

Badanie wpływu starzenia materiału w wyniku działania temperatury i wilgotności na współczynnik pochłaniania dźwięku materiałów dźwiękochłonnych stosowanych w motoryzacji

PIOTR BIAŁKOWSKI¹
ŁUKASZ ZAPART²
BOGUSŁAW KRĘŻEL³

Instytut Badań i Rozwoju Motoryzacji BOSMAL

Streszczenie

W pracy przedstawiono i opisano próbę określenia wpływu temperatury i wilgotności na współczynnik pochłaniania dźwięku materiałów powszechnie stosowanych w samochodach. Do badań wybrano trzy rodzaje materiału włóknistego. Dla próbek materiału określono współczynnik pochłaniania dźwięku, a następnie poddano je złożonej próbie temperatury i wilgotności. Po wykonaniu testu temperaturowo-wilgotnościowego ponownie wyznaczono współczynnik pochłaniania dźwięku i wyznaczono rzeczywisty wpływ temperatury i wilgotności dla danej próbki materiału. Do wyznaczenia współczynnika pochłaniania dźwięku wykorzystano rurę impedancyjną. Wyniki przedstawiono w formie wykresów i tabel dla danego materiału. Opisano przebieg pomiarów oraz powstałe wnioski.

Słowa kluczowe: współczynnik pochłaniania dźwięku, materiały dźwiękochłonne, akustyka, rura impedancyjna

^{1,2,3} Instytut Badań i Rozwoju Motoryzacji BOSMAL Sp. z o.o. ul. Sarni Stok 93, 43-300 Bielsko-Biała
piotr.bialkowski@bosmal.com.pl; lukasz.zapart@bosmal.com.pl; boguslaw.krezel@bosmal.com.pl

1. Wprowadzenie

Współczynnik pochłaniania dźwięku stanowi o chłonności akustycznej wnętrza samochodu. Długotrwałe oddziaływanie czynników takich jak: wibracje, wilgotność, temperatura, czy zanieczyszczenia, mogą wpływać na strukturę materiałów, z których wytworzone są materiały absorbujące dźwięk wewnątrz samochodu, a tym samym na współczynnik pochłaniania dźwięku.

Z przeprowadzonego przeglądu artykułów naukowych w tym temacie wynika, że powstało stosunkowo niewiele publikacji poruszających zagadnienie wpływu wyżej wymienionych czynników środowiskowych na współczynnik pochłaniania dźwięku. Producenci bowiem skupiają się na spełnianiu wymogów akustycznych nowego materiału, a nie na przewidywaniu zmiany parametrów akustycznych z upływem czasu.

Wpływ oddziaływania czynników występujących w samochodzie podczas typowej eksploatacji na właściwości akustyczne nie jest nadzorowany. Materiały są badane jedynie przed testami starzeniowymi. Z tego powodu nawet kilkuletni samochód, poddawany niekorzystnym czynnikom fizycznym w trakcie eksploatacji, może zmienić swoje właściwości akustyczne, jeśli zostanie poddany niekorzystnym czynnikom środowiskowym.

Współczynnik pochłaniania dźwięku stanowi też niski priorytet na tle pozostałych wymagań związanych z branżą samochodową, stąd też zagadnienie pochłaniania dźwięku nie jest często opisywane w publikacjach. Niemniej jednak znajdują się nieliczne prace związane z tym tematem [7].

W poniższym artykule opisano próbę oceny wpływu pewnych czynników środowiskowych na współczynnik pochłaniania dźwięku dla powszechnie stosowanych materiałów włóknistych w pojazdach. W tym celu przeprowadzono pomiary fizycznego współczynnika pochłaniania dźwięku próbek materiałów przed i po testach starzenia, w zakresie 50 - 6400 Hz. Badania przeprowadzono na materiałach stosowanych w elementach wygłuszenia wnętrza pojazdów.

