

prof. dr hab. inż. Władysław Gardziejczyk¹⁾

ORCID: 0000-0002-9130-3773

dr inż. Marek Motylewicz^{1)*)}

ORCID: 0000-0002-2702-9829

Mobile and stationary methods for measuring and assessing of noisiness of road pavements

Mobilne i stacjonarne metody pomiaru i oceny hałaśliwości nawierzchni drogowych

DOI: 10.15199/33.2025.08.10

Abstract: The type and kind of road surfaces and their technical condition have a significant impact on the tyre/road noise of motor vehicles. The paper presents possibilities and examples of the use of stationary and mobile methods for measuring and assessing the acoustic properties of pavements for three cases involving the laboratory mix design and road use stages. The results of the example studies confirmed the effectiveness of these methods in assessing the noise performance of road pavements.

Keywords: noisiness of road pavements; maximum sound pressure level; sound absorption coefficient; water permeability and drainability

Streszczenie: Typ i rodzaj nawierzchni drogowych oraz ich stan techniczny mają istotny wpływ na poziom hałasu toczenia pojazdów samochodowych. W artykule przedstawiono możliwości i przykłady wykorzystania stacjonarnych i mobilnych metod pomiaru i oceny właściwości akustycznych nawierzchni w odniesieniu do trzech przypadków obejmujących etapy projektowania mieszanek w laboratorium oraz użytkowania drogi. Wyniki przykładowych badań potwierdziły skuteczność tych metod w ocenie hałaśliwości nawierzchni drogowych.

Słowa kluczowe: hałaśliwość nawierzchni drogowych; maksymalny poziom dźwięku; współczynnik pochłaniania dźwięku; wodoprzepuszczalność

In the case of dense-graded pavements (asphalt concrete, SMA), the rolling noise level of motor vehicles is primarily determined by the macrotexture of their surface, while in the case of porous layers (porous asphalt, BBTM, SMA LA), the content of free spaces and the service life of the pavement have an additional impact. There are many methods for testing the acoustic properties of road surfaces, ranging from the design stage of mineral-asphalt mixtures to the assessment of the maximum tyre/road noise level, vehicle rolling noise level, and even the equivalent traffic noise level depending on the type and characteristics of the surface. Under laboratory conditions, it is possible to assess the sound absorption coefficient and water permeability of mineral-asphalt mixtures, as well as the macrotexture of the surface layer made of these mixtures. The rolling noise of car tyres on specially prepared replicas of real road surfaces is assessed on specially constructed test benches. However, the construction of such a test bench is complicated and expensive. On actual road sections, the acoustic properties of the surface are determined using stationary and mobile methods. In stationary tests, the sound absorption coefficient and water permeability are tested directly in situ. Mobile methods, on the other hand, include measurements of the maximum sound level emitted in the vicinity of the tyre/road surface plane (CPX method and OBSI method)

W przypadku nawierzchni o zwartej strukturze (beton asfaltowy, SMA) o poziomie hałasu toczenia pojazdów samochodowych decyduje przede wszystkim makrotekstura ich powierzchni, a w przypadku warstw porowatych (asfalt porowaty, BBTM, SMA LA) dodatkowy wpływ ma zawartość wolnych przestrzeni oraz okres eksploatacji nawierzchni. Istnieje wiele metod badania właściwości akustycznych nawierzchni drogowych, począwszy od etapu projektowania mieszanek mineralno-asfaltowych, a kończąc na ocenie maksymalnego poziomu hałasu opona/nawierzchnia, poziomu hałasu toczenia pojazdów samochodowych, a nawet równoważnego poziomu dźwięku od ruchu drogowego w zależności od rodzaju i charakterystyki nawierzchni. W warunkach laboratoryjnych można oceniać współczynnik pochłaniania dźwięku i wodoprzepuszczalność mieszanek mineralno-asfaltowych oraz makroteksturę powierzchni warstwy wykonanej z tych mieszanek. Hałas toczenia opon samochodowych, na specjalnie przygotowanych replikach rzeczywistych nawierzchni drogowych, ocenia się na skonstruowanych stanowiskach badawczych. Budowa takiego stanowiska jest jednak skomplikowana i kosztowna. Na rzeczywistych odcinkach drogowych właściwości akustyczne nawierzchni określa się metodami stacjonarnymi i mobilnymi. W badaniach stacjonarnych bada się współczynnik pochłaniania dźwięku i wodoprzepuszczalność bezpośrednio w warunkach in situ. Metody mobilne obejmują natomiast pomiary maksymalnego poziomu dźwięków emitowanych w otoczeniu płaszczyzny opona/na-

¹⁾ Politechnika Białostocka, Wydział Budownictwa i Nauk o Środowisku

^{*)} Correspondence address: m.motylewicz@pb.edu.pl

or measurements of the rolling noise level of motor vehicles (Statistical Pass-by method – SPB and Controlled Pass-by method – CPB). Some research centres have conducted and continue to conduct research to establish correlations between different methods of assessing road surface noise [1], but unfortunately, the possibilities of testing the acoustic properties of both designed mixtures and completed and operated surfaces are rarely exploited. The aim of this article is to show that determining the acoustic properties of mineral-asphalt mixtures for use in upper road surfaces will facilitate the selection of the most advantageous solution from the point of view of tyre/road noise.

