



**Projekt realizowany w ramach Wspólnego Przedsięwzięcia RID,
finansowany ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju
oraz Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad**

Przedmiot umowy pn:

Ochrona przed hałasem drogowym

Tytuł przedmiotu umowy*:

**Instrukcja metody do oceny hałaśliwości mieszanek mineralno-asfaltowych w
warunkach laboratoryjnych**

*zgodny z opisem, stanowiącym załącznik nr 1 do umowy nr DZP/RID-I-76/15/NCBR/2016
wytyczne/instrukcja/analiza/metodologia/wzór/rekomendacje

Akronim Projektu: OT1-1D/PK-PW-PWR-IBDiM-PL

Numer umowy: DZP/RID-I-76/15/NCBR/2016

Lider i Współwykonawcy: PK, PW, PWR, IBDiM, PL

Kierownik Projektu: prof. dr hab. inż. Marian Tracz

Data rozpoczęcia: 01.01.2016

Data zakończenia: 30.05.2018



Spis treści:

1.	Wstęp	4
2.	Wymagania Normowe dotyczące prowadzenia badań współczynnika pochłaniania dźwięku metodą za pomocą rury impedancyjnej	4
2.1.	Opis wymagań przedstawionych w normie ISO 10534-2.....	4
2.2.	Opis wymagań przedstawionych w normie ISO 13472-2.....	11
3.	Procedura wykonywania pomiarów współczynnika pochłaniania dźwięku nawierzchni drogowych przy wykorzystaniu rury impedancyjnej w warunkach laboratoryjnych.....	21
3.1.	Cel	21
3.2.	Zakres	21
3.3.	Powiązane dokumenty.....	21
3.4.	Podstawowe oznaczenia i definicje, słowa kluczowe	22
3.5.	Wymagania dotyczące przyrządów pomiarowych.....	22
3.6.	Procedura wykonywania pomiarów współczynnika pochłaniania dźwięku za pomocą rury impedancyjnej	24
3.7.	Raportowane wyniki	28
4.	Bibliografia	30

Spis rysunków:

- Rys. 2.1. Schematyczne rozmieszczenie mikrofonów pomiarowych w rurze impedancyjnej (ISO 10534-2, 1998)
- Rys. 2.2. Schemat układu pomiarowego wykorzystywanego do pomiarów wykonywanych za pomocą metody opisanej w (ISO 10534-2, 1998).
- Rys. 2.3. Schemat układu pomiarowego wykorzystywanego w metodzie opisanej w normie (ISO 13472-2, 2010)
- Rys. 2.4. Szkic przyrządu uszczelniającego rurę impedancyjną z badaną nawierzchnią drogową (ISO 13472-2, 2010).
- Rys. 3.1. Szkic stanowiska do pomiarów współczynnika pochłaniania dźwięku w warunkach laboratoryjnych

Spis fotografii:

- Fot. 2.1. Sposób montażu mikrofonów pomiarowych w rurze impedancyjnej – widok wnętrza urządzenia.
- Fot. 2.2. Widok i sposób montażu głośnika w rurze impedancyjnej
- Fot. 2.3. Widok otworu wentylacyjnego w mikrofonie pomiarowym zapobiegającego powstawaniu statycznego ciśnienia we wnętrzu rury impedancyjnej [4]
- Fot. 2.4. Widok portów mikrofonowych wykonanych w ściśle określonych odległościach od badanej nawierzchni drogowej w urządzeniu wykorzystanym do wykonywania pomiarów w ramach niniejszego opracowania.
- Fot. 2.5. Stalowa płytką referencyjna o grubości ok. 10 mm używana do pomiarów kalibracyjnych
- Fot. 2.6. Widok połączenia rury impedancyjnej, łącznika „in situ” i referencyjnej płytki stalowej w trakcie wykonywania pomiarów kalibracyjnych
- Fot. 2.7. Widok połączenia rury impedancyjnej, łącznika „in situ” i referencyjnej płytki stalowej w trakcie wykonywania pomiarów kalibracyjnych
- Fot. 2.8. Widok analizatora dźwięku używanego do wykonania pomiarów współczynnika pochłaniania dźwięku w ramach opracowania.
- Fot. 2.9. Sposób naniesienia kitu sanitarnego na łącznik „in situ” w celu uszczelnienia układu pomiarowego
- Fot. 2.10. Widok łącznika „in situ” szczelnie zamontowanego na badanej nawierzchni drogowej za pomocą kitu sanitarnego
- Fot. 2.11. Widok pozostałości uszczelnacza po wykonaniu pomiarów i zdemontowaniu łącznika „in situ”
- Fot. 3.1. Widok przykładowego zestawu pomiarowego wykorzystywanego do pomiarów współczynnika pochłaniania dźwięku w warunkach
- Fot. 3.2. Przykładowe ustawienie sprzętu pomiarowego z użyciem materiału silnie pochłaniającego dźwięk w celu wykonania kalibracji mającej na celu zminimalizowanie różnic w charakterystykach amplitud i faz mikrofonów pomiarowych [4]
- Fot. 3.3. Prawidłowe połączenie łącznika „in situ” i stalowej płytki w celu wykonania kalibracji urządzenia pomiarowego [4]
- Fot. 3.4. Montaż łącznika „in situ” na badanej nawierzchni lub próbce (w przypadku badań wykonywanych w laboratorium) [4]

1. WSTĘP

W niniejszych wytycznych przedstawiono metodykę pomiaru współczynnika pochłaniania dźwięku nawierzchni drogowych w warunkach laboratoryjnych. Metodyka ta opiera się na wymaganiach opisanych w dwóch powiązanych ze sobą normach: (ISO 13472-2 Acoustics. Measurement of sound absorption properties of road surfaces in situ. Part 2: Spot method for reflective surfaces, 2010), (ISO 10534-2 Acoustics. Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes. Part 2: Transfer-function method, 1998). Wymagania dotyczące pomiarów współczynnika pochłaniania dźwięku w warunkach „in situ” zostały zaadaptowane do warunków laboratoryjnych. Technika pomiarowa i większość wymagań dotyczących przyrządów pomiarowych czy warunków wykonywania pomiarów pozostały praktycznie niezmienione w porównaniu do wymagań normowych. Pomiarzy przeprowadzane przy użyciu tej metodyki wykonywane są przy użyciu próbek pobranych z eksploatowanych nawierzchni drogowych lub z próbek wykonanych w warunkach laboratoryjnych. Należy także zaznaczyć, że do wykonywania pomiarów współczynnika pochłaniania dźwięku można wprost wykorzystać procedurę opisaną w normie (ISO 10534-2, 1998), jednak przedmiotowa metodyka daje nieco bardziej rozszerzone możliwości, m.in. w zakresie wymiarów próbek do badań oraz możliwości bezpośredniego porównania wyników uzyskanych w warunkach „in situ” oraz w warunkach laboratoryjnych. W niniejszych wytycznych w pierwszej kolejności opisano wymagania normowe dotyczące wykonywania pomiarów współczynnika pochłaniania nawierzchni, a w kolejnym rozdziale opisano procedurę pomiarową przy wykorzystaniu metodyki będącej przedmiotem opracowania.

2. WYMAGANIA NORMOWE DOTYCZĄCE PROWADZENIA BADAŃ WSPÓŁCZYNNIKA POCHŁANIANIA DŹWIĘKU METODĄ ZA POMOCĄ RURY IMPEDANCYJNEJ

2.1. Opis wymagań przedstawionych w normie ISO 10534-2

Norma (ISO 10534-2, 1998) opisuje sposób pomiaru współczynnika pochłaniania dźwięku badanych materiałów w warunkach prostopadłego padania dźwięku. Próbką badanego materiału jest zamocowana na końcu płaskiej, sztywnej i gładkiej rury. Na przeciwnym końcu przyrządu zainstalowane jest źródło dźwięku generujące płaskie fale padające prostopadle na badaną powierzchnię. Następnie przy zastosowaniu mikrofonów w dwóch stałych pozycjach lub mikrofonu przemieszczającego się wewnątrz rury określany jest rozkład interferencyjny pola poprzez pomiary ciśnienia akustycznego. W następnej kolejności obliczana jest zespolona akustyczna funkcja przejścia oraz współczynniki pochłaniania i składowe impedancji w warunkach prostopadłego padania fali dźwiękowej na badany materiał. Współczynniki te obliczane są w funkcji częstotliwości dźwięku. Zakres częstotliwości możliwych do zmierzenia jest zależny od przekroju poprzecznego rury oraz od odległości pomiędzy dwoma mikrofonami pomiarowymi. Poprzez zmianę tych parametrów

(zastosowanie innego przekroju rury lub zmianę odległości pomiędzy mikrofonami) można rozszerzyć badany zakres częstotliwości (ISO 10534-2, 1998). Metoda ta jest podobna do metody opisanej w (ISO 10534-1, 1996), jednak jest o wiele szybsza w zastosowaniu.

Wykonując pomiary przy zastosowaniu metody określonej w (ISO 10534-2, 1998) można stosować dwie techniki pomiarowe. Pierwsza z nich – metoda dwumikrofonowa (dwa mikrofony są zastosowane w ustalonych pozycjach) wymaga zastosowania dodatkowej procedury korekcyjnej, aby zminimalizować różnicę charakterystyk amplitud i faz między dwoma mikrofonami. Jest ona jednak szybsza oraz charakteryzuje się większą dokładnością i łatwością wykonania od drugiej techniki pomiarowej – metody jednomikrofonowej, która polega ona na zastosowaniu jednego mikrofonu w dwóch różnych pozycjach. Technika ta jest bardziej czasochłonna i dodatkowo wymaga szczególnego rodzaju sygnału oraz jego przetwarzania. Jej zaletą jest natomiast możliwość wyeliminowania przesunięcia fazy między mikrofonami. W przypadku jej zastosowania mogą zostać dodatkowo wybrane optymalne pozycje mikrofonów dla poszczególnej częstotliwości.