Pomiar współczynnika pochłaniania dźwięku wykonano metodą dwumikrofonową z wykorzystaniem funkcji przejścia w rurze impedancyjnej (ISO 10534-2, 1998) [1].

2. Czynniki środowiskowe występujące w samochodach

Najważniejszymi występującymi czynnikami środowiskowymi, które mogą mieć wpływ na właściwości materiałów absorbujących dźwięk wewnątrz samochodów, są: wilgotność, temperatura oraz zanieczyszczenia takie jak kurz, brud, płyny (olej, woda), pył [6], a także pył drzewny [4]. Dodatkowym czynnikiem mogą być także wibracje. Wymienione czynniki środowiskowe przyczyniają się w głównej mierze do przyspieszonego starzenia materiału.

W związku z coraz większą liczbą samochodów na światowych drogach ostatnio bardzo poważnie zajęto się problemem wpływu asfaltu na hałas komunikacyjny. Asfalty „ciche” mają coraz szersze zastosowanie. Z czasem tego typu nawierzchnie tracą swoje właściwości akustyczne więc ostatnimi laty powstało wiele publikacji na temat wpływu zanieczyszczeń na współczynnik pochłaniania dźwięku asfaltu [5]. Natomiast powstało niewiele publikacji na temat wpływu wyżej wymienionych czynników środowiskowych na współczynnik pochłaniania dźwięku materiałów dźwiękochłonnych stosowanych w motoryzacji.

Szerzej występują publikacje związane z wpływem podobnych czynników na inne właściwości, jak na przykład przewodzenie ciepła [2] lub zanieczyszczeń, nie związanych z motoryzacją [3].

3. Obiekty badań

Włókniny, charakteryzujące się bardzo dobrymi właściwościami akustycznymi, mają powszechne zastosowanie w motoryzacji. Do badań przyjęto trzy rodzaje tego typu materiału. Dwa o grubości 25 mm (niebieskie poroso oraz zielone poroso) oraz jeden o grubości około 7 mm (cienkie poroso). Z powyższych materiałów zostały wycięte po 3 próbki za pomocą specjalnych wykrojników o średnicy 100mm oraz 30mm (rys. 1).

W Tabeli 1 przedstawiono właściwości fizyczne przyjętych do badań próbek materiału.



Rys. 1 Próbki materiałów: $\phi 100\text{mm}$ – lewa strona, $\phi 30\text{mm}$ – prawa strona (od góry: niebieskie poroso, zielone poroso i cienkie poroso)

Tabela 1. Właściwości fizyczne próbek materiału

Próbka	Numer	Grubość [m]	Średnica $\phi 100\text{ mm}$		Średnica $\phi 30\text{ mm}$	
			Masa [kg]	Gęstość [kg/m^3]	Masa [kg]	Gęstość [kg/m^3]
Niebieskie poroso	1	0,025	0,01654	84,217	0,00144	81,487
	2	0,025	0,01754	89,341	0,00160	90,428
	3	0,025	0,01847	94,077	0,00144	81,544
	śr.	0,025	0,01752	89,212	0,00149	84,487
Zielone poroso	1	0,025	0,01515	77,143	0,00118	66,774
	2	0,025	0,01422	72,427	0,00131	74,074
	3	0,025	0,01441	73,390	0,00088	49,685
	śr.	0,025	0,01459	74,320	0,00112	63,511
Cienkie poroso	1	0,007	0,00574	104,406	0,00062	125,909
	2	0,007	0,00592	107,625	0,000597	120,655
	3	0,007	0,00671	122,122	0,000544	109,943
	śr.	0,007	0,00612	111,384	0,00059	118,836

4. Metodyka badań

5.1 Wyznaczenie współczynnika pochłaniania

Do określenia parametru pochłaniania dźwięku wykorzystano rurę impedancyjną firmy Sinus Messtechnik GmbH – AFD 1000. W skład rury wchodzi:

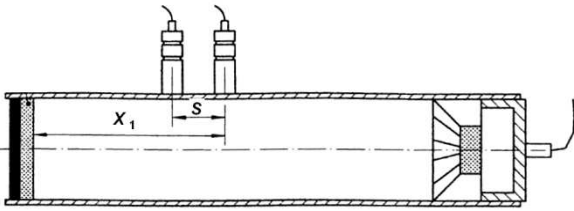
- rury o średnicy 30mm oraz 100mm,
- dwa mikrofony firmy GRAS (46BD 1/4" ICP),
- Speaker Module oraz Amplifier,

Metodyka wyznaczenia współczynnika pochłaniania dźwięku oparta jest na normie ISO 10534-2.

Na Rys. 2 przedstawiono stanowisko do wyznaczenia współczynnika pochłaniania materiału, natomiast na Rys. 3 został przedstawiony schemat rury z zaznaczonymi symbolami parametrów występujących we wzorach (1)...(4).



Rys. 2 Stanowisko do wyznaczania współczynnika pochłaniania dźwięku – rura impedancyjna



Rys. 3 Schemat rury impedancyjnej [1]

Wzór (1) na współczynnik odbicia zgodnie z normą ISO 10534-2 [1]:

$$r = \frac{H_{12} - H_l}{H_R - H_{12}} e^{2jk_0 x_1} \quad (1)$$

,gdzie:

H_{12} – funkcja przejścia całkowitego pola akustycznego,

H_l – funkcja przejścia fali padającej,

H_R – funkcja przejścia fali odbitej,

k_0 – zespolona liczba falowa,

x_1 – odległość próbki od dalszej pozycji mikrofonu.

Wzór na funkcja przejścia fali padającej:

$$H_l = \frac{p_{2l}}{p_{1l}} = e^{-jk_0(x_1 - x_2)} = e^{-jk_0 s} \quad (2)$$

,gdzie:

x_1 – odległość próbki od dalszej pozycji mikrofonu,

x_2 – odległość próbki od bliższej pozycji mikrofonu,

Funkcja przejścia fali odbitej

$$H_R = \frac{p_{2R}}{p_{1R}} = e^{jk_0(x_1 - x_2)} = e^{jk_0 s} \quad (3)$$

Współczynnik pochłaniania dźwięku:

$$\alpha = 1 - |r|^2 = 1 - r_r^2 - r_i^2 \quad (4)$$

5.2 Próba kombinowana temperatury i wilgotności

W niniejszej pracy zbadano wpływ starzenia materiału w wyniku działania temperatury i wilgotności na współczynnik pochłaniania dźwięku. W tym celu porównano wyniki pomiarów współczynnika pochłaniania dźwięku w pasmach tercjowych przed i po poddaniu złożonemu testowi temperaturowo - wilgotnościowemu.

Parametry testu były następujące:

- 20 godzin w temperaturze - 40 °C
- 2 godziny w temperaturze + 23 °C i wilgotności 50%
- 20 godzin w temperaturze + 90 °C
- 2 godziny w temperaturze + 23 °C i wilgotności 50%
- 20 godzin w temperaturze + 50 °C i wilgotności 95%

Po teście temperaturowo – wilgotnościowym, a przed pomiarem w rurze impedancyjnej, próbki były kondycjonowane w temperaturze pokojowej przez 24 godziny.

5. Wyniki badań

Wykonano badania fizycznego współczynnika pochłaniania dźwięku przed narażeniem próbek na cykle temperaturowo-wilgotnościowe. Dla każdej dużej próbki ($\varnothing 100$ mm) wykonano po trzy pomiary w dwóch zakresach częstotliwości (pasma tercjowe): $8\div 250$ Hz (low frequency LF) i $315\div 1600$ Hz (high frequency HF). Dla próbek małych ($\varnothing 30$ mm) wykonano również po trzy pomiary, ale tylko w jednym zakresie częstotliwości (pasma tercjowe): $2000\div 5000$ Hz (HF).

