



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

**Wynik z osiągniętego etapu/etapów prac nad Projektem będącym  
przedmiotem umowy pn:**

**Ochrona przed hałasem drogowym**

**Zadanie 5. Ocena nawierzchni drogowych pod względem hałaśliwości  
wraz z katalogiem klasyfikacyjnym nawierzchni drogowych**

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

Lider i Współwykonawcy Zad. 5: Politechnika Warszawska, Instytut  
Badawczy Dróg i Mostów, Politechnika  
Lubelska

Kierownik Zad. 5: dr hab. inż. Karol Kowalski, prof. PW

Data rozpoczęcia Zad. 5: 01.06.2016

Data zakończenia Zad. 5: 31.01.2018



## Zadanie 5. Ocena nawierzchni drogowych pod względem hałaśliwości wraz z katalogiem klasyfikacyjnym nawierzchni drogowych

### **Zespół badawczy**

#### **Politechnika Warszawska**

dr hab. inż. Karol J. Kowalski, prof. PW – koordynator zadania

prof. dr hab. inż. Piotr Radziszewski

dr hab. inż. Jan Król

dr inż. Michał Sarnowski

mgr inż. Piotr Pokorski

#### **Politechnika Lubelska**

dr inż. Janusz Bohatkiewicz

mgr inż. Marcin Dębiński

mgr inż. Michał Jukowski

mgr inż. Maciej Hałucha

#### **Instytut Badawczy Dróg i Mostów**

mgr inż. Tomasz Mechowski

dr hab. inż. Adam Zofka, prof. IBDiM

#### **Politechnika Wrocławska**

prof. dr hab. inż. Antoni Szydło

dr hab. inż. Piotr Mackiewicz

### **Współpraca naukowa /współautorzy wydzielonych podrozdziałów**

mg inż. Adam Liphardt

mgr inż. Karol Pietrzak

dr inż. Zbigniew Tokarski

inż. Klaudia Załęska

## Spis treści:

Zakres raportu i materiały źródłowe .....	6
1. Katalogi klasyfikacyjne nawierzchni drogowych w zakresie hałasu drogowego.....	7
1.1. Doświadczenia krajowe.....	8
1.2. Doświadczenia europejskie .....	11
1.2.1. Holandia.....	11
1.3. Doświadczenia światowe .....	18
2. Nawierzchnia referencyjna w przepisach Dyrektywy hałasowej .....	20
3. Hałas drogowy na nawierzchniach asfaltowych i z betonu cementowego.....	29
3.1. Bazy krajowe.....	29
3.2. Bazy zagraniczne.....	33
4. Hałas środowiskowy nawierzchni asfaltowych i betonowych .....	34
4.1. Badania hałasu środowiskowego nawierzchni BBTM.....	34
4.2. Badania hałasu środowiskowego w zakresie nawierzchni asfaltowych i betonowych.....	49
5. Badania akustyczne metodą CPB i CPX oraz OCENA właściwości eksploatacyjnych	56
5.1. Poligon Uścięcice – metoda SPB .....	56
5.1.1. Badania akustyczne odcinka testowego.....	56
5.1.2. Metoda badawcza .....	56
5.1.3. Lokalizacja i charakterystyka badanego odcinka .....	58
5.1.4. Przebieg i wyniki pomiarów .....	62
5.2. Poligon Wołoska – metoda SPB .....	66
5.2.1. Badania akustyczne odcinka.....	66
5.2.2. Metoda badawcza .....	66
5.2.3. Lokalizacja i charakterystyka badanych odcinków .....	66
5.2.4. Przebieg i wyniki pomiarów .....	67
5.3. Podsumowanie dotychczasowych badań z wykorzystaniem metody CPB.....	72
Poligon Uścięcice – metoda CPX.....	74
5.4. Poligon A2 Bolimów.....	74
6. Badania akustyczne metodą OBSI oraz pomiary cech powierzchniowych.....	78
6.1. Wybór odcinków drogowych .....	78
6.2. Metodyka pomiarowa.....	78
6.3. Analiza wyników badań .....	78
7. Charakterystyka akustyczna i techniczna nawierzchni drogowych.....	81
7.1. Właściwości odcinka referencyjnego.....	81
7.2. Porównanie rozwiązań materiałowo-technologicznych górnych warstw nawierzchni z odcinkiem referencyjnym.....	81
8. Kalkulacja efektów ekonomicznych z tytułu przewidywanego zastosowania wyników zadania.....	84
9. Podsumowanie .....	85
Bibliografia.....	86
Załącznik 1. Katalog klasyfikacyjny nawierzchni drogowych w odniesieniu do hałasu drogowego.....	92
Załącznik 2. Pomiary hałaśliwości metodą OBSI.....	93
Załącznik 3. Pomiary cech powierzchniowych nawierzchni IRI, MPD i ETD .....	94

**Spis rysunków:**

Rys. 1.1	Hałaśliwość nawierzchni wg dr P. Mioduszewskiego [38].	11
Rys. 1.2	Typowe współczynniki korekcyjne poziomu dźwięku	15
Rys. 1.3	Przykładowe wartości współczynników korekcyjnych dla różnego typu nawierzchni	16
Rys. 1.4	Widok programu komputerowego do szacowania poziomu hałasu	18
Rys. 1.5	Ujęcie rozwiązań materiałowo-technologicznych nawierzchni drogowych wraz z ich utrzymaniem w procesie określania hałasu otoczenia, wg [47]	19
Rys. 2.1	Lokalizacja równorzędnego źródła dźwięku punktowego (equivalent source) na pojazdach lekkich (kategoria 1), ciężarowych (kategoria 2 i 3) oraz pojazdach dwukołowych (kategoria 4) w modelu CNOSSOS-EU [52, 53].	21
Rys. 3.1	Budowa bazy danych – struktura, zawartość. Część 1 – widok całości.	30
Rys. 3.2	Budowa bazy danych – struktura, zawartość. Informacje ogólne o pomiarze	31
Rys. 3.3	Budowa bazy danych – struktura, zawartość. Dane ogólne odcinka drogi	31
Rys. 3.4	Budowa bazy danych – struktura, zawartość. Lokalizacja odcinka drogi	31
Rys. 3.5	Budowa bazy danych – struktura, zawartość. Informacje o punkcie pomiarowym hałasu i jego otoczeniu	32
Rys. 3.6	Budowa bazy danych – struktura, zawartość. Dane meteorologiczne	32
Rys. 3.7	Budowa bazy danych – struktura, zawartość. Wyniki pomiarów ruchu	33
Rys. 3.8	Budowa bazy danych – struktura, zawartość. Wyniki pomiarów hałasu	33
Rys. 4.1	Orientacyjna lokalizacja odcinków dróg wojewódzkich, na których zastosowano nawierzchnie o obniżonej hałaśliwości w Województwie Małopolskim [52, 53]	35
Rys. 4.2	Typowy przekrój poprzeczny konstrukcji nawierzchni zastosowanej na badanych odcinkach dróg [71]	35
Rys. 4.3	Zestawienie wyników pomiarów natężenia ruchu przed i po zastosowaniu nawierzchni redukujących hałas na badanych odcinkach dróg [69, 70]	38
Rys. 4.4	Wyniki pomiarów poziomu dźwięku dla częstotliwości środkowych pasm 1/3 oktaowych w punkcie 1A zlokalizowanym na odcinku drogi wojewódzkiej nr 993 w Gorlicach [69, 70]	44
Rys. 4.5	Wyniki pomiarów poziomu dźwięku dla częstotliwości środkowych pasm 1/3 oktaowych w punkcie 2B zlokalizowanym na odcinku drogi wojewódzkiej nr 780 Libiąż – Chełmek [69, 70]	44
Rys. 4.6	Wyniki pomiarów poziomu dźwięku dla częstotliwości środkowych pasm 1/3 oktaowych w punkcie 3B zlokalizowanym na odcinku drogi wojewódzkiej nr 773 Skała – Iwanowice [69, 70]	45
Rys. 4.7	Krzywa korekcyjna „A” przedstawiająca charakterystykę słyszenia (czułość) ucha ludzkiego [95]	47
Rys. 4.8	Ogólna lokalizacja odcinków pomiarowych hałasu środowiskowego na wybranych fragmentach dróg asfaltowych	51
Rys. 4.9	Ogólna lokalizacja odcinków pomiarowych hałasu środowiskowego na wybranych fragmentach dróg betonowych	51
Rys. 4.10	Wartości minimalnego i maksymalnego współczynnika redukcji lub zwiększenia poziomu hałasu dla badanych nawierzchni w odniesieniu do nawierzchni referencyjnej SMA 11 – wartość odniesienia 0 dB przyjęto jak dla nawierzchni referencyjnej (wg modelu obliczeniowego [49, 50])	54
Rys. 5.1	Pojazd zastosowany w badaniu metodą CPB	57
Rys. 5.2	Widok opon zastosowanych w badaniu	57

---

Zadanie 5. Ocena nawierzchni drogowych pod względem hałaśliwości wraz z katalogiem klasyfikacyjnym nawierzchni drogowych

Rys. 5.3	Lokalizacja odcinka badawczego.....	58
Rys. 5.4	Widok ogólny odcinka badawczego .....	59
Rys. 5.5	Porównanie wyglądu warstw ścieralnych odcinka badawczego.....	59
Rys. 5.6	Zanieczyszczenie odcinka badawczego w rejonie wjazdów z pól.....	61
Rys. 5.7	Stan nawierzchni w rejonie punktu pomiarowego .....	61
Rys. 5.8	Lokalizacja punktu pomiarowego na odcinku badawczym .....	62
Rys. 5.9	Widok punktu pomiarowego na odcinku badawczym .....	62
Rys. 5.10	Wyniki pomiaru poziomego dźwięku $L_{max\ fast}$ warstwy ścieralnej z mieszanki PA 8: a) przejazd z prędkością 50km/h; b) przejazd z prędkością 90km/h; .....	63
Rys. 5.11	Wyniki pomiaru poziomego dźwięku $L_{max\ fast}$ warstwy ścieralnej z mieszanki BBTM 8: a) przejazd z prędkością 50km/h; b) przejazd z prędkością 90km/h; .....	63
Rys. 5.12	Prognozowane poziomy dźwięku $L_{max\ fast}$ dla badanej nawierzchni przy prędkości przejazdu 50 km/h .....	64
Rys. 5.13	Prognozowane poziomy dźwięku $L_{max\ fast}$ dla badanej nawierzchni przy prędkości przejazdu 50 km/h .....	64
Rys. 5.14	Przykładowe widma dźwięku dla prędkości przejazdu 50 km/h .....	65
Rys. 5.15	Przykładowe widma dźwięku dla prędkości przejazdu 90 km/h .....	65
Rys. 5.16	Lokalizacja badanych odcinków .....	67
Rys. 5.17	Lokalizacja punktów pomiarowych na odcinku badawczym .....	68
Rys. 5.18	Lokalizacja punktu pomiarowego na odcinku referencyjnym .....	68
Rys. 5.19	Widok punktu pomiarowego na odcinku referencyjnym.....	69
Rys. 5.20	Wyniki pomiaru poziomego dźwięku $L_{max\ fast}$ warstwy ścieralnej z mieszanki BBTM 8B gr. 3 cm (jezdnia wschodnia ulicy Wołoskiej): a) przejazd z prędkością 50km/h; b) przejazd z prędkością 90km/h; .....	69
Rys. 5.21	Wyniki pomiaru poziomego dźwięku $L_{max\ fast}$ warstwy ścieralnej z mieszanki BBTM 8B gr. 4 cm (jezdnia zachodnia ulicy Wołoskiej): a) przejazd z prędkością 50km/h; b) przejazd z prędkością 90km/h; .....	70
Rys. 5.22	Wyniki pomiaru poziomego dźwięku $L_{max\ fast}$ warstwy ścieralnej z mieszanki SMA 11 (jezdnia wschodnia ulicy Św. Andrzeja Boboli): a) przejazd z prędkością 50km/h; b) przejazd z prędkością 90km/h; .....	70
Rys. 5.23	Prognozowane poziomy dźwięku $L_{max\ fast}$ dla badanej nawierzchni przy prędkości przejazdu 50 km/h .....	70
Rys. 5.24	Prognozowane poziomy dźwięku $L_{max\ fast}$ dla badanej nawierzchni przy .....	71
Rys. 5.25	Przykładowe widma dźwięku dla prędkości przejazdu 50 km/h .....	71
Rys. 5.26	Przykładowe widma dźwięku dla prędkości przejazdu 90 km/h .....	72
Rys. 5.27	Porównanie prognozowanych poziomów dźwięku $L_{max\ fast}$ , przejazd z prędkością 50km/h .....	73
Rys. 5.28	Porównanie prognozowanych poziomów dźwięku $L_{max\ fast}$ , przejazd z prędkością 90km/h .....	73
Rys. 5.29	Plan sytuacyjny odcinków prototypowych projektu CiDRO.....	75
Rys. 5.30	Zdjęcie sytuacyjne pomiaru CPX .....	76
Rys. 5.31	Wyniki pomiarów hałasu metodą CPX.....	76
Rys. 5.32	Wyniki pomiarów hałasu metodą CPX.....	77
Rys. 5.33	Pomiary wodoprzepuszczalności metodą in-situ .....	77

**Spis tablic:**

Zadanie 5. Ocena nawierzchni drogowych pod względem hałaśliwości wraz z katalogiem klasyfikacyjnym nawierzchni drogowych

---

Tab. 1.1 . Klasy hałaśliwości nawierzchni wg raportu IBDiM z 2005 r. [32].	8
Tab. 1.2 Poziom hałasu CPX na warstwach ściernalnych wg raportu IBDiM z 2005 r. [32].	9
Tab. 1.3 Poziom hałasu toczenia SPB na warstwach ściernalnych wg raportu IBDiM z 2005 r. [32].	9
Tab. 1.4 Propozycja klasyfikacji nawierzchni [37].	10
Tab. 1.5 Współczynniki korekcyjne cichych nawierzchni drogowych w Holandii.	12
Tab. 1.6 Zastosowanie kryteriów inżynieria wartości w procesie wyboru rozwiązań materiałowo-technologicznych nawierzchni drogowej, wg [47].	19
Tab. 2.1 Kategorie pojazdów uwzględnione w modelu obliczeniowym CNOSSOS-EU, wg [52, 53].	20
Tab. 2.2 Współczynniki korygujące wpływ typu nawierzchni drogowej na poziom emisji hałasu toczenia od poszczególnych kategorii pojazdów uwzględnionych w modelu CNOSSOS-EU [52, 53].	24
Tab. 4.1 Wyniki pomiaru natężenia ruchu w przekrojach odcinków dróg wojewódzkich objętych zakresem badań [69, 70].	37
Tab. 4.2 Wyniki pomiaru prędkości pojazdów w przekrojach odcinków dróg wojewódzkich objętych zakresem badań [69, 70].	40
Tab. 4.3 Wyniki pomiarów równoważnego poziomu dźwięku przed i po zastosowaniu nawierzchni o obniżonej hałaśliwości na badanych odcinkach dróg [69, 70].	42
Tab. 4.4 Wyniki pomiarów hałasu dla wybranych częstotliwości środkowych pasm 1/3 oktawowych przed i po zastosowaniu nawierzchni o obniżonej hałaśliwości w sąsiedztwie odcinków dróg wojewódzkich objętych zakresem opracowania (wyniki reprezentatywne dla hałasu toczenia).	48
Tab. 4.5 Natężenie ruchu, udział procentowy pojazdów ciężkich oraz prędkości pojazdów zmierzone na badanych odcinkach dróg.	52
Tab. 4.6 Wyniki pomiarów i obliczeń równoważnego poziomu dźwięku w punktach zlokalizowanych w odległości 10 m od krawędzi drogi oraz na wysokości 4 m nad poziomem terenu dla badanych odcinków dróg.	53
Tab. 5.1 Charakterystyka pojazdu użytego w badaniu metodą CPB.	57
Tab. 5.2 Zestawienie badań hałasu przeprowadzonych w Uścięcicach i na odcinku autostrady A2.	74
Tab. 6.1 Średnie wartości parametrów tekstury.	79
Tab. 6.2 Średnie wartości OBSI.	80
Tab. 7.1 Klasy nawierzchni w odniesieniu do hałasu drogowego.	82
Tab. 7.2 Zachowanie właściwości akustycznych nawierzchni drogowej w trakcie eksploatacji (bez przeprowadzania remontu okresowego).	83

## **ZAKRES RAPORTU I MATERIAŁY ŹRÓDŁOWE**

Raport z zadania 5 należy rozpatrywać łącznie z raportem z zadania 2 (nawierzchnie asfaltowe) i z zadania 3 (nawierzchnie z betonu cementowego). Przedstawione w raporcie z zadania 5 studia literaturowe oraz wyniki badań terenowych i analiz stanowią uzupełnienie do wcześniej przedstawionych wyników i wniosków. Należy szczególnie zwrócić uwagę na fakt, że jakkolwiek zespół Politechniki Wrocławskiej nie był formalnie zaangażowany w realizację zadania 5, to przedstawiony w Zał. 1 Katalog jest, w zakresie nawierzchni z betonu cementowego, opracowany przez zespół Politechniki Wrocławskiej.

Poza pracami wykonanymi w RID-76, część doświadczeń prezentowanych w dalszej części raportu jest wynikiem wieloletnich krajowych i zagranicznych prac autora w zakresie cichych nawierzchni drogowych prezentowanych m.in. w [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10].

Prace związane były m.in. z realizacją grantów:

- “Long Term Performance of a Porous Friction Course”, realizowanej dla Indiana Department of Transportation przez North Central Superpave Center, Purdue University, Indiana, USA w latach 2004 – 2009,
- „Quiet Pavement Systems” realizowanej dla Federal Highway Administration przez North Central Superpave Center, Purdue University, Indiana, USA w latach 2007 – 2011,
- „CiDRO. Innowacyjna technologia nawierzchni drogowych o obniżonej emisji hałasu” realizowanej w konsorcjum Politechniki Warszawskiej wspólnie z Mostostalem Warszawa S.A. i Instytutem Badawczym Dróg i Mostów w ramach Inicjatywy Technologicznej IniTech NCBiR w latach 2010-2014.

# **1. KATALOGI KLASYFIKACYJNE NAWIERZCHNI DROGOWYCH W ZAKRESIE HAŁASU DROGOWEGO**

Jedną z pierwszych prób modelowania poziomu dźwięku na podstawie charakterystyki nawierzchni została podjęta na początku lat 80tych XX w. [11, 12]. W modelu tym zastosowano wzory empiryczne zbudowane dla typowych nawierzchni asfaltowych.

Od roku 1996 prowadzono prace nad zbudowaniem modelu Road Design Acoustic Simulation (RODAS). Model RODAS generuje powierzchnię drogi w zakresie istotnym dla określenia hałaśliwości (hałasu generowanego na styku opona/nawierzchnia) poprzez określenie tekstury, porowatości i charakterystyki absorpcji dźwięku na podstawie zadanych parametrów materiałowych (uziarnienia, zawartości lepiszcza i grubości warstwy). Model ten został opracowany w połączeniu z modelem Tire-Interaction Acoustics Simulation (TRIAS) [13].

Koncepcja modelu została później zastosowana w Traffic Noise Model (TNM) opracowanym przez Federal Highway Administration (FHWA) w USA. Model TNM jest głównie stosowany do prognozowania poziomu hałasu w otoczeniu drogi. Dodatkowo, model może być stosowany do oceny efektywności zastosowania różnych rodzajów barier akustycznych i innych rozwiązań ograniczających hałas drogowy oraz do prac eksperymentalnych w zakresie propagacji hałasu [14, 15, 16]. Zaobserwowano, że niejednorodności w zakresie prędkości powodują  $\pm 1.0$  dB błąd w prognozowanym poziomie dźwięku [17]. Stwierdzić należy, że model TNM nie zawiera elementu dotyczącego charakterystyki nawierzchni drogowej.

Innym przykładem modelu jest Community Noise Model (CNM) [18] umożliwiający prognozowanie hałasu powodowanego przez swobodny i niezakłócony przepływ potoku pojazdów. Zmienne analizowane w modelu to: wielkość ruchu pojazdów, prędkość pojazdów, charakterystyka podłoża, ukształtowanie terenu i zastosowane bariery akustyczne. Prognozowane wielkości z dużą dokładnością odpowiadają wielkościom mierzonym. Również w tym modelu nie analizuje się charakterystyki nawierzchni drogowej, istotny jest jedynie jej rodzaj (nawierzchnia asfaltowa lub betonowa).

W pracy przedstawionej przez Anfosso-Ledee i Dangla [19] zaproponowano inny model do określania przebiegu fali dźwiękowej w przypadku stosowania nawierzchni porowatej.

Z uwagi na złożoność zagadnień związanych z hałasem drogowym w większości prac przyjmuje się zwykle, że przy prędkości pojazdów poruszających się ruchem jednostajnym z prędkością powyżej 50 km/h hałas toczenia zaczyna dominować nad innymi źródłami hałasu. Z tego powodu w zagadnieniach dotyczących hałaśliwości nawierzchni rozpatruje się zwykle rozwiązania nawierzchni drogowych o obniżonej hałaśliwości dotyczących dróg o prędkości pojazdów powyżej 50 km/h. W zakresie rozwiązań ograniczających hałas drogowy „u źródła” w warunkach miejskich jest zdecydowanie mniej publikacji [20, 21, 22, 23].



## 1.1. Doświadczenia krajowe

Doświadczenia krajowe w zakresie hałaśliwości nawierzchni związane są w dużej mierze z wieloletnimi badaniami prowadzonymi przez prof. W. Gardziejczyka [24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31].

W 2005 zespół badawczy pod kierunkiem prof. D. Sybilskiego opracował raport prezentujący klasy hałaśliwości nawierzchni drogowych [32], przedstawione w Tab. 1.1. W Tab. 1.2, Tab. 1.3. przedstawiono poziomy hałasu toczenia metodami CPX i SPB. Inne publikacje IBDiM z tego zakresu to np. [33, 34].

Tab. 1.1 . Klasy hałaśliwości nawierzchni wg raportu IBDiM z 2005 r. [32].

<b>KLASA HAŁAŚLIWOŚCI NAWIERZCHNI</b>	<b>TYP WARSTWY ŚCIERALNEJ</b>
<b>Cicha</b>	BA5, BA8 SMA5, SMA8 MNU8 (GUFI) BAP (COLSOFT)
<b>Normalna</b>	MNU11 SMA11 BA11
<b>Głośna</b>	BC CWZ

*Projekt RID – I/76 Ochrona przed hałasem drogowym*  
**Zadanie 5. Ocena nawierzchni drogowych pod względem hałaśliwości wraz z katalogiem klasyfikacyjnym nawierzchni drogowych**

---

Tab. 1.2 Poziom hałasu CPX na warstwach ścieralnych wg raportu IBDiM z 2005 r. [32]

<b>KLASA</b>	<b>POZIOM HAŁASU CPX(80), dB</b>	<b>PRZYKŁADY WARSTW ŚCIERALNYCH</b>
NC	poniżej 93,5	
ZH	93,5 ÷ 96,4	
NH	96,5 ÷ 99,5	<ul style="list-style-type: none"> <li>- beton asfaltowy o uziarnieniu kruszywa do 12 mm,</li> <li>- beton asfaltowy o uziarnieniu kruszywa do 16 mm,</li> <li>- Gufi</li> <li>- beton cementowy wzdłużnie zacierany,</li> <li>- SMA o uziarnieniu kruszywa do 8 mm</li> <li>- SMA o uziarnieniu kruszywa do 10 mm,</li> <li>- SMA o uziarnieniu kruszywa do 12 mm,</li> <li>- cienka warstwa na zimno,</li> <li>- Colsoft</li> </ul>
PH	99,6 ÷ 102,5	<ul style="list-style-type: none"> <li>- cienka warstwa na zimno</li> <li>- beton cementowy poprzecznie rowkowany</li> <li>- beton asfaltowy BA16 Superpave</li> <li>- MNU Ruflex</li> </ul>
NNH	powyżej 102,5	

Tab. 1.3 Poziom hałasu toczenia SPB na warstwach ścieralnych wg raportu IBDiM z 2005 r. [32]

<b>KLASA</b>	<b>Poziom hałasu toczenia wg SPB(so-80), dB</b>	<b>PRZYKŁADY WARSTW ŚCIERALNYCH</b>
NC	poniżej 73,0	
ZH	73,0 ÷ 75,9	- beton asfaltowy o uziarnieniu do 12 mm,
NH	76,0 ÷ 79,0	<ul style="list-style-type: none"> <li>- mieszanka Gufi</li> <li>- MNU – mieszanka o nieciągłym uziarnieniu,</li> <li>- SMA o uziarnieniu kruszywa do 10 mm</li> <li>- SMA o uziarnieniu kruszywa do 12 mm,</li> </ul>
PH	79,1 ÷ 82,0	<ul style="list-style-type: none"> <li>- SMA o uziarnieniu kruszywa do 10 mm,</li> <li>- beton asfaltowy o uziarnieniu do 16 mm</li> <li>- Ruflex</li> <li>- cienka warstwa na zimno</li> </ul>
NNH	powyżej 82,0	

W pracy opublikowanej w 2010 r. prof. D. Sybilski [35] zaproponował podział nawierzchni na trzy klasy hałaśliwości.

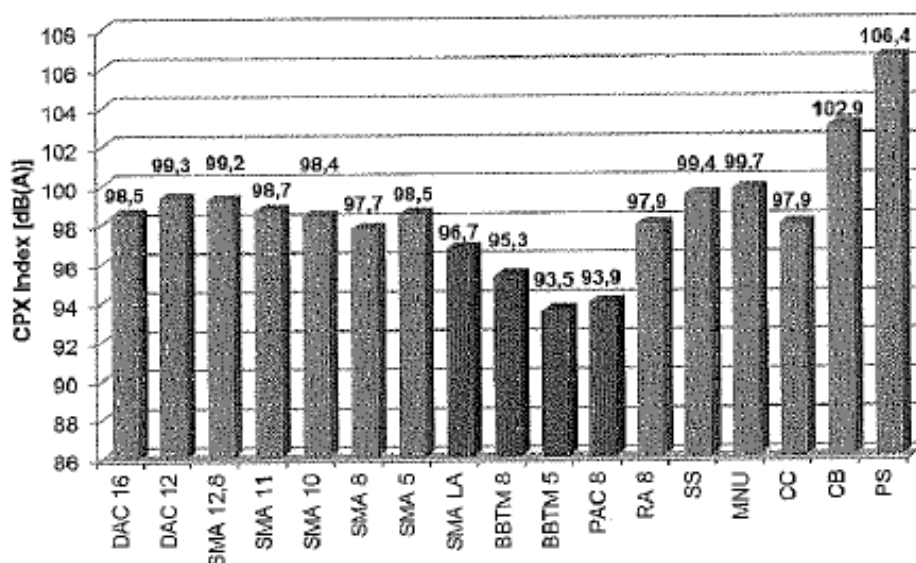
Projekt RID – I/76 Ochrona przed hałasem drogowym  
Zadanie 5. Ocena nawierzchni drogowych pod względem hałaśliwości wraz z katalogiem klasyfikacyjnym nawierzchni drogowych

W pracy z 2011 r. [36] Autor przedstawił koncepcję podziału na cztery klasy nawierzchnie wg poziomu dźwięku. W pracy z 2012 prof. W. Gardziejczyk przedstawił zaktualizowaną koncepcję Katalogu IBDiM z 2005 r. [37], przywołaną w Tab. 1.4.

Tab. 1.4 Propozycja klasyfikacji nawierzchni [37]

Klasa/ Symbol	Wartości poziomu dźwięku, [dB(A)]		Przykłady warstw ścieralnych
	$L_1$ (SPB-80)	CPXI (80)	
Nawierzchnie ciche <b>NC</b>	$< 73,0$	$< 93,5$	- pojedyncze warstwy porowate o max uziarnieniu kruszywa $< 10$ mm (np. PA8), - nawierzchnie poroelastyczne
Nawierzchnie o zredukowanej hałaśliwości <b>ZH</b>	$73,0 \div 75,9$	$93,5 \div 96,4$	- SMA i beton asfaltowy (uziarnienie kruszywa $< 10$ mm (np. SMA5, SMA8, AC5, AC8), - bardzo cienkie warstwy bitumiczne o max uziarnieniu kruszywa $< 10$ mm (np. BBTM8)
Nawierzchnie o normalnej hałaśliwości <b>NH</b>	$76,0 \div 78,9$	$96,5 \div 99,4$	- SMA o uziarnieniu kruszywa $> 10$ mm (np. SMA11) - betony asfaltowe o uziarnieniu kruszywa 10 mm (np. AC11) - betony cementowe o optymalnym teksturowaniu z akustycznego punktu widzenia
Nawierzchnie o podwyższonej hałaśliwości <b>PH</b>	$79,0 \div 81,9$	$99,5 \div 102,4$	- powierzchniowe utrwalenia - uszorstnione nawierzchnie typu SMA, - klasyczne betony cementowe
Nawierzchnie o nadmiernej hałaśliwości <b>NNH</b>	$\geq 82,0$	$\geq 102,5$	- kostka kamienna - betony cementowe poprzecznie rowkowane

Inny polski specjalista w zakresie hałaśliwości nawierzchni, dr P. Mioduszewski w pracy z 2013 r. przedstawił (Rys. 1.1) porównanie poziomów dźwięku uzyskanych metodą CPX na nawierzchniach drogowych w Polsce i w innych krajach europejskich [38].



Rys. 1.1 Hałaśliwość nawierzchni wg dr P. Mioduszewskiego [38].

## 1.2. Doświadczenia europejskie

Krajami wiodącymi w Europie w zakresie rozwiązań materiałowo-technologicznych obniżających hałas drogowy są m.in. Holandia i Dania. Liczne prace badawcze prezentowane w raporcie do Zad. 2 oraz np. [39, 40, 41]. Przyczyniły się, do opracowania zaleceń krajowych (np. [42]) oraz dokumentu Cnossos-EU (Common Noise Assessment Methods in Europe) prezentowanego w dalszej części raportu.

### 1.2.1. Holandia

Holandia jest krajem, w którym powszechnie stosuje się nawierzchnie redukujące hałas komunikacyjny. Dla projektantów konstrukcji drogi został opracowany katalog cichych nawierzchni drogowych z uwzględnieniem redukcji poziomu hałasu. Opracowano współczynnik korekcyjny *SRMI*, który określa średni poziom redukcji hałasu w odniesieniu do nawierzchni referencyjnej. Jest to szczególnie przydatne na etapie projektowania cichej nawierzchni drogowej. Współczynnik korekcyjny od rodzaju drogi określany jest w stosunku do nawierzchni drogi referencyjnej wykonanej z betonu asfaltowego (AC). Sposób określania korekcji nawierzchni drogowych opisany jest w dokumencie RmG2012 [43]. Współczynnik korekcyjny opisuje średni poziom redukcji hałasu w odniesieniu do nawierzchni referencyjnej. Wstępna korekcja redukcji poziomu hałasu od nawierzchni nie przedstawia dobrego oszacowania średniej redukcji hałasu nawierzchni drogowej w całym cyklu życia.

W celu skorygowania zmiany hałasu w czasie określa się współczynnik starzenia  $C_{t,d}$ , który określa się z różnicy pomiędzy średnią wyników pomiarów metodą SPB w miejscach z nową nawierzchnią drogową, a średnim wynikiem pomiarów metodą SPB w miejscach, w których ten sam typ nawierzchni drogi był stosowany dla ponad 75% przewidywanego okresu eksploatacji. Ponadto starzenie eksploatacyjne nawierzchni powoduje, że redukcja hałasu zmniejsza się również w czasie eksploatacji. Jeśli nie ma dostępnych danych pomiarowych, to stosuje się współczynniki normowe, zależne od rodzaju nawierzchni. W Tab. 1.5

## Zadanie 5. Ocena nawierzchni drogowych pod względem hałaśliwości wraz z katalogiem klasyfikacyjnym nawierzchni drogowych

przedstawiono zestawienie cichych nawierzchni drogowych stosowanych w Holandii. Dane zawierają typ nawierzchni lub produkt (opatentowane rozwiązanie przedsiębiorstw), rodzaj nawierzchni, zakres prędkości oraz współczynnik korekcyjny *SRMI* dla projektantów nawierzchni drogowych, który przedstawia średnią redukcję hałasu drogowego w odniesieniu do nawierzchni referencyjnej (jest to beton asfaltowy DAB 11/16).

Tab. 1.5 Współczynniki korekcyjne cichych nawierzchni drogowych w Holandii

Nr	Typ nawierzchni/produkt	Rodzaj nawierzchni	Zakres prędkości		SRMI
			Vmin	Vmax	
0	nawierzchnia referencyjna	asfalt	30	130	0
1	1L ZOAB (PA)	asfalt	50	130	-1,4
2	2L ZOAB (PA)	asfalt	50	130	-4,5
3	2L ZOAB drobny (PA)	asfalt	80	130	-6,5
4a	SMA 0/5	asfalt	40	80	-1,9
4b	SMA 0/8	asfalt	40	80	-0,8
5	szcztokowany beton cementowy	beton	70	120	1,9
6	szcztokowany beton cementowy "geoptim."	beton	70	80	0,3
7	beton cementowy otoczony kruszywem	beton	70	120	2
8	obróbka powierzchniowa	asfalt / beton	50	130	2,9
9a	elementy chodnikowe w jodełkę	elementy	30	60	2,4
9b	elementy chodnikowe nie w jodełkę	elementy	30	60	6,1
10	ciche elementy brukowe	elementy	30	60	-2
11	cienkie powłoki A	asfalt	40	130	-3,4
12	cienkie powłoki B	asfalt	40	130	-5
13	SilentWay (jodełkowany)	elementy	40	50	-3,6
14	Microtop 0/6	asfalt	50	70	-6
15	ZSA-SD	asfalt	40	90	-5,6
16	Konwé Stil	asfalt	50	80	-3,9
17	Redufalt	asfalt	60	70	-4
18	Dubofalt	asfalt	50	80	-5,1
19	Micropave	asfalt	50	70	-4,7
20	Nobelpave	asfalt	40	80	-5,3
21	Microflex-SMA	asfalt	50	80	-3,2
22	GRAB	asfalt	40	50	-5
23	Microflex	asfalt	50	80	-5,4
24	Topfalt	asfalt	50	80	-5,4
25	Deciville	asfalt	40	80	-3,9
26	SMA-NL8 G+	asfalt	50	80	-3,3
27	Durasilent	elementy	40	50	-1,3

## Zadanie 5. Ocena nawierzchni drogowych pod względem hałaśliwości wraz z katalogiem klasyfikacyjnym nawierzchni drogowych

28	MODUS	asfalt	50	60	-2,3
29	Stil Mastiek 8	asfalt	40	60	-3,8
30	GeoSilent (jodełkowany)	elementy	40	50	-0,5
31	Konwécity	asfalt	50	50	-4,4
32	SMA GRA 8 COLt®	asfalt	50	70	-3,1
33	SMArdpave	asfalt	50	60	-3,3
34	PA 8G	asfalt	70	90	-4,9
35	VIAGRIP	asfalt	50	60	-1,9
36	RubberPave A	asfalt	40	50	-3,6
37	SGA	asfalt	50	60	-1,9
38	Redufalt 2G	asfalt	50	60	-2,8
39	RubberPave B	asfalt	50	50	-5,6

Kolorem szarym oznaczono nawierzchnię drogową 2L ZOAB, która oznacza dwuwarstwowy asfalt porowaty ZOAB (ned. *zeer open asfaltbeton* - bardzo otwarty asfaltobeton). Na podstawie tej tablicy można stwierdzić, że to rozwiązanie jest najskuteczniejszą technologią do redukcji poziomu hałasu komunikacyjnego obecnie stosowaną na drogach w Holandii.