Characteristics of methods for testing of noisiness of pavement

Stationary methods. One of the basic parameters determining the possibility of reducing noise levels by road surfaces is **the sound absorption coefficient**. This coefficient ranges from 0 (total reflection of the sound wave) to 1 (total absorption). The basic device for measuring the sound absorption coefficient is an impedance tube (known as a Kundt tube), which uses the so-called dual-microphone measurement method with a transfer function in accordance with ISO 10534-2:1998. It works by using the phenomenon of the formation of a flat, standing sound wave, which is the result of the interference of the wave incident on the sample of the tested material placed inside the tube behind a metal piston and the wave reflected from this sample. Using a pair of microphones mounted in the wall of the impedance tube at precisely defined distances from the test sample, the acoustic pressure in the antinodes and nodes of the standing wave is determined, and then, using the transfer function, the sound absorption coefficient is calculated. The advantage of this method is its speed and ease of testing [2], which is why it has been used in in situ measurements of the sound absorption coefficient of road surfaces [3], introduced by the ISO 13472-2:2010 standard. Photographs 1a and 1b show the testing of the sound absorption coefficient using the Spectronics Acupave System, respectively, using the in situ method on the surface and the two-microphone method on a sample placed inside an impedance tube (with an attachment made at the Białystok University of Technology).

Another parameter determining the noise reduction potential of road surfaces is **water permeability**, which is related to the content of free spaces and the degree of connection between pores within the pavement structure. The higher the water permeability, the greater the noise reduction potential of road surfaces. In labo-

wierzchnia (metoda CPX i metoda OBSI) lub pomiary poziomu hałasu toczenia pojazdów samochodowych (metoda statystycznego przejazdu SPB – Statistical Pass-by method i metoda kontrolowanego przejazdu CPB – Controlled Pass-by method). W niektórych ośrodkach naukowo-badawczych były i są prowadzone badania nad ustaleniem korelacji pomiędzy różnymi metodami oceny hałaśliwości nawierzchni drogowych [1], ale niestety możliwości badania właściwości akustycznych, zarówno projektowanych mieszanek, jak również wykonanych i eksploatowanych nawierzchni, są wykorzystywane w niewielkim stopniu. Celem artykułu jest wykazanie, że określenie właściwości akustycznych mieszanek mineralno-asfaltowych do wykonywania górnej nawierzchni ułatwi dobór najkorzystniejszego rozwiązania z punktu widzenia hałasu opona/nawierzchnia.

Charakterystyka metod badania hałaśliwości nawierzchni

Metody stacjonarne. Jednym z podstawowych parametrów określających możliwość redukcji poziomu hałasu przez nawierzchnie drogowe jest **współczynnik pochłaniania dźwięku**. Współczynnik ten przyjmuje wartości od 0 (całkowite odbicie fali dźwiękowej) do 1 (całkowite pochłanianie). Podstawowym urządzeniem do pomiaru współczynnika absorpcji dźwięku jest rura impedancyjna (tzw. rura Kundta), wykorzystująca tzw. dwumikrofonową metodę pomiaru z zastosowaniem funkcji przejścia zgodnie z normą ISO 10534-2:1998. Jej działanie polega na wykorzystaniu zjawiska powstawania płaskiej, stojącej fali dźwiękowej, będącej wynikiem interferencji fali padającej na próbkę badanego materiału umieszczonego wewnątrz rury za metalowym tłokiem i fali odbitej od tej próbki. Za pomocą pary mikrofonów, zamontowanych w ścianie rury impedancyjnej w ściśle określonych odległościach od badanej próbki, ustala się ciśnienie akustyczne w strzałkach i węzłach fali stojącej, a następnie, wykorzystując funkcję przejścia, oblicza się współczynnik pochłaniania dźwięku. Zaletą tej metody jest szybkość i łatwość badania [2], dlatego też znalazła zastosowanie w pomiarach in situ współczynnika absorpcji dźwięku nawierzchni drogowych [3], wprowadzonych normą ISO 13472-2:2010. Na fotografiach 1a i 1b pokazano badanie współczynnika absorpcji dźwięku, z wykorzystaniem Systemu Spectronics Acupave, odpowiednio metodą in situ na nawierzchni i metodą dwumikrofonową na próbce umieszczonej wewnątrz rury impedancyjnej (z przystawką wykonaną w Politechnice Białostockiej).

Innym parametrem określającym możliwość redukcji poziomu hałasu przez nawierzchnie drogowe jest **wodoprzepuszczalność**, związana z zawartością wolnych przestrzeni oraz stopniem połączenia porów we-

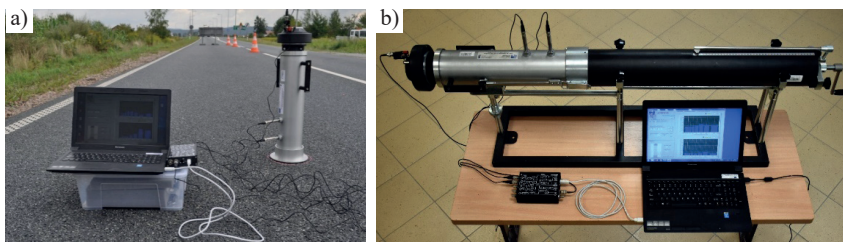


Photo 1. Sound absorption coefficient tests: a) 'in situ' method; b) laboratory method [4]
Fot. 1. Badania współczynnika pochłaniania dźwięku: a) metoda in situ; b) metoda laboratoryjna [4]

ratory tests, water permeability is determined in accordance with the PN EN 12697-19 standard. The test consists of loading cylindrical samples with a column of water of a constant height of 300 ± 1 mm and measuring the amount of water that seeps through the sample in a vertical or horizontal direction in a measured time. The PN EN 12697-40 standard also introduces the possibility of measuring the water drainability of the pavement, which is determined on the basis of the time it takes for 4 litres of water to flow out of the cylinder. Photo 2 shows water permeability tests of road pavements in the laboratory and in the field.