Przy każdym pomiarze próbka była wyjmowana z rury i wkładana ponownie w celu zminimalizowania błędów wynikających z niepoprawnego mocowania w rurze impedancyjnej. Powtarzalność wyników pozwoliła na stwierdzenie minimalnego wpływu zamocowania próbek na wynik końcowy.

Wykonano badania fizycznego współczynnika pochłaniania dźwięku α_f dla próbek po przeprowadzonym teście temperaturowo-wilgotnościowym, przy zastosowaniu identycznych warunków brzegowych (położenie czoła próbki względem mikrofonów, każdorazowe wyjmowanie próbek, trzykrotny pomiar).

W dwóch (z trzech) rodzajach materiału stwierdzono zwiększenie objętości (grubości) w wyniku działania temperatury i wilgotności. Przy czym należy zaznaczyć, że pomiar grubości tego typu materiału obarczony jest dosyć dużym błędem wynikającym z jego powierzchni (dokładność pomiaru około 1 mm). Uzyskane w wyniku działania temperatury i wilgotności przyrosty grubości i objętości próbek zestawiono w Tabeli 2 i Tabeli 3.

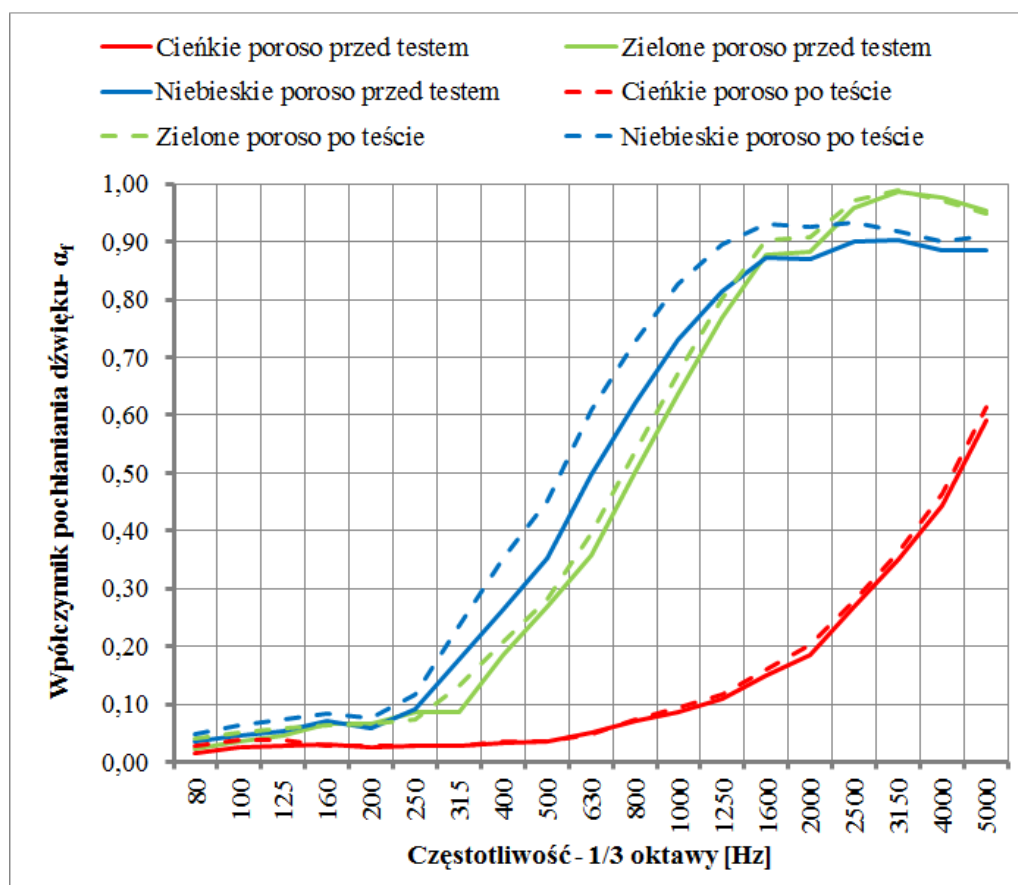
Na podstawie otrzymanych wyników sporządzono uśrednione wykresy (z trzech próbek - w sumie 9 pomiarów). Wyniki dla pomiarów przed testem temperaturowo-wilgotnościowym i po nim prezentowane są na Rys. 4. Wykresy zmian współczynnika pochłaniania w funkcji częstotliwości znajdują się na Rys. 5. Całość wyników zestawiona jest w Tabeli 4.