Typ nawierzchni jest ważny dla emisji hałasu drogowego. W Holandii po raz pierwszy w roku 1981 w regulacjach prawnych zawarto informacje dotyczące obliczania wpływu nawierzchni drogi na hałas drogowy. Wymieniono wtedy trzy typy referencyjnych nawierzchni drogowych. Rozpoczęto poszukiwanie nowych możliwości redukcji hałasu drogowego

i związanych z tym nowych przepisów prawnych.

Zakres, w jakim nawierzchnia drogowa emituje więcej lub mniej hałasu niż nawierzchnia referencyjna został zdefiniowany jako korekta nawierzchni drogi (hol. Wegdek C). Dzięki zastosowaniu technologii asfaltu porowatego o nazwie ZOAB w latach 80-tych na autostradach nastąpiła znacząca redukcja hałasu drogowego na skalę całego kraju. Od tego czasu uznano, że to nawierzchnia drogowa ma decydujący wpływ na poziom hałasu. Wprowadzone regulacje do walki z hałasem drogowym doprowadziły do tego, że powstało wiele nowych rodzajów nawierzchni redukujących hałas.

Najnowsze przepisy prawne zawarte są w publikacji CROW 316 [44]. W tej publikacji również został zastosowany współczynnik korekcji nawierzchni Cwegdek. Wskazano również, że hałas drogowy jest głównym źródłem uciążliwości pochodzącym od ruchu drogowego dla otoczenia drogi. Dąży się do zmniejszenia hałasu drogowego, aby doprowadzić do poprawy samopoczucia użytkowników drogi oraz osób, na które wpływ ma lokalny ruch drogowy. Przepisy i aktualne pomiary hałasu są warunkiem koniecznym do realizacji zamierzonego celu ochrony przed hałasem drogowym.

Z biegiem lat wiedza na temat hałasu znacząco wzrosła. Od lipca 2012 w przepisach prawnych pojawiła się nowość dotycząca starzenia eksploatacyjnego nawierzchni drogowej. Nowy współczynnik uwzględnia zmianę hałasu w czasie użytkowania nawierzchni. Trzy typy nawierzchni określone w roku 1981 ewoluowały do czternastu podstawowych typów w roku 2013. Istnieje wybór nawierzchni drogowych z zakresu redukcji hałasu od -7dB do zwiększenia poziomu hałasu o 6dB (w odniesieniu do nawierzchni referencyjnej - beton asfaltowy,

w Holandii nawierzchnia o nazwie DAB – odpowiednik stosowanych w Polsce nawierzchni z betonu asfaltowego oznaczanych aktualnie jako AC).

W nowo wprowadzonej metodzie w roku 2012 dotyczącej współczynnika korekcji nawierzchni drogowej uwzględniono nowe zjawisko. Dzięki prowadzonym pomiarom terenowym wykazano, że nawierzchnie ograniczające hałas wykazują się odmienną wydajnością akustyczną, która różni się w czasie eksploatacji od nawierzchni tradycyjnych. W nowej metodzie obliczania hałasu uwzględniono współczynnik dotyczący spadku wydajności redukcji hałasu Ctijd (pol. C czas). W ramach nowych opracowań uwzględniono następujące zmiany:

- obliczenia emisji dźwięku zostały udoskonalone dzięki prowadzonym cyklicznym pomiarom terenowym. Natężenie ruchu drogowego w ciągu ostatnich 10-15 lat znacząco wzrosło w związku z tym zaktualizowano współczynniki Cwegdek.
- pomiary prowadzone są na wysokości 3 metrów zamiast 5 metrów.
- przy określaniu współczynników korekcyjnych dla nawierzchni drogowych Cwegdek wskazano, że redukcja hałasu zmienia się trakcie użytkowania nawierzchni. Współczynnik Cwegdek reprezentuje średni poziom hałasu w całym okresie użytkowania zamiast uwzględnienia hałasu wkrótce po zakończeniu budowy. Wcześniej nie było dostatecznych informacji dotyczących cyklu życia nawierzchni drogowej.

Zakłada się, że nawierzchnie dróg zachowują się podobnie podczas okresu użytkowania. Zostało to określone dla nawierzchni referencyjnej DAB (pol. gęsty beton asfaltowy). Z doświadczeń ostatnich piętnastu lat wynika, że nawierzchnie o strukturze otwartej stają się akustycznie znacznie różne od nawierzchni zamkniętych.

Dla sprawdzenia zachowania się nawierzchni w trakcie eksploatacji przeprowadzono znaczną liczbę pomiarów, w szczególności w ramach programu IPG (Innowacyjny projekt dla dźwięku) oraz SSW (program wspierający rozwój cichych nawierzchni drogowych).

W rozporządzeniu w sprawie kalkulacji i pomiarów hałasu występującym w 2006 r. Pojęcie korekcji nawierzchni drogowej było oparte na porównaniu tej nawierzchni drogi z nawierzchnią drogi odniesienia dla nowej drogi. Z biegiem lat wykazano, że wydajność cichych nawierzchni dróg nie pozostaje taka sama przez cały okres użytkowania. Najnowsze informacje na temat pogorszenia działania cichej nawierzchni drogi zostały w związku z tym uwzględnione w zaadaptowanej metodzie Cwegdek w rozporządzeniu w sprawie obliczeń i pomiarów hałasu 2012.

W tym przypadku redukcja szumów jest definiowana jako średnia w całym okresie życia. Całkowity termin pokładu drogi C jest wówczas sumą zmniejszenia nowego stanu i średniego pogorszenia w całym okresie eksploatacji. Pogorszenie się efektu nawierzchni drogi podawane jest w osobnym okresie czasu C.

W tej metodzie Cwegdek składa się z dwóch elementów: początkowej redukcji hałasu i średniego zmniejszenia czasu życia Ctijd:

$$Cwegdek = Ciniteel + Ctijd \quad (1.1)$$

gdzie:

Ciniteel = redukcja hałasu dla nowej nawierzchni drogi w porównaniu do nawierzchni drogi referencyjnej o średnim wieku

Ct<sub>ijd</sub> = średni spadek w całym cyklu życia określony jako połowa całkowitego spadku efektu po upływie okresu życia. Termin C jest niezależny od prędkości, ale zależy od kategorii pojazdu (w przypadku SRM II) w paśmie częstotliwości

Termin C<sub>initeel</sub> jest opisany równaniem:

$$\text{SRMI (ważony A): } C_{\text{initeel},m} = \text{DL}_{m} + b_m * \log(v_m / v_{0,m}) \quad (1.2)$$

$$\text{SRMII (spektralny): } C_{\text{initeel},m,i} = \text{DL}_{m,i} + b_m * \log(v_m / v_{0,m}) \quad (1.3)$$

gdzie:

m: wskazanie kategorii pojazdu, lv = samochody osobowe, mv = lekkie samochody ciężarowe, zv = ciężkie samochody ciężarowe

i: oznaczenie pasma oktawowego: 1 = 63Hz do 8 = 8kHz

DL<sub>m</sub>: A-ważona korekta nawierzchni drogowej dB(A) przy prędkości odniesienia v<sub>0,m</sub> DL<sub>m,i</sub>: korekta nawierzchni drogi na pasmo oktawy w dB przy prędkości odniesienia v<sub>0,m</sub>

b<sub>m</sub>: wskaźnik prędkości w dB (A) na dekadę wzrostu prędkości

v<sub>m</sub>: prędkość w km/h

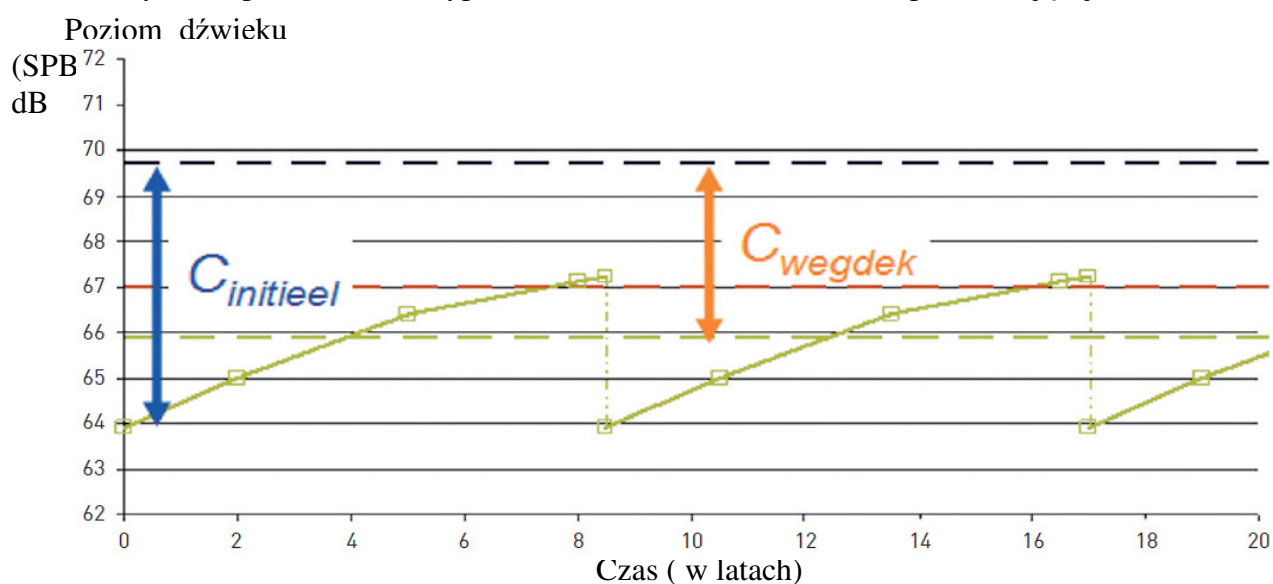
v<sub>0,m</sub>: prędkość odniesienia w km / h. Jest to 80 km / h dla lekkich pojazdów silnikowych i 70 km / h dla średnich i ciężkich pojazdów silnikowych

We wzorach pierwszy człon DL wskazuje korektę nawierzchni drogi przy prędkości odniesienia. Drugi termin to zależność prędkości od korekty nawierzchni drogi.

Współczynniki DL<sub>m</sub> lub DL<sub>m,i</sub> oraz b<sub>m</sub> należy określić przy użyciu metod zawartych w CROW 316.

Dzięki takiemu podejściu staje się możliwe bezpośrednie powiązanie wartości referencyjnej powierzchni drogi z wartościami wskaźników emisji. Poziom odniesienia i wskaźniki emisji pochodzą z tego samego zestawu danych.

Na Rys. 1.2 przedstawiono typowe zachowanie dla nawierzchni pochłaniającej hałas



Rys. 1.2 Typowe współczynniki korekcyjne poziomu dźwięku

Dzięki zastosowaniu nowej metody obliczania współczynnika C<sub>wegdek</sub> uzyskano zupełnie nowe wartości dotyczące redukcji poziomu dźwięku przez wybrane nawierzchnie.



*Projekt RID – I/76 Ochrona przed hałasem drogowym*  
**Zadanie 5. Ocena nawierzchni drogowych pod względem hałaśliwości wraz z katalogiem klasyfikacyjnym nawierzchni drogowych**

Wykazano, że skuteczność redukcji hałasu jest w rzeczywistości mniejsza niż teoretyczna dla zupełnie nowej nawierzchni drogowej. Nastąpiły dwie bardzo istotne zmiany takie jak:

1. Wartości referencyjne zostały zmienione. Wprowadzono wyższe wartości odniesienia dla cichych nawierzchni ograniczających hałas, które zazwyczaj zawierają wyższe poziomy początkowe redukcji hałasu.
2. Uwzględnienie współczynniki korekcyjnego ze względu na starzenie eksploatacyjne nawierzchni.

Połączenie tych dwóch czynników w konsekwencji prowadzi dla większości kategorii nawierzchni do mniejszej wartości redukcji poziomu hałasu.

W budownictwie holenderskim wyróżnia się dwie grupy nawierzchni drogowych. Do pierwszej grupy zaliczają się nawierzchnie określane jako standardowe, a informacja o poziomie redukcji hałasu zawarta jest w publikacji CROW 316. Do drugiej grupy zalicza się nawierzchnie markowe, które zostały opracowane przez poszczególne przedsiębiorstwa. Informacja o aktualnych współczynnikach korekcyjnych jest zawarta na stronie internetowej<sup>1</sup>.

Przykładowe współczynniki korekcyjne dla nawierzchni standardowych oraz jednej nawierzchni unikatowej przedstawiono na Rys. 1.3.

<b>wegdektype</b>		<b>Dunne</b>		<b>Dunne</b>		<b>Stille</b>	<b>* SMA-NL8</b>	
		<b>Deklagen A</b>		<b>Deklagen B</b>		<b>elementen</b>	<b>geluidreducerend</b>	
<i>Beoordelingssnelheid</i>	km/h	50	80	50	80	50	50	80
<i>Cwegdek volgens infomil.nl</i>	dB	-2,9	-3,4	-4,7	-5,0	-1,7	-2,4	-3,4
<i>Eis aan wegdekcorrectie (Cwegdek) (rekening houdend met 0,5 dB marge)</i>	dB	-2,4	-2,9	-4,2	-4,5	-1,2	-1,9	-2,9
<i>Ctijd</i>	dB	2,1	2,1	1,7	1,7	1,5	1,9	1,9
<i>Eis aan de toetsreductie = -(geëiste Cwegdek - Ctijd)</i>	dB	4,5	5,0	5,9	6,2	2,7	3,8	4,8
<i>Eis aan de toetsreductie na vijf jaar = -(geëiste Cwegdek + 1dB)</i>	dB	1,4	1,9	3,2	3,5	0,2	0,9	1,9

Rys. 1.3 Przykładowe wartości współczynników korekcyjnych dla różnego typu nawierzchni

Współczynniki korekcyjne opierają się na przygotowanych analizach opartych o ostatnie dane pomiarowe i zostały ustalone zgodnie z nową metodę Cwegdek.

Zakłada się, że podane współczynniki będą wykorzystywane przede wszystkim w projektowaniu nowych nawierzchni drogowych w szczególności będzie dotyczyło to specyfikacji technicznych, gdzie istnieje możliwość podania konkretnego, oczekiwanego współczynnika redukcyjnego. W Polsce aktualnie podaje się również w specyfikacjach, że należy wykonać tzw. cichą nawierzchnię drogową. Nie jest to jednoznacznie określone, a

<sup>1</sup> [www.stillerverkeer.nl](http://www.stillerverkeer.nl)

holenderskie przepisy wskazują konkretne rozwiązania zmierzające do uporządkowania tego problemu.

W Holandii często wiąże się to również z późniejszym obowiązkiem wykazania przez pomiary, że wymóg jest spełniony. Należy również uwzględnić, że współczynnik Cwegdek jest średnią wartością dla pewnej liczby odcinków drogi. Oznacza to statystycznie, że 50 procent nawierzchni nie spełnia wymaganych warunków. W praktyce rozwiązuje się to przez podawanie dopuszczalnych wartości odchylenia. Należy również pamiętać o skorygowaniu tego współczynnika w odniesieniu do całego cyklu życia nawierzchni.

Ze względu na ciągle zmieniające się technologie i natężenie ruchu drogowego należy wykonywać cykliczne pomiary i systematycznie aktualizować współczynniki korekcyjne o nowe dane pomiarowe, Zakłada się, że nie można stosować danych pomiarowych starszych niż 10 lat. W wielu przypadkach nie jest konieczne wykonanie nowych pomiarów, ale zaleca się wykonywanie pomiarów w szczególności dotyczących zmiany hałaśliwości w czasie, gdyż wiele nowych rozwiązań może tego współczynnika nie uwzględniać.

Istnieje możliwość korzystania z nowych pomiarów, które wykonywane są systematycznie w ramach innych działań takich jak Generalny Pomiar Ruchu, czy pomiary stałe w określonych punktach pomiarowych

Określenie współczynnika Ctijd dotyczącego zmniejszenia redukcji hałasu w czasie osiąga się poprzez:

- wyznaczenie Ctijd z pomiarów co najmniej pięciu odcinków drogi dla wartości większej niż 75% planowanego czasu użytkowania nawierzchni,
- wyznaczenie współczynnika Ctijd poprzez ekstrapolację dla nawierzchni w wieku do czterech lat,
- użycie wartości standardowych dla podobnego rozwiązania zgodnie z publikacją CROW 316.

Dzięki przedstawionej metodzie Cwegdek istnieje możliwość lepszej oceny wpływu nawierzchni na klimat akustyczny w otoczeniu drogi w trakcie całego cyklu życia. Jest to zgodne z ideą zrównoważonego rozwoju, gdyż uwzględnia się również hałas dla przyszłych pokoleń nie tylko po zakończonej budowie. Przedstawia to również nowe światło na temat projektowania nowych nawierzchni cichych, istotnym dodatkowym nowym parametrem będzie trwałość akustyczna, która może być różna dla innych typów nawierzchni. Istnieje więc nowa przestrzeń do wprowadzania innowacji produktowych, gdzie za efekt końcowy uznać można trwałość akustyczną, w rozumieniu nowych przepisów jako jak najniższy współczynnik Ctijd.

Dla holenderskich projektantów nawierzchni drogowych został również przygotowany program obliczeniowy, który ma na celu ustalenie poziomu hałasu dla konkretnej lokalizacji. Na stronie informacyjnej Ministerstwa Środowiska w Holandii [45] dostępny jest kalkulator emitowanego poziomu hałasu komunikacyjnego. Jako istotne należy wskazać możliwość wyboru nawierzchni drogowej, dla której uwzględniony zostanie odpowiedni współczynnik korekcyjny (Rys. 1.4).

*Projekt RID – I/76 Ochrona przed hałasem drogowym*  
Zadanie 5. Ocena nawierzchni drogowych pod względem hałaśliwości wraz z katalogiem klasyfikacyjnym nawierzchni drogowych

---

Na Rys. 1.4 oznaczono rodzaj nawierzchni drogowej referencyjnej DAB 11/16.

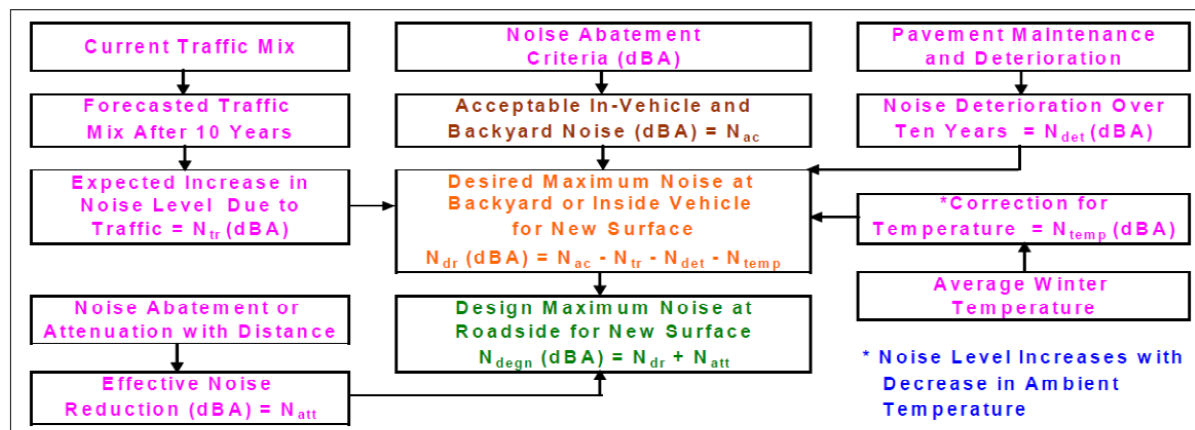
<b>ruch:</b>	<b>dzień:</b>	<b>wieczór:</b>	<b>noc:</b>
Samochody na godzinę	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
prędkość pasażera	<input type="text" value="50"/>	<input type="text" value="50"/>	<input type="text" value="50"/>
Lekkich ciężarówek na godzinę	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
Samochody ciężarowe na godzinę	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
Prędkość ruchu ciężkiego	<input type="text" value="50"/>	<input type="text" value="50"/>	<input type="text" value="50"/>
Rodzaj nawierzchni dróg	<input type="text" value="DAB 11/16 (referencyjny) ▼"/>		
<b>Opis Dziedzina:</b>			
droga wysokość	<input type="text" value="0"/>		
Odległość pozioma od środka ścieżki	<input type="text" value="25"/>		
wysokość obserwator	<input type="text" value="5"/>		
Kąt widzenia (127 stopni = całkowite)	<input type="text" value="127"/>		
Grupa powierzchni pochłaniania (0 = trudne, 1 = niski)	<input type="text" value="0"/>		
Procentowe wartości współczynnika odbicia przeciwnej stronie (0 = brak, 1 = całkowite)	<input type="text" value="0"/>		
Odległość od powierzchni odbijających strony	<input type="text" value="0"/>		
Wysokość powierzchni odbijającej (co najmniej 5 m)	<input type="text" value="0"/>		
Odległość przecięcia (0 = brak przecięcia)	<input type="text" value="0"/>		
Odległość rondo (0 = brak rondo)	<input type="text" value="0"/>		
Odległość od progów (0 = brak progów)	<input type="text" value="0"/>		
<b>wyniki:</b>			
Obliczony poziom hałasu w <b>Letm</b> :	<input type="text" value="0"/>		
Obliczony poziom hałasu w <b>Lden</b> :	<input type="text" value="0"/>		
Obliczony poziom dźwięku <b>Lnight</b> :	<input type="text" value="0"/>		
<input type="button" value="Reset"/>	<input type="button" value="obliczać"/>		

Rys. 1.4 Widok programu komputerowego do szacowania poziomu hałasu

### 1.3. Doświadczenia światowe

Na wstępie należy zaznaczyć, że zgodnie ze stosowanym w USA modelem do prognozowania hałasu drogowego [46] nawierzchnia drogowa nie jest traktowana jako rozwiązanie ograniczające hałas drogowy. Nawierzchnie o obniżonej hałaśliwości nie są więc ujęte w modelu. Takie przyjęcie podejścia do zagadnień prognozowania i ochrony przed hałasem w USA spowodowało, że praktycznie ustały prace badawczo-wdrożeniowe w zakresie technologii obniżających hałas drogowy. Liczba publikacji w tym zakresie również znacząco spadła na przestrzeni ostatnich 5 lat.

Bardzo ciekawe i kompleksowe ujęcie zagadnienia nowoczesnych katalogów nawierzchni obejmujących tematykę asset management zostało przedstawione w pracy [47]. Na Rys. 1.5 i w Tab. 1.6 przedstawiono podstawowe koncepcje zawarte w tej pracy.



Rys. 1.5 Ujęcie rozwiązań materiałowo-technologicznych nawierzchni drogowych wraz z ich utrzymaniem w procesie określania hałasu otoczenia, wg [47]

Tab. 1.6 Zastosowanie kryteriów inżynieria wartości w procesie wyboru rozwiązań materiałowo-technologicznych nawierzchni drogowej, wg [47]

Pavement Attributes	Weights	Remarks on Ranking the Attributes
Initial construction cost	20	Based on bid price for alternative pavements or surfaces
Life cycle maintenance cost	10	Based on historical costs for similar pavements/surfaces
Structural capacity/durability	25	Based on design and/or actual service life
Safety (skid resistance, splash and spray) over service life	25	Based on ranges of average skid resistance value and/or accident record on similar surfaces over service life
Exterior noise over service life	10	Based on average roadside noise levels over service life for alternative surfaces
Interior noise and smoothness over service life	10	Based on average IRI and in-vehicle noise levels over the service life for alternative surfaces

## 2. NAWIERZCHNIA REFERENCYJNA W PRZEPISACH DYREKTYWY HAŁASOWEJ

Dyrektywa 2002/49/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 25 czerwca 2002 r. odnosząca się do oceny i zarządzania poziomem hałasu w środowisku [48] w artykule 1 stanowi, iż jednym z jej celów jest „zdefiniowanie **wspólnego** podejścia do unikania, zapobiegania lub zmniejszania szkodliwych skutków narażenia na działanie hałasu, w tym jego dokuczliwości, na podstawie ustalonych priorytetów”. W tym celu w 2008 r. Komisja rozpoczęła opracowywanie wspólnych ram metodycznych dla sposobu oceny narażenia na hałas w ramach projektu pod nazwą „Wspólne metody oceny hałasu w UE” (CNOSSOS-EU), prowadzonego przez Wspólne Centrum Badawcze. Model CNOSSOS-EU zgodnie z zapisami dyrektywy [48] będzie obligatoryjnie stosowany przez wszystkie Państwa członkowskie Unii Europejskiej począwszy od dnia 31 grudnia 2018 r.

Model CNOSSOS-EU wprowadza w procedurze wykonywania obliczeń akustycznych nowe grupy pojazdów w porównaniu do modeli wykorzystywanych powszechnie w warunkach europejskich. Do chwili obecnej najpopularniejsze modele obliczeniowe: francuski NMPB-Routes 96 [49, 50] i niemiecki RLS-90 [51] uwzględniały podział jedynie na dwie kategorie pojazdów – lekkie i ciężkie. Do pojazdów ciężkich zaliczały się także motocykle, z tego względu bardziej uzasadnioną merytorycznie nazwą tej grupy pojazdów było określenie – hałaśliwe. Model CNOSSOS-EU traktuje źródło hałasu w ruchu drogowym jako sumę emisji hałasu z każdego pojazdu uczestniczącego w przepływie ruchu, a pojazdy dzieli na pięć niezależnych kategorii (Tab. 2.1), uwzględniających właściwości pojazdów w kategoriach emisji hałasu [52, 53].

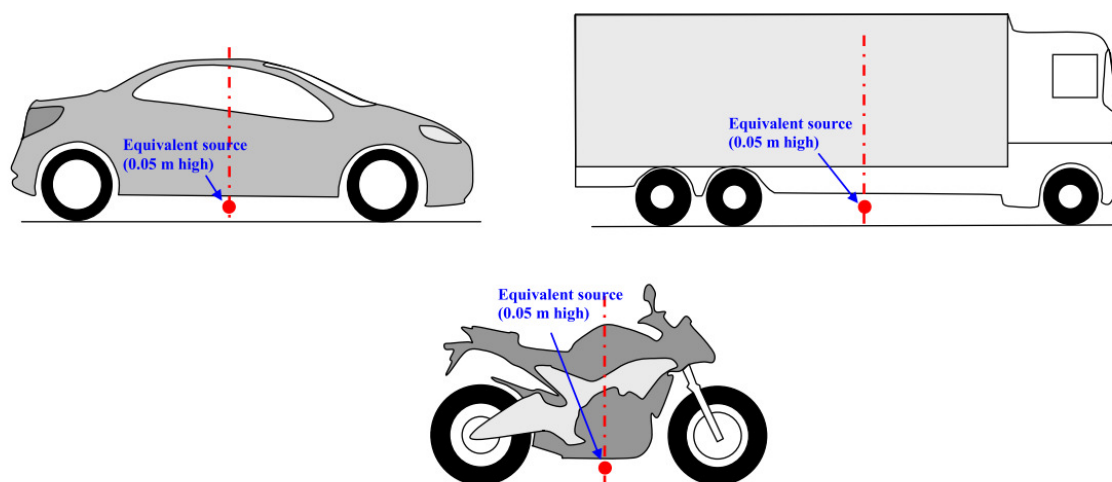
Tab. 2.1 Kategorie pojazdów uwzględnione w modelu obliczeniowym CNOSSOS-EU, wg [52, 53].

Kategoria:	Nazwa	Opis
1	Lekkie pojazdy silnikowe	Samochody osobowe, samochody dostawcze ≤ 3,5 tony, samochody typu SUV, pojazdy wielofunkcyjne (MPV), włącznie z przyczepami i przyczepami turystycznymi
2	Średnie pojazdy ciężarowe	Średnie pojazdy ciężarowe, samochody dostawcze > 3,5 tony, autobusy, samochody kempingowe itd., dwuosiove i posiadające opony bliźniacze na tylnej osi
3	Pojazdy ciężarowe	Pojazdy ciężarowe, autokary turystyczne, autobusy, z trzema lub więcej niż trzema osiami
4	Dwukołowe pojazdy silnikowe	Podkategoria 4a: Motorowery dwu-, trzy- i czterokołowe; Podkategoria 4b: Motocykle z przyczepą boczną i bez, motocykle trzy- i czterokołowe
5	Kategoria otwarta	Zostanie zdefiniowana wedle przyszłych potrzeb

W przypadku dwukołowych pojazdów silnikowych (kategoria 4) wyodrębniono dwie podkategorie z uwagi na bardzo duże zróżnicowanie pod względem trybu jazdy i zazwyczaj dużą różnicę w liczności tych pojazdów. Piątą kategorię pojazdów (w chwili obecnej

niezdefiniowaną) wprowadzono mając na uwadze pojazdy nowego typu, które mogą być odmienne pod względem emisji hałasu. Kategoria ta może obejmować np. pojazdy z napędem elektrycznym lub hybrydowym, których coraz więcej porusza się po europejskich drogach [52, 53].

Każdy pojazd w modelu CNOSSOS-EU jest odwzorowany przez punktowe źródło dźwięku zlokalizowane na wysokości 0.05 m nad powierzchnią jezdni, które emituje hałas w jednorodny sposób (we wszystkich kierunkach) w półkulistą przestrzeń powyżej podłoża. Sposób odwzorowania tych źródeł na tle bryły samochodu przedstawiono poniżej na Rys. 2.1 [52, 53].



Rys. 2.1 Lokalizacja równorzędnego źródła dźwięku punktowego (equivalent source) na pojazdach lekkich (kategoria 1), ciężarowych (kategoria 2 i 3) oraz pojazdach dwukołowych (kategoria 4) w modelu CNOSSOS-EU [52, 53].

Emisja dźwięku związana z przepływem ruchu samochodowego reprezentowana jest natomiast jako źródło liniowe, które charakteryzuje się kierunkową mocą akustyczną na metr w danej częstotliwości dźwięku. Odpowiada ona sumie mocy emisji dźwięku pojazdów uczestniczących w przepływie ruchu oraz czasowi, w którym pojazdy te przebywały na analizowanym odcinku jezdni. Moc akustyczną źródła liniowego, które reprezentuje pojazdy poruszające się po drodze zdefiniowano w modelu CNOSSOS-EU za pomocą następującej zależności [52, 53].

$$L_{W',eq,line,i,m} = L_{W,i,m} + 10 \lg \left( \frac{Q_m}{1000 \times v_m} \right) \quad [\text{dB/m}] \quad (2.1)$$

gdzie:

- $L_{W',eq,line,i,m}$  – kierunkowa moc akustyczna źródła liniowego [dB/m],
- $L_{W,i,m}$  – kierunkowa moc akustyczna jednego pojazdu kategorii  $m$  [dB],
- $Q_m$  – stały przepływ ruchu pojazdów kategorii  $m$  [P/h],
- $v_m$  – średnia prędkość pojazdów kategorii  $m$  [km/h].

Model CNOSSOS zakłada, że hałas emitowany przez każdy pojazd jednostkowy, reprezentowany jest przez dwa główne źródła dźwięku [52, 53].

Hałas toczenia wywołany wzajemnym oddziaływaniem opony i nawierzchni jezdni (uwzględniający także hałas aerodynamiczny),

Hałas emitowany przez jednostkę napędową pojazdu (silnik, układ wydechowy).

Moc akustyczna pojazdów odpowiada w modelu CNOSSOS-EU sumie energii akustycznej hałasu toczenia i jednostki napędowej. Jedynym wyjątkiem jest kategoria 4 pojazdów (motocykle i motorowery), dla której energia akustyczna jest równa jedynie energii akustycznej hałasu jednostki napędowej (przyjmuje się w tym przypadku, że energia akustyczna hałasu toczenia jest równa 0). Jest to bardzo istotne, pod kątem wpływu rodzaju i stanu nawierzchni na emisję dźwięku od tej kategorii pojazdów. Przyjmuje się, że dla tej grupy pojazdów wpływ ten jest pomijalny, o czym napisano szerzej w dalszej części rozdziału. Poziom mocy akustycznej dla każdej grupy pojazdów jest definiowany na podstawie poniższej zależności [52, 53].:

$$L_{W,i,m}(v_m) = 10 \lg(10^{L_{WR,i,m}(v_m)/10} + 10^{L_{WP,i,m}(v_m)/10}) \quad [\text{dB}] \quad (2.2)$$

gdzie:

$L_{W,i,m}$  – Poziom mocy akustycznej jednego pojazdu kategorii  $m$  [dB],

$L_{WR,i,m}$  – Poziom mocy akustycznej hałasu toczenia pojazdu kategorii  $m$  [dB],

$L_{WP,i,m}$  – Poziom mocy akustycznej hałasu jednostki napędowej pojazdu kategorii  $m$  [dB].

