

Andrzej Łebkowski
Akademia Morska w Gdyni, Gdynia

SAMOCHODY ELEKTRYCZNE - DŹWIĘK CISZY

ELECTRIC VEHICLES - THE SOUND OF SILENCE

Streszczenie: Hałas to jeden z najważniejszych problemów środowiskowych i efektów ubocznych współczesnego rozwoju cywilizacyjnego. Nadmierny poziom hałasu powoduje u ludzi występowanie licznych schorzeń i zaburzeń, a także niekorzystny wpływ na samopoczucie i zachowanie się ludzi (brak koncentracji, zmęczenie). W głównej mierze, hałas na terenach zurbanizowanych generowany jest przez transport, a w szczególności transport kołowy. Dokonując analizy przedstawionego problemu, można postawić tezę, iż wprowadzając do użytku elektryczne lub hybrydowe układy napędowe, można zmniejszyć poziom hałasu oraz zanieczyszczeń w obszarze terenów miejskich. W artykule zaprezentowano wyniki badań związanych z emisją hałasu przez samochody elektryczne i spalinowe, poruszające się z różnymi prędkościami i po różnych nawierzchniach. Omówione zostały zagadnienia prawne związane z emisją hałasu przez pojazdy elektryczne, jak również wpływ masowego zastosowania tych pojazdów na zmniejszenie poziomu hałasu oraz zanieczyszczeń w obszarze terenów miejskich.

Abstract: Noise is one of the most important environmental problem and side-effect of civilization progress. Excessive noise levels cause numerous diseases and disorders in people, in addition to entailing adverse effects in one's behavior and well-being (e.g. lack of focus, fatigue). In urban conditions, the main producer of noise is traffic, especially wheeled traffic. Analyzing the problem, it can be stated that by introducing purely electric or hybrid propulsion, the urban noise levels and pollution could be mitigated. The paper presents the results of noise level research, as emitted by various cars, electric and conventional, riding on various surface types with varying velocities. Legal issues regarding noise emissions by electric vehicles are discussed, as well as predicted impact of mass adoption of such vehicles on lowering the noise and pollution level in urban areas.

Słowa kluczowe: *samochody elektryczne, napęd elektryczny, hałas komunikacyjny*

Keywords: *electric cars, electric powertrain, traffic noise, powertrain noise*

1. Wstęp

Problem emisji hałasu przez transport drogowy, pomimo faktu, iż ma znaczący wpływ na samopoczucie i zachowanie się ludzi, jest jednym z bardziej pomijanych i lekceważonych zagadnień w naszym kraju. Światowa Organizacja Zdrowia (WHO) informuje, iż przekroczenie poziomu hałasu powyżej 55 dB ma niekorzystny wpływ na zdrowie człowieka powodując brak koncentracji, zmęczenie, rozdrażnienie, zaburzenia psychiczne, bóle głowy, bezsenność, problemy z krążeniem krwi, lub szumy uszne [1]. W październiku 2012 roku Minister Środowiska wprowadzając nowe normy dotyczące dobowego i długookresowego hałasu komunikacyjnego, spowodował kilkukrotny spadek liczby mieszkańców zagrożonych ponadnormatywnym hałasem. Ustalono, iż mieszkańcy dużych miast muszą znosić hałas w ciągu dnia na poziomie 70 dB, natomiast w nocy na poziomie 65 dB. Kontrola przeprowadzona przez NIK [3] w 2014 roku wykazała, iż liczba mieszkańców narażonych na nadmierny poziom hałasu spadła

z tego tytułu w Łodzi z 48% na 21% (gęstość zaludnienia 137os./km²), w Radomiu z 21% na 4% (150os./km²), Gorzowie Wielkopolskim z 20% na 2% (73os./km²), Koszalinie z 19% na 3% (75os./km²), Toruniu z 14% na 1% (116 os./km²), w Warszawie 12% na 7% (150os./km²), Bydgoszczy 12% na 2% (116os./km²), Białymstoku z 11% na 2% (59os./km²). Interesujące było by przeprowadzenie kontroli oraz przedstawienie wyników dla województw, gdzie gęstość zaludnienia jest największa w Polsce, czyli śląskim 372os./km² i małopolskim 222os./km² [2]. Jednocześnie są to województwa, na terenie których występuje alarmujący poziom zanieczyszczeń powietrza w centrach miast. Do powstania takiej sytuacji niewątpliwie w znacznym stopniu przyczynia się transport drogowy. Szacuje się, że transport drogowy w ok. 90% [3] jest źródłem nadmiernego hałasu drogowego, a także w ok. 90% przyczynia się do powstawania zanieczyszczeń powietrza i smogu w miastach. Synergicznie