W skład zestawu pomiarowego stosowanego do badań wykonywanych za pomocą metody opisanej w (ISO 10534-2, 1998) wchodzi przede wszystkim rura impedancyjna. Po jednej jej stronie znajduje się pojemnik na badaną próbkę, a po drugiej montowane jest źródło dźwięku. Wzdłuż ściany rury są umieszczone gniazda mikrofonów (w dwóch lub trzech pozycjach). Opcjonalnie jest natomiast zastosowanie mikrofonu w centrum rury lub sondy mikrofonowej.

Rura impedancyjna spełniająca wymagania (ISO 10534-2, 1998) powinna być prosta i mieć stały przekrój. Dopuszczalna tolerancja przekrojów poprzecznych jest równa 2%. Ściany przyrządu powinny być gładkie i nieporowate. Konstrukcja rury musi zapewniać brak szczelin i otworów (z wyjątkiem miejsc, w których montowane są mikrofony pomiarowe). Ściany rury impedancyjnej muszą być ciężkie i grube. Ich konstrukcja musi zapewnić brak pobudzania do drgań generowanym sygnałem akustycznym, aby przyrząd nie miał widocznych drgań rezonansowych w badanym zakresie częstotliwości. Kształt przekroju poprzecznego rury jest dowolny, natomiast zaleca się stosowanie przyrządów o kołowym lub kwadratowym przekroju. Rury impedancyjne powinny być izolowane pod względem akustycznym i drganiowym od zewnętrznych źródeł hałasu i drgań. Warunek ten jest z reguły zapewniony poprzez zastosowanie konstrukcji rury impedancyjnej opisanej powyżej oraz poprzez wybór miejsca wykonywania pomiarów oddalonego od zakłócających źródeł hałasu i drgań.

Roboczy zakres częstotliwości rury impedancyjnej wg (ISO 10534-2, 1998) określa się w następujący sposób:

$$f_l < f < f_u \quad (2.1)$$

gdzie:

- f_l – dolna częstotliwość robocza rury,
- f – częstotliwość pomiarowa,
- f_u – górna częstotliwość robocza rury.

Dolna częstotliwość robocza rury f_l jest ograniczona dokładnością aparatury do obróbki sygnału. Należy także spełnić warunek związany z odległością mikrofonów pomiarowych [s], która powinna być większa o 5% od długości fali odpowiadającej dolnej częstotliwości. Dodatkowo większa odległość pomiędzy mikrofonami zwiększa dokładność pomiarów. Odległość pomiędzy mikrofonami musi spełniać także warunek dla górnej częstotliwości roboczej rury, która jest określona następująco:

$$f_u \cdot s < 0.45 c_0 \quad (2.2)$$

gdzie:

f_u – górna częstotliwość robocza rury,
 s – odległość między mikrofonami pomiarowymi,
 c_0 – prędkość dźwięku w metrach na sekundę.

Górna częstotliwość f_u uwarunkowana jest natomiast koniecznością zapewnienia braku występowania propagacji modów fal niepłaskich. Z tego względu powinien być spełniony następujący warunek:

$$d \leq 0.58 \lambda_u; f_u \cdot d < 0.58 c_0 \quad (2.3)$$

gdzie:

d – średnica wewnętrzna rury w metrach,
 λ_u – długość fali górnej częstotliwości roboczej,
 f_u – górna częstotliwość robocza rury,
 c_0 – prędkość dźwięku w metrach na sekundę.

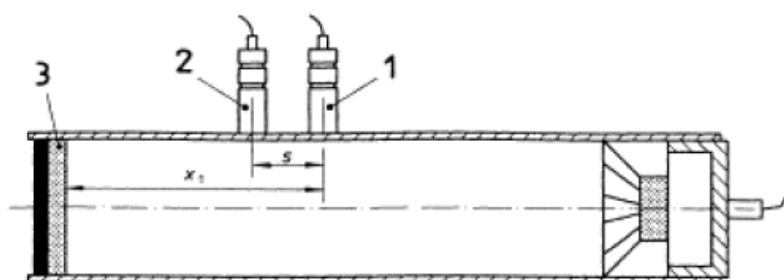
Długość rury impedancyjnej musi być na tyle duża, aby zapewnić warunki, w których może powstać fala płaska pomiędzy źródłem dźwięku i badaną próbką. Gniazda na mikrofony pomiarowe powinny być umieszczone w odległości nie mniejszej niż długość równa średnicy rury od źródła dźwięku, a zaleca się, aby długość ta była większa niż ok. trzy średnice rury.

Zgodnie z wymaganiami normy (ISO 10534-2, 1998) mikrofony pomiarowe zastosowane w obydwu pozycjach powinny być identyczne. Ich średnica powinna być mała w porównaniu z wielkością równą c_0/f_u . Mikrofony powinny być zamontowane w rurze w taki sposób, aby ich membrana znajdowała się w płaszczyźnie wewnętrznej rury. Powinny być one zamontowane w sposób szczelny, uniemożliwiający przedostawanie się powietrza do wnętrza przyrządu. Sposób montażu mikrofonu w rurze impedancyjnej o przekroju poprzecznym kołowym przedstawiono poniżej na fot. 2.1.



Fot. 2.1. Sposób montażu mikrofonów pomiarowych w rurze impedancyjnej – widok wnętrza urządzenia.

Pozycje mikrofonów powinny być ustalone z dokładnością ± 0.2 mm lub większą. Schematyczne ich rozmieszczenie w rurze impedancyjnej przedstawiono poniżej na rys. 2.1.



Legenda

- 3 Mikrofon A
- 4 Mikrofon B
- 3 Badana próbka

Rys. 2.1. Schematyczne rozmieszczenie mikrofonów pomiarowych w rurze impedancyjnej (ISO 10534-2, 1998)

Próbka badana za pomocą metody opisanej w normie (ISO 10534-2, 1998) umieszczana jest w odpowiednim pojemniku, który jest integralną częścią rury lub jest odrębnym elementem mocowanym szczelnie do jednego z końców rury. Powierzchnie, które łączą rurę oraz pojemnik na próbkę powinny być starannie wykończone, co pozwoli uniknąć powstawania nieszczelności mogących wpłynąć na wynik pomiaru (zaleca się stosowanie uszczelnienia np. w formie wazeliny lub plasteliny). Montaż próbki w przypadku wykorzystania metody opisanej w normie (ISO 13472-2, 2010), która została wykorzystana do wykonania pomiarów w ramach niniejszego opracowania jest inny w stosunku do opisanego powyżej. Szerzej opisano go w dalszej części rozdziału.

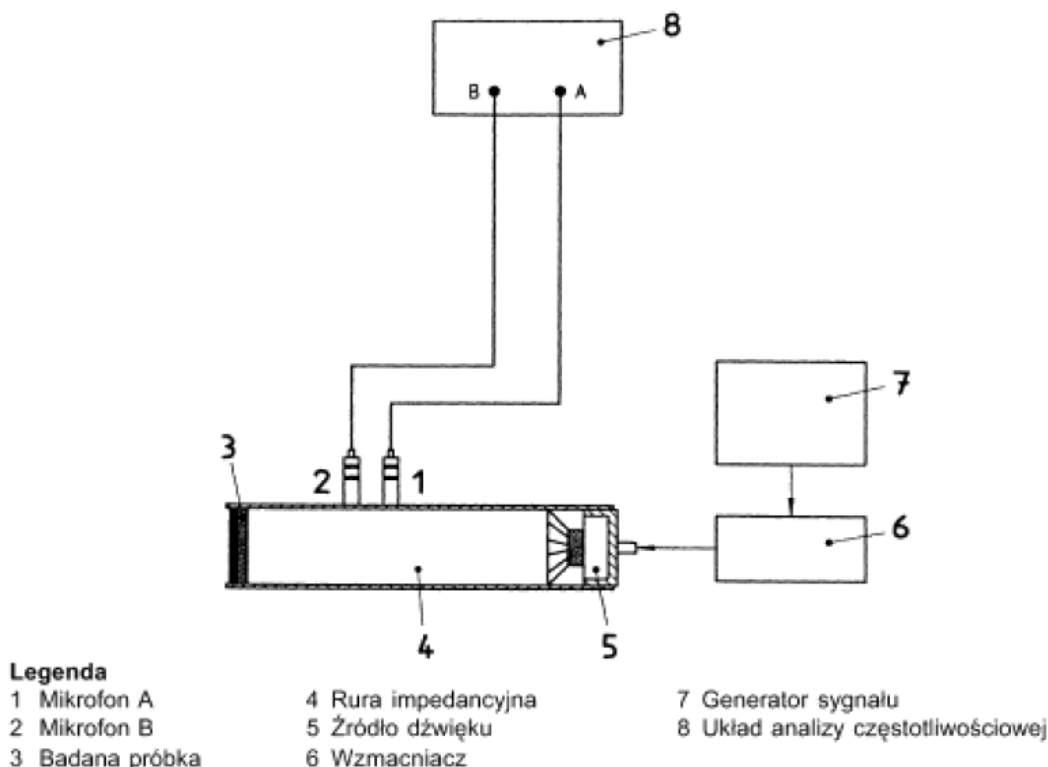
W skład wyposażenia pomiarowego wchodzi także aparatura do przetwarzania sygnałów, która powinna się składać ze wzmacniacza i dwukanałowego systemu analizy

metodą szybkiej transformaty Fouriera (FFT). Zakres dynamiki tej aparatury powinien być, zgodnie z (ISO 10534-2, 1998) większy niż 65 dB, a błędy oszacowania funkcji przejścia wynikające z nieliniowości, rozdzielczości, niestabilności i czułości temperaturowej wyposażenia do przetwarzania sygnałów powinny być nie większe niż 0.2 dB. Głośnik, zamontowany po przeciwnej stronie niż badana próbka, powinien pokrywać powierzchnię równą co najmniej 2/3 przekroju poprzecznego rury impedancyjnej. Powinien on być zamontowany w obudowie dźwiękoizolacyjnej, a pomiędzy nim a rurą należy zastosować elastyczną izolację przeciwdrganiową. Generator sygnału stosowany w pomiarach powinien emitować sygnał stacjonarny o płaskiej charakterystyce gęstości widmowej w rozważanym zakresie częstotliwości. Widok i sposób montażu głośnika w rurze impedancyjnej przedstawiono poniżej na fot. 2.2. System pomiarowy powinien być także wyposażony w termometr i barometr, za pomocą których mierzona będzie temperatura i ciśnienie wewnątrz rury impedancyjnej.