Z uwagi na przedmiot niniejszego opracowania w dalszej części rozdziału omówiono w sposób bardziej szczegółowy sposób odwzorowania w modelu CNOSSOS-EU hałasu toczenia, który jest bezpośrednio powiązany z wpływem stanu i rodzaju nawierzchni drogi. Zrezygnowano natomiast z szerszych opisów dotyczących hałasu związanego z oddziaływaniem jednostki napędowej samochodów.

Jak wspomniano powyżej, jednym z podstawowych parametrów mających wpływ na poziom hałasu toczenia odwzorowanego w modelu CNOSSOS-EU ma stan i rodzaj nawierzchni drogowej. W metodyce obliczeniowej przyjęto, iż **nawierzchnia referencyjna, do której porównywane będą pozostałe typy nawierzchni, będzie wykonana ze średnio zagęszczonego betonu asfaltowego 0/11 lub z mieszanki grysowo-mastyksowej 0/11 w wieku od 2 do 7 lat w stanie utrzymania określonym w warunkach odniesienia (stała prędkość pojazdów, równa i sucha jezdnia, temperatura otoczenia równa 20°C)**. Moc akustyczną hałasu toczenia w danym paśmie częstotliwości i dla pojazdu należącego do kategorii  $m$  (oprócz kategorii 4, o czym wspomniano wcześniej) oblicza się wg poniższego wzoru [52, 53].:

$$L_{WR,i,m} = A_{R,i,m} + B_{R,i,m} \times \lg\left(\frac{v_m}{v_{ref}}\right) + \Delta L_{WR,i,m} \quad [\text{dB}] \quad (2.3)$$

gdzie:

$L_{WR,i,m}$  – Poziom mocy akustycznej hałasu toczenia pojazdu kategorii  $m$  [dB],

$A_{R,i,m}$  i  $B_{R,i,m}$  – Współczynniki korygujące [dB],

$\Delta L_{WR,i,m}$  – Suma współczynników korekcji emisji hałasu toczenia w konkretnych warunkach drogowych [dB].

Współczynniki  $A_{R,i,m}$  i  $B_{R,i,m}$  w modelu CNOSSOS-EU są reprezentowane w pasmach oktawowych dla każdej kategorii pojazdu oraz dla prędkości referencyjnej  $v_{ref} = 70$  km/h. Sumę współczynników korygujących emisję hałasu toczenia  $\Delta L_{WR,i,m}$  w konkretnych warunkach drogowych oblicza się natomiast z poniższej zależności [52, 53]:

$$\Delta L_{WR,i,m} = \Delta L_{WR,road,i,m} + \Delta L_{WR,studded\,tyres,i,m} + \Delta L_{WR,acc,i,m} + \Delta L_{Wtemp} \text{ [dB]} \quad (2.4)$$

gdzie:

$\Delta L_{WR,road,i,m}$  – współczynnik korekcji oznaczający oddziaływanie na hałas toczenia nawierzchni jezdni o właściwościach akustycznych odbiegających od wirtualnej nawierzchni referencyjnej [dB],

$\Delta L_{WR,studded\,tyres,i,m}$  – współczynnik korekcji odpowiadający wyższemu hałasowi toczenia z pojazdów lekkich wyposażonych w opony z kolcami [dB],

$\Delta L_{WR,acc,i,m}$  – współczynnik korekcji oznaczający oddziaływanie akustyczne na hałas toczenia skrzyżowania z sygnalizacją świetlną lub ronda [dB],

$\Delta L_{W,temp}$  – współczynnik korekcji wpływu temperatury odbiegającej od temperatury referencyjnej równej 20°C [dB].

Najistotniejszym z punktu widzenia tematyki niniejszego opracowania jest współczynnik określający wpływ rodzaju nawierzchni drogowej na emisję hałasu  $\Delta L_{WR,road,i,m}$ . Zgodnie z założeniami metodyki obliczeniowej określa się go wg poniższej zależności [52, 53].:

$$\Delta L_{WR,road,i,m} = \alpha_{i,m} + \beta_m \times \lg\left(\frac{v_m}{v_{ref}}\right) \quad \text{[dB]} \quad (2.5)$$

gdzie:

$\Delta L_{WR,road,i,m}$  – współczynnik korekcji oznaczający oddziaływanie na hałas toczenia nawierzchni jezdni o właściwościach akustycznych odbiegających od wirtualnej nawierzchni referencyjnej [dB],

$\alpha_{i,m}$  – widmowy współczynnik korygujący przy prędkości referencyjnej 70 km/h dla pojazdu należącego do kategorii 1, 2 lub 3 i pasma częstotliwości  $i$  [dB],

$\beta_m$  – współczynnik oznaczający oddziaływanie prędkości na ograniczanie hałasu toczenia dla pojazdu należącego do danej kategorii  $m$  identyczny dla wszystkich pasm częstotliwości [dB].

W opisie do metodyki obliczeniowej CNOSSOS-EU zwrócono także uwagę na wiek i stan utrzymania nawierzchni [52, 53]. Stwierdzono, że głośność wszystkich nawierzchni wzrasta wraz z ich wiekiem. Założono, że wyznaczone parametry nawierzchni jezdni uznaje się za reprezentatywne dla uśrednionego okresu użytkowania względem reprezentatywnego i przy założeniu właściwego utrzymania nawierzchni jezdni.

Sposób w jaki typ nawierzchni wpływa na poziom emisji dźwięku przedstawiają współczynniki korygujące  $\alpha_{i,m}$  i  $\beta_m$  (Tab. 2.2)



Zadanie 5. Ocena nawierzchni drogowych pod względem hałaśliwości wraz z katalogiem klasyfikacyjnym nawierzchni drogowych

Tab. 2.2 Współczynniki korygujące wpływ typu nawierzchni drogowej na poziom emisji hałasu toczenia od poszczególnych kategorii pojazdów uwzględnionych w modelu CNOSSOS-EU [52, 53].

Opis	Minimalna prędkość przy której współczynnik ma zastosowanie [km/h]	Maksymalna prędkość przy której współczynnik ma zastosowanie [km/h]	Kategoria	$\alpha_m$ (63 Hz)	$\alpha_m$ (125 Hz)	$\alpha_m$ (250 Hz)	$\alpha_m$ (500 Hz)	$\alpha_m$ (1 kHz)	$\alpha_m$ (2 kHz)	$\alpha_m$ (4 kHz)	$\alpha_m$ (8 kHz)	$\beta_m$
Referencyjna nawierzchnia jezdni	-	-	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			4a	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			4b	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1 warstwa ZOAB (asfalt porowaty)	50	130	1	0.5	3.3	2.4	3.2	-1.3	-3.5	-2.6	0.5	-6.5
			2	0.9	1.4	1.8	-0.4	-5.2	-4.6	-3	-1.4	0.2
			3	0.9	1.4	1.8	-0.4	-5.2	-4.6	-3	-1.4	0.2
			4a	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			4b	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2 warstwy ZOAB (asfalt porowaty)	50	130	1	0.4	2.4	0.2	-3.1	-4.2	-6.3	-4.8	-2	-3
			2	0.4	0.2	-0.7	-5.4	-6.3	-6.3	-4.7	-3.7	4.7
			3	0.4	0.2	-0.7	-5.4	-6.3	-6.3	-4.7	-3.7	4.7
			4a	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			4b	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2 warstwy ZOAB drobnoziarnisty (asfalt porowaty)	80	130	1	-1	1.7	-1.5	-5.3	-6.3	-8.5	-5.3	-2.4	-0.1
			2	1	0.1	-1.8	-5.9	-6.1	-6.7	-4.8	-3.8	-0.8
			3	1	0.1	-1.8	-5.9	-6.1	-6.7	-4.8	-3.8	-0.8
			4a	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			4b	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SMA – NL5	40	80	1	1.1	-1	0.2	1.3	-1.9	-2.8	-2.1	-1.4	-1
			2	0	0	0	0	0	0	0	0	0

## Zadanie 5. Ocena nawierzchni drogowych pod względem hałaśliwości wraz z katalogiem klasyfikacyjnym nawierzchni drogowych

Opis	Minimalna prędkość przy której współczynnik ma zastosowanie [km/h]	Maksymalna prędkość przy której współczynnik ma zastosowanie [km/h]	Kategoria	$\alpha_m$ (63 Hz)	$\alpha_m$ (125 Hz)	$\alpha_m$ (250 Hz)	$\alpha_m$ (500 Hz)	$\alpha_m$ (1 kHz)	$\alpha_m$ (2 kHz)	$\alpha_m$ (4 kHz)	$\alpha_m$ (8 kHz)	$\beta_m$	
			3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
			4a	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			4b	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SMA – NL8	40	80	1	0.3	0	0	-0.1	-0.7	-1.3	-0.8	-0.8	-1	
			2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
			3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
			4a	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
			4b	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Beton szcztkowy	70	120	1	1	-0.4	1.3	2.2	2.5	0.8	-0.2	-0.1	1.4	
			2	0	1.1	0.4	-0.3	-0.2	-0.7	-1.1	-1	4.4	
			3	0	1.1	0.4	-0.3	-0.2	-0.7	-1.1	-1	4.4	
			4a	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
			4b	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Beton szcztkowy o zoptymalizowanym składzie	70	80	1	-0.2	-0.7	0.6	1	1.1	-1.5	-2	-1.8	1	
			2	-0.3	1	-1.7	-1.2	-1.6	-2.4	-1.7	-1.7	-6.6	
			3	-0.3	1	-1.7	-1.2	-1.6	-2.4	-1.7	-1.7	-6.6	
			4a	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
			4b	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Beton drobnoszcztkowy	70	120	1	1.1	-0.5	2.7	2.1	1.6	2.7	1.3	-0.4	3.7	
			2	0	3.3	2.4	1.9	2	1.2	0.1	0	3.7	
			3	0	3.3	2.4	1.9	2	1.2	0.1	0	3.7	
			4a	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
			4b	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Nawierzchnia frezowana	50	130	1	1.1	1	2.6	4	4	0.1	-1	-0.8	-0.2	
			2	0	2	1.8	1	-0.7	-2.1	-1.9	-1.7	1.7	

Zadanie 5. Ocena nawierzchni drogowych pod względem hałaśliwości wraz z katalogiem klasyfikacyjnym nawierzchni drogowych

Opis	Minimalna prędkość przy której współczynnik ma zastosowanie [km/h]	Maksymalna prędkość przy której współczynnik ma zastosowanie [km/h]	Kategoria	$\alpha_m$ (63 Hz)	$\alpha_m$ (125 Hz)	$\alpha_m$ (250 Hz)	$\alpha_m$ (500 Hz)	$\alpha_m$ (1 kHz)	$\alpha_m$ (2 kHz)	$\alpha_m$ (4 kHz)	$\alpha_m$ (8 kHz)	$\beta_m$
			3	0	2	1.8	1	-0.7	-2.1	-1.9	-1.7	1.7
			4a	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			4b	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Twarde elementy związane w jodełkę	30	60	1	8.3	8.7	7.8	5	3	-0.7	0.8	1.8	2.5
			2	8.3	8.7	7.8	5	3	-0.7	0.8	1.8	2.5
			3	8.3	8.7	7.8	5	3	-0.7	0.8	1.8	2.5
			4a	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			4b	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Twarde elementy nie związane w jodełkę	30	60	1	12.3	11.9	9.7	7.1	7.1	2.8	4.7	4.5	2.9
			2	12.3	11.9	9.7	7.1	7.1	2.8	4.7	4.5	2.9
			3	12.3	11.9	9.7	7.1	7.1	2.8	4.7	4.5	2.9
			4a	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			4b	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ciche twarde elementy	30	60	1	7.8	6.3	5.2	2.8	-1.9	-6	-3	-0.1	-1.7
			2	0.2	0.7	0.7	1.1	1.8	1.2	1.1	0.2	0
			3	0.2	0.7	0.7	1.1	1.8	1.2	1.1	0.2	0
			4a	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			4b	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cienka warstwa A	40	130	1	1.1	0.1	-0.7	-1.3	-3.1	-4.9	-3.5	-1.5	-2.5
			2	1.6	1.3	0.9	-0.4	-1.8	-2.1	-0.7	-0.2	0.5
			3	1.6	1.3	0.9	-0.4	-1.8	-2.1	-0.7	-0.2	0.5
			4a	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			4b	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cienka warstwa B	40	130	1	0.4	-1.3	-1.3	-0.4	-5	-7.1	-4.9	-3.3	-1.5
			2	1.6	1.3	0.9	-0.4	-1.8	-2.1	-0.7	-0.2	0.5

Zadanie 5. Ocena nawierzchni drogowych pod względem hałaśliwości wraz z katalogiem klasyfikacyjnym nawierzchni drogowych

Opis	Minimalna prędkość przy której współczynnik ma zastosowanie [km/h]	Maksymalna prędkość przy której współczynnik ma zastosowanie [km/h]	Kategoria	$\alpha_m$ (63 Hz)	$\alpha_m$ (125 Hz)	$\alpha_m$ (250 Hz)	$\alpha_m$ (500 Hz)	$\alpha_m$ (1 kHz)	$\alpha_m$ (2 kHz)	$\alpha_m$ (4 kHz)	$\alpha_m$ (8 kHz)	$\beta_m$
			3	1.6	1.3	0.9	-0.4	-1.8	-2.1	-0.7	-0.2	0.5
			4a	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			4b	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Analizując dane przedstawione w powyższej tabeli należy stwierdzić, że model obliczeniowy CNOSSOS-EU, który od dnia 31 grudnia 2018 r. będzie obligatoryjnie stosowany w państwach członkowskich Unii Europejskiej, posiada zaimplementowane dane dotyczące tylko wybranych nawierzchni drogowych stosowanych powszechnie jedynie w kilku państwach europejskich. Dla pozostałych typów nawierzchni można wprowadzić współczynniki korygujące, o ile są one dostępne. Niestety w chwili obecnej nie są dostępne dane zwalidowane na odpowiedniej próbie dla najbardziej popularnych cichych nawierzchni stosowanych w Polsce (np.: BBTM). Może to powodować trudności w wykonywaniu obliczeń na potrzeby opracowań środowiskowych.

**Nawierzchnia referencyjna, do której porównywane są pozostałe typy nawierzchni w modelu CNOSSOS-EU (wykonana ze średnio zagęszczonego betonu asfaltowego 0/11 lub z mieszanki grysowo-mastyksowej 0/11 w wieku od 2 do 7 lat)** posiada dla wszystkich kategorii pojazdów zerowe współczynniki korygujące, co jest oczywiste. Należy natomiast zwrócić uwagę, że współczynniki korygujące dla pozostałych typów nawierzchni są zależne zarówno od kategorii i prędkości pojazdów, jak i od częstotliwości dźwięku. **W związku z tym łączna korekcja z uwagi na typ nawierzchni w modelu CNOSSOS-EU będzie się różnić w zależności od udziału procentowego danej kategorii pojazdów w potoku ruchu oraz od prędkości tych pojazdów.** Oddaje to w sposób zbliżony do rzeczywistości sposób działania nawierzchni cichych. Należy także podkreślić, że nie jest możliwe określenie jednolitego wskaźnika charakteryzującego redukcję poziomu hałasu w modelu CNOSSOS-EU dla konkretnego typu nawierzchni bez uwzględnienia wpływu powyższych parametrów. Jednolite współczynniki można natomiast stosować w obecnie stosowanych metodach obliczeniowych.

### **3. HAŁAS DROGOWY NA NAWIERZCHNIACH ASFALTOWYCH I Z BETONU CEMENTOWEGO**

Hałaśliwość nawierzchni związana jest z charakterystyką nawierzchni (teksturą oraz budową wewnętrzną). W trakcie eksploatacji hałaśliwość nawierzchni ulega zmianom z powodu degradacji nawierzchni (m.in. zmian właściwości powierzchniowe nawierzchniowych oraz zanieczyszczenia porów wewnętrznych). W celu precyzyjnego określenia zmian hałaśliwości nawierzchni istotne jest określenie degradacji nawierzchni. W 2005 r. na zlecenie GDDKiA powstała kompleksowa praca dotycząca tej tematyki [54]. Z powodu zmieniającej się floty pojazdów samochodowych, rosnącego natężenia ruchu oraz doskonalenia rozwiązań materiałowo-technologicznych stosowanych do wykonywania górnych warstw nawierzchni drogowych ważne jest prowadzenie ciągłych pomiarów właściwości nawierzchni drogowych w celu precyzyjnego określenia zmian trwałości rozwiązań materiałowych i skuteczności prowadzonych zabiegów utrzymaniowych. Coraz bardziej powszechne stosowanie technologii wcześniej będących jedynie rozwiązaniami prototypowymi prowadzi do poprawy trwałości nawierzchni [55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62].

#### **3.1. Bazy krajowe**

W Polsce nie występują jednolite i zunifikowane bazy zawierające informacje o hałaśliwości nawierzchni drogowych. W Polsce istnieje bardzo rozległa baza zawierająca informacje z Generalnych Pomiarów Hałasu (GPH) w GDDKiA – stwierdzić jednak należy, że metodyka stosowana do pomiarów stanowiących tę bazę nie daje się w bezpośredni wykorzystać do określenia hałaśliwości nawierzchni drogowych.

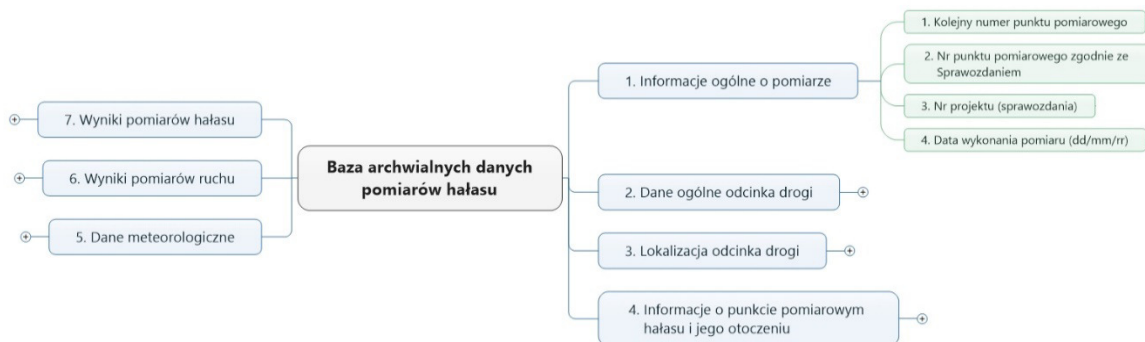
W oparciu o bazy GDDKiA, występujące głównie dla nawierzchni asfaltowych, Generalne Pomiarowe Hałasu (GPH) z dwóch cykli wykonanych co 5 lat mogą być przydatne do określenia zmian w hałasie w otoczeniu drogi i w pośrednim wnioskowaniu o zmianach w hałaśliwości nawierzchni. Wnioskowanie takie może jednak być obciążone dużymi błędami ze względu na zmieniające się natężenie pojazdów samochodowych oraz ich zmieniającą się specyfikę techniczną (m.in. poprawę jakości floty pojazdów poruszających się po drogach). Z tymi bazami mogą być w niektórych przypadkach skorelowane analizy porealizacyjne, monitoringi, przeglądy ekologiczne; w tych przypadkach jednak dane mogą często być rozproszone.

Innym źródłem informacji mogą być studia przypadku w ramach prac badawczych prowadzonych przez jednostki naukowe, zarządców dróg oraz firmy drogowe:

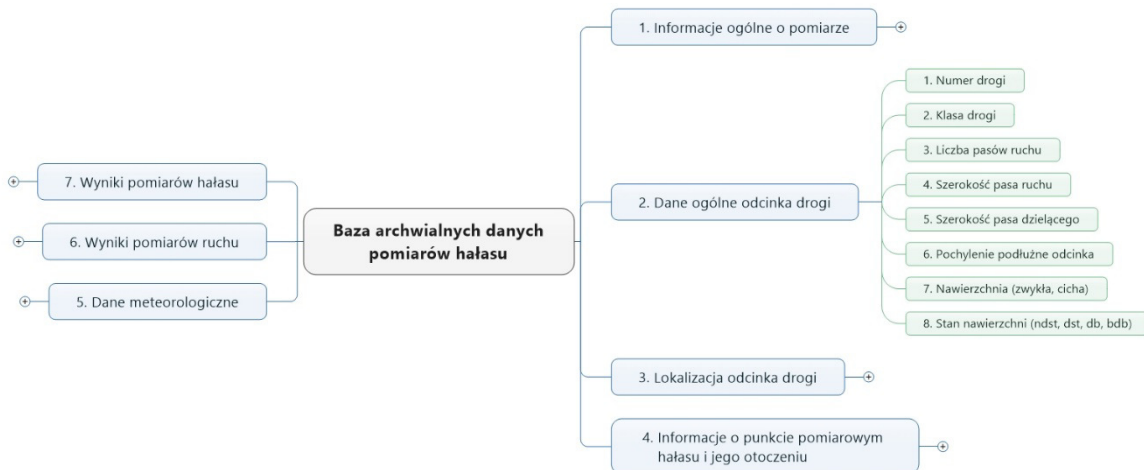
- GDDKiA: pojedyncze pomiary (obwodnica Mszczonowa)
- Zarządy Dróg Wojewódzkich:
  - ZDW Kraków, Rzeszów – nawierzchnie porowate (w tym efekt utraty ,
  - ZDW Katowice – nawierzchnie bitumiczne (asfalt modyfikowany)
  - Poznań (dodatek gumy), Kraków (SMA8)
- Wybrane miasta;



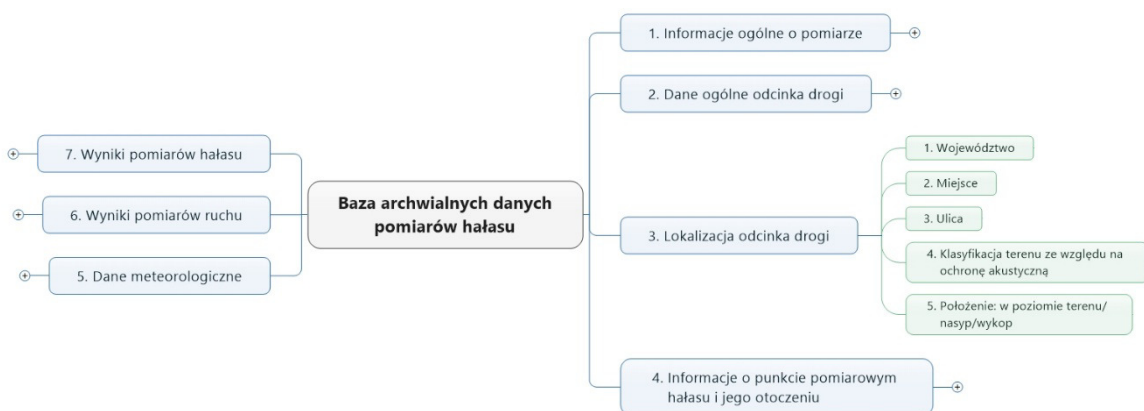
*Projekt RID – I/76 Ochrona przed hałasem drogowym*  
**Zadanie 5. Ocena nawierzchni drogowych pod względem hałaśliwości wraz z katalogiem klasyfikacyjnym nawierzchni drogowych**



Rys. 3.2 Budowa bazy danych – struktura, zawartość. Informacje ogólne o pomiarze.



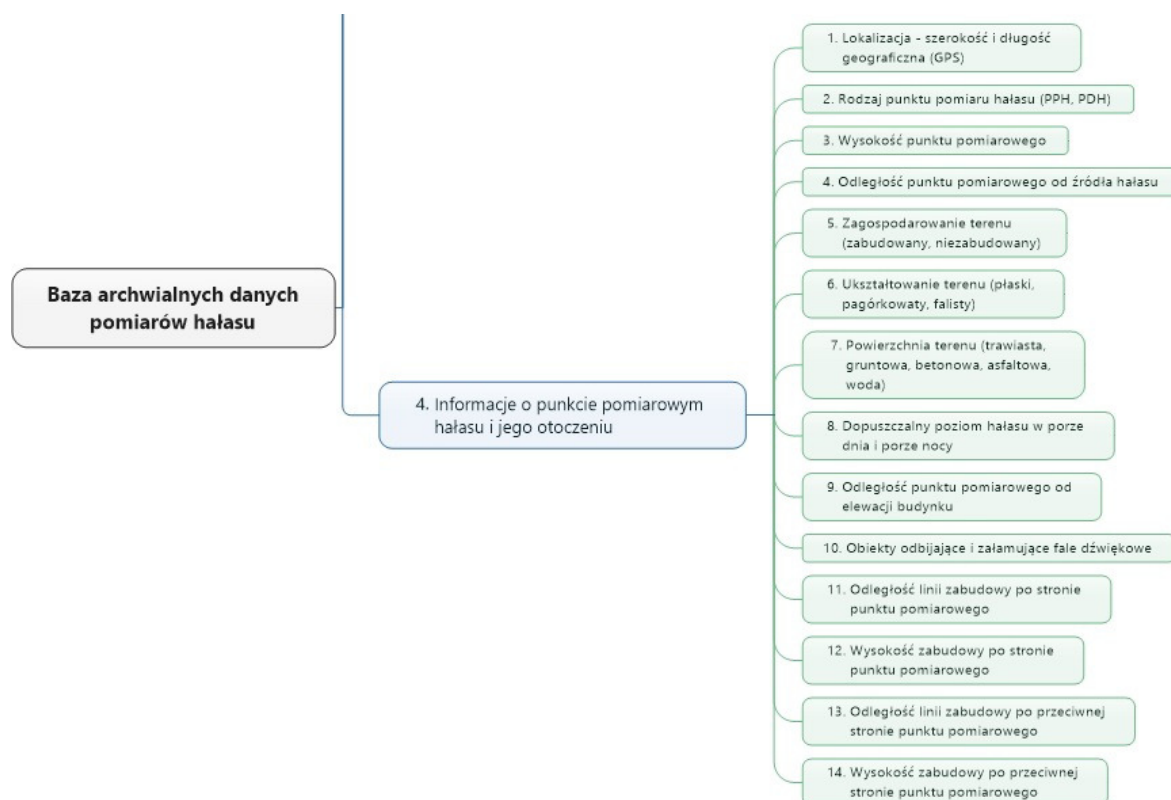
Rys. 3.3 Budowa bazy danych – struktura, zawartość. Dane ogólne odcinka drogi.



Rys. 3.4 Budowa bazy danych – struktura, zawartość. Lokalizacja odcinka drogi.



Projekt RID – I/76 Ochrona przed hałasem drogowym  
 Zadanie 5. Ocena nawierzchni drogowych pod względem hałaśliwości wraz z katalogiem  
 klasyfikacyjnym nawierzchni drogowych



Rys. 3.5 Budowa bazy danych – struktura, zawartość. Informacje o punkcie pomiarowym hałasu i jego otoczeniu.



Rys. 3.6 Budowa bazy danych – struktura, zawartość. Dane meteorologiczne.

Zadanie 5. Ocena nawierzchni drogowych pod względem hałaśliwości wraz z katalogiem klasyfikacyjnym nawierzchni drogowych



Rys. 3.7 Budowa bazy danych – struktura, zawartość. Wyniki pomiarów ruchu.



Rys. 3.8 Budowa bazy danych – struktura, zawartość. Wyniki pomiarów hałasu.

### 3.2. Bazy zagraniczne

Długookresowe obserwacje w zakresie degradacji nawierzchni oraz zmian hałasu drogowego są niezbędne do określenia właściwych kryteriów projektowych oraz wyboru technologii. Przykładem długoterminowych obserwacji są wyniki prezentowane w pracach [63, 64, 65].

Długoterminowy program badawczy wraz z opisem pomiarów hałasu oraz koncepcją rozwoju nawierzchni obniżających hałas drogowy został przedstawiony w pracach Washington DOT w USA [66, 67, 68]. Należy zaznaczyć, że obecnie program ten nie jest kontynuowany.

Bardzo duży zasób informacji gromadzony jest w USA w bazach prowadzonych w ramach programu LTPP (The Long-Term Pavement Performance program)<sup>2</sup>. Informacje gromadzone w LTPP nie zawierają jednak informacji o hałaśliwości nawierzchni a jedynie o stanie degradacji nawierzchni.

<sup>2</sup> <https://www.fhwa.dot.gov/research/tfhrc/programs/infrastructure/pavements/ltp/faq.cfm>

<https://infopave.fhwa.dot.gov/>

## **4. HAŁAS ŚRODOWISKOWY NAWIERZCHNI ASFALTOWYCH I BETONOWYCH**

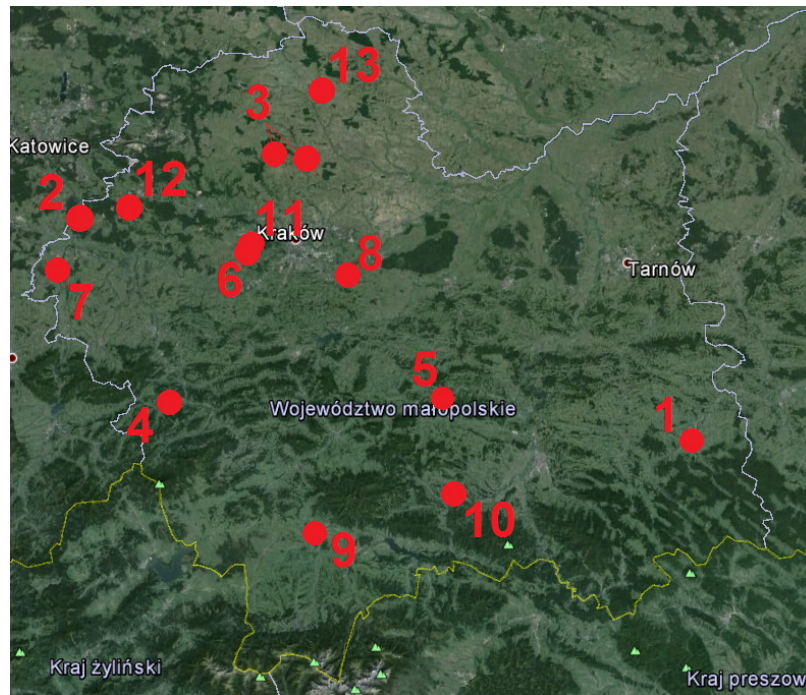
### **4.1. Badania hałasu środowiskowego nawierzchni BBTM**

W poniższym rozdziale przedstawiono wyniki badań, wykonanych przez Zarząd Dróg Wojewódzkich w Krakowie w ramach opracowania pn.: „Materiały do wniosku o dofinansowanie z WFOŚiGW nawierzchni redukującej hałas wraz z dodatkowymi elementami mającymi wpływ na zmniejszenie hałasu na odcinkach dróg wojewódzkich Województwa Małopolskiego” [69, 70].

Zestawienie odcinków dróg wojewódzkich, na których zastosowano nawierzchnie redukujące hałas oraz w sąsiedztwie których przeprowadzono badania przedstawiono poniżej oraz na Rys. 4.1:

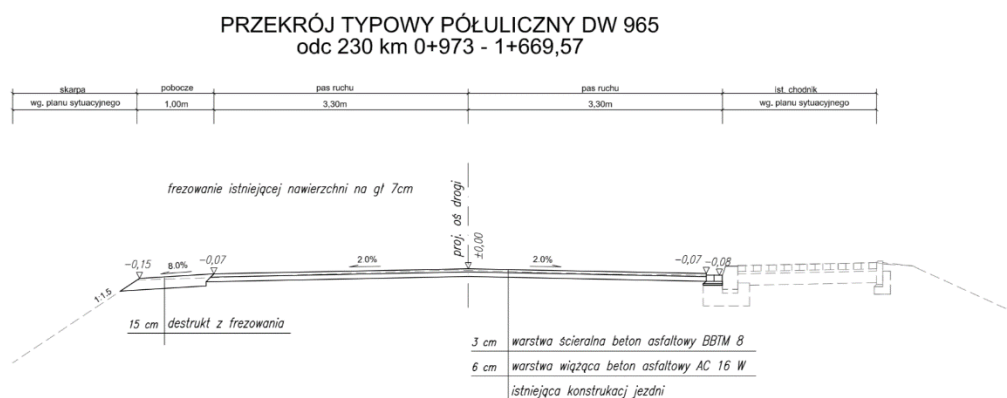
1. Droga wojewódzka nr 993 w Gorlicach - ul. Dukielska (długość: 1.0 km),
2. Droga wojewódzka nr 780 na odcinku Libiąż – Chełmek (długość: 2.2 km),
3. Droga wojewódzka nr 773 na odcinku Skała - Iwanowice (długość: 2.4 km),
4. Droga wojewódzka nr 946 w Suchej Beskidzkiej (długość: 2.0 km),
5. Droga wojewódzka nr 965 na odcinku Młynne - Limanowa (długość: 1.5 km),
6. Droga wojewódzka nr 780 w Liskach (długość: 0.5 km),
7. Droga wojewódzka nr 948 na odcinku Oświęcim - Kęty (długość: 2.1 km),
8. Droga wojewódzka nr 964 na odcinku Wieliczka - Zakrzów (długość: 2.8 km),
9. Droga wojewódzka nr 957 w Nowym Targu (długość: 1.1 km),
10. Droga wojewódzka nr 969 na odcinku Łącko - Czerniec (długość: 2.4 km),
11. Droga wojewódzka nr 774 w Kryspinowie (długość: 1.1 km),
12. Droga wojewódzka nr 781 w Chrzanowie - ul. Szpitalna (długość: 1.5 km),
13. Droga wojewódzka nr 783 w Miechowie (długość: 0.7 km).

*Projekt RID – I/76 Ochrona przed hałasem drogowym*  
 Zadanie 5. Ocena nawierzchni drogowych pod względem hałaśliwości wraz z katalogiem  
 klasyfikacyjnym nawierzchni drogowych



Rys. 4.1 Orientacyjna lokalizacja odcinków dróg wojewódzkich, na których zastosowano nawierzchnie o obniżonej hałaśliwości w Województwie Małopolskim [52, 53].