The drum method for measuring road surface noise was developed at Gdańsk University of Technology using a rolling resistance testing machine in accordance with ISO 18164. In this method, a steel drum with a diameter of 2 m is covered with fragments of road surface slabs, over which a measuring tyre rolls at a pressure of 210 kPa, applied to the drum under a load of 4000 N. The sound level is measured using two microphones installed near the contact plane between the tyre and the surface. Two types of reference tyres, SRTT (P1) and AAV4 (H1), are used in the tests in accordance with ISO 11819-3. Photograph 3 shows the test rig for measuring road surface noise using the drum method.

Mobile methods. The CPX method (Close Proximity method according to ISO 11819-2), known as the trailer method, involves measuring the maximum sound level L_{AFmax} using two microphones installed near the contact point between the tyre and the road surface, with the test tyre located in a closed trailer pulled by a vehicle and acoustically isolated from the external environment (Photo 4). The test is carried out at three speeds: 50 km/h, 80 km/h and 110 km/h. Two reference tyres are used to assess the road surface, one representing passenger car noise: P225/60R16 Uniroyal Tigerpaw ‘Standard Reference Test Tyre’ (P1) and the other representing truck noise: 195R14C Avon Supervan AV4 (H1). Based on the results obtained, the CPX Index (CPXI) is calculated as the arithmetic mean of the noise levels for the two reference tyres (the weighting factor for each tyre is 50%).

wnątrz struktury nawierzchni. Im większa wodoprzepuszczalność, tym większy stopień redukcji poziomu hałasu przez nawierzchnie drogowe. W badaniach laboratoryjnych wodoprzepuszczalność (*ang. water permeability*) określa się wg normy PN-EN 12697-19. Badanie polega na obciążeniu cylindrycznych próbek walcowych słupem wody o stałej wysokości 300 ± 1 mm oraz zmierzeniu ilości wody, która przesączy się przez próbkę w kierunku pionowym lub poziomym w odmierzonej czasie. Norma PN-EN 12697-40 wprowadza również możliwość pomiaru zdolności przenikania wody przez nawierzchnię w terenie (*ang. water drainability*), którą określa się na podstawie czasu wypływu z cylindra 4 l wody. Na fotografii 2 pokazano badania wodoprzepuszczalności nawierzchni drogowych w laboratorium i w terenie.

Pomiar hałaśliwości nawierzchni **metodą bębnową** został opracowany w Politechnice Gdańskiej z wykorzystaniem maszyny do badania oporów toczenia zgodnie z normą ISO 18164. W metodzie tej stalowy bęben o średnicy 2 m pokrywany jest fragmentami płyt nawierzchni drogowej, po których toczy się opona pomiarowa pod ciśnieniem 210 kPa, przyłożona do bębna pod obciążeniem 4000 N. Pomiar poziomu dźwięku odbywa się za pomocą dwóch mikrofonów zainstalowanych w pobliżu płaszczyzny kontaktu opony z nawierzchnią. W badaniach stosuje się dwa rodzaje opon referencyjnych SRTT (P1) i AAV4 (H1) zgodnie z normą ISO 11819-3. Na fotografii 3 przedstawiono stanowisko pomiarowe w badaniach hałaśliwości nawierzchni metodą bębnową.

Metody mobilne. Metoda CPX (Close-Proximity method wg ISO 11819-2), zwana metodą przyczepową, polega na pomiarze maksymalnego poziomu dźwięku L_{AFmax} za pomocą dwóch mikrofonów zainstalowanych w pobliżu styku opony z nawierzchnią, przy czym opona pomiarowa znajduje się w zamkniętej przyczepie ciągniętej przez pojazd i odizolowanej akustycznie od środowiska zewnętrznego (fotografia 4). Badanie przeprowadza się przy trzech wartościach prędkości: 50 km/h, 80 km/h i 110 km/h. Do oceny nawierzchni wykorzystuje się dwie opony referencyjne, jedną reprezentującą hałas samochodów osobowych: P225/60R16 Uniroyal Tigerpaw „Standard Reference Test Tyre” (P1) oraz drugą reprezentu-

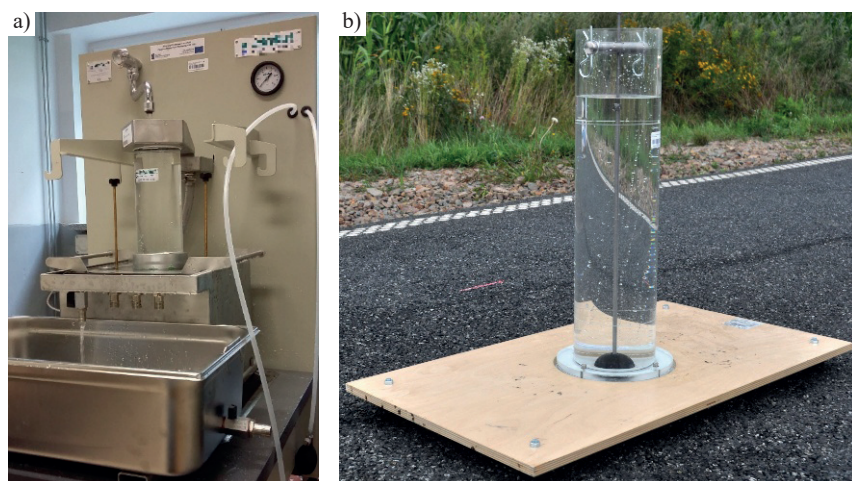


Photo 2. Water permeability and drainability tests: a) laboratory device; b) field device [5]
Fot. 2. Badania wodoprzepuszczalności: a) urządzenie laboratoryjne; b) urządzenie terenowe [5]

