy został przedstawiony na Rys. 5.

W przypadku badania drgań miejscowych należało zastosować filtr korekcyjny o charakterystyce W_h dla każdego kierunku drgań, natomiast w przypadku drgań ogólnych filtr W_d dla kierunków x i y oraz W_k dla kierunku z . Wielkością wyjściową z każdego toru w bloku analogowego przetwarzania sygnału pomiarowego są wartości skuteczne skorygowanych częstotliwościowo przyspieszeń drgań, które są podawane na blok cyfrowy przetwarzania sygnału pomiarowego w celu wysłania ich do centrali systemu.

5. CENTRALA I OPROGRAMOWANIE SYSTEMU

Do zbierania i analizy danych służy centrala systemu tj. komputer wyposażony w specjalistyczne oprogramowanie oraz koordynator sieci ZigBee. Oprogramowanie, napisane w języku Java przy użyciu środowiska programistycznego NetBeans, korzysta z oprogramowania MySQL oraz serwera Apache w celu przechowywania i obróbki otrzymanych wyników.

Okno główne programu posiada 8 zakładek. Pierwsze trzy zakładki pozwalają na utworzenie baz danych dotyczących pracowników, stanowisk pracy oraz mierników. Oprogramowanie umożliwia powiązanie stanowisk pracy z konkretnymi miernikami oraz pracownikami, którzy pracują przy danym stanowisku. Każdy z mierników funkcjonujących w systemie ma zdefiniowany rodzaj wykonywanych pomiarów



Rys. 6. Przykładowy widok ekranu z oprogramowania dla systemu zdalnego monitoringu hałasu i drgań w środowisku pracy

i przypisany unikalny numer identyfikacyjny. Wszystkie te informacje można w dowolnym momencie aktualizować. Czwarta zakładka przeznaczona jest do prezentacji stanu akwizycji danych pomiarowych, tj. przedstawia dane dotyczące aktywnych mierników. Kolejne trzy zakładki umożliwiają przeglądanie zgromadzonych danych pomiarowych z podziałem na

rodzaj zagrożenia. W piątej zakładce, oznaczonej jako „Hałas”, przedstawione są wyniki pomiarów wielkości odnoszące się do danego pomiaru hałasu: wartość równoważnego poziomu dźwięku A, poziomu maksymalnego dźwięku A, czas pomiaru, informacje na temat, czy nie została przekroczona wartość dopuszczalnego szczytowego poziomu dźwięku C, ekstrapolowany poziom ekspozycji na hałas odniesiony do 8-godzinnego dnia prac oraz histogram zmian równoważnego i maksymalnego poziomu dźwięku A. Zakładki szósta i siódma służą do prezentacji danych pomiarowych dotyczących pomiarów drgań o działaniu miejscowym i drgań o działaniu ogólnym. Wyświetlona jest tu informacja nie tylko na temat wartości dziennej ekspozycji na drgania i wartość sumy wektorowej drgań, ale również wartości skuteczne skorygowanych przyspieszeń drgań dla poszczególnych kierunków. Istnieje również możliwość wyznaczenia wartości zarówno hałasu jak i drgań mechanicznych dla dowolnie wybranego okresu pomiaru. Ostatnia zakładka oprogramowania służy do odczytu parametrów odnoszących się do samego oprogramowania jak i oprogramowań z nim współdziałających, umożliwiając użytkownikowi sprawdzenie, czy oprogramowanie funkcjonuje w sposób prawidłowy.

6. PODSUMOWANIE

Przedstawiony system pozwoli na kontrolę zagrożeń spowodowanych czynnikami wibroakustycznymi w środowisku pracy, a wyniki uzyskane w pomiarach będą rzetelną informacją dla pracodawców, która może posłużyć do uruchomienia działań zapobiegawczych i poprawy warunków pracy w ich przedsiębiorstwie. Konieczne są jednak dalsze prace nad systemem, w szczególności mające na celu zminimalizowanie poboru energii elektrycznej przez układ pomiarowy, zminiaturyzowanie układów pomiarowych oraz dopracowanie generatorów wykorzystujących odnawialne źródła energii.

Publikacja opracowany na podstawie wyników III etapu programu wieloletniego pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, finansowanego w latach 2014-2016 w zakresie zadań służb państwowych przez Ministerstwo Pracy i Polityki Społecznej. Koordynator programu: Centralny Instytut ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.

7. LITERATURA

- [1] Engel Z., Koradecka D., Augustyńska D., Kowalski P., Morzyński L., Żera J.: Zagrożenia wibroakustyczne, [w:] Koradecka D. (red.): Bezpieczeństwo i higiena pracy, CIOP – PIB, Warszawa 2008

- [2] Bosoni A., Parker T., Energy harvesting. Nowe możliwości w sieciach czujnikowych. Elektronika praktyczna, 7, pp. 72 – 73, 2012
- [3] Seehagen I., Energy harvesting. Projektowanie urządzeń zasilanych energią wolnodostępną, Elektronika praktyczna, 11, pp. 85 – 87, 2012
- [4] Bosoni A., Parker T., Energy harvesting. Nowe możliwości w sieciach czujnikowych. Elektronika praktyczna, 7, pp. 72 – 73, 2012
- [5] Rozporządzenie Ministra Gospodarki i Pracy z dnia 5 sierpnia 2005 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy pracach związanych z narażeniem na hałas lub drgania mechaniczne, Dz. U nr 157, poz.1318, 2005
- [6] Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 6 czerwca 2014 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy, Dz. U., poz. 817, 2014
- [7] <http://www.energyharvesting.net/>

XLIV Szkoła Zimowa
Akustyki Środowiska i Wibroakustyki
Szczyrk, 2016-02-29 – 03-04

INDEKS NAZWISK AUTORÓW

Lp.	Autor	Strona
1.	JAKUBOWSKI Piotr	21
2.	KUJAWA-ŁOBACZEWSKA Honorata	7
3.	KWAPISZ Leszek	21
4.	KRUKOWICZ Tomasz	41
5.	MACIEJCZYK Jerzy	7
6.	MORZYŃSKI Leszek	33, 41, 81
7.	ORCZYK Małgorzata	49, 57
8.	PLEBAN Dariusz	67
9.	RADOSZ Jan	67
10.	RADZIEŃSKI Maciej	21
11.	SMAGOWSKA Bożena	67, 75
12.	SZCZEPAŃSKI Grzegorz	81
13.	TOMASZEWSKI Franciszek	57