Na każdym z odcinków zastosowano nawierzchnię redukującą hałas, która składała się z pakietu warstwy ścieralnej o grubości 3 cm i warstwy wiążącej. Na dwunastu z nich wykonano ją z mieszanki mineralno-asfaltowej o nieciągłym uziarnieniu BBTM. Maksymalna średnica ziaren w tych przypadkach była równa 8 mm. Zastosowane rozwiązanie tworzyło strukturę otwartą z podwyższoną zawartością wolnych przestrzeni. Nawierzchnie te posiadały także dodatek granulatu gumowo - asfaltowego. Na jednym z badanych odcinków (droga wojewódzka nr 780 w Liszkach) warstwa ścieralna została wykonana z mastyksu grysowego SMA o maksymalnej średnich ziaren równej 5 mm. W skład pakietu, na wszystkich odcinkach dróg, wchodziła także warstwa wiążąca z betonu asfaltowego AC 16W o grubości co najmniej 6 cm [52, 53]. Przykładowy przekrój typowy przedstawiono poniżej na Rys. 4.2



Rys. 4.2 Typowy przekrój poprzeczny konstrukcji nawierzchni zastosowanej na badanych odcinkach dróg [71]

Z uwagi na fakt, iż natężenie ruchu drogowego jest jednym z czynników decydujących o poziomie hałasu w otoczeniu tras komunikacyjnych [72, 73, 74, 75] konieczne było, aby zakres badań obejmował także ten parametr. W związku z tym na każdym z analizowanych odcinków dróg wojewódzkich wykonane zostały pomiary natężenia ruchu wraz z określeniem jego struktury rodzajowej. Dzięki temu możliwe było także określenie udziału procentowego samochodów ciężarowych w potoku ruchu, co także jest znaczącym wskaźnikiem w kontekście oddziaływania akustycznego. Pomiary natężenia ruchu zostały wykonane w czasie 24 godzin (pełnej doby) w przekrojach zlokalizowanych na analizowanych odcinkach dróg wojewódzkich. Na każdym z nich pomiary wykonywane były przed i po realizacji nawierzchni redukującej hałas w tym samym czasie, co pomiary równoważnego poziomu dźwięku. Wyniki pomiarów przedstawia Tab. 4.1 poniżej [69, 70]

Należy podkreślić, że na wyniki pomiarów równoważnego poziomu dźwięku w środowisku, oprócz przejeżdżających samochodów, wpływają także inne źródła hałasu nie pochodzące bezpośrednio od oddziaływania akustycznego pojazdów. Aby wyeliminować ich wpływ na wyniki pomiarów redukcji hałasu przez nawierzchnie drogowe, zdecydowano się wykonać analizę wyników badań w zawężonym zakresie częstotliwości (od 1000 Hz do 2500 Hz). Głównie w tym zakresie częstotliwości jest generowany hałas pochodzący od interakcji kół pojazdów i nawierzchni drogi, na co wskazują liczne pozycje literaturowe (m.in.: Morgan P., „Guidance manual for the implementation of low-noise road surfaces”. FEHRL, 2006; Peeters B. i Kuijpers A., „The effect of porous road surfaces on radiation and propagation of tyre noise”, *Acoustics*, 2008, s. 4305–4310).

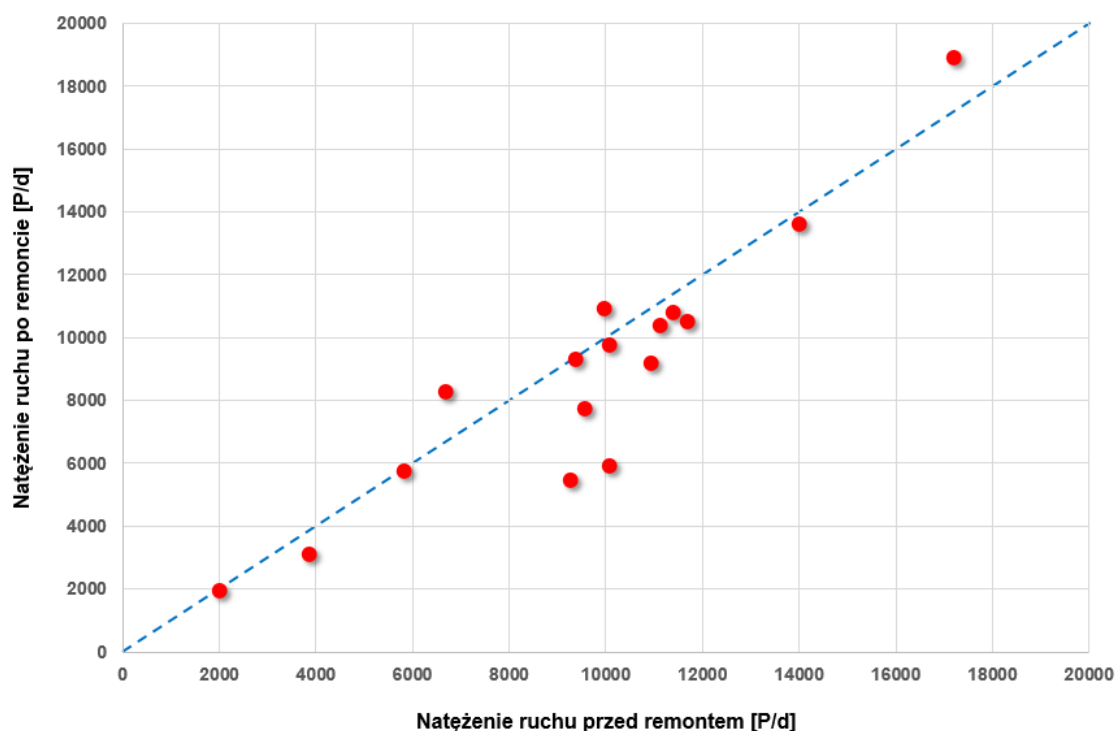
Pomiary równoważnego poziomu dźwięku wykonywane były przy użyciu korekcji A. Jest ona stosowana do pomiarów hałasu drogowego. Wyniki pomiarów dla poszczególnych częstotliwości środkowych pasm 1/3 oktaowych są także korygowane przez tę krzywą, zgodnie z typowo stosowanymi procedurami pomiarowymi.

*Projekt RID – I/76 Ochrona przed hałasem drogowym*  
**Zadanie 5. Ocena nawierzchni drogowych pod względem hałaśliwości wraz z katalogiem klasyfikacyjnym nawierzchni drogowych**

Tab. 4.1 Wyniki pomiaru natężenia ruchu w przekrojach odcinków dróg wojewódzkich objętych zakresem badań [69, 70]

Nr przekroju	Odcinek drogi	Wyniki pomiarów przed realizacją o obniżonej hałaśliwości [Pojazdy/doba]			Wyniki pomiarów po realizacji o obniżonej hałaśliwości [Pojazdy/doba]		
		Lekkie	Ciężkie	Suma	Lekkie	Ciężkie	Suma
1	DW nr 993 w Gorlicach	8906	623	9529	7312	499	7811
2	DW nr 780 Libiąż - Chelmek	9850	1245	11095	9361	1110	10471
3A	DW nr 773 Skała - Iwanowice	3551	285	3836	2962	171	3133
3B	DW nr 773 Skała - Iwanowice	1792	182	1974	1850	155	2005
4	DW nr 946 w Suchej Beskidzkiej	10121	780	10901	8706	506	9212
5	DW nr 965 Młynne - Limanowa	5147	629	5776	5407	368	5775
6	DW nr 780 w Liszkach	12512	1465	13977	12437	1211	13648
7	DW nr 948 Oświęcim - Kęty	10300	1076	11376	9828	1005	10833
8A	DW nr 964 Wieliczka - Zakrzów	8780	1183	9963	9514	1424	10938
8B	DW nr 964 Wieliczka - Zakrzów	5786	858	6644	7367	956	8323
9	DW nr 957 w Nowym Targu	16188	984	17172	17826	1152	18978
10A	DW nr 969 Łącko - Czerniec	8822	401	9223	5011	468	5479
10B	DW nr 969 Łącko - Czerniec	9583	463	10046	5467	497	5964
11	DW nr 774 w Kryspinowie	10634	1034	11668	9672	867	10539
12	DW nr 781 w Chrzanowie	8806	559	9365	8851	496	9347
13	DW nr 783 w Miechowie	9325	729	10054	8981	850	9831

Analizując wyniki pomiarów przedstawionych w powyższej tabeli, należy zauważyć, że w zdecydowanej większości przypadków natężenie ruchu zmierzone przed wykonaniem remontu nie różniło się w znaczący sposób od natężenia ruchu zmierzonego po wykonaniu nowych nawierzchni (Rys. 4.3). W związku z powyższym możliwe było bezpośrednie porównanie wyników poziomu hałasu dla obydwu sytuacji analizowanych w ramach opracowania. Nie stosowano w związku z tym współczynników korekcyjnych z uwagi na różnice w natężeniu ruchu [69, 70].



Rys. 4.3 Zestawienie wyników pomiarów natężenia ruchu przed i po zastosowaniu nawierzchni redukujących hałas na badanych odcinkach dróg [69, 70]

Największe różnice można zaobserwować w przypadku drogi wojewódzkiej nr 969 Łącko - Czerniec. Natężenie ruchu przed realizacją nowej nawierzchni było większe o odpowiednio 3744 pojazdów na dobę w punkcie 10A i 4082 pojazdów na dobę w punkcie 10B. Należy natomiast zauważyć, że natężenie ruchu pojazdów ciężkich w obydwu punktach było większe po przeprowadzeniu remontu. Różnice te wynikały z turystycznego charakteru tej drogi, która w okresie około wakacyjnym prowadzi ruch turystyczny w stronę m.in.: Krościenka, Szczawnicy czy Nowego Sącza, tj. atrakcyjnych turystycznie miejscowości w południowej Polsce. Pomiary porealizacyjne wykonywane były poza tym okresem, co ma bezpośrednie odzwierciedlenie w dużo mniejszej liczbie pojazdów lekkich poruszających się po tym odcinku drogi. W pozostałych przypadkach różnice te nie miały większego wpływu na wyniki pomiarów hałasu. Wpływ wyników pomiarów natężenia ruchu został uwzględniony we wnioskach dotyczących redukcji poziomu hałasu sformułowanych w dalszej części rozdziału.

Kolejnym parametrem charakteryzującym potok ruchu, który ma znaczący wpływ na oddziaływanie akustyczne w sąsiedztwie tras komunikacyjnych jest prędkość, z jaką poruszają się pojazdy [72, 73, 74, 75]. W związku z tym, zakres badań obejmował także pomiary prędkości. Wykonano je w tych samych przekrojach, w których wykonywano także pomiary równoważnego poziomu dźwięku i natężenia ruchu [69, 70]. Wyniki pomiarów prędkości posłużyły, podobnie jak wyniki pomiarów natężenia ruchu, do analiz akustycznych i miały wpływ na formułowane wnioski w dalszej części rozdziału.

W celu określenia prędkości samochodów poruszających się po analizowanych odcinkach dróg, mierzono za pomocą stoperów czasy przejazdu pojazdów przez ustaloną bazę pomiarową o długości 100 m [76, 77, 78]. Następnie dokonano przeliczenia wyników pomiarów czasu przejazdów i otrzymano wartości prędkości pojazdów poruszających się po analizowanych odcinkach dróg. Z uwagi na fakt, że czasy przejazdu przez bazę pomiarową mierzono w podziale na pojazdy lekkie oraz ciężkie możliwe było określenie średniej prędkości dla każdej z tych grup osobno. Wyniki pomiarów prędkości przedstawiono poniżej (Tab. 4.2).

Wyniki badań przedstawione w zakresie częstotliwości od 1000 Hz do 2500 Hz reprezentują przede wszystkim redukcję hałasu pochodzącego od ruchu pojazdów poprzez zastosowaniem cichych nawierzchni, co stanowiło główny przedmiot badań. Jeżeli zakres ten zostałby rozszerzony do całego obserwowanego widma częstotliwości, redukcja poziomu dźwięku byłaby mniejsza, ponieważ uwzględniałaby także wpływ innych źródeł dźwięku występujących w środowisku, których poziom nie jest redukowany przez nawierzchnie drogowe (np. związanych z aktywnością ludzi, zwierząt, czy powodowane zjawiskami meteorologicznymi). Ograniczenie analizy wyników do powyższych częstotliwości dźwięku jest uzasadnione ponieważ głównym celem badań było określenie redukcji hałasu pochodzącego od pojazdów poprzez zastosowanie cichych nawierzchni drogowych.



*Projekt RID – I/76 Ochrona przed hałasem drogowym*  
 Zadanie 5. Ocena nawierzchni drogowych pod względem hałaśliwości wraz z katalogiem  
 klasyfikacyjnym nawierzchni drogowych

Tab. 4.2 Wyniki pomiaru prędkości pojazdów w przekrojach odcinków dróg wojewódzkich objętych zakresem badań [69, 70]

Nr punktu pomiarowego	Odcinek drogi	Wyniki pomiarów przed realizacją o obniżonej hałaś. [km/h]		Wyniki pomiarów po realizacji o obniżonej hałaś. [km/h]		Różnica wyników pomiarów przed i po realizacji o obniżonej hałaśliwości [km/h]	
		Lekkie	Ciężkie	Lekkie	Lekkie	Ciężkie	Lekkie
1A	DW nr 993 w Gorlicach	45	40	55	50	10	10
1B		70	65	85	85	15	20
2A	DW nr 780 Libiąż – Chełmek	50	50	65	60	15	10
2B		50	50	60	55	10	5
3A	DW nr 773 Skąła – Iwanowice	65	60	75	75	10	15
3B		85	75	75	70	-10	-5
4A	DW nr 946 w Suchej Beskidzkiej	55	55	70	65	15	10
4B		55	55	85	70	30	15
5A	DW nr 965 Młynne – Limanowa	60	55	65	60	5	5
5B		60	55	55	50	-5	-5
6A	DW nr 780 w Liszkach	45	40	55	55	10	15
6B		40	35	60	55	20	20
7A	DW nr 948 Oświęcim – Kęty	75	65	70	60	- 5	- 5
7B		70	70	75	70	5	0
8A	DW nr 964 Wieliczka – Zakrzów	55	40	55	50	0	10
8B		65	50	80	75	15	25
9A	DW nr 957 w Nowym Targu	45	45	55	50	10	5
9B		45	45	55	50	10	5
10A	DW nr 969 Łącko – Czerniec	65	55	55	45	- 10	- 10
10B		65	65	60	45	- 5	- 20
11A	DW nr 774 w Kryspinowie	70	65	70	65	0	0
11B		60	50	60	50	0	0
12A	DW nr 781 w Chrzanowie	55	45	65	60	10	15
12B		55	45	65	55	10	10
13A	DW nr 783 w Miechowie	60	55	55	50	- 5	- 5
13B		60	55	50	45	- 10	- 10

Analizując wyniki pomiarów prędkości stwierdzono, że po wymianie nawierzchni na nową, prędkości zarówno pojazdów lekkich, jak i ciężkich uległy zwiększeniu na zdecydowanej większości odcinków dróg wojewódzkich. Poprawa warunków ruchu zachęca kierowców do szybszej jazdy. Jest to zjawisko, które bardzo często można zaobserwować po wykonaniu prac remontowych, których jednym z celów jest wymiana starej nawierzchni na nową [79, 80]. Wzrost prędkości, która jest jednym z głównych czynników wpływających na poziom hałasu przy drogach, ma wpływ na wyniki wykonanych pomiarów hałasu w ramach niniejszego opracowania. Wyniki te zostały uwzględnione we wnioskach dotyczących redukcji poziomu hałasu po zastosowaniu nawierzchni redukujących hałas sformułowanych w dalszej części rozdziału.

Pomiary równoważnego poziomu dźwięku stanowiły główny cel analiz związanych z zastosowaniem nawierzchni redukujących hałas na odcinkach dróg wojewódzkich. Pomiary te wykonywane były za pomocą jednej z referencyjnych metod stosowanych do oceny oddziaływania akustycznego tras komunikacyjnych na środowisko w Polsce – metody referencyjnej. Procedura użyta do wykonania pomiarów jest opisana w rozporządzeniu [81] **Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania..** W celu jak najdokładniejszego zbadania redukcji hałasu, jaka nastąpiła po zastosowaniu nowych nawierzchni przyjęto nieznaczną modyfikację tej metody, która polegała na dodatkowym zastosowaniu w miernikach poziomu dźwięku filtrów 1/3 oktaowych, co nieco szerzej opisano poniżej. Pomiary hałasu wykonano łącznie w 26 punktach w dwóch seriach pomiarowych - przed i po realizacji cichych nawierzchni. Punkty te były zlokalizowane w sąsiedztwie każdego odcinka drogi objętego zakresem badań (po dwa punkty w sąsiedztwie każdego odcinka drogi) [69, 70].

We wszystkich przypadkach pomiary wykonywane były w punktach referencyjnych zlokalizowanych w odległości 10 m od krawędzi skrajnego pasa ruchu, na wysokości 4 m nad poziomem terenu (Fot. 4.1). Lokalizacja punktu pomiarowego przed i po realizacji cichych nawierzchni nie ulegała zmianie. Pozwoliło to na bezpośrednie porównanie wyników pomiarów w obydwu tych sytuacjach. Możliwe było również określenie redukcji poziomu dźwięku zarówno w całym obserwowanym widmie, jak i w poszczególnych częstotliwościach środkowych pasm 1/3 oktaowych. Dodatkowo zachowane były dopuszczalne odchyłki od lokalizacji mikrofonów pomiarowych w stosunku do źródła dźwięku, aby wyeliminować ich wpływ na wyniki pomiarów, co może mieć miejsce, szczególnie w pomiarach wykonywanych „in situ” [82].



Fot. 4.1 Przykładowa lokalizacja miernika poziomu dźwięku w trakcie wykonywania badań

W każdym z punktów pomiarowych wykonywano dodatkowo pomiary poziomu dźwięku z użyciem filtrów 1/3 oktawowych w celu określenia charakterystyki częstotliwościowej hałasu generowanego przez przejeżdżające pojazdy przed i po realizacji cichych nawierzchni. Pozwoliło to na określenie właściwości akustycznych nawierzchni drogowych w sposób bardziej precyzyjny. Należy zwrócić uwagę, że na dwunastu odcinkach dróg zostały zastosowane nawierzchnie porowate, które z reguły mają dobre właściwości pochłaniania dźwięku [83]**Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania..** Liczne pozycje literaturowe, m.in.: [84, 85] wskazują, że pochłanianie dźwięku przez nawierzchnie drogowe porowate jest szczególnie widoczne w zakresie od 800 Hz do 1600 Hz. Dodatkowo należy zwrócić także uwagę na porowatość powierzchniową nawierzchni drogowych, która powoduje ograniczenie hałasu w nieco szerszym zakresie częstotliwościowym, który maleje przy częstotliwości 2500 Hz [86]. Właściwości te związane są ze zjawiskami aerodynamicznymi występującymi na styku kół pojazdów i nawierzchni [84]**Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania..** Mechanizm działania materiałów porowatych polega na utracie energii fali akustycznej poprzez zwiększone odbicia dźwięku wewnątrz struktury porowatej oraz poprzez tarcie cząsteczek powietrza o ścianki porów, co powoduje zamianę energii akustycznej na energię cieplną [87]. Zjawiska pochłaniania dźwięku w opisanym wyżej zakresie częstotliwości można zaobserwować, analizując wyniki pomiarów wykonanych w sąsiedztwie odcinków dróg wojewódzkich w południowej Polsce. Przedstawiono je poniżej dla wszystkich odcinków dróg w postaci równoważnego poziomu dźwięku zmierzonego w całym analizowanym widmie (Tab. 4.3) oraz dla wybranych trzech odcinków w poszczególnych pasmach środkowych częstotliwości 1/3 oktawowych (Rys. 4.4 - Rys. 4.6).

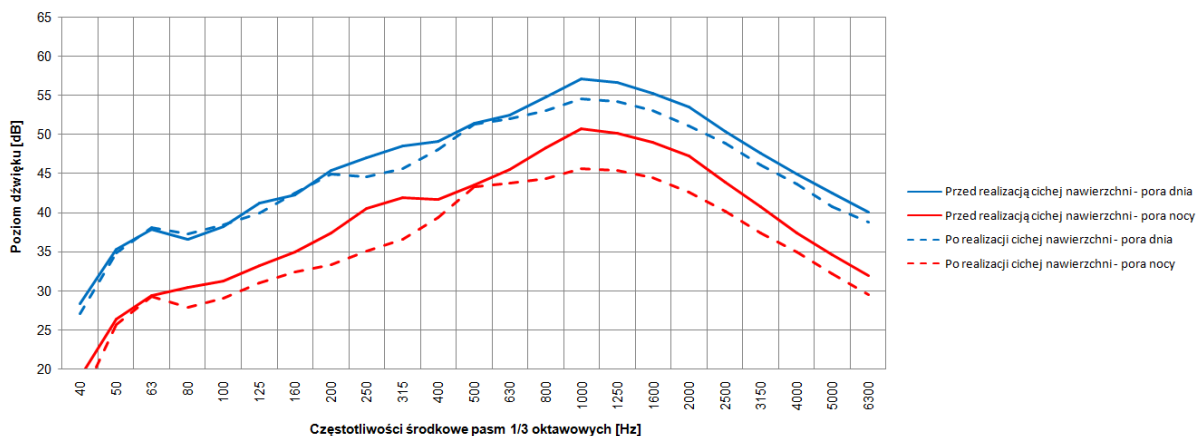
Tab. 4.3 Wyniki pomiarów równoważnego poziomu dźwięku przed i po zastosowaniu nawierzchni o obniżonej hałaśliwości na badanych odcinkach dróg [69, 70]

*Projekt RID – I/76 Ochrona przed hałasem drogowym*  
 Zadanie 5. Ocena nawierzchni drogowych pod względem hałaśliwości wraz z katalogiem  
 klasyfikacyjnym nawierzchni drogowych

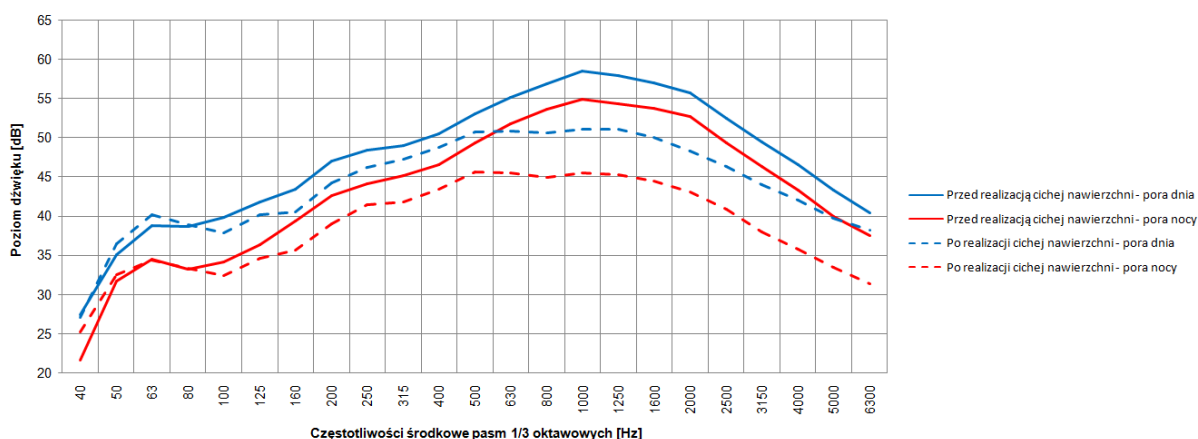
Nr punktu pomiarowego	Odcinek drogi	Wyniki pomiarów przed realizacją nawierzchni o obniżonej hałaśliwości [dB]		Wyniki pomiarów po realizacji nawierzchni o obniżonej hałaśliwości [dB]		Różnica wyników pomiarów przed i po realizacji nawierzchni o obniżonej hałaśliwości * [dB]	
		Pora dnia	Pora nocy	Pora dnia	Pora dnia	Pora nocy	Pora dnia
1A	DW nr 993 w Gorlicach	64.1	57.5	62.3	53.6	-1.8	-3.9
1B		65.5	58.3	63.4	54.3	-2.1	-4.0
2A	DW nr 780 Libiąż – Chełmek	66.1	63.4	64.4	59.5	-1.7	-3.9
2B		65.8	62.4	60.4	55.0	-5.4	-7.4
3A	DW nr 773 Skała – Iwanowice	64.0	58.4	59.9	52.0	-4.1	-6.4
3B		62.1	56.8	58.6	50.9	-3.5	-5.9
4A	DW nr 946 w Suchej Beskidzkiej	66.2	60.8	63.0	53.1	-3.2	-7.7
4B		67.7	62.1	62.6	57.3	-5.1	-4.8
5A	DW nr 965 Młynne – Limanowa	65.9	60.1	64.3	56.7	-1.6	-3.4
5B		65.0	58.6	62.2	54.9	-2.8	-3.7
6A	DW nr 780 w Liszkach	66.5	61.2	66.9	61.7	+0.4	+0.5
6B		67.7	61.9	65.7	59.7	-2.0	-2.2
7A	DW nr 948 Oświęcim – Kęty	68.9	64.7	66.3	61.8	-2.6	-2.9
7B		68.1	63.7	63.6	59.1	-4.5	-4.6
8A	DW nr 964 Wieliczka – Zakrzów	66.7	61.2	64.2	57.2	-2.5	-4.0
8B		66.0	60.5	65.8	59.4	-0.2	-1.1
9A	DW nr 957 w Nowym Targu	67.3	61.8	65.3	58.8	-2.0	-3.0
9B		66.9	60.6	63.9	56.0	-3.0	-4.6
10A	DW nr 969 Łącko – Czerniec	68.1	62.9	63.7	55.7	-4.4	-7.2
10B		67.8	62.0	62.9	55.5	-4.9	-6.5
11A	DW nr 774 w Kryspinowie	69.8	63.8	66.7	58.1	-3.1	-5.7
11B		67.3	61.2	62.3	55.5	-5.0	-5.7
12A	DW nr 781 w Chrzanowie	66.2	60.9	61.0	54.5	-5.2	-6.4
12B		64.7	59.5	61.5	55.3	-3.2	-4.2
13A	DW nr 783 w Miechowie	66.4	61.5	62.7	57.7	-3.7	-3.8
13B		67.1	61.2	64.1	58.0	-3.0	-3.2

Projekt RID – I/76 Ochrona przed hałasem drogowym  
Zadanie 5. Ocena nawierzchni drogowych pod względem hałaśliwości wraz z katalogiem  
klasyfikacyjnym nawierzchni drogowych

\*) Wartość ujemna oznacza spadek poziomu dźwięku po zastosowaniu nawierzchni redukującej hałas

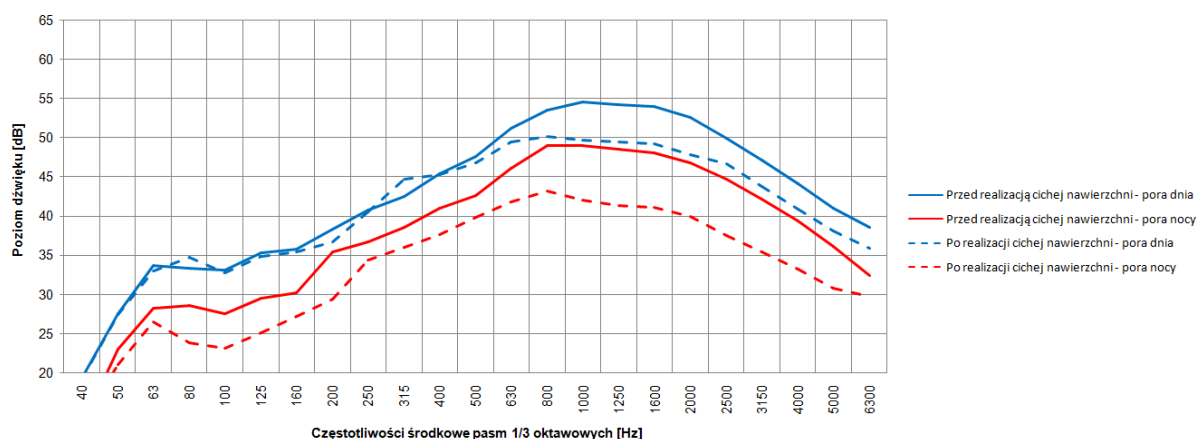


Rys. 4.4 Wyniki pomiarów poziomu dźwięku dla częstotliwości środkowych pasm 1/3 oktawowych w punkcie 1A zlokalizowanym na odcinku drogi wojewódzkiej nr 993 w Gorlicach [69, 70]



Rys. 4.5 Wyniki pomiarów poziomu dźwięku dla częstotliwości środkowych pasm 1/3 oktawowych w punkcie 2B zlokalizowanym na odcinku drogi wojewódzkiej nr 780 Libiąż – Chełmek [69, 70]

## Zadanie 5. Ocena nawierzchni drogowych pod względem hałaśliwości wraz z katalogiem klasyfikacyjnym nawierzchni drogowych



Rys. 4.6 Wyniki pomiarów poziomu dźwięku dla częstotliwości środkowych pasm 1/3 oktaowych w punkcie 3B zlokalizowanym na odcinku drogi wojewódzkiej nr 773 Skąta – Iwanowice [69, 70]

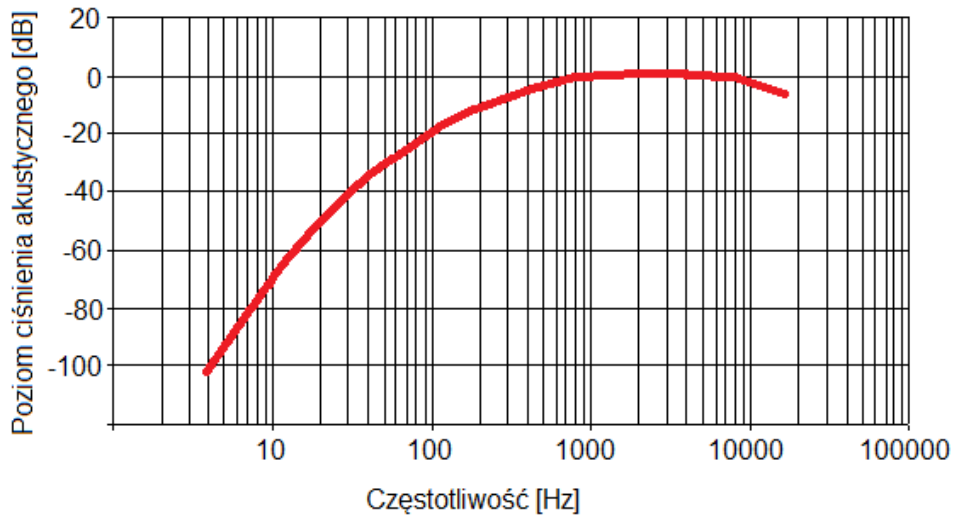
Wyniki pomiarów poziomu dźwięku, zarówno w całym obserwowanym widmie częstotliwościowym, jak i w podziale na częstotliwości środkowe pasm 1/3 oktaowych jednoznacznie wskazują na poprawę stanu klimatu akustycznego po zastosowaniu nawierzchni redukujących hałas na badanych odcinkach dróg. Efekt ten jest związany przede wszystkim z ograniczeniem dźwięku generowanego na styku kół pojazdów i nawierzchni drogi, ale także pochłanianiem dźwięku generowanego przez poruszający się pojazd przez nawierzchnie porowate [88] **Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania.** Hałas toczenia jest dominujący przy prędkościach wyższych od ok. 50 km/h (przy niższych prędkościach pojazdów dominującym źródłem dźwięku jest natomiast hałas pochodzący od silników pojazdów) [89, 90, 91, 92]. Pomimo faktu, iż wszystkie badane odcinki dróg wojewódzkich znajdowały się na terenach zabudowanych, dla których w Polsce obowiązuje ograniczenie prędkości pojazdów do 50 km/h, w zasadzie we wszystkich przypadkach ograniczenie to nie było przestrzegane zarówno przez kierowców samochodów lekkich, jak i ciężkich (Tab. 4.2). Zastosowanie cichych nawierzchni na odcinkach dróg o takich warunkach ruchu jest zatem działaniem bardzo korzystnym pod względem oddziaływania akustycznego pojazdów na środowisko. Ograniczenie oddziaływania dominującego źródła dźwięku (w tym przypadku hałasu toczenia) [89, 90, 91, 92]. w określonych warunkach spowoduje wymiennie największe korzyści i jest działaniem z reguły bardzo skutecznym.

Analizując wyniki pomiarów hałasu Chełmek (Tab. 4.3) [69, 70] należy zauważyć, że w przypadku każdego badanego odcinka drogi równoważny poziom dźwięku w punkcie zlokalizowanym w odległości 10 m od krawędzi jezdni na wysokości 4 m nad poziomem terenu uległ zmniejszeniu. Po zastosowaniu cichych nawierzchni na odcinkach dróg wojewódzkich nr 780 Libiąż – Chełmek, nr 946 w Suchej Beskidzkiej i nr 969 Łącko – Czerniec równoważny poziom dźwięku w porze nocnej został zmniejszony o ponad 7 dB. Należy stwierdzić, że jest to bardzo duża poprawa warunków akustycznych. W ostatnim przypadku (DW nr 969 Łącko – Czerniec) na wyniki pomiarów hałasu miała jednak wpływ różnica natężenia ruchu przed i po wykonaniu remontu. W trakcie wykonywania pomiarów hałasu po realizacji cichych nawierzchni natężenie ruchu na tym odcinku drogi było dużo niższe niż w trakcie wykonywania pomiarów przedrealizacyjnych (Tab. 4.1 **Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania.**). Jest to związane z turystycznym charakterem ruchu odbywającego się po tej drodze, o czym szerzej wspomniano w poprzedniej części

opracowania. Najmniejszą redukcję równoważnego poziomu dźwięku zaobserwowano natomiast w sąsiedztwie odcinka drogi wojewódzkiej nr 780 w Liszkach. W tym przypadku zastosowano inny rodzaj nawierzchni (SMA 5) niż na pozostałych odcinkach dróg (BBTM 8). Należy natomiast wspomnieć, że na wyniki pomiarów hałasu w tym przypadku miało wpływ zjawisko zwiększenia prędkości pojazdów po poprawie warunków ruchu (wymianie nawierzchni). Prędkość pojazdów lekkich zwiększyła się o 10 – 20 km/h, a ciężkich o 15 – 20 km/h **Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania.** Natężenie ruchu w obydwu sytuacjach (przed i po wykonaniu remontu) było natomiast na porównywalnym poziomie. Przy uwzględnieniu takich samych parametrów ruchu należy się spodziewać nieco większej redukcji hałasu na tym odcinku drogi.