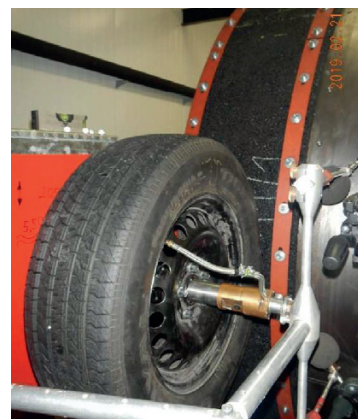


Photo 3. Tests of noisiness of the pavement on a road wheel facility with a drum under laboratory conditions [6]

Fot. 3. Badania hałaśliwości nawierzchni na bębnie maszyny bieżnej w warunkach laboratoryjnych [6]



Photo 4. CPX test trailer and two reference tyres P1 and H1 [7]

Fot. 4. Przyczepa testowa w metodzie CPX oraz dwie referencyjne opony P1 i H1 [7]

The OBSI method (On-Board Sound Intensity method – AASHTO T 360–16) involves measuring the sound level using two microphone probes installed near the front and rear edges of the contact between the SRTT reference tyre (P1) and the road surface. The measuring kit is mounted in an open space on the hub of the rear right wheel of a front-wheel drive passenger car (Photo 5). The measurement is taken at a constant speed of 72 km/h (alternatively 97 km/h, 84 km/h and 48 km/h). Based on the results obtained, the overall weighted sound intensity level (A) is calculated as the energy average of the sound intensity levels (IL) from the two microphone probes.

The SPB (Statistical Pass-by method) **and CPB** (Controlled Pass-by method) **methods**, in accordance with ISO 11819–1, involve measuring the maximum sound level L_{AFmax} from individual passing vehicles while simultaneously measuring their speed. The difference is that in the SPB method, the measurement applies to randomly selected vehicles from the traffic flow, moving at different speeds, while in the CPB method, the measurement is made on a fixed group of technically diverse test vehicles passing several times along the test section, individually at different speeds. In both methods, the measuring microphone is located at a fixed distance of 7.5 m from the axis of the traffic lane on which the measured vehicles are moving, at a height of 1.2 m above the plane of that lane. The speed is measured using a radar meter when the vehicle passes at the height of the microphone (Figure 1, Photo 6). The result of the SPB measurements are regression relationships $L_{Amax} = f(\log V)$, which allow the maximum sound level to be determined at reference speeds.

The paper provides examples of the use of stationary methods for assessing acoustic properties (sound absorption coefficient and water permeability) and the controlled pass-by method (CPB) and

jąca hałas samochodów ciężarowych: 195R14C Avon Supersvan AV4 (H1). Na podstawie uzyskanych wyników oblicza się wskaźnik CPX Index (CPXI), jako średnią arytmetyczną poziomów hałasu dla dwóch opon referencyjnych (współczynnik wagowy dla każdej opony wynosi 50%).

Metoda OBSI (On-Board Sound Intensity method – AASHTO T 360–16) polega na pomiarze poziomu dźwięku za pomocą dwóch sond mikrofonowych zainstalowanych w pobliżu przedniej i tylnej krawędzi styku referencyjnej opony SRTT (P1) z nawierzchnią. Zestaw pomiarowy zamontowany jest w otwartej przestrzeni na piaście tylnego prawego koła pojazdu osobowego o napędzie na przednią oś (fotografia 5). Pomiar odbywa przy stałej prędkości 72 km/h (alternatywnie 97 km/h, 84 km/h i 48 km/h). Na podstawie uzyskanych wyników oblicza się ogólny ważony poziom natężenia dźwięku (A) jako średnią energetyczną poziomów natężenia dźwięku (IL) z dwóch sond mikrofonowych.

Metody SPB (Statistical Pass-by method) **oraz CPB** (Controlled Pass-by method) polegają, zgodnie z ISO 11819–1, na pomiarze maksymalnego poziomu dźwięku L_{AFmax} od pojedynczo przejeżdżających pojazdów z równoległym pomiarem ich prędkości. Różnica polega na tym, że w metodzie SPB pomiar dotyczy losowo wytypowanych pojazdów z potoku ruchu, poruszających się z różną prędkością, a w metodzie CPB pomiar dokonywany jest na ustalonej grupie zróżnicowanych technicznie pojazdów testowych przejeżdżających kilkakrotnie po odcinku badawczym, pojedynczo z różnymi prędkościami. W obu metodach mikrofon pomiarowy jest zlokalizowany na stałej odległości 7,5 m od osi pasa ruchu, po którym poruszają się mierzone pojazdy, na wysokości 1,2 m nad płaszczyzną tego pasa. Pomiar prędkości odbywa się za pomocą miernika radarowego w momencie przejazdu pojazdu na wysokości mikrofonu (rysunek 1, fotografia 6). Wynikami pomiarów SPB są zależności regresyjne



Photo 5. Tests of noisiness of the pavement using the OBSI method [8]

Fot. 5. Badania hałaśliwości nawierzchni metodą OBSI [8]

statistical pass-by method (SPB) in relation to the rolling noise levels of motor vehicles. This is due to the possibility of using these methods at the stage of selecting pavement designs and testing the noise levels of new and existing road pavements.

Research results and their analysis

Methods for testing and evaluating the acoustic properties of mixtures and the noisiness of road surfaces were used in the case of:

A) selection of a poroelastic mixture for the wearing course;

B) assessment of the impact of the grooving & grinding technique on the texture of concrete pavement surfaces;

C) assessment of the noisiness of SMA8 asphalt pavement before the road is opened to traffic and of the pavement in use, including a comparison of the methods used to assess their noise levels.

A. As part of the SEPOR research project – Safe, environmentally friendly, poroelastic road surface – 16 experimental test sections were built with a wearing course of varying composition, arrangement and compaction of mineral-asphalt-rubber mixtures (so-called poroelastic mixtures) designed at Gdańsk University of Technology. The results of sound absorption and water permeability measurements carried out by a research team from Białystok University of Technology are shown in Figure 2.