Fot. 2.2. Widok i sposób montażu głośnika w rurze impedancyjnej

Poniżej na rys. 2.2 przedstawiono schemat całego układu pomiarowego wykorzystywanego do wykonania pomiarów za pomocą metody opisanej w (ISO 10534-2, 1998).



Rys. 2.2. Schemat układu pomiarowego wykorzystywanego do pomiarów wykonywanych za pomocą metody opisanej w (ISO 10534-2, 1998).

Przed rozpoczęciem wykonywania pomiarów za pomocą metody określonej w (ISO 10534-2, 1998) lub bezpośrednio po ich zakończeniu należy przeprowadzić sprawdzenie poprawności wskazań przyrządów pomiarowych przez wykonanie badań kalibracyjnych. W celu stabilizacji temperaturowej należy przed takimi pomiarami włączyć głośnik na co najmniej 10 minut. Sprawdzenia te powinny dotyczyć stałości odpowiedzi mikrofonu, pomiarów temperatury i stosunku sygnału do szumu.

Próbki wykorzystywane do badań powinny być zamontowane w sposób szczelny do jednego z końców rury impedancyjnej. Można użyć w tym przypadku uszczelnacza (np. wazeliny lub plasteliny). Powinny być one zamontowane w taki sposób, aby ich płaszczyzna była prostopadła do osi rury. W przypadku powierzchni płaskich i gładkich umiejscowienie próbek powinno być określone z minimalną tolerancją ± 0.5 mm. Zaleca się zbadanie co najmniej dwóch próbek (jeżeli są one niejednorodne potrzebna może być większa liczba) poprzez powtórzenie pomiaru w tych samych warunkach montażu.

Pierwszym krokiem procedury opisanej w (ISO 10534-2, 1998) jest ustalenie płaszczyzny odniesienia ($x = 0$). W zdecydowanej większości przypadków jest to powierzchnia badanej próbki. W przypadku, gdy badana próbka ma powierzchnię profilowaną lub strukturę poprzeczną płaszczyzna odniesienia powinna się znajdować w pewnej odległości od badanej próbki. Lokalizacja płaszczyzny odniesienia w stosunku do mikrofonu pomiarowego nr 1 przedstawionego na rys. 2.1 powinna spełniać wymagania określone w (ISO 10534-2, 1998) i powinna być zmierzona z dokładnością ± 0.5 mm lub większą.

Następnie należy obliczyć prędkość dźwięku w rurze impedancyjnej, długość fali oraz impedancję właściwą według wzorów podanych poniżej:

$$c_0 = 343.2\sqrt{T/293} \quad (2.4)$$

gdzie T oznacza temperaturę [K].

$$\lambda_0 = c_0/f \quad (2.5)$$

Gęstość powietrza ρ może być obliczona z wzoru:

$$\rho = \rho_0 \frac{p_a T_0}{p_0 T} \quad (2.6)$$

gdzie:

T – temperatura [K],
 p_a – ciśnienie atmosferyczne [kPa],
 T_0 – 293 K
 p_0 – 101.325 kPa,
 ρ_0 – 1.186 kg/m³.

Impedancję właściwą powietrza wyznacza się z iloczynu ρc_0 .

Kolejnym krokiem procedury pomiarowej opisanej (ISO 10534-2, 1998) jest wybór amplitudy sygnału pomiarowego. Powinna być ona na tyle duża, aby zapewniony był odstęp do tła akustycznego o więcej niż o 10 dB dla każdej badanej częstotliwości pomiarowej w pozycjach mikrofonów pomiarowych. Należy także dobrać odpowiednią liczbę uśrednień, tak aby wyeliminować błędy spowodowane szumem. Jest ona zależna od badanego materiału oraz dokładności oszacowania funkcji przejścia. W następnej kolejności należy przeprowadzić procedurę korekcji funkcji przejścia związanej z niedopasowaniem kanałów (w przypadku gdy stosowana jest technika dwumikrofonowa). Szczegółowe informacje związane z powyższymi krokami procedury opisane są w normie (ISO 10534-2, 1998).

Na podstawie wykonanych pomiarów określana jest funkcja przejścia pomiędzy dwoma mikrofonami, współczynniki odbicia i pochłaniania dźwięku oraz właściwa impedancja akustyczna. Wzory, na podstawie których można obliczyć współczynniki odbicia (r) i pochłaniania (α) dźwięku badanej próbki, przedstawiono poniżej (ISO 10534-2, 1998).

$$r = |r|e^{j\theta_r} = r_r + jr_i = \frac{H_{12}-H_I}{H_R-H_{12}} e^{2jk_0x_1} \quad (2.7)$$

gdzie:

r_r – składowa rzeczywista
 r_i – składowa urojona
 x_1 – odległość próbki od dalszej pozycji mikrofonu
 Φ_r – kąt fazowy współczynnika odbicia przy prostopadłym padaniu fali dźwiękowej
 H_{12} – funkcja przejścia z pozycji mikrofonu 1 do pozycji 2,
 H_I – funkcja przejścia fali padającej
 H_R – funkcja przejścia fali odbitej
 k_0 – liczba falowa

$$\alpha = 1 - |r|^2 = 1 - r_r^2 - r_i^2 \quad (2.8)$$

2.2. Opis wymagań przedstawionych w normie ISO 13472-2

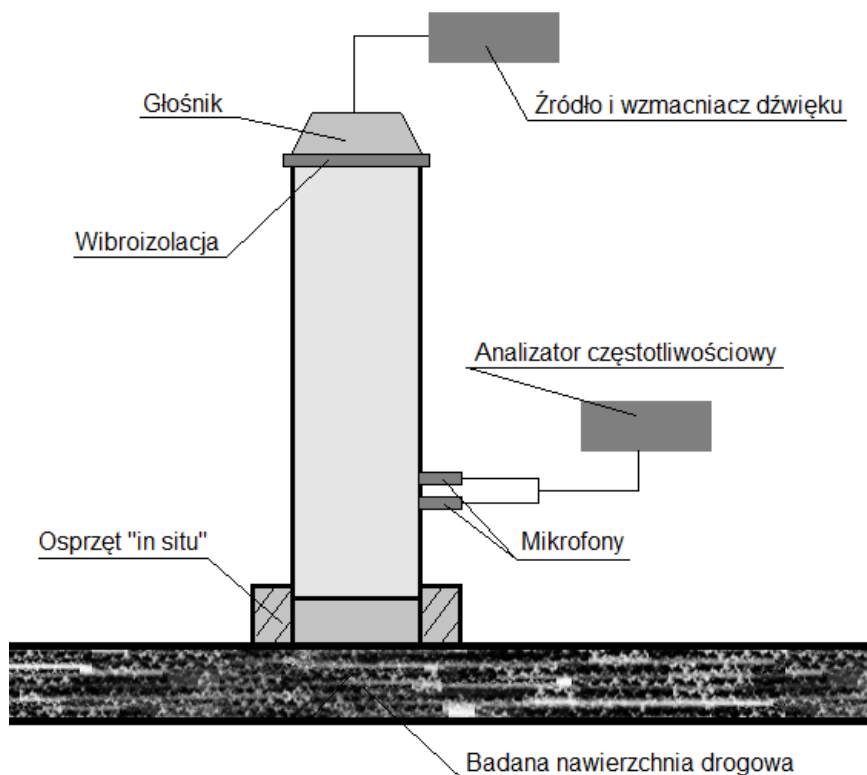
Metoda badawcza opisana w normie (ISO 13472-2, 2010) jest przeznaczona przede wszystkim do:

1. Oznaczania współczynnika pochłaniania dźwięku szczelnych i pół-szczelnych nawierzchni drogowych oraz ich impedancji akustycznej, jeżeli jest to potrzebne,
2. Określania właściwości pochłaniania dźwięku torów testowych wybudowanych zgodnie ze standardami określonymi w c i nawierzchni testowych zdefiniowanych w narodowych i międzynarodowych przepisach dotyczących homologacji pojazdów i opon samochodowych,
3. Weryfikacji zgodności współczynnika pochłaniania dźwięku nawierzchni drogowych z specyfikacjami projektowymi lub innymi wymaganiami.

Metoda badań opisana w normie (ISO 13472-2, 2010) polega na generowaniu sygnału testowego z źródła dźwięku na badaną powierzchnię i z powrotem do odbiornika przy użyciu rury impedancyjnej. Rura zajmuje powierzchnię ok. 0.008 m² i umożliwia badania w częstotliwościach pasm 1/3 oktaowych w zakresie od 250 Hz do 1 600 Hz. Należy zaznaczyć, że norma (ISO 13472-2, 2010) opisuje metodykę wykonywania badań w terenie - „in situ”, natomiast szczegółowa procedura przeprowadzania pomiarów i opracowywania wyników jest określona w normie (ISO 10534-2, 1998) powołanej jako źródło w (ISO 13472-2, 2010) i opisanej szczegółowo w poprzednim rozdziale.

Wymagania opisane w przedmiotowej normie dotyczą pomiarów wykonywanych w warunkach terenowych („in situ”). Niemniej mogą być one wykorzystywane do pomiarów laboratoryjnych wykonywanych przy użyciu próbek pobranych z nawierzchni lub wykonanych w warunkach laboratoryjnych.