Wyniki pomiarów poziomu hałasu w podziale na częstotliwości środkowe pasm 1/3 oktaawowych (tercji) potwierdzają poprawę stanu klimatu akustycznego po zastosowaniu nawierzchni redukujących hałas. W zdecydowanej większości punktów można zauważyć zmniejszenie poziomu dźwięku w szerokim zakresie częstotliwości. Analizując wyniki pomiarów należy natomiast pamiętać, że hałas pochodzący od pojazdów jest dominujący w węższym zakresie częstotliwości. Dźwięki o częstotliwościach niższych oraz wyższych z dużym prawdopodobieństwem nie pochodzą od ruchu pojazdów. Mogą one być związane z oddziaływaniem np.: ludzi, zwierząt, warunków pogodowych (np. podmuchy wiatru) lub innych zjawisk nie związanych z ruchem drogowym. Redukcja poziomu dźwięku po zastosowaniu cichych nawierzchni jest zatem najbardziej widoczna w przedziale od ok. 500 do ok. 2000 Hz. Potwierdzają to wyniki pomiarów przedstawione na Rys. 4.4 - Rys. 4.6. W zakresie tych częstotliwości środkowych pasm 1/3 oktaawowych następuje widoczne obniżenie poziomu dźwięku na skutek redukcji hałasu toczenia oraz pochłaniania dźwięku przez nawierzchnie porowate. Nawet w punktach, w których wyniki równoważnego poziomu dźwięku (w całym mierzonym widmie) wskazują na mniejszą redukcję poziomu dźwięku można zauważyć, że w zakresie częstotliwości środkowych dominujących dla ruchu drogowego następuje spadek poziomu dźwięku. Świadczy to o prawidłowym działaniu zastosowanych rozwiązań, a mniejsza redukcja w całym obserwowanym widmie częstotliwościowym wynika z wpływu innych źródeł hałasu, nie związanych z ruchem drogowym, na wyniki pomiarów.

Analizując wyniki pomiarów poziomu dźwięku w pasmach częstotliwościowych należy również mieć na uwadze przebieg krzywej korekcyjnej A. Jest on przedstawiony na Rys. 4.7 poniżej. Krzywa ta obrazuje „czułość” ucha ludzkiego na dźwięki o poszczególnych częstotliwościach. Analizując jej przebieg należy stwierdzić, że dźwięki w zakresie częstotliwości od ok. 1000 Hz do ok. 2000 Hz są najsilniej odczuwalne przez ludzi. Oddziaływanie dźwięków o niższych i wyższych częstotliwościach niż ten zakres, jest nieco mniej uciążliwe. Liczne pozycje literaturowe [83, 84, 85, 93] wskazują, że w celu ochrony przeciwhałasowej ważne jest, aby największe wartości współczynnika pochłaniania dźwięku nawierzchni drogowych znajdowały się jak najbliżej częstotliwości 1000 Hz. Wynika to z faktu, że dominujące wartości poziomu dźwięku pochodzącego od interakcji kół pojazdów i nawierzchni znajdują się w zakresie od 800 Hz do 1000 Hz, natomiast aż 70% poziomu dźwięku ważonego przez korekcję A jest generowane w częstotliwości środkowej pasma 1/3 oktaawowego równego właśnie 1000 Hz [94].



Rys. 4.7. Krzywa korekcyjna „A” przedstawiająca charakterystykę słyszenia (czułość) ucha ludzkiego [95]

Wyniki pomiarów w częstotliwościach wskazują w każdym przypadku na redukcję poziomu hałasu w zakresie częstotliwości od 1000 Hz do 2000 Hz, czyli w tym zakresie, który jest najbardziej czuły dla ucha ludzkiego. Można zatem stwierdzić, że zastosowanie nawierzchni redukujących hałas toczenia powoduje redukcję hałasu w częstotliwościach bardzo czułych dla ludzi. Zmniejszenie poziomu dźwięku w tych zakresach jest w większości przypadków dużo większe niż wskazują na to wyniki pomiarów w całym obserwowanym widmie częstotliwościowym.

Wyniki pomiarów hałasu przedstawione powyżej dotyczą warunków rzeczywistych występujących w środowisku zewnętrznym, w których na poziom dźwięku, oprócz przejeżdżających samochodów, wpływają również inne dźwięki nie pochodzące bezpośrednio od oddziaływania pojazdów. W związku z tym wykonano dodatkowo analizę, na podstawie której stwierdzono, w jakim stopniu nastąpiła redukcja hałasu pochodzącego tylko od toczenia kół pojazdów po nawierzchni drogi [69, 70]. Przeanalizowano poziomy dźwięku dla poszczególnych częstotliwości środkowych pasm 1/3 oktaowych w zakresie od 1000 Hz do 2500 Hz. Głównie w tym przedziale jest generowany hałas pochodzący od interakcji kół pojazdów i nawierzchni drogi. Częstotliwości, w których nastąpiła największa redukcja poziomu dźwięku są różne dla każdego z analizowanych odcinków dróg i zależą od wielu parametrów (m.in. struktura rodzajowa pojazdów, prędkość potoku ruchu itp.). Poniżej (

Tab. 4.4) przedstawiono zestawienie wyników pomiarów przed i po realizacji nawierzchni o obniżonej hałaśliwości dla wybranych częstotliwości środkowych pasm 1/3 oktaowych, które przedstawiają redukcję hałasu drogowego powstałą po realizacji prac remontowych i zastosowaniu nowych nawierzchni drogowych redukujących poziom dźwięku [69, 70]



*Projekt RID – I/76 Ochrona przed hałasem drogowym*  
**Zadanie 5. Ocena nawierzchni drogowych pod względem hałaśliwości wraz z katalogiem klasyfikacyjnym nawierzchni drogowych**

Tab. 4.4 Wyniki pomiarów hałasu dla wybranych częstotliwości środkowych pasm 1/3 oktaowych przed i po zastosowaniu nawierzchni o obniżonej hałaśliwości w sąsiedztwie odcinków dróg wojewódzkich objętych zakresem opracowania (wyniki reprezentatywne dla hałasu toczenia)

Nr punktu pomiarowego	Odcinek drogi wojewódzkiej	Wyniki pomiarów hałasu przed realizacją nawierzchni o obniżonej hałaśliwości dla wybranej częstotliwości środkowej pasm 1/3 oktaowych z zakresu od 1000 Hz do 2500 Hz [dB]	Wyniki pomiarów hałasu po realizacji nawierzchni o obniżonej hałaśliwości dla wybranej częstotliwości środkowej pasm 1/3 oktaowych z zakresu od 1000 Hz do 2500 Hz [dB]	Różnica wyników pomiarów hałasu przed i po realizacji nawierzchni o obniżonej hałaśliwości * [dB]
1	DW nr 993 w Gorlicach	51.2	46.0	-5.2
2	DW nr 780 Libiąż – Chełmek	55.0	45.6	-9.4
3	DW nr 773 Skała - Iwanowice	49.0	42.0	-7.0
4	DW nr 946 w Suchej Beskidzkiej	52.5	44.5	-8.0
5	DW nr 965 Młynne - Limanowa	53.5	49.2	-4.3
6	DW nr 780 w Liszkach	55.9	51.7	-4.1
7	DW nr 948 Oświęcim – Kęty	60.7	55.9	-4.8
8	DW nr 964 Wieliczka – Zakrzów	53.3	48.8	-4.5
9	DW nr 957 w Nowym Targu	53.2	47.1	-6.1

Nr punktu pomiarowego	Odcinek drogi wojewódzkiej	Wyniki pomiarów hałasu przed realizacją nawierzchni o obniżonej hałaśliwości dla wybranej częstotliwości środkowej pasm 1/3 oktaowych z zakresu od 1000 Hz do 2500 Hz [dB]	Wyniki pomiarów hałasu po realizacji nawierzchni o obniżonej hałaśliwości dla wybranej częstotliwości środkowej pasm 1/3 oktaowych z zakresu od 1000 Hz do 2500 Hz [dB]	Różnica wyników pomiarów hałasu przed i po realizacji nawierzchni o obniżonej hałaśliwości * [dB]
10	DW nr 969 Łącko - Czerniec	55.1	46.5	-8.6
11	DW nr 774 w Kryspinowie	60.8	53.9	-6.1
12	DW nr 781 w Chrzanowie	54.2	46.9	-7.3
13	DW nr 783 w Miechowie	53.7	48.6	-5.1

\*) Wartość ujemna oznacza spadek poziomu dźwięku po zastosowaniu nawierzchni redukującej hałas

Analizując wyniki pomiarów hałasu dla wybranych częstotliwości środkowych pasm 1/3 oktaowych przedstawione w powyższej tabeli należy stwierdzić, że hałas toczenia powstający na styku kół pojazdów i nawierzchni drogi został zredukowany o wartość co najmniej 4.1 dB po zastosowaniu nowych nawierzchni [69, 70]. W większości przypadków redukcja ta była większa. Wyniki pomiarów hałasu w tym zakresie świadczą o prawidłowym działaniu zastosowanych nawierzchni drogowych na każdym analizowanym odcinku drogi.

## 4.2. Badania hałasu środowiskowego w zakresie nawierzchni asfaltowych i betonowych

W poniżej analizie wykorzystano badania i wyniki opisywane w Zadaniu 2 oraz Zadaniu 3 Projektu, które dotyczyły zarówno nawierzchni asfaltowych, jak i betonowych. W analizach wykorzystano także wyniki dla nawierzchni BBTM 8 i SMA 5 (opis w poprzednim punkcie). Badania i analizy hałasu środowiskowego dotyczyły równoważnego poziomu dźwięku  $L_{Aeq}$ .

Celem tych badań była próba określenia wpływu różnych rodzajów nawierzchni asfaltowych i betonowych na hałas pomierzony w otoczeniu odcinka drogi i porównanie ich pomiędzy sobą. Ze względu na ograniczoną próbę pomiarową wyniki tych analiz wskazują jedynie na zachodzące zjawiska i różnice jakie zachodzą pomiędzy nawierzchniami asfaltowymi i betonowymi.

Zadanie 5. Ocena nawierzchni drogowych pod względem hałaśliwości wraz z katalogiem klasyfikacyjnym nawierzchni drogowych

---

Bezpośrednie porównanie wyników pomiarów pomiędzy poszczególnymi drogami ze względu na różnice w natężeniu ruchu drogowego i prędkości pojazdów obarczone byłoby dużym błędem. W związku z tym porównanie właściwości akustycznych nawierzchni drogowych wykonano dla każdego z poligonów badawczych oddzielnie na podstawie porównania różnic pomiędzy wartościami uzyskanymi z pomiarów a równoważnym poziomem dźwięku obliczonym dla danych parametrów ruchu drogowego jak dla nawierzchni asfaltowej. Sposób ten pozwala na określenie wpływu rodzaju nawierzchni na wartość równoważnego poziomu dźwięku w odniesieniu do nawierzchni asfaltowej. Obliczenia wykonywane zostały według metody francuskiej NMPB-Routes-96 jak dla typowych nawierzchni asfaltowych.

Sposób wykonania pomiarów dla poszczególnych rodzajów nawierzchni opisano w powyższym punkcie oraz w Zadaniu 2 i Zadaniu 3.

W poniższych analizach wykorzystano dane dla odcinków dróg, które poza różnymi rodzajami nawierzchni miały znacząco różniące się wyniki pomiarów parametrów ruchu (natężenie ruchu, udział pojazdów ciężkich, prędkość).

Do analiz wytypowano 10 odcinków pomiarowych na nawierzchniach pomiarowych. Należały do nich odcinki:

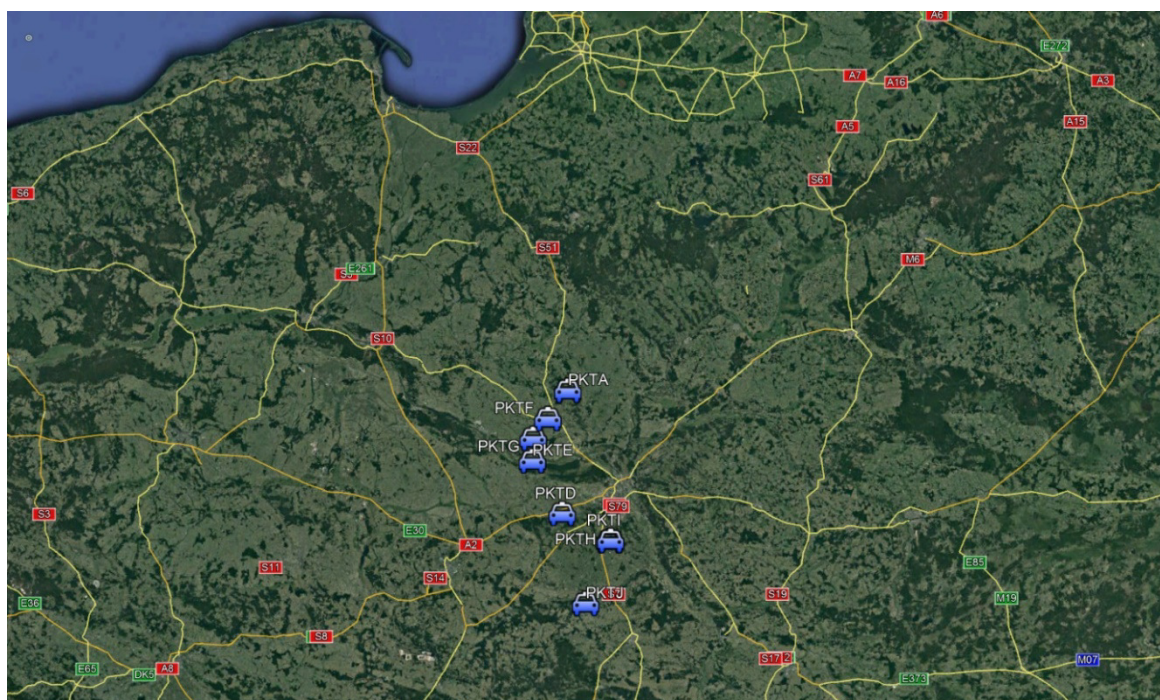
- droga krajowa DK-50 – nawierzchnia BA (w Zadaniu 2 oznaczany jako punkt A),
- Korytów – nawierzchnia PU (w Zadaniu 2 oznaczany jako punkt D),
- droga krajowa DK-50 – nawierzchnia SMA (w Zadaniu 2 oznaczany jako punkt F),
- droga krajowa DK-50 – nawierzchnia SMA (w Zadaniu 2 oznaczany jako punkt G),
- droga krajowa DK-50C – nawierzchnia SMA (w Zadaniu 2 oznaczany jako punkt H),
- droga krajowa DK-48 – nawierzchnia SS (w Zadaniu 2 oznaczany jako punkt J),
- autostrada A4 – nawierzchnia BC (w Zadaniu 3 oznaczany jako PKT 1),
- droga ekspresowa S8 – nawierzchnia BC (w Zadaniu 3 oznaczany jako PKT 2),
- droga wojewódzka nr 780 – nawierzchnia SMA 5 (wyniki opracowane na podstawie opracowań [69, 70]),
- droga wojewódzka nr 948 – nawierzchnia BBTM 8 (wyniki opracowane na podstawie opracowań [69, 70]).

W powyższym opisie wykorzystano następujące oznaczenia:

BA – beton asfaltowy,  
BC – beton cementowy,  
SMA – mastyks grysowy,  
SS – mieszankę mineralno-emulsyjną (slurry seal)  
PU – powierzchniowe utrwalenie,  
BBTM – mieszanka mineralno-asfaltowa o nieciągłym uziarnieniu (beton bitumineuse trés mince).

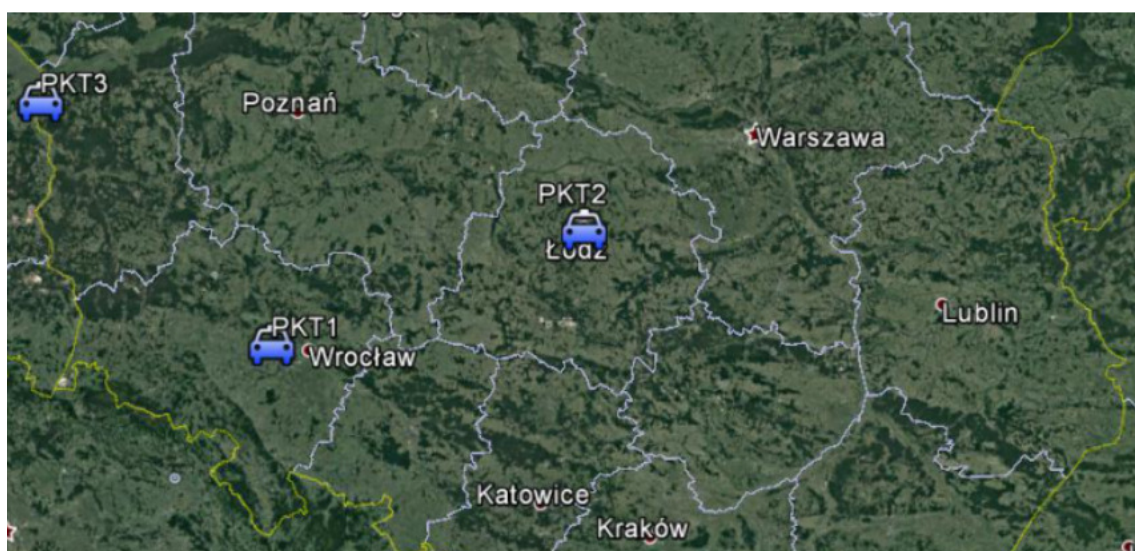
Na Rys. 4.8 przedstawiono ogólną lokalizację odcinków pomiarowych na wybranych fragmentach dróg asfaltowych.

Projekt RID – I/76 Ochrona przed hałasem drogowym  
Zadanie 5. Ocena nawierzchni drogowych pod względem hałaśliwości wraz z katalogiem klasyfikacyjnym nawierzchni drogowych



Rys. 4.8 Ogólna lokalizacja odcinków pomiarowych hałasu środowiskowego na wybranych fragmentach dróg asfaltowych

Na Rys. 4.9 przedstawiono ogólną lokalizację odcinków pomiarowych na wybranych fragmentach dróg betonowych (oznaczone jako PKT1, PKT2, PKT3).



Rys. 4.9 Ogólna lokalizacja odcinków pomiarowych hałasu środowiskowego na wybranych fragmentach dróg betonowych

Dodatkowo w celu określenia redukcji hałasu po zastosowaniu nawierzchni SMA 5 i BBTM 8 wykorzystano wyniki pomiarów i obliczeń wykonanych w ramach opracowań [69, 70]. Lokalizacja wybranych w tym celu odcinków jest przedstawiona na Rys. 4.1, przy czym do analiz wybrano odcinek nr 6, na którym zastosowano nawierzchnię SMA 5 oraz odcinek 7,

*Projekt RID – I/76 Ochrona przed hałasem drogowym*  
**Zadanie 5. Ocena nawierzchni drogowych pod względem hałaśliwości wraz z katalogiem klasyfikacyjnym nawierzchni drogowych**

na którym zastosowano nawierzchnię BBTM 8. Należy zauważyć, że w obydwu przypadkach wyniki pomiarów natężenia ruchu oraz prędkości pojazdów przeprowadzone przed i po wykonaniu remontów były bardzo zbliżone (Tab. 4.1, Tab. 4.2). Dane dotyczące natężenia ruchu, prędkości pojazdów i udziału procentowego pojazdów ciężkich w potoku ruchu przedstawiono poniżej (Tab. 4.5). Należy dodać, że znaczne różnice dotyczące natężenia ruchu dla odcinków, na których badano wpływ nawierzchni SMA 5 i BBTM 8 wynika z faktu, iż pomiary prowadzono zarówno w godzinach dziennych, jak i nocnych.

Tab. 4.5 Natężenie ruchu, udział procentowy pojazdów ciężkich oraz prędkości pojazdów zmierzone na badanych odcinkach dróg.

Lp.	Rodzaj nawierzchni	Natężenie ruchu [P/h]		Udział procentowy pojazdów ciężkich	Prędkość pojazdów	
		Pojazdy lekkie	Pojazdy ciężkie		Pojazdy lekkie	Pojazdy ciężkie
1	SMA 11*	205	124	37.7	76	72
		307	121	28.3	80	72
2	SMA 11**	355	331	48.3	84	77
		424	324	43.3	84	77
3	SMA 5	726	67	8.4	55	55
		102	18	14.8	55	55
4	BA	529	89	14.4	116	90
		546	68	11.1	116	90
5	BBTM	561	54	8.8	70	60
		106	18	14.3	70	60
6	PU	310	8	2.5	60	50
		246	10	3.9	60	50
7	SS	132	14	9.6	89	64
		121	21	14.8	89	64
8	BC (autostrada)	356	244	46.1	84	70
		368	280	46.4	84	70
9	BC (autostrada)	2291	836	26.7	117	90
		2507	1120	30.9	117	90
10	BC (droga ekspresowa)	1086	344	24.1	130	84
		1287	409	24.1	130	84

\* duże obciążenie ruchem ciężkim

\*\* bardzo duże obciążenie ruchem ciężkim

Analizując dane przedstawione w powyższej tabeli, należy stwierdzić, że zakres zarówno natężenia ruchu, jak i prędkości pojazdów oraz udziału procentowego pojazdów ciężkich na odcinkach objętych badaniami jest bardzo duża. Parametry te wpływają zarówno na poziom generowanego hałasu, jak i na wielkość redukcji w stosunku do nawierzchni referencyjnej SMA 11. Na uwagę zasługują przede wszystkim odcinki dróg oznaczone w powyższej tabeli, które obciążone są dużym i bardzo dużym udziałem pojazdów ciężkich w potoku ruchu. Wyniki pomiarów i obliczeń równoważnego poziomu dźwięku w punktach zlokalizowanych w odległości 10 m od krawędzi drogi i na wysokości 4 m nad poziomem terenu przedstawiono poniżej (Tab. 4.6, Rys. 4.10).

*Projekt RID – I/76 Ochrona przed hałasem drogowym*  
**Zadanie 5. Ocena nawierzchni drogowych pod względem hałaśliwości wraz z katalogiem klasyfikacyjnym nawierzchni drogowych**

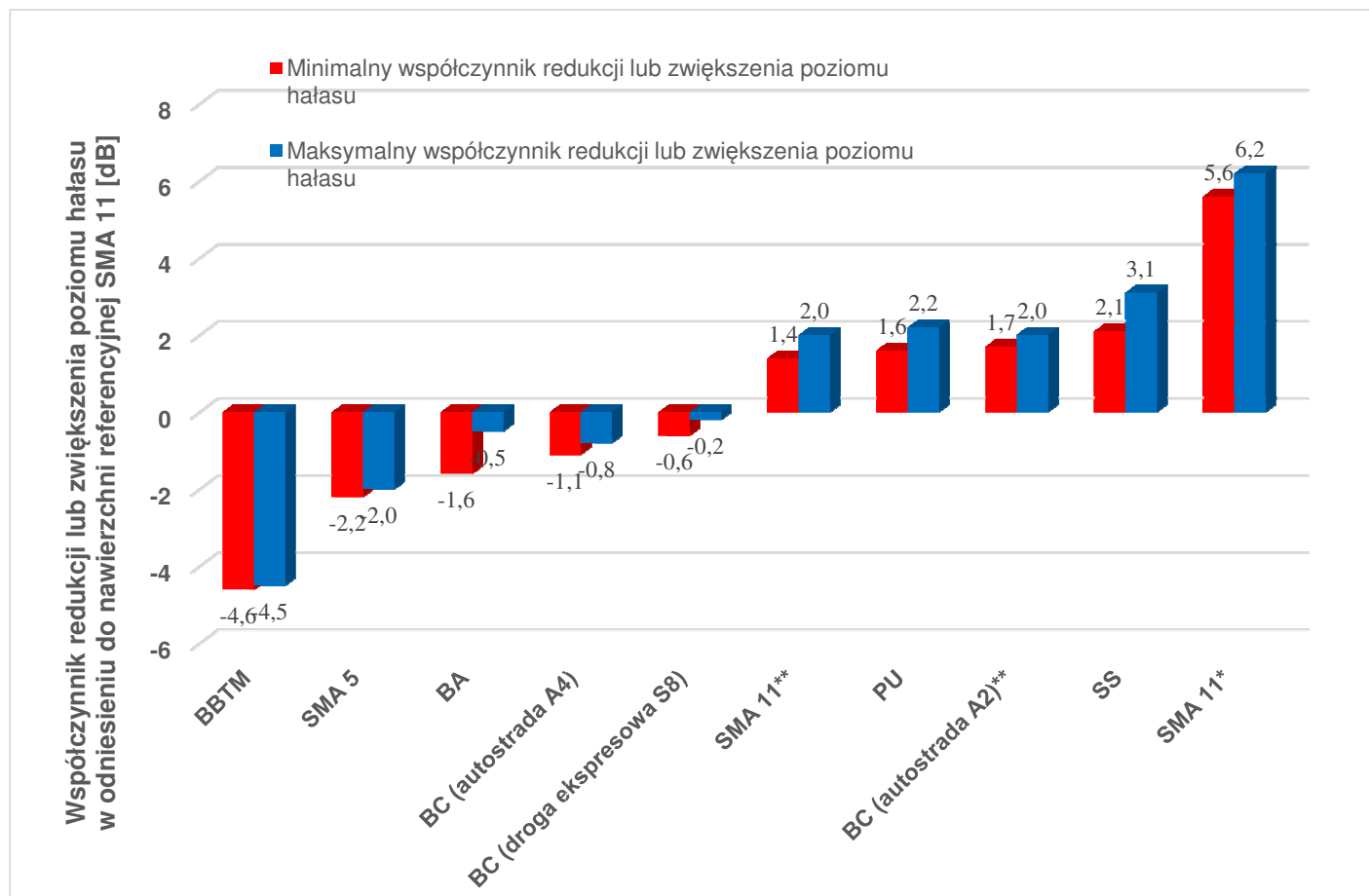
Tab. 4.6 Wyniki pomiarów i obliczeń równoważnego poziomu dźwięku w punktach zlokalizowanych w odległości 10 m od krawędzi drogi oraz na wysokości 4 m nad poziomem terenu dla badanych odcinków dróg

Lp.	Rodzaj nawierzchni	Równoważny poziom hałasu [dB]		Różnica [dB] $L_{Aeq}^P - L_{Aeq}^O$
		Pomierzony $L_{Aeq}^P$	Obliczony $L_{Aeq}^O$	
1	SMA 11*	71.2	69.8	1.4
		72.3	70.3	2.0
2	SMA 11**	80.6	74.4	6.2
		80.1	74.5	5.6
3	SMA 5	65.7	67.7	- 2.0
		59.7	61.9	- 2.2
4	BA	71.5	73.1	- 1.6
		71.8	72.3	- 0.5
5	BBTM	63.6	68.1	- 4.5
		59.1	63.7	- 4.6
6	PU	64.9	63.3	1.6
		64.5	62.3	2.2
7	SS	67.0	63.9	3.1
		66.5	64.4	2.1
8	BC (autostrada A2)**	77.1	75.1	2.0
		77.1	75.4	1.7
9	BC (autostrada A4)	81.3	82.1	- 0.8
		82.1	83.2	- 1.1
10	BC (droga ekspresowa S8)	75.0	75.2	- 0.2
		75.4	76.0	- 0.6

\* duże obciążenie ruchem ciężkim

\*\* bardzo duże obciążenie ruchem ciężkim

Zadanie 5. Ocena nawierzchni drogowych pod względem hałaśliwości wraz z katalogiem klasyfikacyjnym nawierzchni drogowych



Rys. 4.10 Wartości minimalnego i maksymalnego współczynnika redukcji lub zwiększenia poziomu hałasu dla badanych nawierzchni w odniesieniu do nawierzchni referencyjnej SMA 11 – wartość odniesienia 0 dB przyjęto jak dla nawierzchni referencyjnej (wg modelu obliczeniowego [49, 50])

\* duże obciążenie ruchem ciężkim

\*\*

bardzo

duże

obciążenie

ruchem

ciężkim

Analizując dane przedstawione powyżej należy stwierdzić, że pomiędzy badanymi odcinkami dróg występują różnice w redukcji hałasu w stosunku do nawierzchni referencyjnej. Największą redukcją charakteryzował się odcinek drogi wojewódzkiej nr 948, na którym zastosowano nawierzchnię typu BBTM 8. W tym przypadku redukcja hałasu w porównaniu z nawierzchnią referencyjną wynosi ok. 4.5 dB. Kolejną nawierzchnią, dla której zaobserwować można właściwości redukujące hałasu jest nawierzchnia SMA 5 zastosowana na odcinku drogi wojewódzkiej nr 780. W przypadku pierwszej z nich redukcja hałasu zapewniana jest poprzez zwiększoną zawartość wolnych przestrzeni (tzw. porów), natomiast w drugim poprzez zastosowanie drobniejszego kruszywa w stosunku do nawierzchni SMA 11. Pozostałe typy nawierzchni charakteryzowały się gorszymi właściwościami akustycznymi. Najgłośniejszymi odcinkami nawierzchni, spośród badanych, okazały się nawierzchnie wykonane w technologii SS oraz nawierzchnia SMA 11 z bardzo dużym obciążeniem ruchem pojazdów ciężkich, dla której zaobserwowano wzrost poziomu hałasu o ponad 5.5 dB w stosunku do nawierzchni referencyjnej.

Wyniki analiz akustycznych przedstawione powyżej wskazują na różnice w redukcji hałasu pomiędzy nawierzchniami tego samego typu. Szczególnie widoczne jest to w przypadku nawierzchni wykonanej w technologii BC badanej na trzech wybranych odcinkach dróg, jak i w przypadku nawierzchni SMA 11 – w obu przypadkach występowało duże obciążenie ruchem ciężkim. W pierwszym przypadku różnice współczynników redukcji hałasu różnią się w skrajnych przypadkach o 3.1 dB. Wpływ na to mogą mieć różnice w parametrach charakteryzujących ruchu drogowy (natężenie ruchu, a zwłaszcza udział procentowy pojazdów ciężkich, prędkość). Zjawisko to omówiono nieco szerzej w rozdziale 2 opracowania na podstawie współczynników przyjętych w modelu CNOSSOS-EU [52, 53] dla różnych kategorii pojazdów i różnych typów nawierzchni. W przypadku nawierzchni SMA 11 wpływ na różne wartości współczynników redukcyjnych miało duże natężenie ruchu pojazdów ciężkich.

Należy także dodać, iż bardzo istotna jest weryfikacja modeli obliczeniowych, wykorzystywanych do wykonywania obliczeń środowiskowych czy do analizy właściwości akustycznych nawierzchni dróg. Świadczą o tym chociażby bardzo duże różnice zaobserwowane w przypadku nawierzchni SMA 11. Przyjęcie w modelu obliczeniowym jedynie typu nawierzchni, bez weryfikacji z wynikami pomiarów wykonanych w warunkach rzeczywistych, może spowodować powstanie znacznych błędów i w konsekwencji niemiarodajnych wyników analiz akustycznych.



## **5. BADANIA AKUSTYCZNE METODĄ CPB I CPX ORAZ OCENA WŁAŚCIWOŚCI EKSPLOATACYJNYCH**

### **5.1. Poligon Uścięcice – metoda SPB**

W dniu 24.11.2016 prowadzono badania akustyczne poligonu-odcinka badawczego nawierzchni zlokalizowanego w ciągu ulicy Długiej w miejscowości Uścięcice gmina Opalenica, powiat Nowotomyski, województwo Wielkopolskie (odcinki nr 5 i 6 wg raportu z zad. 2).

#### **5.1.1. Badania akustyczne odcinka testowego**

Badania akustyczne odcinka wykonanego w 2014 roku w ramach realizacji projektu naukowo-badawczego CiDro zrealizowano w celu określenia zmian parametrów akustycznych nawierzchni jakie zaszły w czasie eksploatacji odcinka w okresie 18 miesięcy od poprzedniego badania.

#### **5.1.2. Metoda badawcza**

Zastosowana metoda kontrolowanego przejazdu CPB (Controlled Pass-By) polega na pomiarze poziomu dźwięku emitowanego przez pojedyncze pojazdy poruszające się z określoną prędkością na danym odcinku drogi. Na potrzeby prowadzonych badań metodą CPB wykorzystano jeden pojazd wyposażony w komplet opon letnich; widok opon przedstawiono na Rys. 5.2. Na podstawie uzyskanych wyników z 6 przejazdów w określonym zakresie prędkości ustalony został maksymalny poziom dźwięku [36, 96, 97].

Podczas wykonywania pomiarów metodą CPB spełnione muszą zostać następujące warunki [96, 97]:

- długość odcinków próbnych: 150 – 200 m,
- równe jezdnia i pobocza,
- brak budynków, płotów, lasów i innych obiektów, które mogłyby powodować odbicia dźwięku w okolicy odcinka badawczego,
- brak pojazdów lub innych obiektów wydających dźwięki na drodze i w okolicy odcinka badawczego.

Pomiary natężenia dźwięku przy pomocy mikrofonu usytuowanego przy poboczu drogi wykonywane są przy jednoczesnym pomiarze prędkości pojazdu.

Kontrolowane przejazdy na badanym odcinku prowadzono przy użyciu jednego pojazdu, samochodu osobowego – Toyota Avensis (Rys. 5.1). Dane i charakterystykę pojazdu wykorzystanego w pomiarach podano w Tab. 5.1.