The wearing courses made on test sections No. 6 and 14 were characterised by the longest flow time of the standard volume of water and the lowest sound absorption coefficient. On the test sections with wearing courses made of mixtures No. 9 and 11, the situation was reversed – the lowest water permeability values and the highest sound absorption coefficients were determined. The CPXI index values, determined by the research team from Gdańsk University of Technology using the CPX method at a speed of 30 km/h, were as follows: 75.7 dB (A) – section No. 6; 73.7 dB (A) – section No. 9; 73.9 dB (A) – section No. 11; and 76.3 dB (A) – section No. 14. The CPXI results confirmed that the solutions proposed for sections No. 9 and 11 are the most advantageous. The obtained results formed the basis for the selection of the mixture to be incorporated into the pavement on the actual road section.

Conclusion: Based on the results of the water permeability and absorption coefficient tests, it is possible to assess the acoustic properties of the tested mixtures, which was confirmed by the results of tyre/road noise level measurements according to the CPX method.

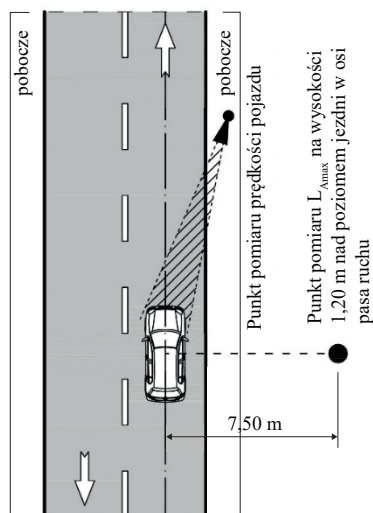


Fig. 1. The scheme of measurements according to SPB and CPB methods

Rys. 1. Schemat prowadzenia pomiarów metodami SPB i CPB



Photo 6. An example of a test bench [7]

Fot. 6. Przykład stanowiska pomiarowego [7]

$L_{Amax} = f(\log V)$, umożliwiające określenie maksymalnego poziomu dźwięku przy prędkościach referencyjnych.

W artykule podano przykłady wykorzystania stacjonarnych metod oceny właściwości akustycznych (współczynnika pochłaniania dźwięku i wodoprzepuszczalności) oraz metody kontrolowanego przejazdu CPB i metody statystycznego przejazdu SPB w odniesieniu do poziomów hałasu toczenia pojazdów samochodowych. Wynika to z możliwości wykorzystania tych metod na etapie doboru konstrukcji nawierzchni oraz badania hałaśliwości nowych i eksploatowanych nawierzchni drogowych.

Wyniki badań i ich analiza

Metody badania i oceny właściwości akustycznych mieszanek oraz hałaśliwości nawierzchni wykorzystano w przypadku:

A) doboru mieszanki poroelastycznej do warstwy ścieralnej;

B) oceny wpływu techniki teksturowania powierzchni nawierzchni betonowej metodą grooving & grinding;

C) oceny hałaśliwości nawierzchni asfaltowej typu SMA8 przed oddaniem drogi do użytkowania oraz nawierzchni eksploatowanej wraz z porównaniem metod oceny ich hałaśliwości.

A. W jednym z etapów, w ramach realizacji projektu badawczego SEPOR – Bezpieczna, proekologiczna poroelastyczna nawierzchnia drogowa wybudowano 16 eksperymentalnych sekcji testowych z warstwą ścieralną w różnym składzie, układzie i zagęszczaniu mieszanek mineralno-asfaltowo-gumowej (tzw. mieszanek poroelastycznych), zaprojektowanych w Politechnice Gdańskiej. Wyniki pomiarów współczynnika pochłaniania dźwięku i wodoprzepuszczalności, wykonanych przez zespół z Politechniki Białostockiej, pokazano na rysunku 2.

Warstwy ścieralne wykonane na odcinkach testowych nr 6 i 14 charakteryzowały się jednocześnie największym czasem wypływu normowej objętości wody i najmniejszym współczynnikiem pochłaniania dźwięku. Na odcinkach testowych z warstwą ścieralną z mieszanek nr 9 i 11 sytuacja była odwrotna – ustalono najmniejsze wartości wodoprzepuszczalności i największe wartości współczynnika pochłaniania dźwięku. Wartości indeksu CPXI, określone przez zespół z Politechniki Gdańskiej wg metody CPX przy prędkości 30 km/h, wyniosły odpowiednio: 75,7 dB (A) – sekcja nr 6; 73,7 dB (A) – sekcja nr 9; 73,9 dB (A) – sekcja nr 11; i 76,3 dB (A) – sekcja nr 14. Potwierdziły one, że najkorzystniejsze są rozwiązania zaproponowane na sekcjach nr 9 i 11. Uzyskane wyniki stanowiły podstawę przy doborze mieszanki do wbudowania w nawierzchnię na rzeczywistym odcinku drogi.

B. One of the most advantageous techniques for texturing concrete pavement surfaces from an acoustic point of view is the grooving & grinding (G&G) method. In Poland, this method has been used on sections of the S8 expressway and the DK50 national road. A view of surfaces textured using the G&G method is shown in Photograph 7.

On these surfaces, a research team from the Białystok University of Technology, as part of the INREH research project – Innovative methods of road noise reduction and principles of their application, measured the maximum sound level using the SPB method, and the results for passenger cars (P) and multi-axle heavy vehicles (H3+) are shown in Figure 3. The values shown clearly indicate that, from an acoustic point of view, the G&G method of texturing on the DK50 road is the most advantageous.

Conclusion: G&G texturing of concrete surfaces should be carried out in accordance with the technique used on the DK50 road, and this method should be further improved.