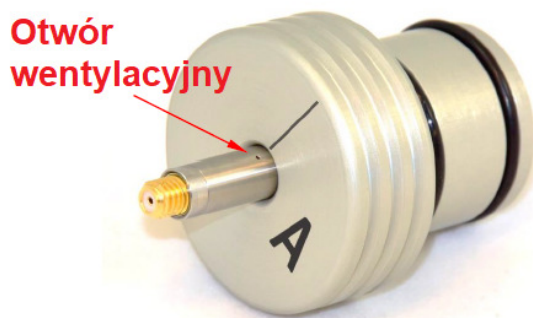
Poniżej na rys. 2.3 przedstawiono schemat układu pomiarowego wykorzystywanego w pomiarach wykonywanych za pomocą metody opisanej w normie (ISO 13472-2, 2010).



Rys. 2.3. Schemat układu pomiarowego wykorzystywanego w metodzie opisanej w normie (ISO 13472-2, 2010)

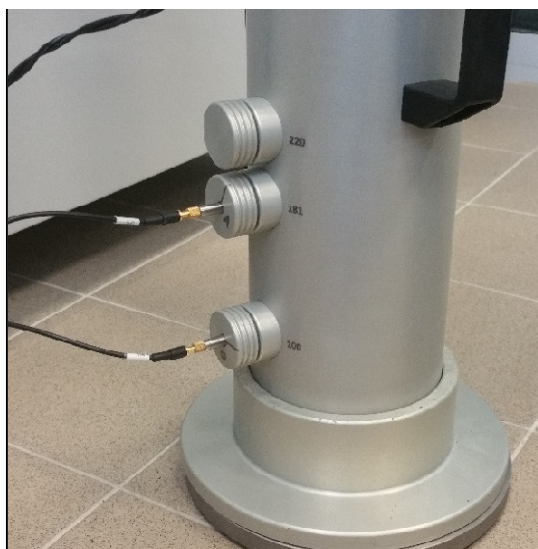
Wyposażenie pomiarowe, używane do wykonywania pomiarów, składa się z generatora sygnału, źródła dźwięku, rury impedancyjnej, dwóch mikrofonów zamontowanych równo z wewnętrzną ścianą rury w ściśle określonych pozycjach, dodatkowego urządzenia „in situ” umożliwiającego hermetyczne połączenie tuby z badaną powierzchnią oraz jednostki przetwarzania sygnału umożliwiającej wykonanie transformaty Fouriera w dwóch kanałach jednocześnie. Wyposażenie pomiarowe powinno spełniać wymagania określone w normie (ISO 10534-2, 1998), które szczegółowo zostały opisane we wcześniejszym rozdziale.

Średnica rury impedancyjnej wg wymagań określonych w (ISO 13472-2, 2010) powinna być równa 100 ± 1 mm. Rura powinna być ona prosta i mieć kołowy przekrój poprzeczny, przy czym tolerancja różnic średnic nie powinna być większa niż 0.2%. Ścianki rury powinny być gładkie, nieporowate, bez otworów i szczelin oraz powinny być sztywne, aby zapobiegać niepożądanemu utracie energii akustycznej. Rura powinna mieć mały otwór wentylacyjny w pobliżu głośnika, aby zapobiec powstawaniu statycznego ciśnienia w jej wnętrzu (fot. 2.3).



Fot. 2.3. Widok otworu wentylacyjnego w mikrofonie pomiarowym zapobiegającego powstawaniu statycznego ciśnienia we wnętrzu rury impedancyjnej [4]

Długość rury impedancyjnej powinna umożliwić wykształcenie wewnątrz płaskiej fali dźwiękowej pomiędzy źródłem dźwięku i mikrofonem pomiarowym. Przy średnicy rury równej 100 mm jej długość powinna być nie mniejsza niż 480 mm, a niższy mikrofon powinien być zamontowany ok. 100 mm od badanej płaszczyzny. Odległość pomiędzy obydwooma mikrofonami pomiarowymi powinna być ustalona w zakresie od 77 do 85 mm. Odległości te są uwarunkowane minimalną i maksymalną częstotliwością dźwięku używanego do pomiarów. Przy takim układzie mikrofonów można wykonywać pomiary w zakresie roboczym częstotliwości od 210 do 1900 Hz (ISO 13472-2, 2010). Na fot. 2.4 poniżej przedstawiono sposób montażu mikrofonów pomiarowych w ściśle określonych odległościach w rurze impedancyjnej użytej do wykonania pomiarów w ramach niniejszego opracowania.



Fot. 2.4. Widok portów mikrofonowych wykonanych w ściśle określonych odległościach od badanej powierzchni drogowej w urządzeniu wykorzystanym do wykonywania pomiarów w ramach niniejszego opracowania.

Obydwa mikrofony pomiarowe używane do wykonania pomiarów powinny być identyczne i zamontowane w określonych pozycjach. Średnica mikrofonów powinna być mała w stosunku do odległości pomiędzy portami, w których będą zamocowane. Z tego względu zaleca się zastosowanie mikrofonów 1/4 calowych. Montaż mikrofonów powinien

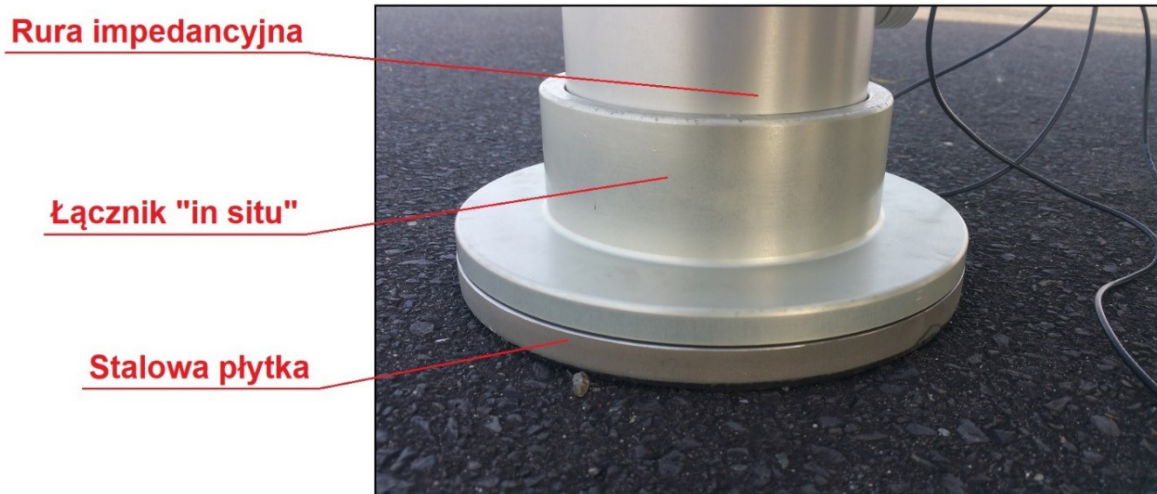
być wykonywany w taki sposób, aby zachować szczelność pomiędzy ich powierzchniami i ścianką rury impedancyjnej. Przy montażu mikrofonów pomiarowych należy dbać o to, aby nie były zablokowane otwory wyrównujące ciśnienie. W przeciwnym razie może powstać statyczne ciśnienie ponad membranę, które zmieni charakterystykę fazową badanego sygnału i jego odpowiedzi, co doprowadzi do powstania błędów grubych silnie wpływających na wyniki badań (ISO 13472-2, 2010).

Ponadto metoda ta określa dodatkowe wymagania związane m.in. ze sprawdzeniem szczelności układu pomiarowego, które polegają na przeprowadzeniu pomiarów z użyciem referencyjnej powierzchni odbijającej. Pomiar taki wykonuje się z użyciem grubej stalowej płytki, która charakteryzuje się właściwościami znaczącego odbijania dźwięku (fot. 2.5).



Fot. 2.5. Stalowa płytką referencyjną o grubości ok. 10 mm używana do pomiarów kalibracyjnych

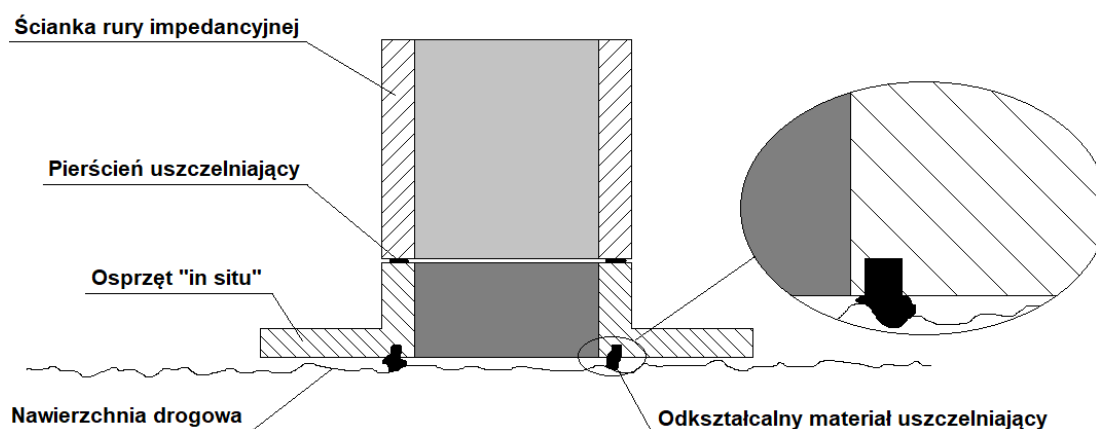
Aby spełnić warunek określony w normie (ISO 13472-2, 2010) wynik pomiaru kalibracyjnego z użyciem stalowej płytki, wyrażony współczynnikiem pochłaniania dźwięku, nie może być większy niż 0.03 w każdej 1/3 częstotliwości oktawowej. Wyniki tych pomiarów są uważane, jako straty własne układu pomiarowego i powinny być odejmowane od wyników pomiarów, o czym wspomniano nieco więcej w części opisującej niepewność pomiarów wykonywanych za pomocą rury impedancyjnej. Widok połączenia rury impedancyjnej, łącznika „in situ” oraz stalowej płytki w trakcie wykonywania pomiarów kalibracyjnych przedstawiono poniżej na fot. 2.6.