Rys. 5.1 Pojazd zastosowany w badaniu metodą CPB



Rys. 5.2 Widok opon zastosowanych w badaniu

Tab. 5.1 Charakterystyka pojazdu użytego w badaniu metodą CPB

<b>Typ pojazdu</b>	Osobowy - Toyota Avensis
<b>Pojemność silnika [cm<sup>3</sup>]</b>	1998
<b>Rodzaj paliwa</b>	benzyna
<b>Rok produkcji</b>	2004
<b>Typ opony</b>	letnia Michelin XSE 205/55 R16
<b>Ciśnienie w oponie</b>	2,3 Bar

Pomiary poziomu dźwięku prowadzone były przy użyciu miernika SVAN 955 wyposażonego w mikrofon ustawiony w odległości 7,5 m od osi analizowanego pasa ruchu i na wysokości 1,2 m od poziomu nawierzchni. Pomiary prędkości pojazdu wykonywano za pomocą dwóch bramek usytuowanych na poboczu drogi w odległości 4,0 m wyposażonych w

fotokomórki oraz nadajnika GPS zainstalowanego w poruszającym się pojeździe. Pomiary poziomu dźwięku wykonywano dla dwóch prędkości przejazdu – 50 km/h i 90 km/h. Obroty silnika pojazdu utrzymywano na poziomie od 2 tys. obr./min przy prędkości 50 km/h do 2,5 tys. obr./min przy prędkości 90 km/h. Przejazdy odbywały się kolejno dla każdego typu warstwy ścieralnej. Dla każdego typu nawierzchni i przy każdej prędkości przejazdu dokonano co najmniej 6 pomiarów poziomu dźwięku. Rejestrowaną wartością był maksymalny chwilowy poziom dźwięku  $L_{\max \text{ fast}}$  [dB].

### 5.1.3. Lokalizacja i charakterystyka badanego odcinka

Odcinek testowy na którym prowadzono badania zlokalizowany jest w ciągu ulicy Długiej w miejscowości Uścięcice gmina Opalenica, powiat Nowotomyski, województwo Wielkopolskie (Rys. 5.3). Długość odcinka testowego wynosi 1000 m. Ogólny widok odcinka badawczego przedstawiono na Rys. 5.4.



Rys. 5.3 Lokalizacja odcinka badawczego



Rys. 5.4 Widok ogólny odcinka badawczego

Na odcinku badawczym warstwa ścieralna wykonana została z dwóch rodzajów mieszanek mineralno-asfaltowych PA 8 oraz BBTM 8. Warstwa ścieralna z mieszanki PA 8 ułożona jest na północnej połowie jezdni natomiast mieszanka BBTM 8 na połowie południowej (Rys. 5.5). Szerokość jezdni na odcinku badawczym wynosi 5,0 m.



Rys. 5.5 Porównanie wyglądu warstw ścieralnych odcinka badawczego

*Projekt RID – I/76 Ochrona przed hałasem drogowym*  
Zadanie 5. Ocena nawierzchni drogowych pod względem hałaśliwości wraz z katalogiem klasyfikacyjnym nawierzchni drogowych

---

Stan obydwu rodzajów nawierzchni po 24 miesiącach eksploatacji oraz 18 miesiącach od poprzedniej wizji lokalnej oceniono jako dobry pod względem trwałości i występowania ewentualnych uszkodzeń. Nie zaobserwowano uszkodzeń takich jak koleiny, spękania czy ubytki ziaren. Obydwie warstwy ścieralne charakteryzują się jednorodnym wyglądem a ziarna mieszanki mineralno-asfaltowej są dobrze otoczone asfaltem i nie popękane. Dla warstwy z mieszanki PA 8 zaobserwowano w 2-ch miejscach strefy niedogęszczone (o łącznej powierzchni kilku metrów kwadratowych), będące jednak efektem problemów podczas układania mieszanki a nie zużyciem nawierzchni w wyniku eksploatacji. Pod względem występowania zanieczyszczeń nawierzchni jej stan w zależności od analizowanego odcinka określono jako średni do bardzo złego. Stwierdzono występowanie licznych zanieczyszczeń w postaci warstwy błota/gruntu nawiezionego z sąsiadujących z odcinkiem pól. Największe zanieczyszczenie występuje w okolicy wjazdów z pól i na odcinkach z nimi sąsiadujących (Rys. 5.6).



*Projekt RID – I/76 Ochrona przed hałasem drogowym*  
Zadanie 5. Ocena nawierzchni drogowych pod względem hałaśliwości wraz z katalogiem klasyfikacyjnym nawierzchni drogowych

---



Rys. 5.6 Zanieczyszczenie odcinka badawczego w rejonie wjazdów z pól

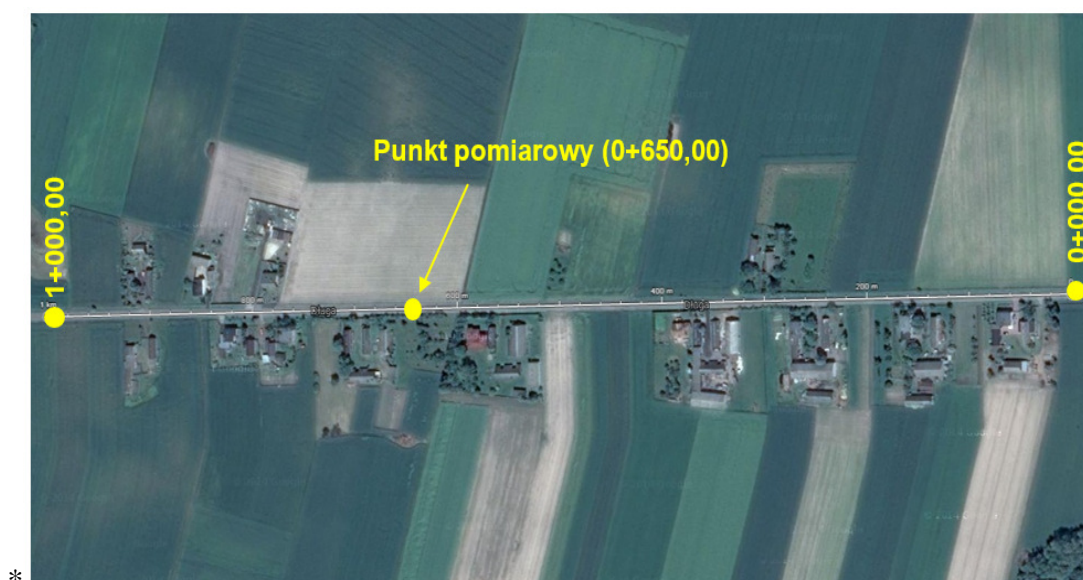
Zaznaczyć należy, że w punkcie pomiarowym i jego najbliższym sąsiedztwie nie stwierdzono uszkodzeń ani wad wykonawczych a stan nawierzchni pod względem zanieczyszczeń można określić jako średni do dobrego. Widok nawierzchni w punkcie pomiarowym przedstawiono na Rys. 5.7.



Rys. 5.7 Stan nawierzchni w rejonie punktu pomiarowego

#### 5.1.4. Przebieg i wyniki pomiarów

Badanie akustyczne metodą CPB przeprowadzone zostało w dniu 24 listopada 2016r. Pomiar poziomu dźwięku oraz prędkości pojazdu na odcinku badawczym prowadzono w km 0+650,00 (pikietaż liczony od wschodniego końca odcinka badawczego). Lokalizację i widok punktu pomiarowego przedstawiono na Rys. 5.8, Rys. 5.9



Rys. 5.8 Lokalizacja punktu pomiarowego na odcinku badawczym

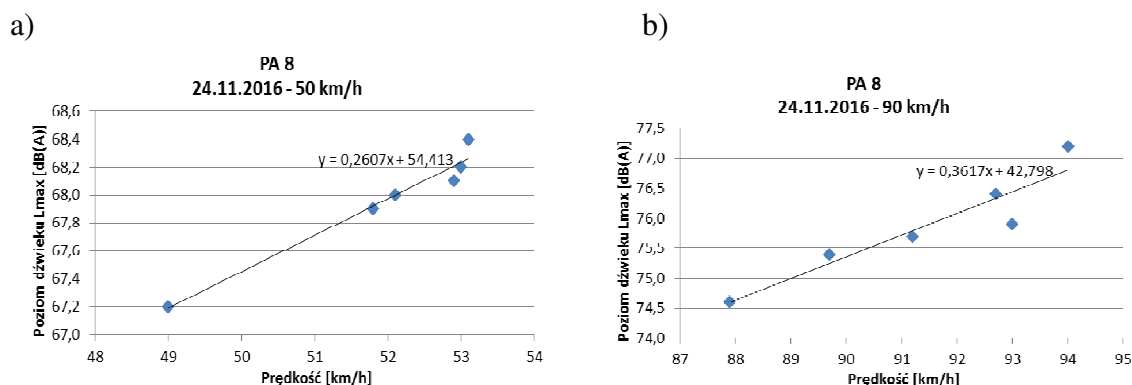


Rys. 5.9 Widok punktu pomiarowego na odcinku badawczym

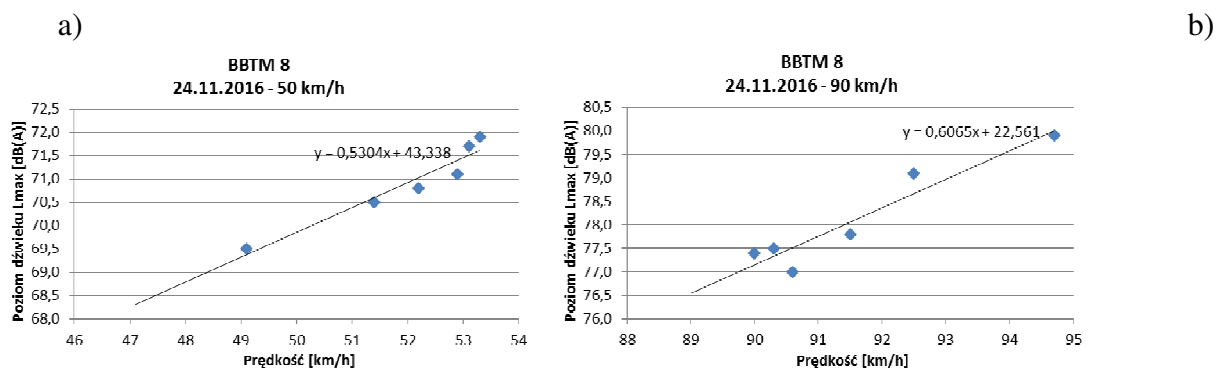
*Projekt RID – I/76 Ochrona przed hałasem drogowym*  
**Zadanie 5. Ocena nawierzchni drogowych pod względem hałaśliwości wraz z katalogiem klasyfikacyjnym nawierzchni drogowych**

Pomiary prowadzone były przy temperaturze powietrza wynoszącej od 7 °C przy prędkości wiatru nie przekraczającej 5 km/h na powierzchniowo suchej nawierzchni i wilgotności powietrza wynoszącej ok 93%.

Na Rys. 5.10, Rys. 5.11 przedstawiono wyniki pomiarów poziomu dźwięku  $L_{\max\text{fast}}$  przeprowadzonych przy dwóch prędkościach przejazdu: 50 km/h i 90 km/h. Na podstawie otrzymanych wyników wyznaczono równanie prostej regresji dla każdego z analizowanych wariantów. W przypadku wystąpienia w próbie obserwacji odstających, obserwacje te nie były brane pod uwagę przy wyznaczaniu równania regresji.



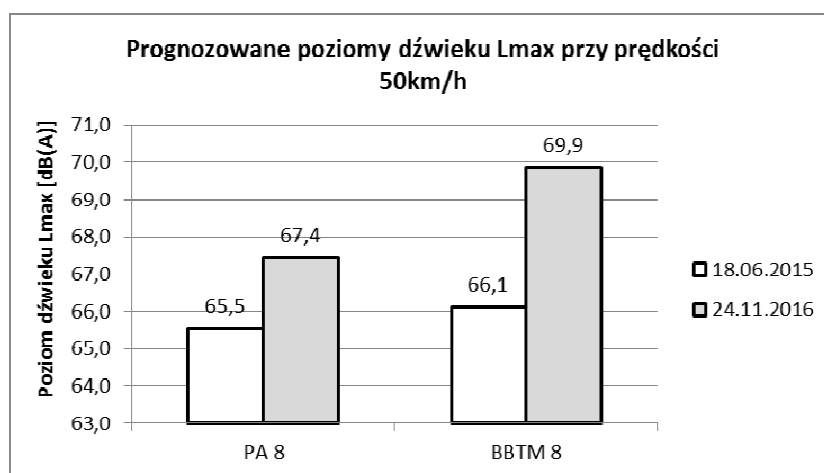
Rys. 5.10 Wyniki pomiaru poziomu dźwięku  $L_{\max}$  fast warstwy ścieralnej z mieszanki PA 8: a) przejazd z prędkością 50km/h; b) przejazd z prędkością 90km/h;



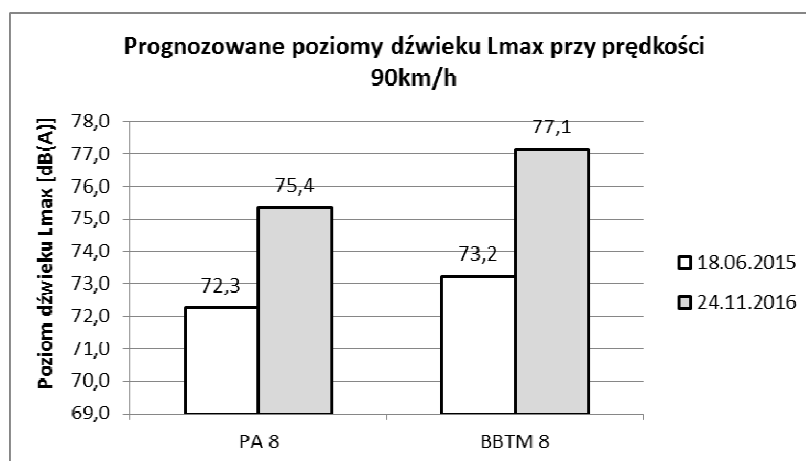
Rys. 5.11 Wyniki pomiaru poziomu dźwięku  $L_{\max}$  fast warstwy ścieralnej z mieszanki BBTM 8: a) przejazd z prędkością 50km/h; b) przejazd z prędkością 90km/h;

Na podstawie równań regresji dla analizowanych wariantów wyznaczono prognozowane poziomy dźwięku dla prędkości 50 km/h i 90 km/h dla badanej nawierzchni. Porównanie prognozowanych wartości poziomu dźwięku przedstawiono na Rys. 5.12., Rys. 5.13. Na wykresach naniesione zostały również wyniki pomiarów wykonane w tym samym punkcie pomiarowym w czerwcu 2015 roku (po 6 miesiącach eksploatacji nawierzchni)





Rys. 5.12 Prognozowane poziomy dźwięku Lmax fast dla badanej nawierzchni przy prędkości przejazdu 50 km/h



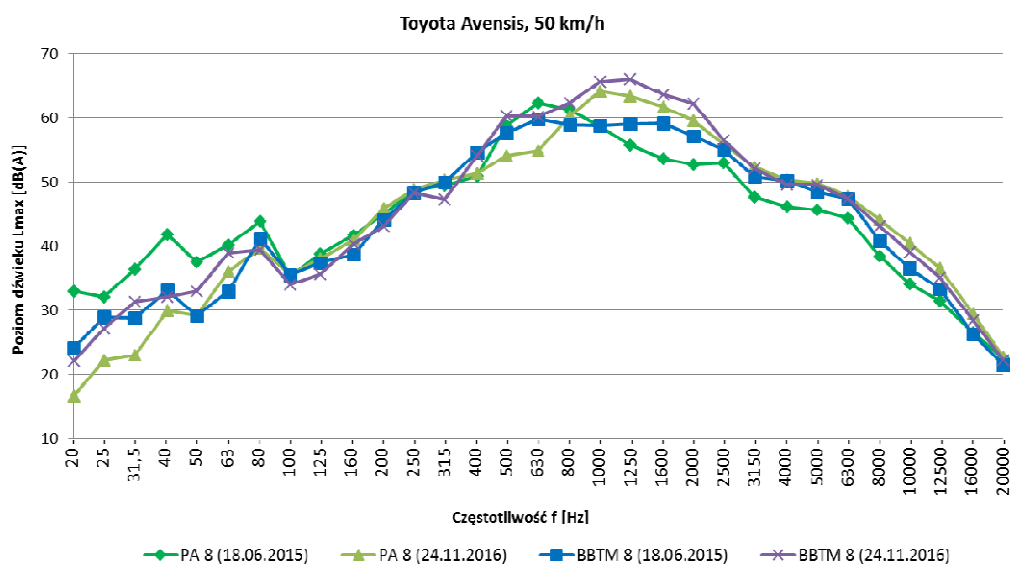
Rys. 5.13 Prognozowane poziomy dźwięku Lmax fast dla badanej nawierzchni przy prędkości przejazdu 90 km/h

Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, że nawierzchnia z mieszanki PA 8 charakteryzuje się mniejszą emisją hałasu drogowego od mieszanki BBTM 8 zarówno w okresie 6 miesięcy po oddaniu do eksploatacji jak i po okresie 24 miesięcy eksploatacji nawierzchni. Stwierdzono, że w przypadku obydwu rodzajów nawierzchni poziom hałasu zwiększył się w okresie ostatnich 18 miesięcy. Wzrost poziomu dźwięku dla nawierzchni z mieszanki PA 8 wyniósł odpowiednio 1,9 dB dla prędkości 50km/h oraz 3,1 dB dla prędkości 90 km/h. W przypadku mieszanki typu BBTM 8 wzrost poziomu dźwięku wyniósł odpowiednio 3,8 dB dla prędkości 50km/h oraz 3,9 dB dla prędkości 90 km/h.

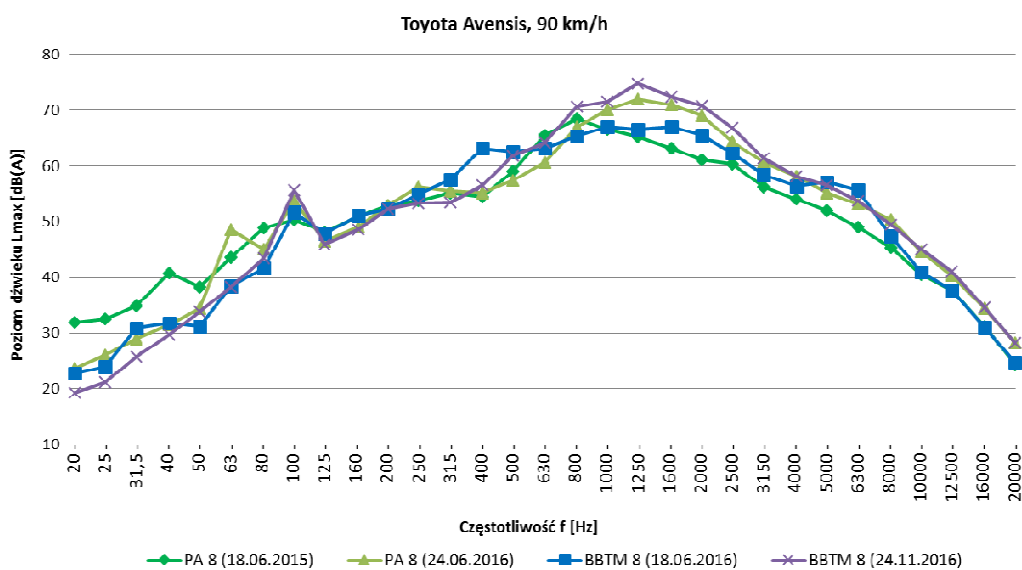
Tak wyraźny wzrost poziomu hałasu w przypadku obydwu rodzajów nawierzchni w stosunku do wyników poprzedniego pomiaru może być powodowany zanieczyszczeniem nawierzchni oraz niższą temperaturą pomiaru.

Na Rys. 5.14, Rys. 5.15 przedstawiono przykładowe widma dźwięku uzyskane z pomiarów dla każdej z dwóch prędkości przejazdu.

Projekt RID – I/76 Ochrona przed hałasem drogowym  
Zadanie 5. Ocena nawierzchni drogowych pod względem hałaśliwości wraz z katalogiem  
klasyfikacyjnym nawierzchni drogowych



Rys. 5.14 Przykładowe widma dźwięku dla prędkości przejazdu 50 km/h



Rys. 5.15 Przykładowe widma dźwięku dla prędkości przejazdu 90 km/h

Analizując przedstawione na Rys. 5.14, Rys. 5.15 widma można stwierdzić, że wzrost poziomu dźwięku w przypadku obydwu mieszanek nastąpił w zakresie wyższych częstotliwości od poziomu ok 400-500 Hz. W zakresie niższych częstotliwości od 20 do ok 400 Hz zaobserwowano spadek poziomu dźwięku w stosunku do wyników badań z 18.06.2016.

## **5.2. Poligon Wołoska – metoda SPB**

### **5.2.1. Badania akustyczne odcinka**

Badania akustyczne nawierzchni ulicy Wołoskiej z mieszanki typu BBTM 8B wykonanej w 2015 roku w ramach przebudowy ulicy Wołoskiej zrealizowano w celu weryfikacji zastosowanych na ulicy Wołoskiej innowacyjnych rozwiązań nawierzchni o obniżonej emisji hałasu toczenia generowanego na styku opony z nawierzchnią.

### **5.2.2. Metoda badawcza**

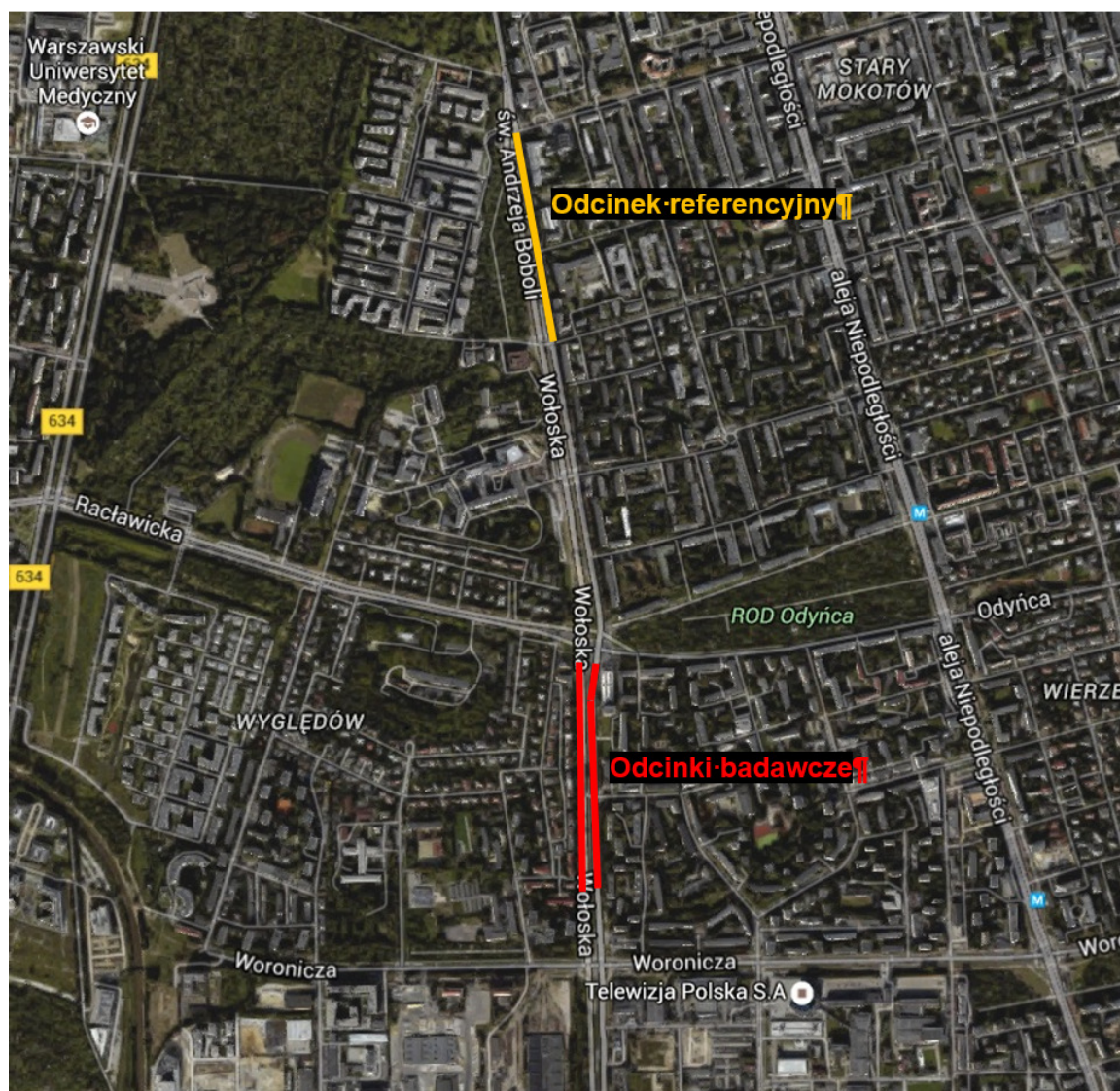
Zastosowano metodę badawczą opisaną w punkcie 5.1.2.

### **5.2.3. Lokalizacja i charakterystyka badanych odcinków**

Badane odcinki zlokalizowane są ciągu ulic Wołoskiej i Św. Andrzeja Boboli w Warszawie na terenie dzielnicy Mokotów. Lokalizację badanych odcinków przedstawiono na Rys. 5.16.

Szerokość jezdni na badanych odcinkach wynosi 10,5 m. Warstwa ścieralna badanego odcinka ulicy Wołoskiej wykonana została w ramach przebudowy tej ulicy w roku 2015 z mieszanki typu BBTM 8B o grubości 3 cm na jezdni wschodniej i grubości 4 cm na jezdni zachodniej. Po ok 8 miesiącach eksploatacji nie zaobserwowano uszkodzeń nawierzchni. Badana nawierzchnia charakteryzuje się jednorodnym wyglądem. Na analizowanym odcinku występują jedynie miejscowe zabrudzenia warstwy ścieralnej.

Warstwa ścieralna badanego odcinka ulicy Św. Andrzeja Boboli wykonana została w ramach przebudowy tej ulicy w 2001 roku z mieszanki typu SMA 11 o grubości 4 cm na badanej jezdni wschodniej. Po 15 latach eksploatacji w rejonie punktu pomiarowego nie zaobserwowano uszkodzeń nawierzchni. Nawierzchni charakteryzuje się jednorodnym wyglądem. Na analizowanym odcinku zaobserwowano jedynie wyraźne wypolerowanie kruszywa bazaltowego w warstwie ścieralnej.



Rys. 5.16 Lokalizacja badanych odcinków

#### 5.2.4. Przebieg i wyniki pomiarów

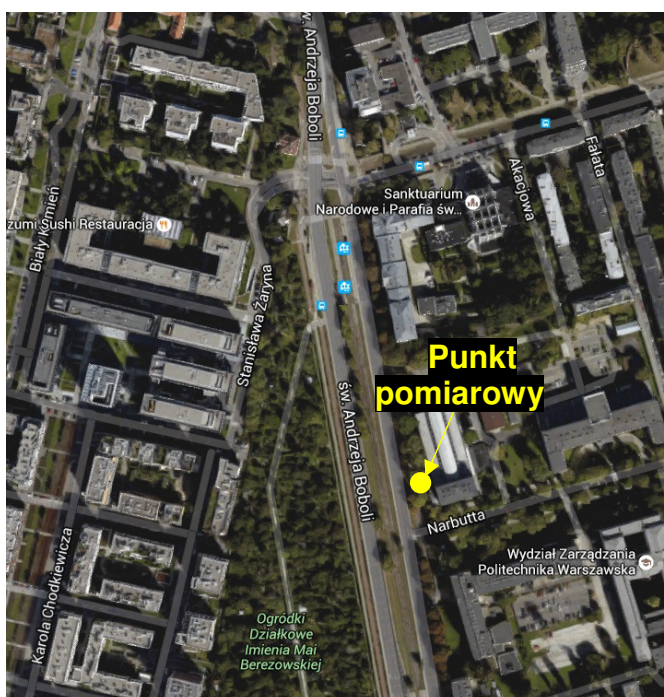
Badanie akustyczne metodą CPB przeprowadzone zostały w dniu 19 czerwca 2016 roku w godzinach 0.00 – 2.30. Pomiar poziomu dźwięku oraz prędkości pojazdów na badanych odcinkach prowadzono w km 0+400 (pikietaż jezdni wschodniej ulicy Wołoskiej), 0+470 (pikietaż jezdni zachodniej ulicy wołoskiej) oraz w rejonie skrzyżowania z ulicą Ludwika Narbutta (jezdni wschodnia ulicy Św. Andrzeja Boboli). W każdym punkcie pomiary prowadzono dla pojazdu poruszającego się środkowym pasem ruchu (jezdni trzypasowa). Lokalizację punktów pomiarowych przedstawiono na Rys. 5.17, Rys. 5.18.

Projekt RID – I/76 Ochrona przed hałasem drogowym  
Zadanie 5. Ocena nawierzchni drogowych pod względem hałaśliwości wraz z katalogiem  
klasyfikacyjnym nawierzchni drogowych

---

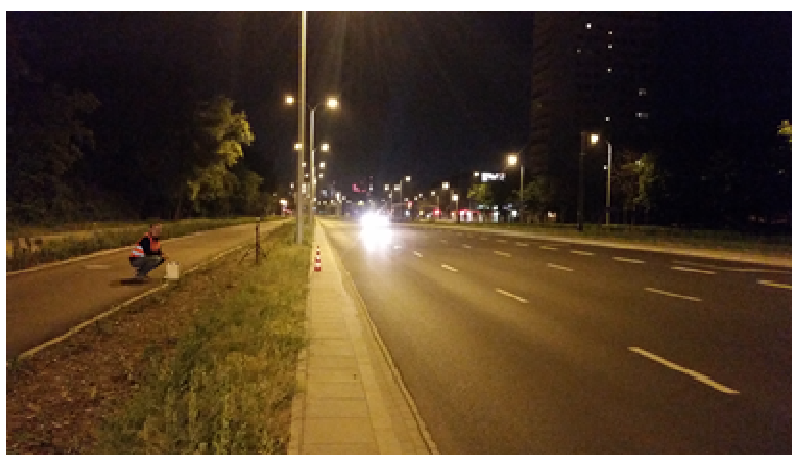


Rys. 5.17 Lokalizacja punktów pomiarowych na odcinku badawczym



Rys. 5.18 Lokalizacja punktu pomiarowego na odcinku referencyjnym

*Projekt RID – I/76 Ochrona przed hałasem drogowym*  
**Zadanie 5. Ocena nawierzchni drogowych pod względem hałaśliwości wraz z katalogiem klasyfikacyjnym nawierzchni drogowych**



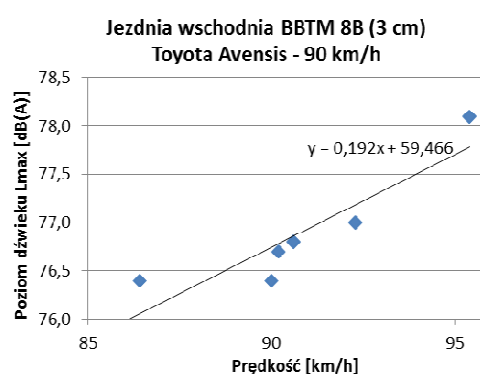
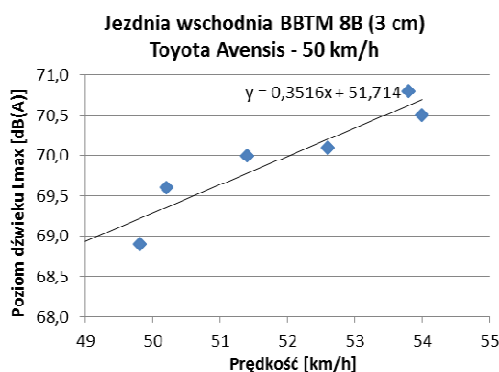
Rys. 5.19 Widok punktu pomiarowego na odcinku referencyjnym

Pomiary prowadzone były przy temperaturze powietrza wynoszącej od 16 do 18 °C w warunkach bezwietrznych i przy suchej nawierzchni.