C. Before the S61 expressway section was opened, as part of the INREH research project, maximum sound level measurements were taken using the CPB method with six test vehicles, including two electric vehicles. Figure 4 shows the results of these measurements on the SMA8 pavement on the S61 road, together with the results of the maximum sound level from passenger vehicles using the SPB method on the SMA8 pavement on the S7 expressway. The results showed

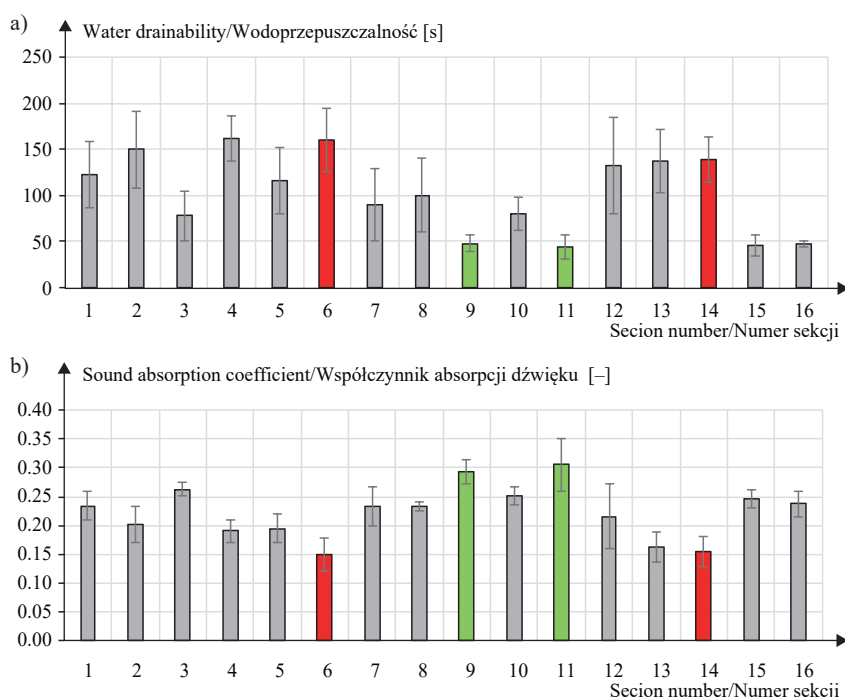


Fig. 2. Results of measurements on experimental test sections: a) water drainability; b) sound absorption coefficient

Rys. 2. Wyniki pomiarów na eksperymentalnych sekcjach testowych: a) wodoprzepuszczalności terenowej; b) współczynnika pochłaniania dźwięku

Wniosek: Na podstawie wyników badania wodoprzepuszczalności i współczynnika pochłaniania istnieje możliwość oceny właściwości akustycznych badanych mieszanek, co potwierdziły wyniki pomiarów poziomu hałasu opona/nawierzchnia wg metody CPX.

B. Do jednej z najbardziej korzystnych, z akustycznego punktu widzenia, technik teksturowania nawierzchni betonowych zalicza się metodę grooving & grinding (G&G). Na drogach w Pol-

sce zastosowano tę metodę na odcinkach drogi ekspresowej S8 i drogi krajowej DK50. Widok nawierzchni teksturowanych metodą G&G pokazano na fotografii 7.

Na tych nawierzchniach zespół z Politechniki Białostockiej, w ramach projektu badawczego *INREH – Innowacyjne metody redukcji hałasu drogowego i zasady ich stosowania* wykonał pomiary maksymalnego poziomu dźwięku metodą SPB, a ich wyniki w przypadku pojazdów osobowych (P) oraz wieloosłonowych pojazdów ciężarowych (H3+) przedstawiono na rysunku 3. Pokazane wartości jednoznacznie wskazują, że najkorzystniejszy jest z akustycznego punktu widzenia sposób teksturowania metodą G&G na drodze DK50.

Wniosek: teksturowanie nawierzchni betonowych metodą G&G powinno być wykonywane zgodnie z zastosowaną techniką na drodze DK50 i taki sposób jego realizacji powinien być udoskonalany.

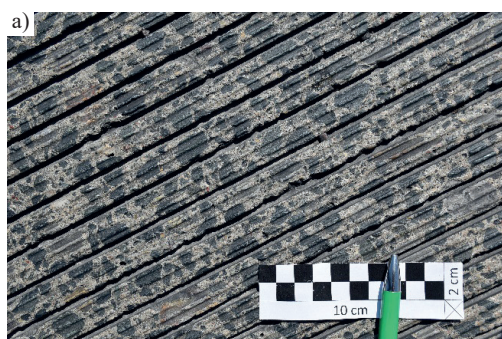


Photo 7. View of concrete pavement on two roads: a) S8, b) DK50
Fot. 7. Widok nawierzchni betonowej na dwóch drogach: a) S8, b) DK50