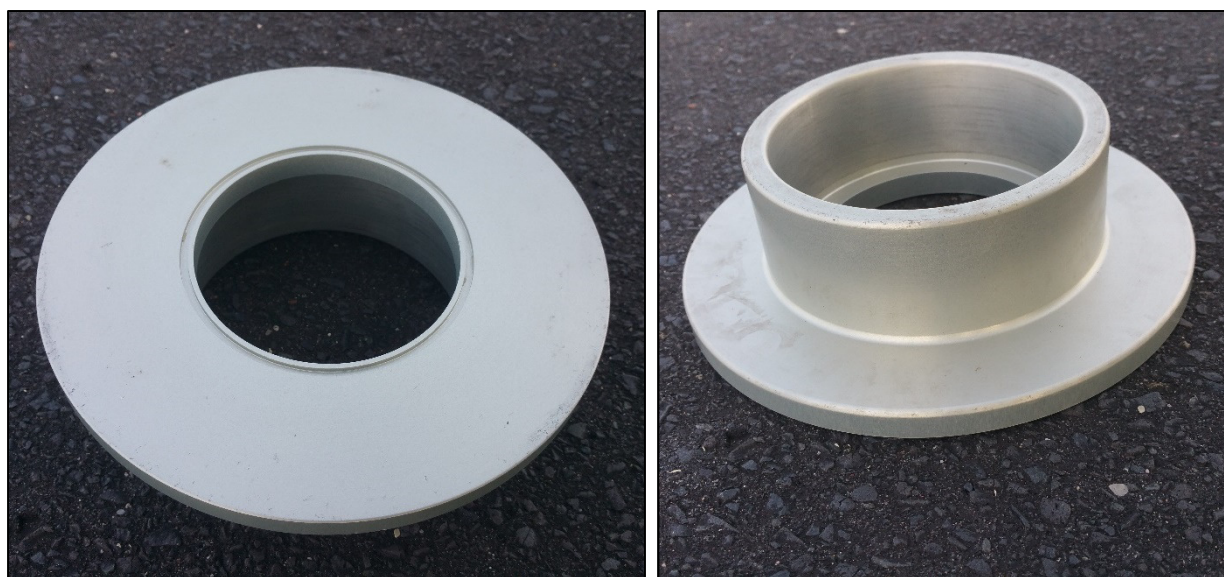
Fot. 2.6. Widok połączenia rury impedancyjnej, łącznika „in situ” i referencyjnej płytki stalowej w trakcie wykonywania pomiarów kalibracyjnych

W trakcie wykonywania pomiarów muszą być także spełnione warunki dotyczące tła akustycznego. Poziom dźwięku musi charakteryzować się odstępem od zakłócającego pomiar tła większym niż 10 dB w każdej częstotliwości środkowej pasm 1/3 oktaowych. Z reguły wykonuje się je bezpośrednio po pomiarze z użyciem płytki stalowej.

Przy wykonywaniu pomiarów metodą opisaną w (ISO 13472-2, 2010) istotne jest uszczelnienie systemu pomiarowego w taki sposób, aby był on hermetyczny i zapobiegał przedostawaniu się powietrza przez szczeliny pomiędzy rurą impedancyjną i badaną nawierzchnią. Każda nieszczelność może spowodować, że wynik pomiaru będzie zniekształcony w taki sposób, jakby w badanym materiale występowała dodatkowa absorpcja (pochłanianie) dźwięku. W tym celu stosuje się dodatkowy przyrząd - łącznik „in situ”, który powinien być bardzo dobrze dopasowany do kształtu rury i jej wymiarów. Szkic tego elementu przedstawiono poniżej na rys. 2.4, a widok łącznika używanego do pomiarów wykonanych w ramach opracowania przedstawiono na fot. 2.7.



Rys. 2.4. Szkic przyrządu uszczelniającego rurę impedancyjną z badaną nawierzchnią drogową (ISO 13472-2, 2010).



Fot. 2.7. Widok połączenia rury impedancyjnej, łącznika „in situ” i referencyjnej płytki stalowej w trakcie wykonywania pomiarów kalibracyjnych

Łącznik „in situ”, którego zastosowanie w tej metodzie jest niezbędne, powinien charakteryzować się średnicą większą od tej, którą posiada rura impedancyjna. Pozwala to na ustabilizowanie układu pomiarowego względem badanej nawierzchni oraz na zapewnieniu wymaganego uszczelnienia pomiędzy nawierzchnią drogi i rurą impedancyjną

System pomiarowy powinien być także wyposażony w dwukanałowy analizator sygnału dźwiękowego, który powinien spełniać wymagania określone w (ISO 10534-2, 1998). Widok analizatora użytego do wykonania pomiarów przedstawiono poniżej na fot. 2.8.



Fot. 2.8. Widok analizatora dźwięku używanego do wykonania pomiarów współczynnika pochłaniania dźwięku w ramach opracowania.

Do monitorowania warunków atmosferycznych używa się także termometru, który umożliwi odczyt wyniku z dokładnością $\pm 1^{\circ}\text{C}$ oraz barometru, który umożliwi odczyt wyniku z dokładnością $\pm 0.5\text{ kPa}$. Przyrządy te nie muszą być ściśle powiązane z rurą impedancyjną – mogą stanowić niezależne wyposażenie.

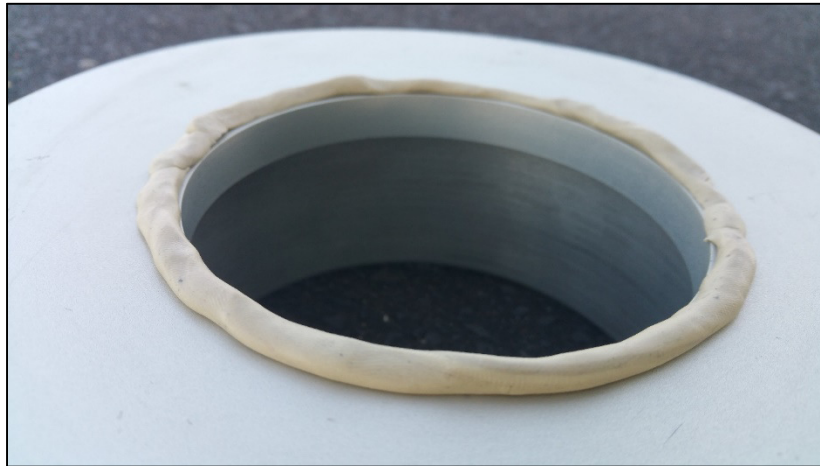
Pierwszym krokiem właściwej procedury pomiarowej opisanej w (ISO 13472-2, 2010) jest stabilizacja temperaturowa systemu pomiarowego. W związku z tym wszystkie przyrządy przed rozpoczęciem pomiaru należy włączyć na co najmniej 15 minut i pozostawić działające. Później nie mogą być one wystawiane na bezpośrednie działanie promieni słonecznych i innych silnych źródeł ciepła. Następnie należy przeprowadzić proces kalibracji systemu pomiarowego. Zależności pomiędzy fazą i amplitudą sygnału oraz mikrofonami muszą być ustalone przed każdą serią pomiarową oraz po każdej godzinie pomiaru dla każdej pozycji mikrofonu według procedury opisanej w (ISO 10534-2, 1998). Należy także przeprowadzić pomiar kalibrujący bezpośrednio przed lub po każdej serii pomiarowej przy użyciu referencyjnej próbki całkowicie odbijającej dźwięk, o czym wspomniano już bardziej szczegółowo we wcześniejszej części opracowania). Wyniki pomiaru kalibracyjnego powinny być użyte do korekcji wyników zgodnie z załącznikiem A do normy (ISO 13472-2, 2010). Należy także przeprowadzić pomiary tła akustycznego przy wyłączonym źródle dźwięku. W celu zapobieżenia możliwym zakłóceniom z niestacjonarnych źródeł dźwięku, pomiary powinny być prowadzone w odległości co najmniej 25 m od przejeżdżających samochodów ciężkich i motocykli. Każdy pomiar zawierający potencjalne zakłócenia z zewnętrznych źródeł dźwięku powinien być pomijany.

Zgodnie z wymaganiami normy (ISO 13472-2, 2010) lokalizacje stanowisk pomiarowych powinny być rozmieszczone regularnie na badanym docinku drogi i powinny być ustalone w miejscu, w którym występują ślady kół pojazdów. Badana nawierzchnia

powinna być gładka, płaska i wolna od zanieczyszczeń. Pomiaru nie należy prowadzić na mokrych nawierzchniach.

W trakcie prowadzenia pomiaru za pomocą metody opisanej w (ISO 13472-2, 2010) temperatura powietrza powinna być pomiędzy 5°C i 30°C, a nawierzchni pomiędzy 5°C i 45°C. Pomiary nie powinny być prowadzone przy bezpośrednim narażeniu na promienie słoneczne i w bliskiej odległości od źródeł ciepła.

Właściwy pomiar należy rozpocząć od montażu przystawki „in situ” poprzez zastosowanie właściwej ilości substancji uszczelniającej. Należy sprawdzić czy zapewnione zostało hermetyczne połączenie systemu pomiarowego z badaną nawierzchnią. Można to zrobić np. przy użyciu stetoskopu, za pomocą którego sprawdza się cały obwód połączenia. Sposób uszczelnienia przedstawiony został na rys. 2.4 oraz na fot. 2.9 i fot. 2.10 poniżej.