w ostatnich latach w Polsce wzrasta liczba rejestrowanych pojazdów (2014 – 327709 szt., 2015 – 354975 szt., +8,3%, średnia europejska +9,3%) i niekoniernie tych ekologicznych (samochody elektryczne: 2014 - 141 szt., 2015 - 259 szt., przyrost +83,7%, średnia europejska +108,8%; samochody hybrydowe: 2014 - 3858 szt., 2015 - 5416 szt., przyrost +40,4%, średnia europejska +23,1%) [4,5,6]. Pojazdy rejestrowane w Polsce pochodzą głównie z importu. Ponad 70% samochodów osobowych w Polsce ma więcej niż 10 lat. Za zły stan polskiej floty samochodów, odpowiadają głównie niskie zarobki obywateli. Ostatni znany wskaźnik motoryzacji (ilość samochodów osobowych na 1000 mieszkańców) dla Polski wyniósł 537 w 2014 roku [7] (2005-323szt.; 2010-453szt.; 2013-509 szt.) [6], co daje nam 14 miejsce w Europie (średnia europejska 2005-462szt.; 2010-481szt.; 2013-494 szt.) [6]. Rozwiązaniem niekorzystnej sytuacji związanej z wysokim poziomem hałasu i zanieczyszczeń powietrza w miastach wydaje się być masowe wdrożenie do eksploatacji samochodów z napędem elektrycznym i nawet tych, które są zasilane z polskich elektrowni opalanych węglem kamiennym, które jednocześnie stosują nowoczesne systemy filtracyjne i są umieszczone daleko od centrów miast. Kierunek takiego działania popiera Europejskie Stowarzyszenie Producentów Samochodów (*ACEA - The European Automobile Manufacturers' Association*), które z zadowoleniem przyjęło głosowanie Parlamentu Europejskiego z dnia 3 lutego 2016r., nad rozporządzeniem w sprawie emisji zanieczyszczeń w rzeczywistych warunkach drogowych (*RDE - Real Driving Emissions*).

2. Hałas komunikacyjny

Hałas to zbiór dźwięków o nadmiernym natężeniu działającym negatywnie poprzez powierzchnię organizmu na narządy wewnętrzne, a przede wszystkim poprzez narząd słuchu na system nerwowy. Hałas to zbiór wprowadzonych w drgania cząsteczek powietrza rozchodzących się wokół ich źródła w postaci fal akustycznych. Hałas opisywany jest za pomocą ciśnienia akustycznego p_{ak} wyrażonego w paskalach (Pa) oraz częstotliwości mierzonej w cyklach na sekundę, czyli hercach (Hz). Ciśnienie akustyczne stanowi zmierzoną chwilową różnicę ciśnienia pomiędzy przechodzącą falą akustyczną, a ciśnieniem atmosferycznym.

$$p_{ak} = p(t) - p_{am} \quad (1)$$

gdzie: $p(t)$ - chwilowa wartość ciśnienia powietrza [Pa], p_{am} - ciśnienie atmosferyczne [Pa]. Ze względu na szeroki zakres zmian ciśnienia akustycznego stosuje się uproszczenie polegające na zastosowaniu skali logarytmicznej, jako naturalnej skali opisującej zachowanie się zmysłów człowieka reagujących na bodźce (słuch, węch, wzrok, zmiana temperatury) zgodnie z prawem Webera-Fechnera. W praktyce przyjęto pojęcie poziomu ciśnienia dźwięku L_p wyrażanego w decybelach, jako wartości mierzonej w stosunku do względnej wartości ciśnienia odniesienia $p_0=0,00002$ Pa (0 dB).