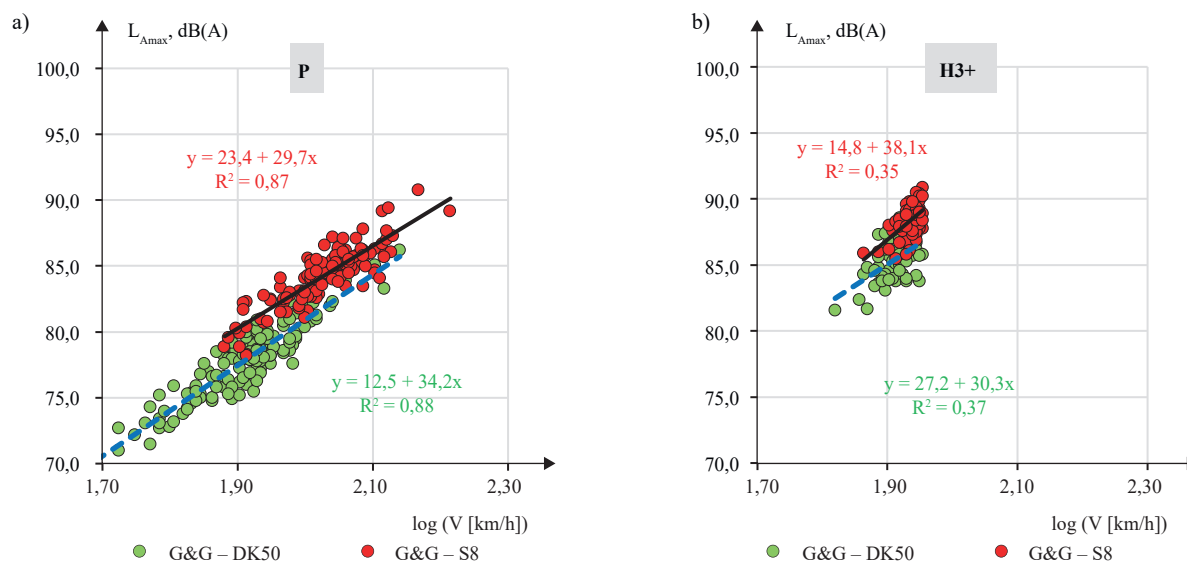


Fig. 3. Results of vehicle tyre/road noise measurements on pavements with G&G textured method: a) passenger vehicles (P); b) multi-axle heavy vehicles (H3+)

Rys. 3. Wyniki pomiarów poziomu hałasu toczenia pojazdów na nawierzchniach teksturowanych metodą G&G: a) pojazdy osobowe (P); b) pojazdy ciężarowe wieloosłonowe (H3+)

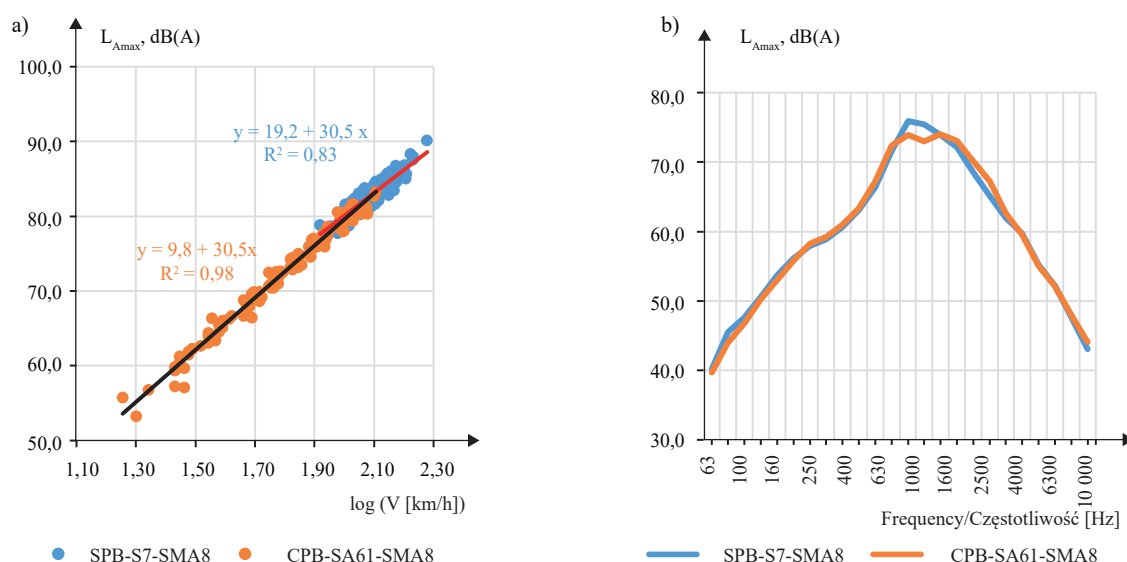


Fig. 4. Results of measurements according to CPB and SPB methods: a) vehicle tyre/road noise; b) sound spectra

Rys. 4. Wyniki pomiarów wg metod CPB i SPB: a) poziomu hałasu toczenia pojazdów; b) widma dźwięków

the same noise levels for surfaces made using the same technology on two different roads. The tested surfaces had similar technical and operational parameters.

Conclusion: The results of the comparative analysis confirmed that the CPB method can be used to assess the noise levels of road surfaces before they are put into service. At the same time, the good consistency of the results of measuring the rolling noise of motor vehicles according to the CPB and SPB methods was confirmed.

Conclusions

The results of research and analysis have shown that there are known methods for assessing both the acoustic proper-

C. Przed oddaniem odcinka drogi ekspresowej S61, w ramach realizacji projektu INREH, wykonano pomiary maksymalnego poziomu dźwięku metodą CPB z wykorzystaniem sześciu pojazdów testowych, w tym dwóch pojazdów o napędzie elektrycznym. Na rysunku 4 pokazano wyniki tych pomiarów na nawierzchni SMA8 na drodze S61 łącznie z wynikami maksymalnego poziomu dźwięku od przejazdu pojazdów osobowych metodą SPB na nawierzchni SMA8 na drodze ekspresowej S7. Przedstawione wyniki wskazały na taką samą hałaśliwość nawierzchni wykonanej w takiej samej technologii na dwóch różnych drogach. Badane nawierzchnie charakteryzowały się zbliżonymi parametrami techniczno-eksploatacyjnymi.

Wniosek: wyniki analizy porównawczej potwierdziły, że metoda CPB może być wykorzystywana do oceny hałaśliwo-

ties of mixtures used for the top layer of road surfaces and the noisiness of surfaces on actual road sections. The sound absorption coefficient and water permeability can be tested and evaluated in laboratory conditions and on operational surfaces. The results obtained from CPX and OBSI tests can be used to assess tyre/road noise, homogeneity and acoustic durability of road surfaces.