Fot. 2.9. Sposób naniesienia kitu sanitarnego na łącznik „in situ” w celu uszczelnienia układu pomiarowego



Fot. 2.10. Widok łącznika „in situ” szczelnie zamontowanego na badanej nawierzchni drogowej za pomocą kitu sanitarnego

Następnie należy wykonać pomiar przy sprawdzeniu czy stosunek sygnału dźwiękowego do szumu nie jest zbyt mały. Jeżeli tak jest, należy zwiększyć poziom dźwięku, usunąć źródło zakłóceń lub poczekać na cichy moment. Procedura pomiarowa jest określona w (ISO 10534-2, 1998). Po zakończeniu pomiaru należy sprawdzić czy materiał uszczelniający ściśle przylega do nawierzchni i tworzy zamknięty pierścień (fot. 2.11). Jeżeli są co do tego wątpliwości należy powtórzyć procedurę uszczelniania i pomiaru. Po wykonaniu wszystkich pomiarów należy usunąć z badanej nawierzchni pozostałości uszczelniacza.



Fot. 2.11. Widok pozostałości uszczelniacza po wykonaniu pomiarów i zdemontowaniu łącznika „in situ”

Sposób prezentacji wyników pomiarów jest szczegółowo opisany w (ISO 13472-2, 2010), która przytacza także wzór raportu z badań. Niepewność pomiaru, zgodnie z zaleceniami normy, należy obliczać na podstawie [5]. Zgodnie z tym dokumentem, wszystkie znaczące źródła błędów i niepewności powinny być zidentyfikowane, a wynik pomiaru powinien być skorygowany o odpowiednie współczynniki. Poniżej przedstawiono ogólną ich charakterystykę.

Jednymi z możliwych błędów mogącymi wpływać na wyniki obliczeń współczynnika pochłaniania dźwięku związane są z zastosowaniem metody funkcji przejścia (ISO 10534-2, 1998). Źródłami tych błędów mogą być m.in.: niepewność odległości pomiędzy mikrofonami pomiarowymi czy statystyczne błędy w określaniu funkcji przejścia z sygnałów stochastycznych. Dodatkowo wpływ na wyniki pomiarów mogą mieć zmiany warunków meteorologicznych panujących w trakcie wykonywania badań.

Na niepewność wyników pomiarów wykonywanych przy pomocy rury impedancyjnej mogą wpływać także wewnętrzne straty energii we wnętrzu przyrządu. Błąd ten może występować, jeżeli powierzchnia pomiarowa charakteryzuje się mniejszym współczynnikiem odbicia dźwięku. Ten rodzaj błędu jest częściowo korygowany poprzez obowiązek prowadzenia pomiarów kalibracyjnych przy użyciu referencyjnej powierzchni odbijającej.

Kolejnym źródłem błędów może być nieszczelność w systemie pomiarowym (np. pomiędzy przyrządami i nawierzchnią drogi). Zniekształca on głównie wyniki pomiarów w niższych pasmach częstotliwości dźwięku. Ten rodzaj błędu pomiarowego może w istotny sposób wpływać na wyniki pomiarów, jeżeli są one wykonywane na nawierzchniach półzamkniętych. Nieszczelności układu pomiarowego powodują błąd, który charakteryzuje się zniekształceniem wyników pomiarów, w taki sposób, jakby w badanej nawierzchni powstało dodatkowe pochłanianie dźwięku (jest on zawsze dodatni) (ISO 13472-2, 2010).

Może być także popełniony błąd wynikający z niedostatecznej liczby pomiarów. Nie jest on związany bezpośrednio z techniką pomiarową, ale z właściwościami pochłaniania dźwięku całego mierzonego odcinka nawierzchni, które to mogą się zmieniać w zależności od lokalizacji przyrządu pomiarowego. Błąd ten może być zminimalizowany poprzez

zwiększenie liczby pomiarów, w taki sposób, że zostanie osiągnięte akceptowalne odchylenie standardowe wyników pomiarów (ISO 13472-2, 2010).

W związku z powyższym wyniki pomiarów współczynnika pochłaniania dźwięku nawierzchni drogowych $\alpha(f)$ przedstawia się, zgodnie z wymaganiami normy (ISO 13472-2, 2010), z uwzględnieniem współczynników korygujących opisanych poniżej:

$$\alpha(f) = \alpha_m(f) - \alpha_{\text{system}}(f) + \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \delta_4 \quad (2.9)$$

gdzie:

$\alpha_m(f)$ – zmierzony współczynnik pochłaniania dźwięku,

$\alpha_{\text{system}}(f)$ – wewnętrzne tłumienie układu pomiarowego otrzymane na podstawie pomiarów powierzchni referencyjnej,

δ_1 – współczynnik uwzględniający niepewność procedury opisanej w (ISO 10534-2, 1998),

δ_2 – współczynnik uwzględniający niepewność spowodowaną warunkami zewnętrznymi zgodnie z (ISO 10534-2, 1998),

δ_3 – współczynnik uwzględniający niepewność procedury kalibracyjnej,

δ_4 – współczynnik uwzględniający niezamierzone straty ciśnienia.

Norma (ISO 13472-2, 2010) określa wielkości tych wszystkich niepewności i podaje, że łącznie jest ona szacowana na poziomie 0.015 dla każdej częstotliwości 1/3 oktaawowej, przy czym niepewność rozszerzona dla 95% poziomu ufności jest równa 0.029.

Należy również wspomnieć o potencjalnych przyczynach błędów powstających nie na skutek stosowania procedury opisanej w normie, ale niewłaściwym wykonywaniem pomiarów. Jednym z przykładów błędów tego typu może być nieprawidłowy montaż mikrofonów pomiarowych bez zapewnienia odpowiedniej wentylacji. Może to spowodować powstanie dodatkowego ciśnienia statycznego, które wpłynie na wyniki pomiarów. Innym przykładem może być brak adaptacji systemu pomiarowego do warunków atmosferycznych. Procedura opisana w (ISO 13472-2, 2010) wymaga włączenia przyrządów na co najmniej 15 minut przed rozpoczęciem pomiaru. Pominięcie tego kroku może w znaczny sposób wpłynąć na wyniki pomiarów.

3. PROCEDURA WYKONYWANIA POMIARÓW WSPÓŁCZYNNIKA POCHŁANIANIA DŹWIĘKU NAWIERZCHNI DROGOWYCH PRZY WYKORZYSTANIU RURY IMPEDANCYJNEJ W WARUNKACH LABORATORYJNYCH

3.1. Cel

Celem niniejszej procedury jest określenie sposobu wykonywania pomiarów współczynnika pochłaniania dźwięku przez nawierzchnie drogowe przy wykorzystaniu wymagań opisanych w normach: (ISO 13472-2 Acoustics. Measurement of sound absorption properties of road surfaces in situ. Part 2: Spot method for reflective surfaces, 2010), (ISO 10534-2 Acoustics. Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes. Part 2: Transfer-function method, 1998). Wyniki pomiarów przedstawiane są w częstotliwościach 1/3 oktaowych w zakresie od 250 do 1600 Hz.

3.2. Zakres

Pomiary wykonywane za pomocą metodyki opisanej w niniejszych wytycznych wykonywane są na próbkach nawierzchni drogowych pobranych z istniejących odcinków dróg lub wykonanych w warunkach laboratoryjnych. Wyniki otrzymane za pomocą przedmiotowej metody badawczej są porównywalne do wyników otrzymywanych za pomocą metody rury impedancyjnej przy wykorzystaniu próbek z nawierzchni w postaci wyciętych rdzeni zgodnie z takimi dokumentami, jak [ISO 10534-1, 1998], (ISO 10534-2, 1998) oraz (ASTM E1050, 1998). Nie mogą być natomiast bezpośrednio porównywane z wynikami badań wykonanych w komorze pogłosowej za pomocą metody opisanej w normie (PN-EN ISO 354, 2005), ponieważ w metodzie wykorzystującej rurę impedancyjną mamy do czynienia z falą płaską padającą prostopadłe na badaną powierzchnię, natomiast w metodzie „pogłosowej” dźwięk jest rozproszony.

3.3. Powiązane dokumenty

Dokumenty powiązane z opisywaną metodyką pomiarową zestawiono poniżej. W każdym przypadku należy brać pod uwagę najnowsze wydanie norm, o ile nie określono innego trybu postępowania.

1. ISO 10534-2 Acoustics. Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes. Part 2: Transfer-function method
2. ISO 13472-1 Acoustics. Measurement of sound absorption properties of road surfaces in situ. Part 1: Extended surface method
3. ISO 13472-2 Acoustics. Measurement of sound absorption properties of road surfaces in situ. Part 2: Spot method for reflective surfaces
4. ISO 10844 Acoustics. Specification of test tracks for measuring noise emitted by road vehicles and their tyres

5. ISO/IEC Guide 98-3 Uncertainty of measurement. Part 3: Guide to expression of uncertainty in measurement (GUM:1995)
6. IEC 61260. Electroacoustics. Octave-band and fractional-octave-band filters

3.4. Podstawowe oznaczenia i definicje, słowa kluczowe

1. **Admitancja powierzchniowa (G)** – odwrotność impedancji powierzchniowej Z (ISO 10534-2, 1998)
2. **Impedancja powierzchniowa (Z)** – stosunek wartości zespolonej ciśnienia akustycznego $p(0)$ do wartości zespolonej składowej normalnej prędkości cząstki akustycznej $v(0)$ dla pojedynczej wartości częstotliwości na płaszczyźnie odniesienia (ISO 13472-2, 2010)
3. **Liczba falowa (k_0)** – zmienna zdefiniowana, jako:

$$k_0 = \omega/c_0 = 2\pi f/c_0 \quad (3.1)$$

gdzie:

ω – częstość kątowna,
 f – częstotliwość,
 c_0 – prędkość dźwięku

4. **Płaszczyzna odniesienia** – przekrój poprzeczny rury impedancyjnej, dla którego określa się współczynnik odbicia r , impedancję Z lub admitancję G. Jest to zazwyczaj powierzchnia badanych próbek, jeżeli są one płaskie. Przyjmuje się, że na płaszczyźnie odniesienia $x=0$ (ISO 10534-2, 1998, ISO 13472-2, 2010)
5. **Stosunek sygnału do szumu** – różnica, w decybelach, pomiędzy poziomem użytecznego sygnału oraz poziomem tła akustycznego (ISO 13472-2, 2010)
6. **Współczynnik odbicia ciśnienia akustycznego dla prostopadłego padania fali dźwiękowej (r)** – wartość zespolona stosunku amplitudy ciśnienia fali odbitej od amplitudy fali padającej w płaszczyźnie odniesienia, dla fali płaskiej padającej prostopadle na badaną próbkę (ISO 10534-2, 1998, ISO 13472-2, 2010)
7. **Współczynnik pochłaniania dźwięku dla prostopadłego padania fali dźwiękowej (α)** – stosunek mocy akustycznej przenikającej przez powierzchnię badanej próbki (bez powrotu) do mocy akustycznej fali płaskiej padającej prostopadle na próbkę (ISO 10534-2, 1998, ISO 13472-2, 2010)
8. **Zakres częstotliwości** – zakres, w którym wyniki pomiarów uznaje się za zwalidowane, określony w pasmach 1/3 oktaowych wg normy IEC 61260. Electroacoustics. Octave-band and fractional-octave-band filters (ISO 10534-2, 1998, ISO 13472-2, 2010)
9. **Zespolona wartość ciśnienia akustycznego (p)** – transformata Fouriera z czasowych wartości ciśnienia akustycznego (ISO 13472-2, 2010)

3.5. Wymagania dotyczące przyrządów pomiarowych

Szczegółowe wymagania dotyczące przyrządów pomiarowych opisane są w normach, na podstawie których wykonywane są pomiary współczynnika pochłaniania dźwięku (ISO

10534-2, 1998, ISO 13472-2, 2010). Poniżej przedstawiono podstawowe wymagania, które powinny spełnić przyrządy wykorzystywane do wykonywania pomiarów.

Wyposażenie pomiarowe, używane do wykonywania pomiarów, składa się z generatora sygnału, źródła dźwięku, rury impedancyjnej, dwóch mikrofonów zamontowanych równo z wewnętrzną ścianą rury w ściśle określonych pozycjach, dodatkowego urządzenia „in situ” umożliwiającego hermetyczne połączenie tuby z badaną powierzchnią oraz jednostki przetwarzania sygnału umożliwiającej wykonanie transformaty Fouriera w dwóch kanałach jednocześnie. Dodatkowo stosowany jest uchwyt umożliwiający zamontowanie rury impedancyjnej na badanej próbce. Widok przykładowego zestawu pomiarowego przedstawiono poniżej na rys. 3.1 i fot. 3.1.



Rys. 3.1. Szkic stanowiska do pomiarów współczynnika pochłaniania dźwięku w warunkach laboratoryjnych



Fot. 3.1. Widok przykładowego zestawu pomiarowego wykorzystywanego do pomiarów współczynnika pochłaniania dźwięku w warunkach laboratoryjnych

Średnica rury impedancyjnej wg wymagań określonych w (ISO 13472-2, 2010) powinna być równa 100 ± 1 mm. Rura powinna być ona prosta i mieć kołowy przekrój poprzeczny, przy czym tolerancja różnic średnic nie powinna być większa niż 0.2%. Ścianki rury powinny być gładkie, nieporowate, bez otworów i szczelin oraz powinny być sztywne, aby zapobiegać niepożądanemu utracie energii akustycznej. Rura powinna mieć mały otwór wentylacyjny w pobliżu głośnika, aby zapobiec powstawaniu statycznego ciśnienia w jej wnętrzu.

Długość rury impedancyjnej powinna umożliwić wykształcenie wewnątrz płaskiej fali dźwiękowej pomiędzy źródłem dźwięku i mikrofonem pomiarowym. Przy średnicy rury równej 100 mm jej długość powinna być nie mniejsza niż 480 mm, a niższy mikrofon powinien być zamontowany ok. 100 mm od badanej płaszczyzny. Odległość pomiędzy obydwooma mikrofonami pomiarowymi powinna być ustalona w zakresie od 77 do 85 mm.

Obydwa mikrofony pomiarowe używane do wykonania pomiarów powinny być identyczne i zamontowane w określonych pozycjach. Średnica mikrofonów powinna być mała w stosunku do odległości pomiędzy portami, w których będą zamocowane. Z tego względu zaleca się stosowanie mikrofonów 1/4 calowych. Montaż mikrofonów powinien być wykonywany w taki sposób, aby zachować szczelność pomiędzy ich powierzchniami i ścianką rury impedancyjnej.

3.6. Procedura wykonywania pomiarów współczynnika pochłaniania dźwięku za pomocą rury impedancyjnej

W trakcie wykonywania pomiarów współczynnika pochłaniania dźwięku za pomocą rury impedancyjnej należy ściśle przestrzegać wymagań określonych w normach (ISO 10534-2, 1998, ISO 13472-2, 2010). Dodatkowo należy także mieć na uwadze instrukcje przyrządów

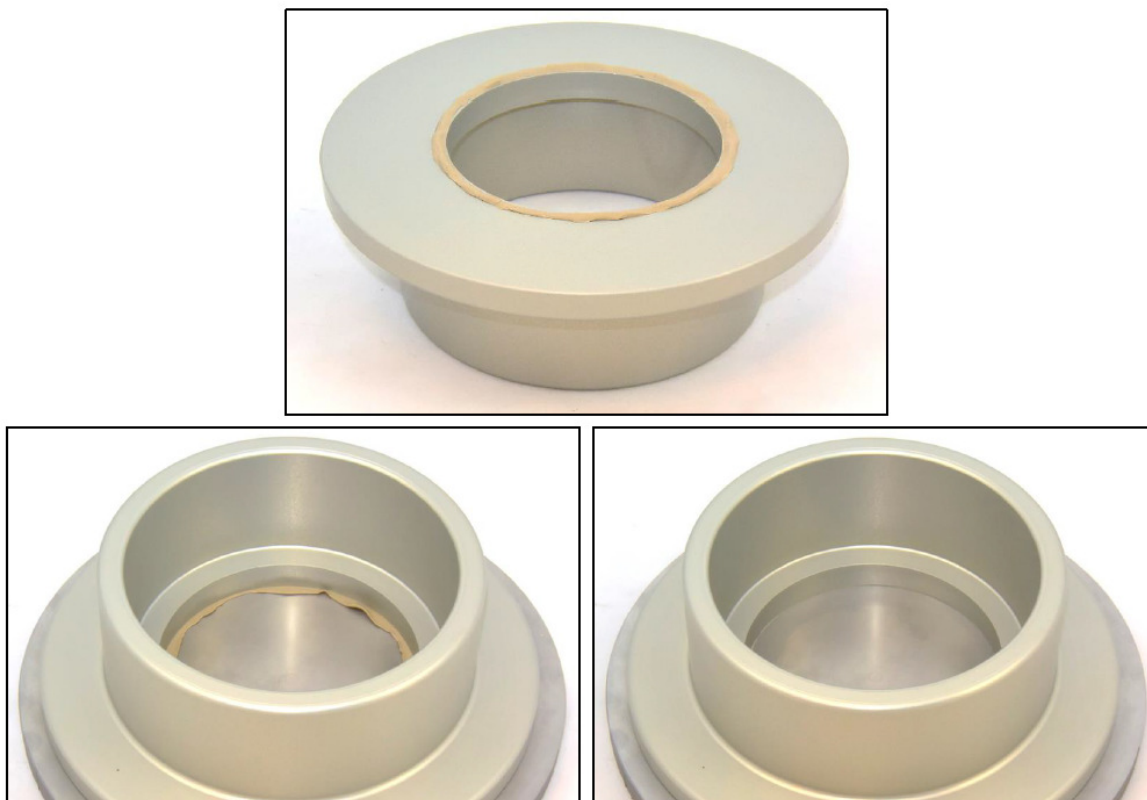
pomiarowych wykorzystywanych do pomiarów, które powinny być dostarczone lub udostępnione przez producentów. Poniżej, w sposób ogólny, przedstawiono kolejne kroki, które powinny być realizowane w trakcie wykonywania pomiarów w warunkach laboratoryjnych.

1. Włączyć wszystkie używane przyrządy, połączone wcześniej zgodnie z instrukcją / instrukcjami producenta i pozostawić działające przez co najmniej 15 minut.
2. Upewnić się, że wszystkie przyrządy (rura impedancyjna, mikrofony, łącznik „in situ”) są połączone ze sobą w sposób szczelny.
3. Upewnić się, że wszystkie przyrządy działają w sposób prawidłowy (np. mikrofony pomiarowe są zamontowane w prawidłowych portach oraz podłączone do właściwych kanałów w analizatorze dźwięku, generator sygnału jest ustawiony w sposób prawidłowy). Sprawdzenia poprawności należy przeprowadzić zgodnie z instrukcjami producentów.
4. W pomieszczeniu laboratoryjnym powinny panować stabilne warunki atmosferyczne. Temperatura nie powinna przekraczać 30°C.
5. Wprowadzić do ustawień programowych i/lub sprzętowych wszystkie wymagane parametry (m.in. warunki meteorologiczne, ustawienia przyrządów, dane dotyczące odległości mikrofonów od płaszczyzny odniesienia i inne).
6. Przed wykonaniem pomiarów upewnić się, że badana próbka jest gładka, sucha i wolna od zanieczyszczeń, chyba, że celem pomiarów jest zbadanie wpływu zanieczyszczeń na własności pochłaniania dźwięku.
7. Pomieszczenie laboratoryjne powinno być zabezpieczone przed bezpośrednim oddziaływaniem promieni słonecznych i/lub innych źródeł ciepła.
8. Pomieszczenie laboratoryjne powinno być odizolowane od zewnętrznych źródeł dźwięku. W tym celu należy zadbać o zamknięcie wszystkich okien (jeżeli występują). Z reguły nie ma potrzeby stosowania dodatkowych rozwiązań w przegrodach zewnętrznych pomieszczenia.
9. Przeprowadzić procedurę kalibracji przed rozpoczęciem pomiaru. Procedurę tę należy powtarzać za każdym razem przy zmianie ustawień przyrządów pomiarowych oraz nie rzadziej niż co 60 minut.
10. Przeprowadzić kalibrację mikrofonów pomiarowych za pomocą wzorcowego źródła dźwięku (kalibratora akustycznego) przy użyciu sygnału dźwiękowego o określonej częstotliwości (z reguły 1000 Hz) oraz poziomie (z reguły 94 lub 114 dB).
11. Przy użyciu materiału o właściwościach silnie pochłaniających dźwięk (np. gąbki) (fot. 3.2) przeprowadzić kalibrację sprzętu pomiarowego mającą na celu zminimalizowanie różnic w charakterystykach amplitud i faz pomiędzy mikrofonami. W tym celu należy wykonać ten sam pomiar przy prawidłowych oraz zamienionych względem siebie pozycjach mikrofonów.