$$L_p = 20 \cdot \log \frac{p_{ak}}{p_0} \quad (2)$$

Na tej podstawie, poziom natężenia dźwięku można wyznaczyć za pomocą pomiaru ciśnienia akustycznego, które mierzymy za pomocą sonometrów. Właściwości narządu słuchu sprawiają, iż ucho ludzkie różnie odbiera dźwięki o różnych częstotliwościach. Z tego względu wprowadza się korekcję poziomów ciśnienia akustycznego zgodnie z charakterystykami częstotliwościowymi w zakresie od 1 do 5 kHz. Poziom ciśnienia akustycznego skorygowany charakterystyką częstotliwościową A, nazywany jest poziomem dźwięku A i oznaczany jako dB(A), poziom dźwięku skorygowany charakterystyką częstotliwościową C oznaczany jest jako dB(C), G jako dB(G) [8]. W sprawie dopuszczalnego poziomu hałasu i obowiązujących norm zostały sporządzone akty prawne, takie jak: Dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady Europy, rozporządzenia Ministra Infrastruktury, Ministra Środowiska, Ministra Transportu Budownictwa i Gospodarki Morskiej oraz normy dotyczące pomiaru hałasu wytwarzanego przez pojazdy drogowe [8].

3. Wyniki badań

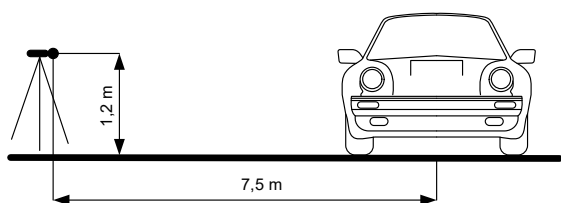
W trakcie prowadzonych badań rejestrowano poziom natężenia dźwięków pochodzących od pojazdów z napędem elektrycznym oraz pojazdów spalinowych. Do badań wykorzystano 8 pojazdów, pięć samochodów elektrycznych: Nissan Leaf z 2014r., Mia electric z 2014r., Fiat Panda EV z 2010r., Citroen Berlingo EV z 1999r., MyCar z 2010r. oraz trzy samochody spalinowe: Fiat Panda z silnikiem diesla o pojemności 1300ccm z roku 2004, Mercedes

SLK o pojemności 2300ccm z roku 1996 oraz BMW E30 o pojemności 2000ccm wyprodukowane w roku 1988.



Rys. 1. Widok pojazdów biorących udział w teście

Badania poziomu hałasu prowadzone były zgodnie z Rozporządzeniem Parlamentu Europejskiego i Rady Europy (UE) NR 540/2014 z dnia 16 kwietnia 2014 r., ISO 362. Podczas prowadzenia pomiarów uwzględniono wymagania związane z czynnikami atmosferycznymi, które mają wpływ na rozprzestrzenianie się dźwięku w środowisku (temperatura otoczenia 5÷40°C, brak opadów atmosferycznych, sucha nawierzchnia, teren poziomy, prędkość wiatru mniejsza niż 5m/s, ciśnienie atmosferyczne mniejsze niż 1060hPa, ustawienie mikrofonu na wysokości 1,2m nad poziomem drogi w odległości 7,5 m od środkowej linii pasa ruchu).



Rys. 2. Ustawienie sonometru podczas badań

Podczas badań notowano wyniki pomiarów dla pojazdów, które zbliżyły się do miejsca pomiaru z ustaloną określoną prędkością. Rejestrowano maksymalny poziom hałasu uzyskany podczas kolejnych czterech pomiarów, gdy nie różniły się one więcej niż 2dB.

Pomiary realizowane były z wykorzystaniem cyfrowego miernika poziomu dźwięku marki CEM model DT-8852 o numerze seryjnym 140313382. Przyrząd CEM DT-8852 charakteryzuje się dokładnością w granicach ±1,5dB, zakresem częstotliwości 31,5Hz÷8000Hz oraz

temperaturą pracy w zakresie 0÷40°C. Podczas badań ustawiono charakterystykę korekcji na typ A, zakresy pomiarowe 30÷130, 30÷80, 50÷100, 80÷130 dB oraz szybki czas próbkowania.