Tabela 2. Zmiany grubości próbek w wyniku działania temperatury i wilgotności

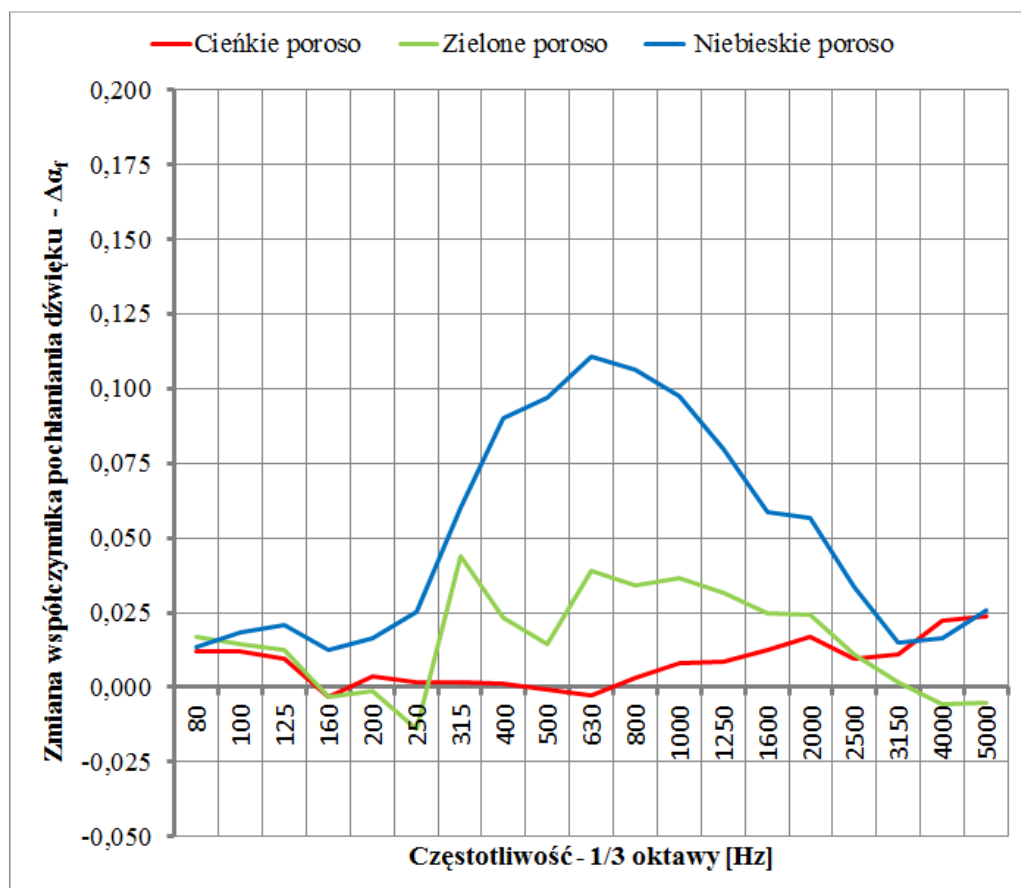
Próbka	Numer	Średnica $\varnothing 100$ mm			Średnica $\varnothing 30$ mm		
		Grubość przed testem [mm]	Grubość po teście [mm]	Zmiana [mm]	Grubość przed testem [mm]	Grubość po teście [mm]	Zmiana [mm]
Niebieskie poroso	1	25	31	6	25	30	5
	2	25	35	10	25	32	7
	3	25	35	10	25	30	5
	śr.	25	34	9	25	31	6
Zielone poroso	1	25	26	1	25	26	1
	2	25	26	1	25	27	2
	3	25	26	1	25	26	1
	śr.	25	26	1	25	26	1
Cienkie poroso	1	7	7	0	7	7	0
	2	7	7	0	7	7	0
	3	7	7	0	7	7	0
	śr.	7	7	0	7	7	0