Na Rys. 5.20 - Rys. 5.22 przedstawiono wyniki pomiarów poziomu dźwięku  $L_{\max \text{ fast}}$  przeprowadzonych przy dwóch prędkościach przejazdu: 50 km/h i 90 km/h. Na podstawie otrzymanych wyników wyznaczono równanie prostej regresji dla każdego z analizowanych wariantów. W przypadku wystąpienia w próbie obserwacji odstających, obserwacje te nie były brane pod uwagę przy wyznaczaniu równania regresji.

a)

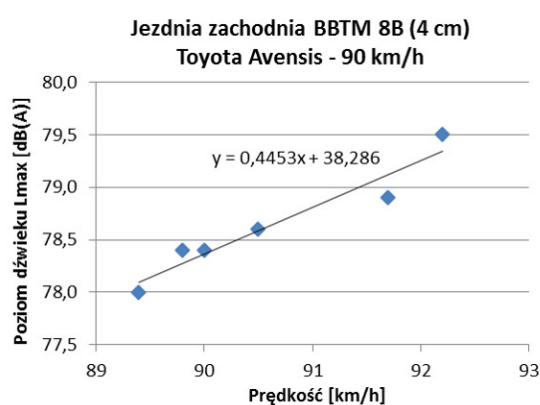
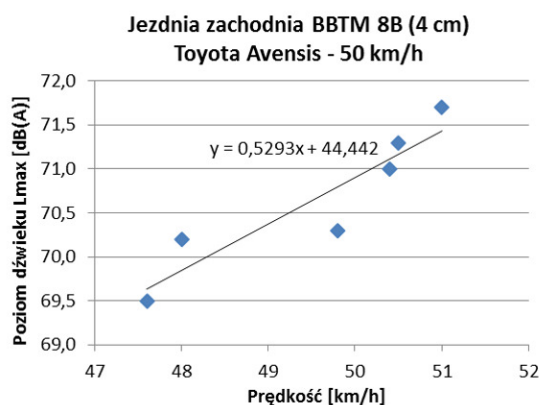
b)



Rys. 5.20 Wyniki pomiaru poziomu dźwięku  $L_{\max \text{ fast}}$  warstwy ściernalnej z mieszanki BBTM 8B gr. 3 cm (jezdnia wschodnia ulicy Wołoskiej): a) przejazd z prędkością 50km/h; b) przejazd z prędkością 90km/h;

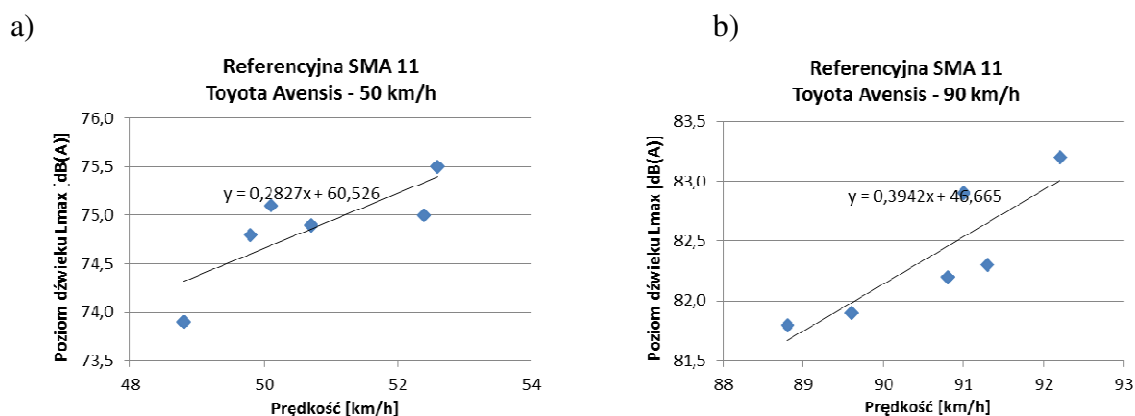
a)

b)



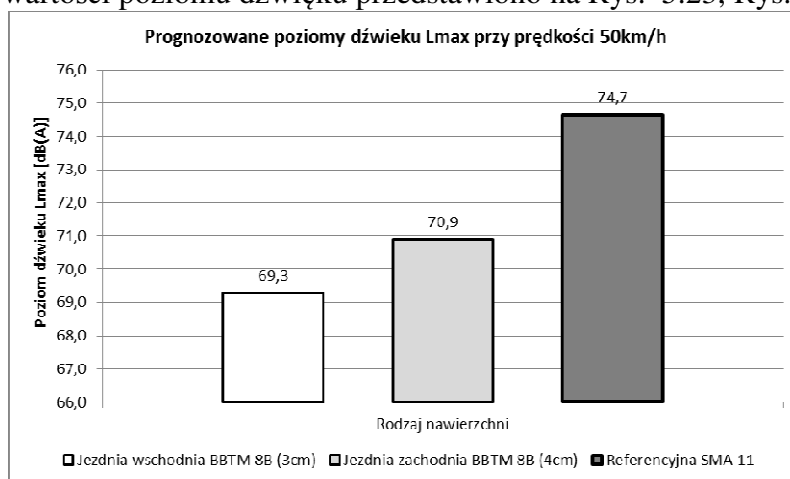
*Projekt RID – I/76 Ochrona przed hałasem drogowym*  
**Zadanie 5. Ocena nawierzchni drogowych pod względem hałaśliwości wraz z katalogiem klasyfikacyjnym nawierzchni drogowych**

Rys. 5.21 Wyniki pomiaru poziomu dźwięku  $L_{max}$  fast warstwy ściernalnej z mieszanki BBTM 8B gr. 4 cm (jezdnia zachodnia ulicy Wołoskiej): a) przejazd z prędkością 50km/h; b) przejazd z prędkością 90km/h;



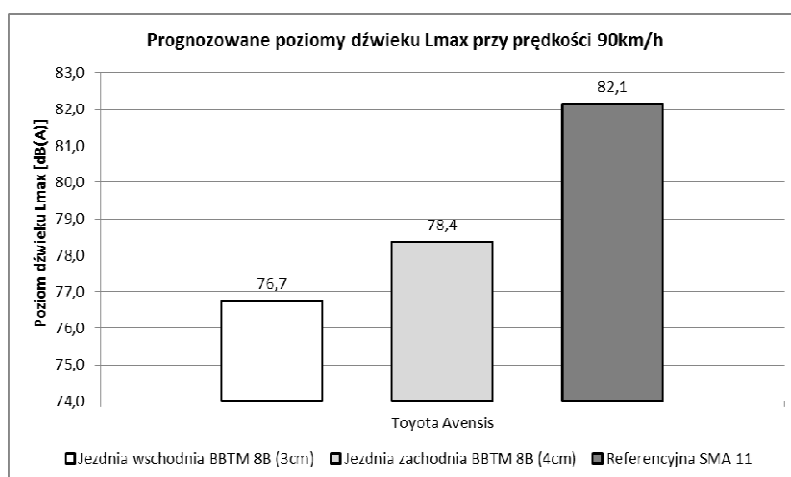
Rys. 5.22 Wyniki pomiaru poziomu dźwięku  $L_{max}$  fast warstwy ściernalnej z mieszanki SMA 11 (jezdnia wschodnia ulicy Św. Andrzeja Boboli): a) przejazd z prędkością 50km/h; b) przejazd z prędkością 90km/h;

Na podstawie równań regresji dla analizowanych wariantów wyznaczono prognozowane poziomy dźwięku dla prędkości 50 km/h i 90 km/h dla badanej nawierzchni. Porównanie prognozowanych wartości poziomy dźwięku przedstawiono na Rys. 5.23, Rys. 5.24.



Rys. 5.23 Prognozowane poziomy dźwięku  $L_{max}$  fast dla badanej nawierzchni przy prędkości przejazdu 50 km/h

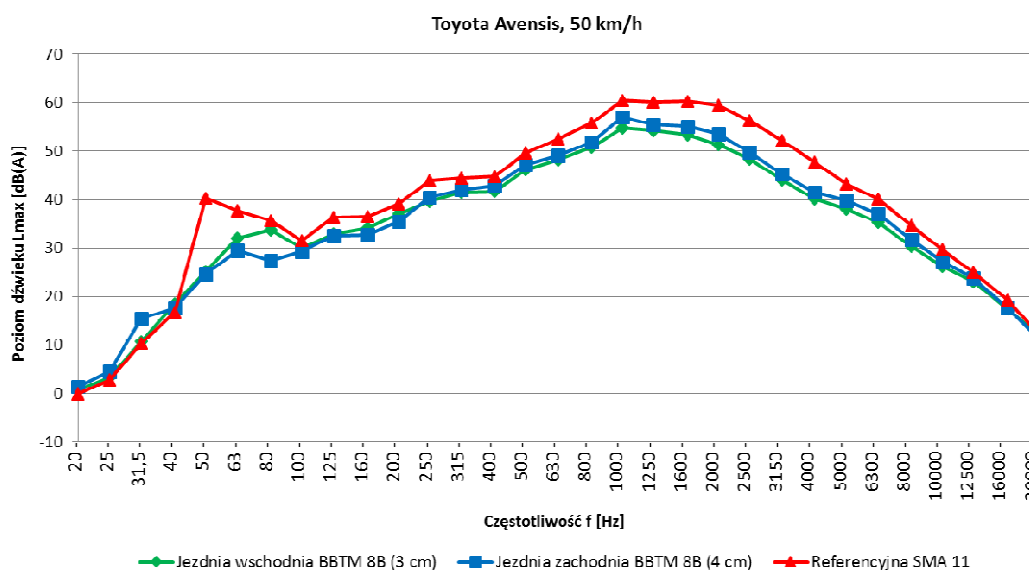
Projekt RID – I/76 Ochrona przed hałasem drogowym  
Zadanie 5. Ocena nawierzchni drogowych pod względem hałaśliwości wraz z katalogiem klasyfikacyjnym nawierzchni drogowych



Rys. 5.24 Prognozowane poziomy dźwięku Lmax fast dla badanej nawierzchni przy

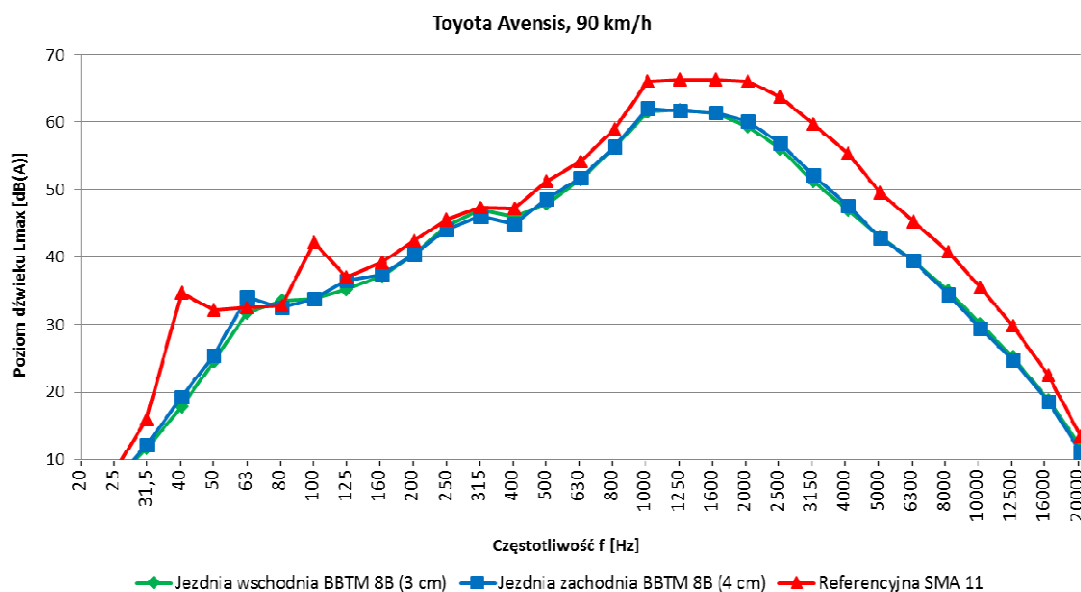
Na podstawie analizy uzyskanych wyników stwierdzono, że najniższymi prognozowanymi poziomami dźwięku zarówno dla prędkości przejazdu wynoszącej 50 km/h jak i 90 km/h charakteryzuje się warstwa ścieralna jezdni wschodniej ulicy Wołoskiej wykonana z mieszanki BBTM 8B o grubości 3cm. Prognozowany poziom dźwięku przy prędkości 50 km/h dla tej nawierzchni wynosi 69,3 dB natomiast dla prędkości 90 km/h jest to 76,7 dB. W przypadku warstwy ścieralnej jezdni zachodniej wykonanej z mieszanki BBTM 8B o grubości 4 cm prognozowane poziomy dźwięku są wyższe o ok 1,6 – 1,7 dB zarówno dla obydwu prędkości przejazdu. Nawierzchnia referencyjna z mieszanki SMA 11 charakteryzuje się najwyższym poziomem dźwięku spośród badanych mieszanek. Wartości prognozowanego poziomu dźwięku wyznaczone dla nawierzchni referencyjnej są o ok 5,4 db wyższe od wartości uzyskanych dla mieszanki BBTM 8B na jezdni wschodniej i o ok 3,8 dB wyższe od wartości uzyskanych dla mieszanki BBTM 8B na jezdni zachodniej.

Na Rys. 5.25, Rys. 5.26 przedstawiono przykładowe widma dźwięku uzyskane z pomiarów dla każdej z dwóch prędkości przejazdu.



Rys. 5.25 Przykładowe widma dźwięku dla prędkości przejazdu 50 km/h





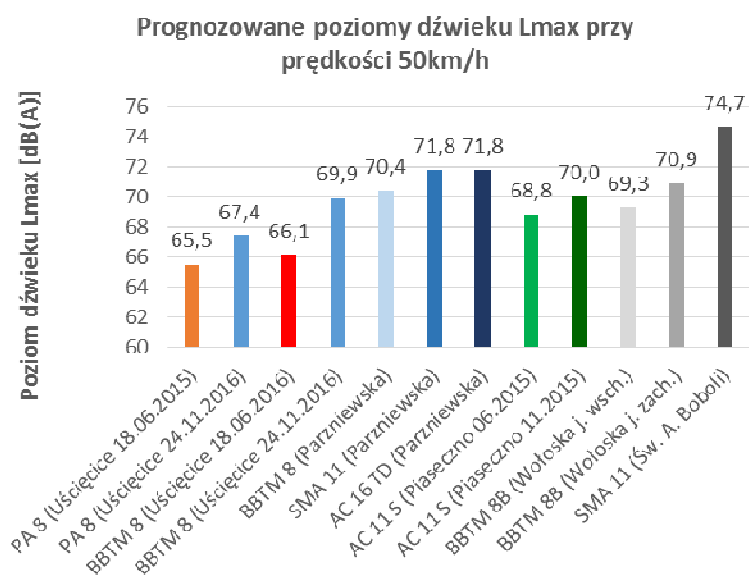
Rys. 5.26 Przykładowe widma dźwięku dla prędkości przejazdu 90 km/h

### 5.3. Podsumowanie dotychczasowych badań z wykorzystaniem metody CPB

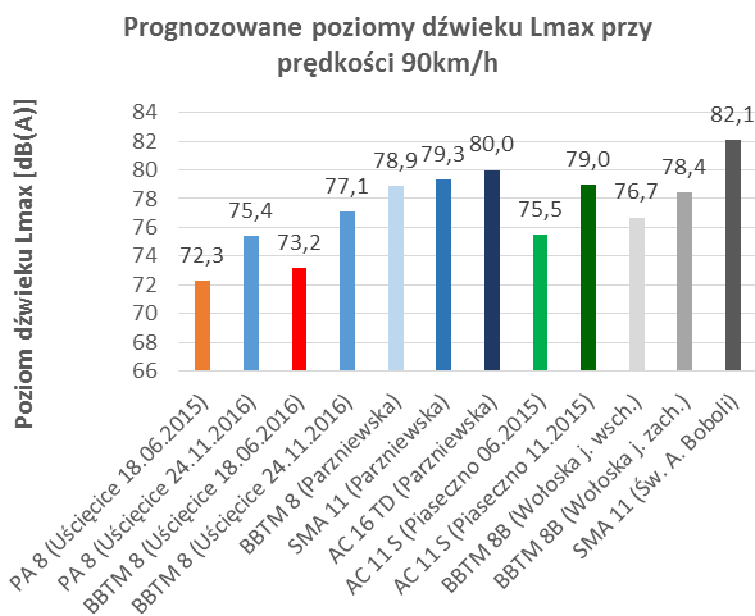
Analiza wyników pomiarów poziomu dźwięku metodą CPB, prowadzonych również przed rozpoczęciem projektu RID-76 (przeprowadzonych w latach 2015-2016 dla różnych nawierzchni) wykazała istnienie różnic w poziomie emitowanego hałasu w przypadku badanych mieszank mineralno-asfaltowych. Badaniom przy dwóch prędkościach przejazdu poddano cztery odcinki dróg i ulic, na których zastosowano łącznie 9 różnych wariantów warstw ścieralnych z mieszank mineralno-asfaltowych.

Porównanie prognozowanych poziomów dźwięku dla wszystkich przebadanych mieszank mineralno-asfaltowych przedstawiono na rysunkach 14 i 15.

Projekt RID – I/76 Ochrona przed hałasem drogowym  
 Zadanie 5. Ocena nawierzchni drogowych pod względem hałaśliwości wraz z katalogiem  
 klasyfikacyjnym nawierzchni drogowych



Rys. 5.27 Porównanie prognozowanych poziomów dźwięku Lmax fast , przejazd z prędkością 50km/h



Rys. 5.28 Porównanie prognozowanych poziomów dźwięku Lmax fast , przejazd z prędkością 90km/h

## Poligon Uścięcice – metoda CPX

Rozdział został opracowany na podstawie wcześniej zrealizowanych badań przedstawionych m.in. w publikacji [3].

Nawierzchnie demonstracyjne OGFC 8 (opisywane również, w celu uproszczenia terminologii, jako BBTM 8) i PA 8 wykonano w 2014 r. Odcinki stanowią poligon badawczy PW w Uścięcicach opisywany w zad. 5.1 (odcinki nr 5 i 6 wg raportu z zad. 2).

Badania hałaśliwości przeprowadzono dla obu nawierzchni na całej ich długości (OGFC 8 i PA 8) oraz dla nawierzchni na autostradzie A2 na odcinku Nowy Tomyśl - Trzciel. Badania wykonano w celu porównania głośności opracowanych w projekcie nawierzchni z nawierzchnią betonową o odkrytym kruszywie zastosowaną na badanym odcinku autostrady. Badana nawierzchnia betonowa - Waschbeton - uważana jest za jeden z najcichszych typów nawierzchni betonowych, co stanowiło dodatkową wartość porównawczą. [3]

Badanie wykonano dla opon SRTT, normowy odpowiednik opony stosowanej w samochodach osobowych, oraz dla opon AAV4 odpowiednika opony stosowanej w samochodach ciężarowych. Dodatkowo dla celów badawczych wykonano badania z zastosowaniem dwóch typów opon zimowych stosowanych w samochodach osobowych (WTR 1, WTR 2). Ze względów prawnych oraz bezpieczeństwa wykonawców, badanie na odcinku prototypowym w Uścięcicach przeprowadzono przy dwóch prędkościach - 50 i 80 km/h. Na autostradzie badanie przeprowadzono przy prędkościach 50, 80 i 100 km/h.

Zestawienie wyników przedstawiono w Tab. 5.2.

Tab. 5.2 Zestawienie badań hałasu przeprowadzonych w Uścięcicach i na odcinku autostrady A2

Nawierzchnia	SRTT			AAV4			WTR1			WTR2			CPX Index		
	Prędkość [km/h]			Prędkość [km/h]			Prędkość [km/h]			Prędkość [km/h]			Prędkość [km/h]		
	50	80	100	50	80	100	50	80	100	50	80	100	50	80	100
A2 N. Tomyśl-Trzciel*	93.4	99.4	102.3	92.7	98.6	101.4	91.7	97.4	100.9	89.1	96.0	100.1	93.1	99.0	101.8
Uścięcice OGFC 8	89.3	95.4	-	90.2	96.0	-	88.4	94.3	-	86.3	93.1	-	89.7	95.7	-
Uścięcice PA 8	88.3	93.0	-	88.5	93.9	-	87.1	92.8	-	85.3	91.4	-	88.4	93.4	-

## 5.4. Poligon A2 Bolimów

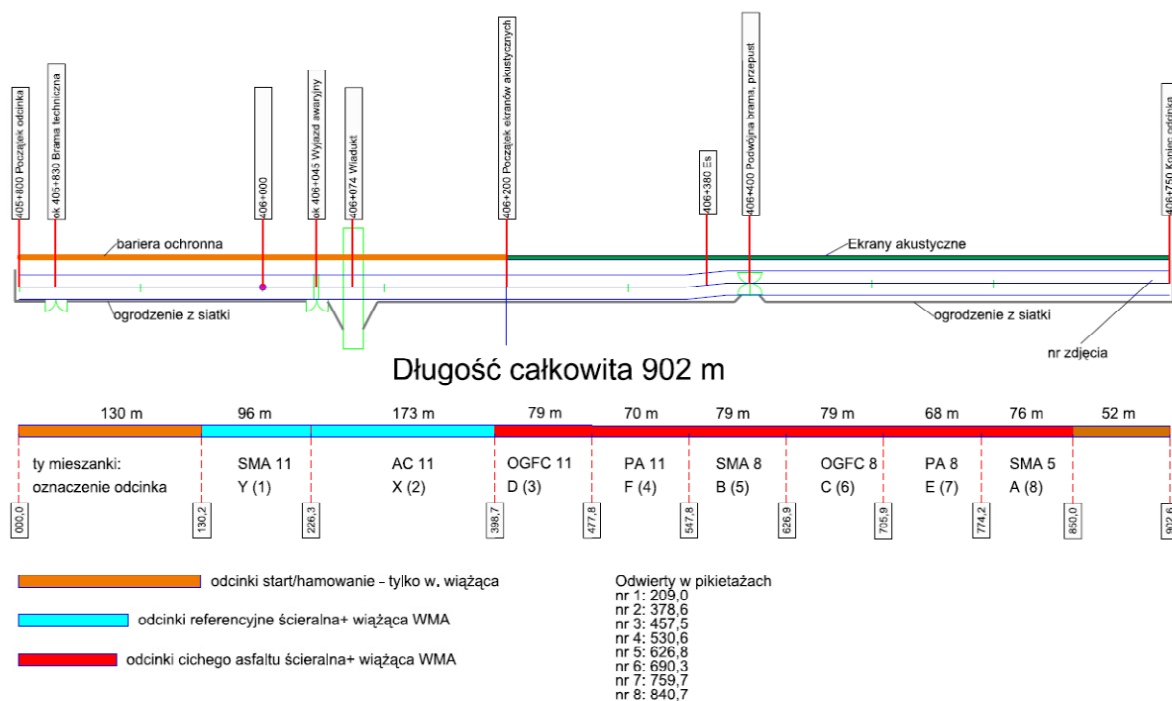
Rozdział został opracowany na podstawie wcześniej zrealizowanych badań przedstawionych m.in. w publikacji [3].

W projekcie CiDRO wykonano odcinki prototypowe (zamknięte dla ruchu) i demonstracyjne (w ciągu głównym drogi publicznej).

Odcinki prototypowe zostały wybudowane na południowym odcinku drogi technicznej autostrady A2 na wysokości miejscowości Bolimów. Droga techniczna posiadała nawierzchnię gruntową z kruszywa łamanego o szerokości 4,5-5 metrów i usytuowana była w lekkim nasypie 0,3-0,5 m. Cały teren ogrodzony jest siatką stalową oraz na większej części odgrodzony jest od autostrady ekranami dźwiękochłonnymi. W ten sposób możliwe było bezpieczne prowadzenie badań i obserwacji na odcinku, a ekrany akustyczne zapewniły

*Projekt RID – I/76 Ochrona przed hałasem drogowym*  
**Zadanie 5. Ocena nawierzchni drogowych pod względem hałaśliwości wraz z katalogiem klasyfikacyjnym nawierzchni drogowych**

jednorodne warunki do pomiarów hałasu. Przekrój poprzeczny konstrukcji nawierzchni składa się z warstwy ścieralnej (różne rodzaje mieszanek) grubości 4 cm, warstwy uszczelniającej, warstwy wiążącej grubości 6 cm z betonu asfaltowego AC16 W oraz podbudowy stabilizowanej mechanicznie (istniejąca nawierzchnia, grubość około 20 cm). Istotną cechą takiej konstrukcji jest konieczność skutecznego odprowadzenia wody, która pochłaniana jest przez ścieralne warstwy porowate. Efekt ten uzyskiwany jest przez odpowiednie wyprofilowanie przekroju poprzecznego (pochylenie jednostronne 2,5%) oraz zastosowanie warstwy uszczelniającej, która dodatkowo zabezpiecza warstwę wiążącą przed wnikaniem wody opadowej. Odcinek testowy długości 950 m podzielono na osiem sekcji. Na każdej z nich ułożono warstwę ścieralną z innej mieszanki mineralno-asfaltowej, tj. SMA 5, SMA8, OGFC 8 (BBTM), OGFC 11 (BBTM), PA 8, PA 11, AC 11 i SMA 11 (rysunek 6). Warstwa wiążąca została wykonana w technologii „na ciepło” tj. przy zastosowaniu dodatków, które umożliwiły obniżenie temperatur technologicznych do 120-125°C. Na Rys. 5.29 przedstawiono plan sytuacyjny odcinków prototypowych wykonanych w 2012 r. w ramach projektu CiDRO.



Rys. 5.29 Plan sytuacyjny odcinków prototypowych projektu CiDRO.

Badania hałasu zostały przeprowadzone przez Katedrę Konstrukcji Maszyn i Pojazdów, Wydziału Mechanicznego, Politechniki Gdańskiej. Badania hałasu przeprowadzono na sześciu odcinkach nawierzchni o obniżonej emisji hałasu o długości 80 m każdy (OGFC 11, PA11, SMA8, OGFC8, PA8, SMA5) oraz na dwóch odcinkach referencyjnych (SMA11 i AC11) o długości ponad 100 m każdy. Dla każdej nawierzchni wyspecyfikowano właściwą – środkową część odcinka długości 50 m, na której przeprowadzono pomiary. Badanie hałasu nawierzchni drogowej metodą CPX wg normy ISO/CD 11819-2 polega na pomiarze poziomu hałasu toczenia kół pojazdów przy pomocy dwóch mikrofonów zainstalowanych w pobliżu styku opony z nawierzchnią, w zabudowanej w przyczepie. Do oceny nawierzchni stosuje się dwa rodzaje opon referencyjnych (jedna charakteryzuje hałas samochodów osobowych –

*Projekt RID – I/76 Ochrona przed hałasem drogowym*  
Zadanie 5. Ocena nawierzchni drogowych pod względem hałaśliwości wraz z katalogiem klasyfikacyjnym nawierzchni drogowych

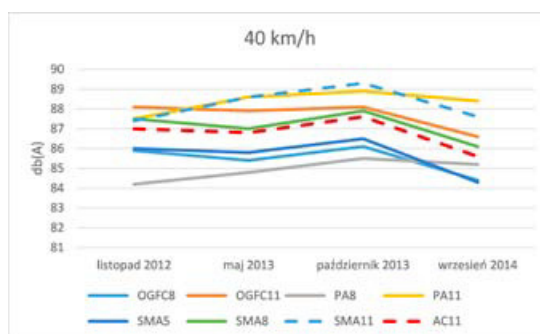
---

opona SRTT, druga charakteryzuje hałas samochodów ciężarowych – opona AAV4). Badanie najczęściej przeprowadza się dla trzech prędkości – 50, 80 i 110 km/h. Z przyczyn technicznych (brak możliwości rozwinięcia prędkości powyżej 60 km/h) przeprowadzenie pomiarów dla dwóch najwyższych prędkości nie było możliwe na odcinku w Bolimowie, więc podjęto decyzję o wykonaniu badań przy prędkościach 40 i 50 km/h (Rys. 5.30).



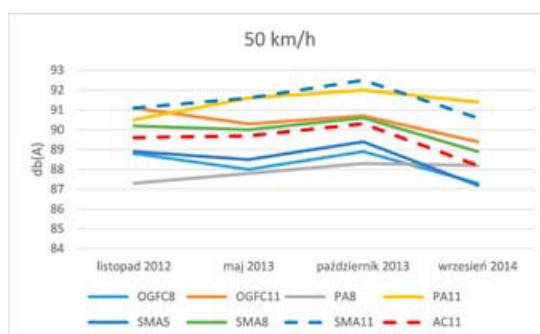
Rys. 5.30 Zdjęcie sytuacyjne pomiaru CPX

Badania przeprowadzono czterokrotnie: w listopadzie 2012, maju 2013, październiku 2013 (bezpośrednio po zanieczyszczeniu odcinka) oraz we wrześniu 2014 (bezpośrednio po czyszczeniu odcinka). Na Rys. 5.31, Rys. 5.32 przedstawiono wyniki pomiarów metodą CPX.



Rys. 5.31 Wyniki pomiarów hałasu metodą CPX

Projekt RID – I/76 Ochrona przed hałasem drogowym  
Zadanie 5. Ocena nawierzchni drogowych pod względem hałaśliwości wraz z katalogiem klasyfikacyjnym nawierzchni drogowych



Rys. 5.32 Wyniki pomiarów hałasu metodą CPX

Na podstawie przedstawionych wyników pomiarów stwierdzono, że niezależnie od terminu pomiaru jak i prędkości największymi mieszankami są: OGFC8, PA8, SMA5. Kolejne miejsce zajmuje mieszanka AC11, która okazała się lepsza pod względem hałaśliwości niż pozostałe mieszanki zastosowane na odcinku. Na tej podstawie można stwierdzić, że mieszanki OGFC11 i PA 11 nie okazały się efektywnym rozwiązaniem w celu ograniczenia emisji hałasu.

Nawierzchnie poddano kontrolowanemu zabrudzeniu pyłem pozyskanym z pojazdów czyszczących nawierzchnie drogowe a następnie procesowi czyszczenia. W wyniku zabrudzenia hałaśliwość wszystkich nawierzchni wzrosła, a zabieg oczyszczania doprowadził do poprawy w tym zakresie. Relatywnie najmniejszą poprawę po czyszczeniu odnotowano w przypadku nawierzchni z warstwą ścierną PA8 i PA11.

Nawierzchnie poddano badaniu wodoprzepuszczalności metodą „in-situ”. Pomiar wodoprzepuszczalności metodą “in-situ” przedstawiono na Rys. 5.33.



Rys. 5.33 Pomiar wodoprzepuszczalności metodą in-situ

We wrześniu 2017 r. przeprowadzono inwentaryzując zniszczeń odcinków po okresie 5 lat od wykonania. W trakcie oględzin nie zauważono żadnych oznak przyspieszonej degradacji nawierzchni drogowej.

## **6. BADANIA AKUSTYCZNE METODĄ OBSI ORAZ POMIARY CECH POWIERZCHNIOWYCH**

### **6.1. Wybór odcinków drogowych**

Szczegółowe informacje dotyczące wyboru odcinków pomiarowych, charakterystyki technologii oraz charakterystyki odcinków przedstawiono w raporcie z zad. 2. Odcinki 5, 6 i 7 zostały dodatkowo poddane badaniom przedstawionym w rozdziale 5.

### **6.2. Metodyka pomiarowa**

IBDiM wykonał pomiary stanu powierzchniowego (IRI, MPD i ETD oraz hałaśliwości (metoda OBSI) 10 odcinków nawierzchni. Szczegóły dotyczące metodyki znajdują się w raportach z zadań 1 oraz 4.

### **6.3. Analiza wyników badań**

Szczegółowe zestawienie wyników pomiarów hałaśliwości oraz stanu powierzchniowego przedstawione jest w Zał. 2. OBSI oraz Zał. 3 IRI\_MPD\_ETD. Wyniki pomiarów współczynnika tarcia stanowią element raportu z zad. 2.

W Tab. 6.1 przedstawiono wyniki pomiarów IRI, MPD oraz ETD 10 odcinków. Zauważyć można, że wartości obrazujące makroteksturę (MPD) pogrupować można na kilka przedziałów: AC8S i SMA 8 (wartość najniższa), AC11S, SMA11, BBTM 8 oraz SMA-LA wartości pośrednie i PA8 wartość najwyższa. Przedstawiona klasyfikacja nawierzchni związana z makroteksturą jest zgodna z danymi literaturowymi w tym zakresie.

*Projekt RID – I/76 Ochrona przed hałasem drogowym*  
**Zadanie 5. Ocena nawierzchni drogowych pod względem hałaśliwości wraz z katalogiem klasyfikacyjnym nawierzchni drogowych**

Tab. 6.1 Średnie wartości parametrów tekstury.

technologia	kod	Rodzaj mma	IRI [mm/m]	MPD [mm]	ETD [mm]
standardowe	1	AC8S	2,36/1,97	0,55/0,55	0,64/0,64
	2	AC11S	1,45/1,51	0,85/0,88	0,88/0,90
	3	SMA8	1,78/1,32	0,68/0,69	0,74/0,76
			2,07/1,25	0,60/0,64	0,68/0,71
4	SMA11	1,64/1,70	0,78/0,82	0,83/0,85	
Redukujące hałas	5	PA8 Uścięcice	2,35	1,16	
	6	BBTM 8 Uścięcice	2,39	0,82	
	7	BBTM 8B Wołoska	1,83/1,43	0,78/0,82	0,82/0,85
			1,74/1,60	0,82/0,84	0,86/0,87
	8	SMA-LA- Hlonda	1,82/1,68	0,91/0,70	
			1,71/1,81	0,79/0,73	
9	SMA-LA- Bułgarska	2,40/1,67	0,94/0,92		
		2,44/1,64	0,68/0,73		
10	SMA-LA- Pleszew	1,72/1,74	0,76/0,76		

Dodatkowe liczby oznaczają wynik pomiaru w drugim kierunku lub na drugim pasie.

W Tab. 6.2 przedstawiono wyniki pomiarów hałasu metodą OBSI dla 10 odcinków. Pomiary wykonano dla różnych zakresów prędkości (48 km/h, 72 km/h oraz 97 km/h). Interpretacja uzyskanych danych jest utrudniona ze względu na niepełną matrycę wyników dla różnych prędkości pojazdów; szczególnie zauważalne jest to w przypadku nawierzchni 5 i 6 dla których nie wykonano pomiarów przy najniższej z przedstawianych wartości, tj. 48 km/h. Na podstawie przeprowadzonych pomiarów wnioskować można, że dla prędkości 48 km/h nawierzchnie SMA-LA nie wykazują właściwości ograniczających hałas toczenia. Zauważyć można ponadto, że dla prędkości 72 km/h nawierzchnie z odcinków 5 i 6, mimo istotnego zabrudzenia, charakteryzują się niższymi wartościami hałasu w stosunku do innych odcinków.



*Projekt RID – I/76 Ochrona przed hałasem drogowym*  
**Zadanie 5. Ocena nawierzchni drogowych pod względem hałaśliwości wraz z katalogiem klasyfikacyjnym nawierzchni drogowych**

Tab. 6.2 Średnie wartości OBSI

technologia	kod	Rodzaj mma	Wartość OBSI, dB		
			48 km/h	72 km/h	97 km/h
standardowe	1	AC8S	90,4		
	2	AC11S	92,8	99,1	
	3	SMA8	92,3	97,7	
	4	SMA11	94,1	99,6	
Redukujące hałas	5	PA8 Uścięcice		96,3	99,9
	6	BBTM 8 Uścięcice		96,4	99,7
	7	BBTM 8B Wołoska	91,6		
	8	SMA-LA- Hlonda	94,7	100,7	
	9	SMA-LA- Bułgarska	94,5	100,5	
	10	SMA-LA- Pleszew	92,8	98,6	

Dodatkowe liczby oznaczają wynik pomiaru w drugim kierunku lub na drugim pasie.