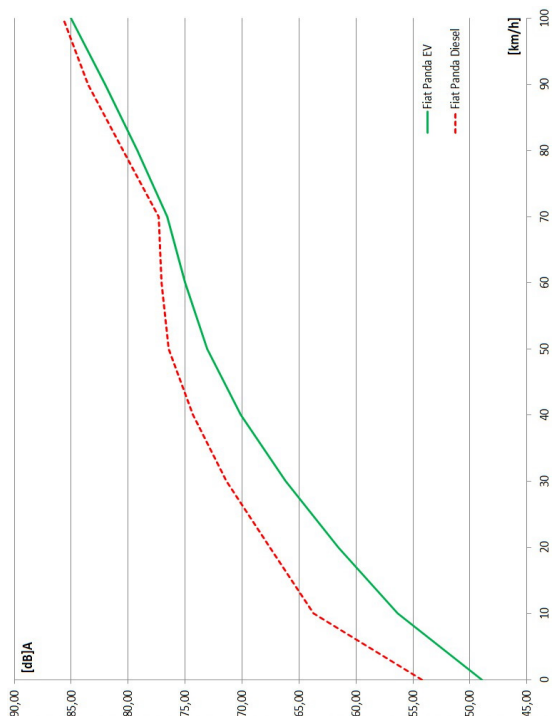
wystrzał z karabinu	160 dB 2000 Pa	start rakiety
	150 dB 632,1 Pa	
wybuch petardy	140 dB 200 Pa	maszynownia statku
próg bólu	130 dB 63,21 Pa	samolot odrzutowy na pasie startowym
stadion piłkarski	120 dB 20 Pa	bolid Formuły 1
głośna muzyka	110 dB 6,321 Pa	motocykl sportowy
metro	100 dB 2 Pa	samochód ciężarowy
maszyny w fabryce	90 dB 0,6321 Pa	autobus spalinowy
ruch uliczny	80 dB 0,2 Pa	trolejbus, tramwaj
	70 dB 0,06321 Pa	samochód spalinowy w ruchu miejskim
rozmowa	60 dB 0,02 Pa	samochód elektryczny w ruchu miejskim
ciche biuro	50 dB 0,006321 Pa	włączony samochód spalinowy
lodówka	40 dB 0,002 Pa	włączony samochód elektryczny
czytelnia	30 dB 0,0006321 Pa	
studio stacji radiowej	20 dB 0,0002 Pa	
oddychanie	10 dB 0,00006321 Pa	
próg słyszalności	0 dB 0,00002 Pa	

Rys. 3. Ciśnienia akustyczne i poziomy ciśnienia akustycznego różnych dźwięków

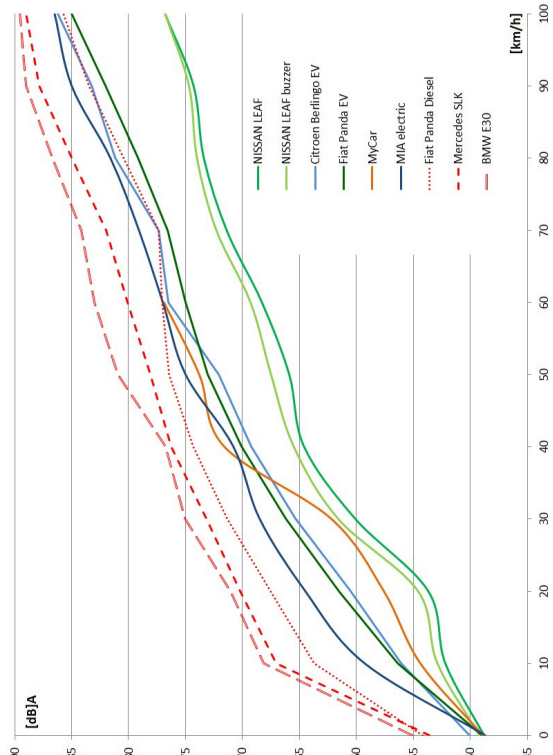
Na rysunku 4 przedstawiono wyniki badań otrzymanych podczas prowadzenia testów dla dwóch pojazdów tego samego typu, które różniły się tylko jednostką napędową. Pod względem konstrukcyjnym pojazdy posiadały identyczną karoserię oraz ogumienie. Jeden z pojazdów wyposażony był w spalinowy silnik diesla o pojemności 1300ccm, drugi w elektryczny układ napędowy z manualną skrzynią biegów.

Na rysunku 5 przedstawiono wyniki badań otrzymanych podczas prowadzenia testów dla 8 pojazdów, które poruszały się po nawierzchni asfaltowej w zakresie prędkości od 0 do 100km/h.