Tabela 3. Zmiany objętości próbek w wyniku działania temperatury i wilgotności

Próbka	Numer	Średnica $\varnothing 100\text{mm}$			Średnica $\varnothing 30\text{mm}$		
		Objętość przed testem [kg/m^3]	Objętość po teście [kg/m^3]	Zmiana [%]	Objętość przed testem [kg/m^3]	Objętość po teście [kg/m^3]	Zmiana [%]
Niebieskie poroso	1	84,217	67,917	-19,4%	81,487	67,906	-16,7%
	2	89,341	63,815	-28,6%	90,428	70,647	-21,9%
	3	94,077	67,198	-28,6%	81,544	67,953	-16,7%
	śr.	89,212	66,246	-25,7%	84,487	68,875	-18,5%
Zielone poroso	1	77,143	74,176	-3,8%	66,774	64,206	-3,8%
	2	72,427	69,641	-3,8%	74,074	68,587	-7,4%
	3	73,390	70,567	-3,8%	49,685	47,774	-3,8%
	śr.	74,320	71,461	-3,8%	63,511	60,295	-5,1%
Cienkie poroso	1	104,406	104,406	0,0%	125,909	125,909	0,0%
	2	107,625	107,625	0,0%	120,655	120,655	0,0%
	3	122,122	122,122	0,0%	109,943	109,943	0,0%
	śr.	111,384	111,384	0,0%	118,836	118,836	0,0%



Rys. 4 Wyniki badań współczynnika pochłaniania dźwięku przed i po teście temperaturowo-wilgotnościowym



Rys. 5 Zmiany współczynnika pochłaniania dźwięku

Tabela 4. Zestawienie wyników badań współczynnika pochłaniania dźwięku wybranych materiałów

próbka	Częst. [Hz]	Przed testem α_1			Po teście α_2			Zmiana $\alpha_2 - \alpha_1$		
		Cienkie poroso	Zielone poroso	Niebieskie poroso	Cienkie poroso	Zielone poroso	Niebieskie poroso	Cienkie poroso	Zielone poroso	Niebieskie poroso
100 mm LF	80	0,016	0,024	0,035	0,027	0,041	0,049	0,012	0,017	0,014
	100	0,026	0,036	0,045	0,038	0,051	0,063	0,012	0,014	0,018
	125	0,027	0,045	0,054	0,037	0,058	0,075	0,01	0,013	0,021
	160	0,031	0,065	0,07	0,028	0,062	0,083	-0,003	-0,003	0,013
	200	0,025	0,067	0,058	0,028	0,066	0,075	0,003	-0,001	0,017
250	0,027	0,086	0,092	0,029	0,073	0,118	0,002	-0,014	0,025	
100 mm HF	315	0,027	0,087	0,176	0,029	0,131	0,237	0,002	0,044	0,06
	400	0,033	0,185	0,264	0,034	0,208	0,354	0,001	0,023	0,09
	500	0,035	0,268	0,354	0,034	0,282	0,45	-0,001	0,015	0,097
	630	0,052	0,358	0,497	0,049	0,397	0,608	-0,003	0,039	0,111
	800	0,07	0,503	0,621	0,073	0,537	0,727	0,003	0,034	0,106
	1000	0,086	0,635	0,731	0,094	0,672	0,828	0,008	0,037	0,097
	1250	0,109	0,769	0,815	0,117	0,8	0,894	0,009	0,032	0,08
1600	0,149	0,878	0,871	0,161	0,902	0,93	0,012	0,025	0,059	
30 mm HF	2000	0,186	0,883	0,869	0,203	0,907	0,925	0,017	0,024	0,057
	2500	0,268	0,959	0,899	0,278	0,97	0,933	0,009	0,011	0,034
	3150	0,35	0,987	0,903	0,361	0,988	0,917	0,011	0,002	0,015
	4000	0,443	0,977	0,884	0,465	0,971	0,901	0,022	-0,006	0,017
	5000	0,591	0,954	0,886	0,615	0,949	0,911	0,024	-0,005	0,026