Good agreement between the results obtained using the SPB and CPB methods on SMA8 pavement has been established. The maximum sound level values according to the SPB or CPB method can be used as a basis for determining the equivalent sound level in the road environment or for predicting its level depending on the type and condition of the road surface and the characteristics of road traffic.

Research and analysis show that there is a need and necessity to test and evaluate the acoustic properties of mineral-asphalt mixtures in laboratory conditions in order to select the optimal solution for the wearing course of road surfaces, limiting the negative impact of traffic on noise levels in the vicinity of roads.

The research and analysis results presented in this paper were obtained as part of research projects: SEPOR – Safe, environmentally friendly, poroelastic road surface (TECHMATSTRATEG-I grant no. 347040/17/NCBR/2018, funded by NCBiR) and INREH – Innovative methods for reducing road noise and principles for their application (grant RID-II No. RID2/0015/2022, funded by NCBiR and GDDKiA).

Received: 10.03.2025
Revised: 02.05.2025
Published: 21.08.2025

ści nawierzchni drogowych przed oddaniem ich do użytkowania. Jednocześnie potwierdzono dobrą zgodność wyników pomiaru poziomu hałasu toczenia pojazdów samochodowych wg metod CPB i SPB.

Podsumowanie

Wyniki badań i analiz wykazały, że znane są metody pozwalające oceniać zarówno właściwości akustyczne mieszanek do wykonywania górnej warstwy nawierzchni drogowych, jak i hałaśliwość nawierzchni na rzeczywistych odcinkach. Badanie i ocenę współczynnika pochłaniania dźwięku oraz badanie wodoprzepuszczalności można przeprowadzić w warunkach laboratoryjnych i na eksploatowanych nawierzchniach. Wyniki uzyskane z badań metodą CPX i OBSI można wykorzystać do oceny hałasu opona/nawierzchnia, jednorodności i trwałości akustycznej nawierzchni drogowych. Ustalono dobrą zgodność wyników uzyskanych metodą SPB i CPB na nawierzchni typu SMA8. Wartości maksymalnego poziomu dźwięku wg metody SPB lub CPB mogą być podstawą do ustalenia równoważnego poziomu dźwięku w otoczeniu dróg lub prognozowania jego poziomu w zależności od rodzaju i stanu nawierzchni drogowej oraz charakterystyki ruchu drogowego.

Z przeprowadzonych badań i analiz wynika, że istnieje potrzeba i konieczność badania oraz oceny właściwości akustycznych mieszanek mineralno-asfaltowych w warunkach laboratoryjnych pod kątem doboru optymalnego rozwiązania warstwy ścieralnej nawierzchni drogowej, ograniczającej negatywny wpływ ruchu drogowego na poziom hałasu w otoczeniu tras samochodowych.

Przedstawione w artykule wyniki badań i analiz powstały w ramach realizacji projektów badawczych SEPOR – Bezpieczna, proekologiczna poroelastyczna nawierzchnia drogowa (grant TECHMATSTRATEG-I nr 347040/17/NCBR/2018, finansowany przez NCBiR) oraz „INREH – Innowacyjne metody redukcji hałasu drogowego i zasady ich stosowania” (grant RID-II nr RID2/0015/2022, finansowany przez NCBiR i GDDKiA).

Artykuł wpłynął do redakcji: 10.03.2025 r.
Otrzymano poprawiony po recenzjach: 02.05.2025 r.
Opublikowano: 21.08.2025 r.

Literatura

- [1] Gardziejczyk W. Hałaśliwość nawierzchni drogowych. Białystok: Oficyna Wydawnicza Politechniki Białostockiej, 2018; https://pb.edu.pl/oficyna-wydawnicza/wp-content/uploads/sites/4/2022/07/Gardziejczyk_Halasliwosc-nawierzchni-drogowych.pdf
- [2] Knabben RM, Trichês G, Gerger S, Vergara EF. Evaluation of sound absorption capacity of asphalt mixtures. Appl. Acoust. 2016; <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2016.08.008>
- [3] Li M, van Keulen W, Tijss E, van de Ven M, Molenaar A. Sound absorption measurement of road surface with in situ technology. Appl. Acoust. 2015; <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2014.07.009>
- [4] Gardziejczyk W, Motylewicz M, Sakowski M. Ocena właściwości akustycznych warstwy ścieralnej z asfaltu porowatego nawierzchni drogowych w warunkach laboratoryjnych. Materiały Budowlane 2024; <https://doi.org/10.15199/33.2024.06.07>
- [5] Gardziejczyk W, Jaskula P, Ejsmont JA, i in. Investigation of Acoustic Properties of Poroelastic Asphalt Mixtures in Laboratory and Field Conditions. Materials 2021; <https://doi.org/10.3390/ma14102649>
- [6] Ejsmont JA, Ronowski G, Ydrefors L, i in. Comparison of tire rolling resistance measuring methods for different surfaces. Int. J. Automot. Technol. 2023; <https://doi.org/10.1007/s12239-024-00092-w>
- [7] Jaskula P, Ejsmont JA, Gardziejczyk W, i in. Bitumen-Based Poroelastic Pavements: Successful Improvements and Remaining Issues. Materials 2023; <https://doi.org/10.3390/ma16030983>
- [8] Zofka A. Wytyczne prowadzenia pomiarów hałaśliwości nawierzchni dla metody OBSI – załącznik nr 5 do zadania: Wytyczne prowadzenia badań i oceny hałaśliwości nawierzchni drogowych. Praca badawcza w ramach projektu RID-I pt.: Ochrona przed hałasem drogowym. GDDKiA i NCBiR, 2018; <https://www.gov.pl/attachment/fe22a662-0fef-46d3-9c92-0bdcabe3587c>