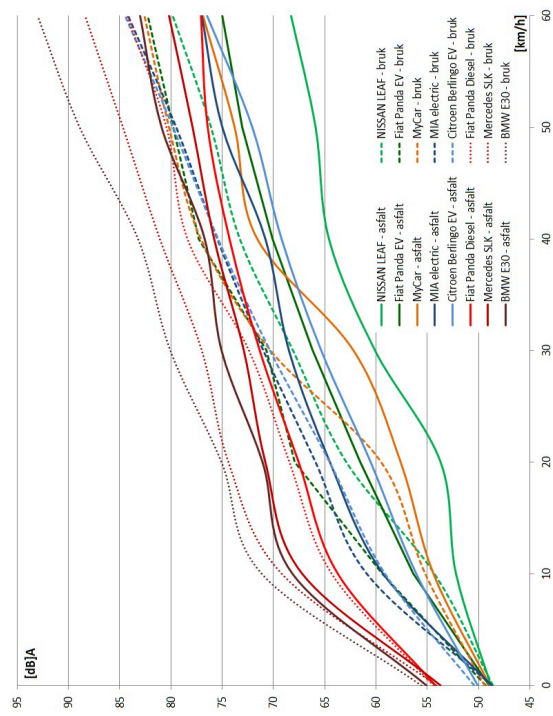
Rysunek 6 przedstawia zestawienie charakterystyk poziomu hałasu w funkcji prędkości pojazdów dla samochodów, które poruszały się po nawierzchni asfaltowej, a następnie z zachowaniem tej samej prędkości po nawierzchni wyłożonej brukiem.



Rys. 4. Porównanie hałasu emitowanego przez pojazdy Fiat Panda EV oraz Fiat Panda Diesel na nawierzchni asfaltowej



Rys. 5. Porównanie hałasu emitowanego przez pojazdy poruszające się na nawierzchni asfaltowej



Rys. 6. Porównanie hałasu emitowanego przez pojazdy poruszające się na nawierzchni z kostki brukowej

4. Dyskusja wyników

Dokonując analizy otrzymanych wyników poziomu hałasu emitowanego przez samochody elektryczne, najcichszym pojazdem z testowanej piątki okazał się Nissan Leaf, a najgłośniejszym MIA electric. Różnica emisji dźwięku pomiędzy tymi pojazdami wyniosła nawet 10dB w pełnym zakresie realizowanych prędkości powyżej 10km/h.

Otrzymane wyniki badań są zbliżone do wyników testów innych pojazdów z napędem elektrycznym [10,11].

Prowadzone badania potwierdziły, iż:

- pojazdy elektryczne generują znacznie niższy poziom hałasu niż ich spalinowe odpowiedniki. Pomiar hałasu dla dwóch identycznych pojazdów różniących się tylko jednostką napędową, wykazał różnice na poziomie od 3 do 7 dB(A) w zależności od prędkości pojazdu. Oznacza to obniżenie poziomu hałasu od 2 do 5 razy,
- pojazdy elektryczne emitują znacznie niższy poziom hałasu od spalinowych, szczególnie w zakresie niskich prędkości do 50km/h. Dla dwóch pojazdów tego samego typu (Fiat Panda EV / Fiat Panda diesel) różnice poniżej prędkości 50km/h wynosiły ok. 7dB i 3 dB dla prędkości powyżej 50km/h. Dla najcichszego samochodu elektrycznego użytego w teście (Nissan Leaf) i najcichszego samochodu spalinowego

(Fiat Panda diesel), maksymalna różnica wyniosła ok. 14dB dla prędkości do 50km/h i 9dB dla prędkości powyżej 50km/h. Dla najcichszego samochodu elektrycznego użytego w teście (Nissan Leaf) i najgłośniejszego samochodu spalinowego (BMW E30), maksymalna różnica wyniosła ok. 17dB dla prędkości do 50km/h i 14dB dla prędkości powyżej 50km/h,

- istotny wpływ na poziom emitowanego hałasu przez pojazdy ma rodzaj nawierzchni, po której się poruszają. Różnice pomiędzy emisją hałasu dla pojazdów, które poruszały się po asfalcie i bruku wyniosły nawet ok. 10dB. Różnice rosły wraz ze wzrostem prędkości pojazdów,
- na poziom hałasu ma także wpływ rodzaj stosowanego ogumienia, poziom ciśnienia oraz ogólny stan techniczny opon. Dobór odpowiedniego typu opon może przyczynić się do redukcji hałasu nawet o 3,5 dB(A) [9].