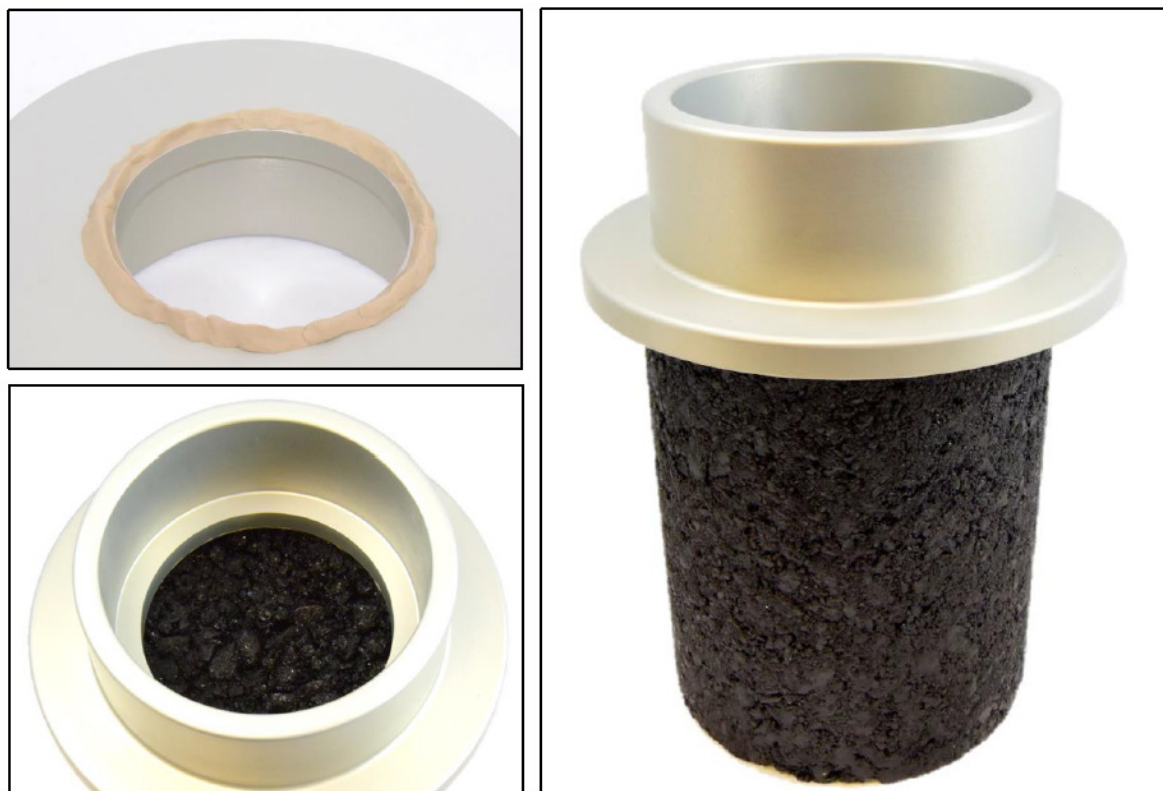
Fot. 3.2. Przykładowe ustawienie sprzętu pomiarowego z użyciem materiału silnie pochłaniającego dźwięk w celu wykonania kalibracji mającej na celu zminimalizowanie różnic w charakterystykach amplitud i faz mikrofonów pomiarowych [4]

12. Po ponownym zamontowaniu mikrofonów we właściwych pozycjach oraz usunięciu materiału pochłaniającego należy przeprowadzić kalibrację z użyciem stalowej płytki o grubości co najmniej 10 mm, która ma na celu określenie współczynnika korygującego straty własne układu pomiarowego. Należy pamiętać o szczelnym połączeniu stalowej płytki z łącznikiem „in situ” oraz usunięciu resztek uszczelnacza (np. kitu sanitarnego) z powierzchni płytki, jak przedstawiono to na fot. 3.3 poniżej.



Fot. 3.3. Prawidłowe połączenie łącznika „in situ” i stalowej płytki w celu wykonania kalibracji urządzenia pomiarowego [4]

13. Sprawdzić, czy zachowany jest wymagany odstęp sygnału pomiarowego od szumu (dźwięków zakłócających). Wymagany poziom odstępu sygnału od szumu jest równy 10 dB (zaleca się jednak, żeby była to większa wartość – ok. 20 dB). Z reguły, przy zamkniętych oknach pomieszczenia laboratoryjnego i stosowaniu przyrządów pomiarowych zgodnych z wymaganiami normowymi, odstęp ten będzie zapewniony. W pomieszczeniu laboratoryjnym nie powinny się znajdować dodatkowe źródła dźwięku o wysokim poziomie, ponieważ może to doprowadzić do zbyt małego odstępu mierzonego sygnału od tła akustycznego.
14. Zamontować łącznik „in situ” na badanej próbce w sposób szczelny, uniemożliwiający przedostanie się do środka rury impedancyjnej powietrza. Usunąć resztki uszczelnacza, jeżeli dostały się na badaną powierzchnię, jak przedstawiono to na fot. 3.4 poniżej.



Fot. 3.4. Montaż łącznika „in situ” na badanej nawierzchni lub próbce (w przypadku badań wykonywanych w laboratorium) [4]

15. Połączyć rurę impedancyjną z zamontowanym na badanej próbce łącznikiem „in situ” za pomocą odpowiedniego statywu (rys. 3.1) i przeprowadzić pomiar współczynnika pochłaniania dźwięku.
16. Pomiar należy powtórzyć na co najmniej 3 próbkach badanej nawierzchni.
17. Otrzymane wyniki opracować w sprawozdaniu z badań w formie opisanej w dokumentacji normowej oraz w rozdziale 3.7 poniżej.

3.7. Raportowane wyniki

Wyniki pomiarów współczynnika pochłaniania dźwięku nawierzchni drogowych powinny być przedstawiane w formie sprawozdania z badań. Sprawozdanie takie powinno zawierać co najmniej:

1. Odniesienie do metodyki pomiarowej,
2. Nazwę i adres laboratorium badawczego,
3. Datę i miejsce badania,
4. Opis badanej próbki (fotografie przedstawiające badaną nawierzchnię drogową)
5. Ustawienia zestawu pomiarowego,
6. Szczegółowy opis badanej nawierzchni: wiek, warunki pomiaru, specyfikację nawierzchni (grubość, materiał itp.),
7. Informację o warunkach charakteryzujących badaną nawierzchnię, jak jej suchość oraz temperatura,
8. Opis warunków meteorologicznych panujących w trakcie pomiarów (ciśnienie atmosferyczne, temperatura powietrza),

9. Informację o wyposażeniu użytym do wykonania pomiarów i analizy wyników (nazwa, typ, numer seryjny, producent),
10. Wynik badania (wartości średnie oraz odchylenie standardowe),
11. Niepewność rozszerzoną wyników pomiarów dla prawdopodobieństwa równego 95% wraz z współczynnikiem rozszerzenia,
12. Podpis osoby odpowiedzialnej za realizację badań,

Zgodnie z zapisami normy (ISO 13472-2, 2010) wyniki pomiarów współczynnika pochłaniania nawierzchni drogowych powinny być podawane w formie wykresu lub tabeli w podziale na częstotliwości środkowe pasm 1/3 oktawowych w zakresie od 250 do 1600 Hz.

W przypadku pomiarów prowadzonych w laboratorium, w sprawozdaniach z badań, należy także podać opis próbek, na których prowadzone były badania wraz z fotografiami obrazującymi ich powierzchnię.

4. BIBLIOGRAFIA

- [1] „ISO 13472-2 Acoustics. Measurement of sound absorption properties of road surfaces in situ. Part 2: Spot method for reflective surfaces”, 2010.
- [2] „ISO 10534-2 Acoustics. Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes. Part 2: Transfer-function method”, 1998.
- [3] „ISO 10534-1. Acoustics. Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes. Part 1: Method using standing wave ratio”, 1996.
- [4] AVEC Acoustical and Vibrations Engineering Consultants Inc., *Road Surface Sound Absorption (ROSSA) Software v 1.0. User Manual*, 2016.
- [5] „ISO/IEC Guide 98-3 Uncertainty of measurement. Part 3: Guide to expression of uncertainty in measurement (GUM:1995)”, 2008.
- [6] American Society for Testing and Materials, „ASTM E1050. Standard test method for impedance and absorption of acoustical materials using a tube, two microphones and digital frequency analysis system”. 1998.
- [7] „PN-EN ISO 354 Akustyka. Pomiar pochłaniania dźwięku w komorze pogłosowej”, 2005.
- [8] „ISO 13472-1 Acoustics. Measurement of sound absorption properties of road surfaces in situ. Part 1: Extended surface method”, 2002.
- [9] „ISO 10844 Acoustics. Specification of test tracks for measuring noise emitted by road vehicles and their tyres”, 2014.
- [10] „IEC 61260. Electroacoustics. Octave-band and fractional-octave-band filters”, 2014.