6. Wnioski

Z przeprowadzonych badań wynika, że badany materiał dźwiękochłonny poddany procesom starzenia temperaturowo - wilgotnościowym odpowiadającym takim, jakie występują w samochodach podczas codziennej eksploatacji, nie tylko nie utraci swoich właściwości akustycznych, związanych z pochłanianiem dźwięku, ale wręcz istnieje szansa, że współczynnik pochłaniania dźwięku wzrośnie. Jest to prawdopodobnie związane z jednoczesnym zwiększeniem objętości i co za tym idzie porowatości.

Zmiana współczynnika pochłaniania nie jest stała w całym zakresie częstotliwości. Dla obu materiałów o grubości 25 mm (niebieskie poroso i zielone poroso) największą zmianę można zaobserwować w zakresie od 315 Hz do 2 kHz. Jest to o tyle logiczne, że powyżej 2 kHz współczynnik pochłaniania dźwięku wynosi powyżej 0,9, więc nie może się już wiele zwiększyć. Dla materiału trzeciego, prawdopodobnie w związku z jego niską grubością, przyrost rósł wraz ze wzrostem częstotliwości aż do górnego zakresu (w zakresie 800 Hz do 5000 Hz).

Trzeci materiał (cienkie poroso) najmniej zmienił współczynnik pochłaniania przy praktycznie zerowym zwiększeniu grubości. Materiał niebieskie poroso zmienił swoją objętość maksymalnie o około 29%, zielone poroso maksymalnie o około 7%, podczas gdy cienkie poroso praktycznie nie zmieniło objętości.

Literatura:

- [1] ISO 10534-2:1998, Acoustic. Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedances tubes – Part 2: Transfer-function method.
- [2] K. FIRKOWICZ-POGORZELSKA (2001), Metodyka określania wartości obliczeniowej współczynnika przewodzenia ciepła materiałów budowlanych, Prace instytutu techniki budowlanej - kwartalnik nr 3 (119) 2001
- [3] V. L. CHRISLER (1940) Effect of paint on the sound absorption of acoustic materials, U.S. Department of commerce national bureau of standards research paper RP1298, Part of Journal of Research of the National Bureau of Standards, Volume 24, May 1940
- [4] S. J. WERTEL, Experimental analysis of noise reduction properties of sound absorbing foam, A Research Paper Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Master of Science Degree With a Major in Risk Control
- [5] V. KRIVANEK, A. PAVKOVA, M. TOGEL, J. JEDLICKA, R. CHOLAVA, Cleaning Low-Noise Surfaces as a Basic Condition for Improving Pavement's Acoustic Absorption Capability
- [6] J. LIU, D. HERRIN, Effect of Contamination on Acoustic Performance of Microperforated Panels, SAE Int. J. Passeng. Cars – Mech. Syst. 4(2):1156-1161, 2011, doi:10.4271/2011-01-1627
- [7] H. W. PATTON, Smart Acoustic Material for Automotive Applications, Center for Engineering Education and Practice Annual Progress Report, March 2005