Problem nadmiernego hałasu jest zauważany przez Parlament Europejski, który już w 2013 roku rozpoczął prace nad zagadnieniem proponując od 2016 roku sukcesywne zmniejszanie poziomu emisji hałasu przez wszystkie pojazdy samochodowe oraz montowanie w pojazdach elektrycznych i hybrydowych dodatkowych źródeł dźwięku, które byłyby aktywowane w zakresie niskich prędkości do 30km/h. Bardziej drastyczne projekty realizowane mają być w Stanach Zjednoczonych, gdzie w Kalifornii zakłada się wycofanie z eksploatacji samochodów spalinowych już od roku 2030 [12].

5. Podsumowanie

Problem emisji hałasu w Polsce jest niestety cały czas marginalizowany i świadczyć o tym mogą obowiązujące normy w ciągu dnia na poziomie 70 dB i 65dB w nocy, podczas gdy WHO zaleca nie przekraczanie poziomu 55dB. Na złą sytuację związaną z ponadnormatywnym poziomem hałasu szczególnie w miastach, ma wpływ głównie wzrastająca liczba samochodów spalinowych. Problem można byłoby wyeliminować lub znacznie złagodzić wprowadzając do użytku na masową skalę samochody elektryczne. Efektem zwiększenia ilości pojazdów elektrycznych na polskich drogach, byłoby zmniejszenie od kilku do kilkunastu decybeli poziomu hałasu, a także poziomu zanieczyszczenia powietrza. Niestety, ale głównie ze względów ekonomicznych (zbyt wysokie ceny pojazdów elektrycznych i hybrydowych) oraz strukturalnych (brak infrastruktury ładowania samochodów elektrycznych), proces ten aktual-

nie jest trudny do realizacji. Koszty jakie możemy ponieść w najbliższej przyszłości lekceważąc temat ponadnormatywnego poziomu hałasu, mogą być znacznie wyższe, niż masowe wdrożenie do eksploatacji samochodów elektrycznych. Głównym problemem związanym z tym zjawiskiem, jest postępujące pogorszenie się słuchu wśród całej populacji, a najbardziej wśród dzieci i młodzieży, przy jednoczesnej rezygnacji z aktywności zawodowej i społecznej przez osoby dotknięte głuchotą [13].

Literatura

- [1]. NIK o hałasie w dużych miastach <https://www.nik.gov.pl/aktualnosci/nik-o-halasio-w-duzych-miastach.html> (08.2014).
- [2]. http://stat.gov.pl/download/gfx/portalinformacyjny/pl/defaultaktualnosci/5468/7/12/1/powierzchnia_i_ludnosc.pdf (01.2016).
- [3]. <https://www.nik.gov.pl/plik/id,7116,vp,8988.pdf> (06.2014).
- [4]. <http://www.pzpm.org.pl/Rynek-motoryzacyjny/PZPM> (02.2016).
- [5]. SAMAR, 2015, Polski rynek zakończył 2015 rok na plusie. http://www.samar.pl/wiadomosci/sprzedaz-nowych-samochodow?locale=pl_PL (02.2016).
- [6]. www.acea.be (02.2016)
- [7]. Motor vehicles per 1000 people <http://www.nationmaster.com/country-info/stats/Transport/Road/Motor-vehicles-per-1000-people> (02.2016).
- [8]. Łebkowski A.: „Emisja hałasu w pojazdach z napędem elektrycznym”, *Ekonomika i Organizacja Przedsiębiorstwa*, Nr 7/2015.
- [9]. Gasparoni S., Czuka M., Kriegisch M., Wehr R.: Conter M., Haider M., *Controlled-pass-by measurements of electric vehicles within the FOREVER project*. Forum Acusticum Kraków 2014.
- [10]. Iversen L. M.: „Marbjerg G., Bendtsen H., *Noise from electric vehicles – 'state of the art' literature survey*. Inter.Noise Austria 2013.
- [11]. Jabben J., Verheijen E., Potma C., *Noise reduction by electric vehicles in the Netherlands*. Inter.Noise USA 2012.
- [12]. Kalifornia: w 2030 nie będzie już samochodów ze spalinowymi silnikami? <http://moto.pl/MotoPL/1,88389,18527333,kalifornia-w-2030-nie-bedzie-juz-samochodow-ze-spalinowymi.html> (02.2016).
- [13]. Marczak P.: *Zagrożenie hałasem*. Kancelaria Senatu RP, 2012.

Autor

dr inż. Andrzej Łebkowski
Katedra Automatyki Okrętowej
Akademia Morska w Gdyni
ul. Morska 83, 81-225 Gdynia
andrzej1@am.gdynia.pl