Stwierdzić należy, że na podstawie ograniczonej matrycy wyników pomiarowych nie jest możliwe precyzyjne określenie zależności w zakresie hałas/tekstura. Liczne publikacje literaturowe, prezentowane wcześniej w zad 2 potwierdzają jednak wyniki przedstawione w tym rozdziale.

## **7. CHARAKTERYSTYKA AKUSTYCZNA I TECHNICZNA NAWIERZCHNI DROGOWYCH**

Asfaltowe nawierzchnie drogowe muszą spełniać wymagania związane z bezpieczeństwem i komfortem jazdy, utrzymaniem i trwałością warstw nawierzchni. Istotnym z punktu widzenia społecznego jest usytuowanie autostrady np. w centrum miasta i właściwy poziom hałasu pochodzącego od pojazdów samochodowych poruszających się na terenach zabudowanych. Hałas ten może być uciążliwy dla lokalnej społeczności żyjącej i pracującej w sąsiedztwie danej autostrady. Hałaśliwość nawierzchni jest zmienna w czasie i związana jest głównie z degradacją nawierzchni zauważalną m.in. w postaci zmian właściwości powierzchniowych.

### **7.1. Właściwości odcinka referencyjnego**

Nawierzchnia referencyjna<sup>3</sup> to: nawierzchnia drogi wykonanej z zastosowaniem w warstwie ścieralnej mieszanki mastyksu grysowego SMA 11 zgodnie z WT-2 2014. Nawierzchnia referencyjna dotyczy drogi krajowej przeznaczonej do ruchu pojazdów samochodowych o prędkości dopuszczalnej powyżej 50 km/h w porze dziennej. Droga projektowana jest na kategorię ruchu większą lub równą KR5. Nawierzchnia referencyjna charakteryzowana jest dla drogi pomiędzy trzecim a czwartym rokiem eksploatacji, typowej dla drogi o tej kategorii ruchu, bez widocznych objawów przyspieszonej degradacji.

Nawierzchnia referencyjna znajduje się na odcinku drogi zlokalizowanym w odległości poza strefami kolejek pojazdów, tj. większej niż 200 m od skrzyżowań, węzłów, wjazdów lub zjazdów zgodnie z definicjami przedstawionymi w Dz. Ust. 43 oraz od oznakowanych przejść dla pieszych.

Zaznaczyć należy, że zgodnie z informacjami przedstawionymi w rozdziale 2 w końcu roku 2018 planowane jest pełne wdrożenie metodyki CNOSSOS. Zgodnie z wytycznymi CNOSSOS nawierzchnia referencyjna charakteryzowana jest dość szerokimi wymaganiami. Przedstawiona w pracy wymagania w zakresie nawierzchni referencyjnej są bardziej uszczegółowione.

### **7.2. Porównanie rozwiązań materiałowo-technologicznych górných warstw nawierzchni z odcinkiem referencyjnym**

Zmiany asfaltowej nawierzchni drogowej w trakcie eksploatacji skutkują zmianami cech eksploatacyjnych oraz w zakresie cech akustycznych. Zmiany te, charakteryzowane jako degradacja, to przede wszystkim koleiny, wypadania ziaren, ubytki mieszanki, spękania

---

<sup>3</sup> Zgodnie z Dyrektywą Komisji (UE) 2015/996 z dnia 19 maja 2015 r. ustanawiającą wspólne metody oceny hałasu zgodnie z dyrektywą 2002/49/WE nawierzchnia referencyjna powinna być wykonana jest ze średnio zagęszczonego betonu asfaltowego 0/11 i mieszanki grysowo-mastyksowej 0/11 w wieku 2 do 7 lat oraz w stanie utrzymania określonym w warunkach odniesienia.

## Zadanie 5. Ocena nawierzchni drogowych pod względem hałaśliwości wraz z katalogiem klasyfikacyjnym nawierzchni drogowych

podłużne i poprzeczne oraz obniżenie współczynnika tarcia. W okresie eksploatacji nawierzchni konieczne jest dokonywanie zabiegów utrzymaniowych i remontów cząstkowych polegających m.in. na usuwaniu kurzu, zimowym utrzymaniu, uszczelnianiu połączeń technologicznych, usuwaniu wybojów i ubytków i naprawach powierzchniowych, m.in. w celu zachowania właściwości związanych z hałasem drogowym. Remonty okresowe nawierzchni drogowej, polegające m.in. na wymianie asfaltowej warstwy ścieralnej, skutkować mogą przywróceniem pierwotnych cech powierzchniowych nawierzchni drogowej i przywróceniem pierwotnych właściwości w zakresie hałaśliwości nawierzchni.

Klasy nawierzchni w odniesieniu do hałasu drogowego przedstawiono w Tab. 7.1. Współczynniki korekcyjne wyznaczono na podstawie analiz i badań prowadzonych różnymi metodami pomiarowymi (m.in. CPX, SPB, OBSI) dla nawierzchni o różnym okresie eksploatacyjnym. Zaznaczyć należy, że w praktyce wartości mogą się różnić w zakresie  $\pm 1,5$  dB od wielkości katalogowych. Różnice wynikać mogą z dokładności pomiarów i prognoz hałasu środowiskowego w otoczeniu drogi oraz z uwarunkowań materiałowo-technologicznych, w tym m.in. uziarnienia, zawartości lepiszcza, stopnia zagęszczenia i warunków pogodowych wykonania warstw nawierzchni drogowych.

Tab. 7.1 Klasy nawierzchni w odniesieniu do hałasu drogowego

klasa nawierzchni w odniesieniu do hałasu drogowego		rozwiązanie technologiczne	współczynnik korekcyjny, dB
standardowe		SMA5	-1,5
		SMA8	-1,0
		SMA11	0
		AC5S	-1,0
		AC8S	-0,5
		AC11S	0
redukujące hałas	o obniżonej hałaśliwości	BBTM8A	-2,0
		BBTM8A*	-2,5
		BBTM8B	-3,5
		BBTM8B*	-4,0
		BBTM11A	-1,5
		BBTM11A*	-2,0
		BBTM11B	-2,0
		BBTM11B*	-2,5
	ciche	PA8	-5,5
		PA11	-4,5

\* mieszanki mineralno-asfaltowe wg RID-76-Zad2-Załącznik 1

W Tab. 7.2 przedstawiono informacje umożliwiające oszacowanie okresu zachowania właściwości akustycznych nawierzchni w trakcie eksploatacji (bez przeprowadzania remontu okresowego). W przypadku standardowych mieszanek mineralno-asfaltowych hałas drogowy generowany na styku koło/nawierzchnia w pierwszym okresie eksploatacji (0 - 2 lata) może

Zadanie 5. Ocena nawierzchni drogowych pod względem hałaśliwości wraz z katalogiem klasyfikacyjnym nawierzchni drogowych

być różny od przedstawionego w Tab. 7.1 - stabilizacja następuje pomiędzy drugim i trzecim rokiem eksploatacji. W początkowym okresie eksploatacji wartości hałaśliwości mogą być o 0,5-2,0 dB niższe (większe zmiany dotyczą nawierzchni z mieszankami o mniejszym maksymalnym uziarnieniu kruszywa natomiast mniejsze zmiany dotyczą nawierzchni z większym maksymalnym uziarnieniem). W pozostałym okresie eksploatacji występować może przyrost w zakresie 0-1,5 dB w przypadku właściwego prowadzenia zabiegów utrzymaniowych nawierzchni.

W przypadku mieszanek mineralno-asfaltowych redukujących hałas drogowy generowany na styku koło/nawierzchnia w pierwszym okresie eksploatacji (do 1 roku) również występować mogą różnice w stosunku do wartości przedstawionych w Tab. 7.1. W początkowym okresie eksploatacji wartości te mogą być o 0,5-1,0 dB wyższe. W kolejnym okresie eksploatacji (1-4 lat) następuje stabilizacja. W pozostałym okresie eksploatacji występować może przyrost w zakresie 0-1,5 dB w przypadku nawierzchni projektowanych i utrzymywanych zgodnie z RID-76-Zad2-Załącznik 1 i 2.

Tab. 7.2 Zachowanie właściwości akustycznych nawierzchni drogowej w trakcie eksploatacji (bez przeprowadzania remontu okresowego)

klasa nawierzchni w odniesieniu do hałasu drogowego		rozwiązanie technologiczne	czas, lata
standardowe		SMA5	12
		SMA8	12
		SMA11	12
		AC5S	12
		AC8S	12
		AC11S	12
redukujące hałas	o obniżonej hałaśliwości	BBTM8A	6
		BBTM8A*	9
		BBTM8B	6
		BBTM8B*	9
		BBTM11A	6
		BBTM11A*	9
		BBTM11B	6
		BBTM11B*	9
	ciche	PA8	6
		PA11	6

\* mieszanki mineralno-asfaltowe wg RID-76-Zad2-Załącznik 1

## **8. KALKULACJA EFEKTÓW EKONOMICZNYCH Z TYTUŁU PRZEWIDYWANEGO ZASTOSOWANIA WYNIKÓW ZADANIA**

W rozdziale 9 w raporcie z zadania 2 przedstawiono założenia oraz metodologie związane z całościową analizą i ekonomiczną oceną skutków hałasu drogowego. Wynikiem realizacji zadania 5 jest Katalog klasyfikacyjny nawierzchni drogowych w odniesieniu do hałasu drogowego.

W celu przeprowadzenia kalkulacji efektów ekonomicznych z tytułu przewidywanego zastosowania Katalogu dotyczącego klasyfikacji akustycznej nawierzchni oraz zmian w zakresie jej hałaśliwości, stwierdzić należy, że obecnie stosowane rozwiązania to przede wszystkim ekrany akustyczne. W zakresie analiz ekonomicznych zauważyć można, że:

- Katalogu jest narzędziem wspierającym proces projektowy oraz opracowań środowiskowych (karta informacyjna przedsięwzięcia, raport o oddziaływaniu przedsięwzięcia na środowisko, analiza porealizacyjna, przegląd ekologiczny) w zakresie doboru rozwiązań w aspekcie uwarunkowań ochrony środowiska przed hałasem drogowym,
- Katalog do wsparcia procesu przygotowania opracowań środowiskowych,
- Katalog może mieć zastosowanie do analiz w zakresie dróg nowoprojektowanych.
- Katalog może mieć zastosowanie do analiz w zakresie dróg istniejących, dla których wykonywane są roboty drogowe polegające na pełnej lub częściowej wymianie nawierzchni drogowej

Właściwy dobór rozwiązań związanych z ochroną środowiska, w tym przed ochroną przed hałasem, jest złożonym i skomplikowanym zagadnieniem projektowym. Zastosowanie Katalogu może spowodować ograniczenie kosztów budowy ekranów poprzez zmniejszenie ich długości oraz wysokości. Porównując wprowadzenie rozwiązań w zakresie projektowania i opracowań środowiskowych będących rezultatem realizacji zadania 5 w stosunku do projektowania i opracowań środowiskowych bez dostępności do informacji zawartych w Katalogu, przewidywać można poprawę jakości procesu projektowego; łączy się to ponadto z obniżeniem kosztów po stronie projektantów i wykonawców (a więc docelowo także i inwestorów - poprzez niższą cenę realizacji kontraktu) oraz obniżeniem kosztów po stronie nadzoru, głównie w zakresie kosztów pracy.

Zespół realizujący zadanie 5 nie ma dostępu do szczegółowych informacji inwestora w zakresie szacowania kosztów pracy oraz wycen prowadzonych przez wykonawców, stąd też informacje przedstawione w tym rozdziale mają charakter szacunkowy.

## 9. PODSUMOWANIE

W zadaniu 2 przedstawiono charakterystykę asfaltowych nawierzchni drogowych w aspekcie obniżenia hałasu drogowego. W zadaniu 3 przedstawiono podobną charakterystykę dla nawierzchni wykonywanych z betonu cementowego. Oba zadania zakończyły się wytycznymi zawierającymi instrukcje materiałowo-technologiczne projektowania, wykonania i utrzymania nawierzchni obniżających hałas drogowy. Informacje pozyskane w zadaniach 2 i 3 stanowiły materiał wyjściowy do opracowania Katalogu klasyfikacyjnego nawierzchni drogowych w odniesieniu do hałasu drogowego wraz z określeniem zmian właściwości nawierzchni drogowych w czasie w odniesieniu do hałasu drogowego. Katalog zbudowany został na podstawie określenia zależności funkcyjnych pomiędzy rodzajem nawierzchni drogowych i warunkami eksploatacji.

Uwzględnienie nawierzchni przy prognozowaniu poprawy klimatu akustycznego jest dużym wyzwaniem, m.in. ze względu na różnice w metodach pomiarowych, szczególnie w zakresie pomiarów w zakresie hałaśliwości nawierzchni oraz klimatu akustycznego. Zagadnienia te wymagają współpracy interdyscyplinarnych zespołów badawczych.

Zauważyć należy, że poza pracą [96] materiały prezentowane w zad. 2, 3 oraz 5 były pierwszymi tak rozległymi badaniami wykonanymi w Polsce w ramach prac finansowanych ze środków GDDKiA. Autorzy mają świadomość, że prezentowane materiały nie wyczerpują całości zagadnienia. Technologie drogowe ulegają ustawicznemu udoskonalaniu a flota pojazdów samochodowych również ulega zmianom. Z tych powodów prace w tej tematyce, wzorem prac wykonywanych ze środków UE oraz Holandii i Danii powinny być kontynuowane w celu dalszego udoskonalania spostrzeżeń przedstawionych w raporcie.

Autorzy uważają, że w celu rozwoju cichych nawierzchni w Polsce należy przeprowadzić program kompleksowych pomiarów na terenie całego kraju. W przypadku adaptowania rozwiązań materiałowo-technologiczno-projektowych stosowanych w innych krajach uwzględnić należy krajowe warunki klimatyczne oraz doświadczenia materiałowe.

*Podsumowując, nieco mniej formalnie, stwierdzić należy że rozwiązania nawierzchniowe, szczególnie w zakresie tekstury nawierzchni, zapewniają różne, często dość niespotykane rozwiązania. W dniu 11.04.2018 światowe media obiegrała informacja, że w Holandii, na prośbę mieszkańców, zamknięto „śpiewającą drogę”; w nawierzchnię tej drogi wbudowane były listwy, który podczas jazdy z określoną prędkością generowały dźwięk w wyniku interakcji opona/nawierzchnia. Ze względu na umieszczenie listew w określonych odstępach, możliwe było słuchanie melodii podczas jazdy samochodem<sup>4</sup>.*

---

<sup>4</sup> [https://www.youtube.com/watch?time\\_continue=33&v=OgDPcM\\_1vJs](https://www.youtube.com/watch?time_continue=33&v=OgDPcM_1vJs)

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Mioduszewski P., Kowalski K. J., „Pavement ageing influence on tyre/road noise”, INTER-NOISE 2017, 27-30.08.2017, Hong Kong, China.
- [2] Kowalski K. J., Bańkowski W., Król J. B., Gajewski M., Horodecka R., Świeżewski P., “Selection of quiet pavement technology for Polish climate conditions on the example of CiDRO project”, Transportation Research Procedia, vol. 14, 2016, pp. 2724-2733, Proceedings of 6th Transport Research Arena, April 18-21, 2016, Warsaw, Poland..
- [3] Sarek S., Kowalski K. J., Bańkowski W., Otkąło K., Świeżewski P., Król J., Radziszewski P., Piłat J., Sarnowski M., Liphardt A., Pokorski P., Gajewski M., Horodecka R., Mirski K., „Innowacyjna technologia nawierzchni drogowych o obniżonej emisji hałasu”, Wydawca: Mostostal Warszawa S.A., ISBN: 978-83-939898-1-2, Warszawa 2015..
- [4] Kowalski K.J., Brzeziński A. J., Król J.B., Radziszewski P., Szymański Ł., „Traffic analysis and pavement technology as a tool for urban noise control”, Archives of Civil Engineering, is. 4, vol. LXI, 2015, pp. 107-125.
- [5] Kowalski K.J., Dare T., McDaniel R., Olek J., Bernhard R., “Exploration of Laboratory Technique for Tire-Pavement Noise Assessment of Hot-Mix Asphalts”, proceedings of the 2011 TRB 90th Annual Meeting, Transportation Research Board., Washington D.C., January 2011..
- [6] Kowalski K., Radziszewski P., Bańkowski W. i Otkąło K., „Hałas toczenia na prototypowych odcinkach drogowych”, rozdział w monografii Metody ochrony środowiska przed hałasem – teoria i praktyka., wydawca: wydawnictwo Ekkom, Zakopane 2013, pp. 145-158, prezentowane również na międzynarodowej konferencji Transnoise 2013, Zakopane, październik 2013..
- [7] Otkąło K., Kowalski K., Piłat J., „Wykonanie odcinka prototypowego projektu „CiDRO”/Construction of the prototype sections in „CiDRO” project”, Drogownictwo, vol. 68, no. 6, Warsaw, Poland, 2013, pp. 174-176, prezentowane również na Technicznych Dniach Drogowych 2012..
- [8] McDaniel, R. S., K. J. Kowalski, A. Shah, J. Olek, and R. J. Bernhard. “Long Term Performance of a Porous Friction Course”, Publication FHWA/IN/JTRP-2009/22., Joint Transportation Research Program, Indiana Department of Transportation and Purdue University, West Lafayette, Indiana, USA, 2010, 45 pages. doi: 10.5703/1288284314284.
- [9] Kowalski K., Radziszewski P., Piłat J., Król J. and Gorol J., "Metody kształtowania cichych i bezpiecznych nawierzchni drogowych ", Rozdział monografii „Ochrona środowiska i estetyka a rozwój infrastruktury drogowej”, Lublin, Poland, 2011, pp. 177-188; prezentowane również na V Międzynarodowej Konferencji Naukowo-Technicznej Ochrona Środowiska i Estetyka a Rozwój Infrastruktury Drogowej, Zamość, 7-9 września 2011. .
- [10] Kowalski K., Piłat J., Król J., Sarnowski M. „Ciche i bezpieczne nawierzchnie porowate w warunkach klimatu Europy Środkowo-Wschodniej”, Magazyn Autostrady, Katowice, nr 8-9, 2009, pp. 98-101;; ; prezentowane również w proceedings of Vth International Conference: Organization of Issues in Roads Construction, Bydgoszcz, Poland, May 2009, pp. 51-62..
- [11] Descornet G. and Sandberg U., “Road Surface Influence on Tire / Road Noise – Part II,” Proceedings of the Inter-Noise 80 Conference, Miami, Florida, December 8-10, 1980..
- [12] Sandberg U. and Descornet G., “Road Surface Influence on Tire / Road Noise – Part I,” Proceedings of the Inter-Noise 80 Conference, Miami, Florida, 8-10 December 1980.
- [13] de Roo F., Gerretsen E., Hoffmans W. G. J. and Doelman N. J., “Dutch Tyre-Road Noise Emission Model – Adjustments and Validation,” Proceedings of the Inter-Noise 99 Conference,

*Projekt RID – I/76 Ochrona przed hałasem drogowym*  
Zadanie 5. Ocena nawierzchni drogowych pod względem hałaśliwości wraz z katalogiem klasyfikacyjnym nawierzchni drogowych

---

- Fort Lauderdale, Florida, USA, 6-8 December 1999, pp. 243-248.
- [14] FHWA TNM, "Traffic Noise Model (TNM)," FHWA publication, available online, <http://www.trafficnoisemodel.org/>, accessed November 2006..
- [15] Rochat J. L. 2005-1, "Predicting Highway Traffic Noise," TR News, Transportation Research Board, No. 240, 2005.
- [16] Rochat J. L., 2005-2, "Tire/Pavement Noise: Measurement and Modeling," Notebook of Presentations of Quiet Asphalt 2005, A Tire/Pavement Noise Symposium, Lafayette, Indiana, November 2005.
- [17] Nadella S. and Herman L., "Accuracy of a Traffic Noise Model Using Data from Machine Vision Technology," Transportation Research Record 1941, 2005, pp. 155-160.
- [18] Wayson R. L., Chovarelli M. and MacDonald J. M., "Testing the AAMA Community Noise Model," Proceedings of the 78th Transportation Research Board Annual Meeting (CD), Washington D.C., January 1999..
- [19] Anfosso-Ledee F. and Dangla P., "Sound Propagation above a Porous Road Surface by Boundry Element Method," Road Materials and Pavement Design Journal, Vol. 7, No. 3, 2007, pp. 289-312.
- [20] Christian A. i in., Low-noise road surfaces in urban areas, final report, FEDRO, Switzerland, 2007..
- [21] Paffen P., Schouten L., Bouman F., Kamer J., Low-noise road surfaces in urban areas, Euronoise, 31.05-03.06, Maastricht, 2015..
- [22] Leung J., Mak V., Lee Ch. K., Lau K. K., Development of low noise road surfacing materials in Hong Kong, proceeding of inter.noise, 27-30.08.2017, Hong Kong..
- [23] Egger S., Saurer T., Hammer E., Buhlmann E., A new method for reliable determination of the acoustic performance of low-noise road surfaces at speeds below 50 km/h, proceeding of inter.noise, Hamburg 2016..
- [24] Gardziejczyk W. and Berengier M., "Tyre / Road Noise in Aspect of Road Surface Construction Technology," Archives of Civil Engineering, Vol. XLVI, No. 1, Warsaw, Poland, 2000..
- [25] Gardziejczyk W. and Ejsmont J. A., "Influence of Wearing Course Type on Road Traffic Noise," Proceedings of the 5th International Conference Safe and Durable Highways, Kielce, Poland, 1999, pp. 45-54..
- [26] Gardziejczyk W., "Comparison of the Noisiness of Dry and Wet Road Pavements," Proceedings of the 3rd International Conference Modern Technologies in Highway Engineering, Poznan, Poland, September 8-9, 2005..
- [27] Gardziejczyk W., "Road Surface Influence on Traffic Noise in Models of Noise Level Prediction," Proceedings of the International Conference Krynica 2004, Krynica, Poland, September 12-17, 2004, pp. 121-128..
- [28] Gardziejczyk W., "Texture of Road Surfaces – Methods of Measurement, Parameters Evaluation and its Influence on the Tire/Road Noise," Drogi i Mosty, No. 2, Poland, 2002, pp. 5-29..
- [29] Gardziejczyk W., „Cicha” nawierzchnia drogowa jako sposób na ograniczenie hałasu od ruchu samochodowego. Inżynieria Ekologiczna, 40, 2014, s. 65-73..
- [30] Gardziejczyk W., Hałas od przejeżdżającego pojazdu w zależności od jego prędkości i charakterystyki nawierzchni drogowej. Magazyn Autostrady, 7/2015, s. 22-27..
- [31] Gardziejczyk W., Gierasimiuk P., Motylewicz M., Hałaśliwość nawierzchni betonowych-przykładowe wyniki badań. Drogownictwo, 10/2014, s. 319-326..
- [32] Sybilski D. i inni, Ocena wpływu typu i technologii wykonania nawierzchni drogowej na hałaśliwość ruchu drogowego i jego uciążliwość dla środowiska,, temat WS-05, Instytut Badawczy Dróg i Mostów, Zakład Technologii Nawierzchni, Pracownia Technologii



*Projekt RID – I/76 Ochrona przed hałasem drogowym*  
Zadanie 5. Ocena nawierzchni drogowych pod względem hałaśliwości wraz z katalogiem klasyfikacyjnym nawierzchni drogowych

---

- Nawierzchni, Warszawa, listopad 2005.
- [33] Bańkowski W., Ciche nawierzchnie drogowe na świecie, *Materiały Budowlane*, vol. 11, 2011, s. 51-53.
- [34] Sybilski D., Długowieczne nawierzchnie asfaltowe w świecie i w Polsce. *Drogownictwo*. 3/2004..
- [35] Sybilski D., Ciche nawierzchnie. Zastosowanie nowoczesnych technologii w konstrukcjach nawierzchni, 15-17.09.2010, Zakopane: PKD Region Małopolska, konwent Dyrektorów ZDW, ZMRP odz. Małopolska..
- [36] Gardziejczyk W., Przegląd i analiza porównawcza metod badania hałaśliwości nawierzchni drogowych. *Magazyn Autostrady*, 1-2/2011, s. 24-31..
- [37] Gardziejczyk W., I Konferencja ochrony środowiska przed hałasem komunikacyjnym, Zakopane, Transnoise 2012.
- [38] Mioduszewski P. Hałaśliwość nawierzchni drogowych w Polsce i w Europie. Metody ochrony środowiska przed hałasem – teoria i praktyka. Konferencja Transnoise 2013, s. 159-173, Zakopane.
- [39] Nielsen C. B., Bendtsen H., Andesen B., Ertman Larsen H. J., Noise reducing pavements in Japan - study tour report, Danish Road Institute, Technical note 31, 2005..
- [40] Thomsen S. N., Bendtsen H., Kragh J., Test of thin layers on highway - year 1 measurement report, VI Technical Note 35, Danish Road Institute, 2006..
- [41] Noise reducing thin layers - Promising concepts, VI Technical Note 36, Danish Road Institute, 2006..
- [42] Empfehlungen für die Planung und Ausführung von larmtechnisch optimierten Asphaltdeckschichten aus AC D LOA und SMA LA. E LA D. FGSV 739, August 2014..
- [43] Reken- en meetvoorschrift geluid 2012 (RMG2012).
- [44] CROW - publicatie nr. 316: Standard RAW Bepalingen 2015.
- [45] <https://www.infomil.nl/onderwerpen/hinder-gezondheid/geluid/inhoudelijk-dossier/regelgeving/wet-geluidhinder/wegverkeerslawaa/akoestisch-rapport/virtuele-map/standaard-0/>.
- [46] NCHRP REPORT 791 Supplemental Guidance on the Application of FHWA's Traffic Noise Model (TNM).
- [47] Ahammed A. M., Tighe S. L., Incorporation of Surface Texture, Skid Resistance and Noise into PMS, 7th International Conference on Managing Pavement Assets, 2008.
- [48] Dyrektywa 2002/49/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 25 czerwca 2002 r. odnosząca się do oceny i zarządzania poziomem hałasu w środowisku z dnia 18.07.2002 r. (Dz. U. L 189/12 z 18.07.2002 r.), 2002..
- [49] French national computation method "NMPB-Routes-96 (SETRA-CERTU-LCPCSTB)", referred to in Arrêté du 5 mai 1995 relatif au bruit des infrastructures routières, Journal Officiel du 10 mai 1995, Article 6, 1995..
- [50] Association Française de Normalisation, „French standard XP S 31-133:2001, Acoustique – Bruit des infrastructures de transports terrestres – Calcul de la attenuation du son lors de sa propagation en milieu extérieur, incluant les effets météorologiques”..
- [51] Der Bundesminister für Verkehr, „Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen. RLS-90”. 1990..
- [52] Dyrektywa Komisji (UE) 2015/996 z dnia 19 maja 2015 r. ustanawiająca wspólne metody oceny hałasu zgodnie z dyrektywą 2002/49/WE Parlamentu Europejskiego i Rady (Dz. U. L 168/1 z 01.07.2015 r.), 2015..
- [53] Kephelopoulos S., Paviotti M., i Anfosso-Lédée F., Common Noise Assesment Methods in

- Europe (CNOSSOS-EU). JRC Reference Reports. Luxembourg: European Commission Joint Research Centre, 2012..
- [54] Janowski A., Wykonanie XIV serii badań na Długoterminowych Odcinkach Testowych (DOT) oraz weryfikacja modeli degradacji nawierzchni po XIII seriach badań na DOT oraz weryfikacja DOT pod względem aktualnie wykorzystywanych technologii w robotach drogowych., Weryfikacja modeli degradacji nawierzchni, Umowa nr 19/12/05 z GDDKiA, Warszawa, 2005..
- [55] Alvarez A. E., Fernandez E. M., Eps Martin A., Reyes O. J., Simate G. S., Walubita L. F., Comparison of permeable friction course mixtures fabricated using asphalt rubber and performance-grade asphalt binders., *Construction and Building Materials*, vol. 28, 2012, pp. 427-436..
- [56] Alvarez A. E., Eps Martin A., Estakhri C., A review of mix design and evaluation research for permeable friction course mixtures, *Construction and Building Materials*, vol. 25, 2011, pp. 1159–1166..
- [57] Hamzah M. O., Hasan M. R., van de Ven M., Permeability loss in porous asphalt due to binder creep, *Construction and Building Materials*, vol. 30, 2012, pp. 10–15.
- [58] Leng Z., Lee C. K., Cheung L. W., Hung W. T., Exploration of crumb rubber modified asphalt as a durable low noise surface in Hong Kong, proceeding of inter.noise, 27-30.08.2017, Hong Kong..
- [59] Buhlmann E., Hammer E., Towards semi-dense asphalt mixtures that guarantee acoustic performance and durability, proceeding of inter.noise, 27-30.08.2017, Hong Kong..
- [60] Olten-Dumbrava C., Richards M., The assessment of sustainability of road noise reducing devices, proceeding of inter.noise, 27-30.08.2017, Hong Kong..
- [61] Li M., van Keulen W., van de Ven M., Molenaar A., Tang G., Investigation on material properties and surface characteristics related to tyre–road noise for thin layer surfacings, *Construction and Building Materials*, vol. 59, 2014, pp. 62–71..
- [62] Partl M. N., Pasquini E., Canestrari F., Virgili A., Analysis of water and thermal sensitivity of open graded asphalt rubber mixtures, *Construction and Building Materials*, vol. 24, 2010, pp. 283–291..
- [63] Buret M., McIntosh J., Simpson C., Comparative acoustic performance in the long term of different asphalt configurations, proceeding of inter.noise, 27-30.08.2017, Hong Kong..
- [64] Kowalski K. J., McDaniel R. S., Shah A. and Olek J. " Long-Term Monitoring of Noise and Frictional Properties of Three Pavements: Dense-Graded Asphalt, Stone Matrix Asphalt, and Porous Friction Course", *Transportation Research Record (TRR), Journal of the Transportation Research Board (TRB)*, 2009, vol. 2127, pp. 12-19; .
- [65] Lester T., Dravitzki V., Carpenter P., McIver I., Jackett R., The long-term acoustic performance of New Zealand standard porous asphalt. NZ Transport Agency research report 626. 2017, 61 pp..
- [66] Baker T. i in., Quieter Pavements: Options and Challenges for Washington State, WSDOT, May 2005..
- [67] Quieter Pavement Noise and Pavement Performance Update, WSDOT, December 2010..
- [68] Russel M. i in., Evaluation of Long-Term Pavement Performance and Noise Characteristics of Open-Graded Friction Courses Project 3: Post-Construction and Performance Report, WA-RD 749.1, WSDOT, June 2010..
- [69] Bohatkiewicz J., Biernacki S., Hałucha M., i Pasternak Ł., „Materiały do wniosku o dofinansowanie z WFOŚiGW nawierzchni redukującej hałas wraz z dodatkowymi elementami mającymi wpływ na zmniejszenie hałasu na odcinkach dróg wojewódzkich Województwa Małopolskiego, Kraków, 2014..
-

Zadanie 5. Ocena nawierzchni drogowych pod względem hałaśliwości wraz z katalogiem klasyfikacyjnym nawierzchni drogowych

---

- [70] Bohatkiewicz J., i Hałucha M., The impact of quiet pavements' usage on traffic noise on people in loosely built-up areas, [w:] Traffic Noise: Exposure, Health Effects and Mitigation, (pod. red.: Łucjan C., i Gerard D.) New York: Nova Science Publishers., ch. Chapter 5, 2017..
- [71] Zarząd Dróg Wojewódzkich w Krakowie, „Modernizacja odcinków dróg wojewódzkich - DW 965 na odcinku Młynne - Limanowa z zastosowaniem nawierzchni redukującej hałas. Program funkcjonalno - użytkowy”, 2014..
- [72] Baubonyte I., i Grazuleviciene R., Road traffic flow and environmental noise in Kaunas City, Environmental Research, Engineering & Management, t. 39, nr 1, s. 49–54, 2007..
- [73] Ellebjerg L., Effectiveness and benefits of traffic flow measures on noise control. European Commission DG Research, 2005..
- [74] Kumar K., Katiyar V. K., Parida M., i Rawat K., Mathematical modeling of road traffic noise prediction, Int. Journal of Appl. Math and Mech., t. 7, nr 4, s. 21–28, 2011..
- [75] Gągorowski A., Badania symulacyjne wpływu wybranych parametrów ruchu drogowego na hałas samochodowy, Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej, t. 98, s. 155–164, 2013..
- [76] Datka S., Suchorzewski W., i Tracz M., Inżynieria ruchu, wyd. wyd. 3 pop. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, 1999..
- [77] Tracz M., Pomiary i badania ruchu drogowego: praca zbiorowa. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, 1984.
- [78] Bohatkiewicz J., Biernacki S., i Dziki K., Wytyczne wykonywania pomiarów hałasu przy drogach krajowych prowadzonych w trakcie generalnego pomiaru ruchu. Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad, 2005..
- [79] Bohatkiewicz J., Biernacki S., i Jamrozik K., „Wpływ wprowadzenia środków uspokojenia ruchu na hałas komunikacyjny w miastach”, [w:] Metody ochrony środowiska przed hałasem - Teoria i praktyka. Konferencja Transnoise 2013, 2013, s. 7–31..
- [80] Hurba M., „Problemy ochrony przed hałasem w planowaniu przestrzennym”, [w:] Metody ochrony środowiska przed hałasem - Teoria i praktyka. Konferencja Transnoise 2013, 2013, s. 125–144..
- [81] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 16 czerwca 2011 r. w sprawie wymagań w zakresie prowadzenia pomiarów poziomów substancji lub energii w środowisku przez zarządzającego drogą, linią kolejową, linią tramwajową. lotniskiem lub portem, (Dz. U. 2011 Nr 140, Poz. 824)”, 2011..
- [82] Czarnecki J., Problemy związane z wykonywaniem pomiarów hałasu drogowego, Magazyn Autostrady, t. 7, s. 28–31, 2015..
- [83] Knabben R. M., Trichês G., Gerges S. N. Y., i Vergara E. F., Evaluation of sound absorption capacity of asphalt mixtures, Applied Acoustics, t. 114, s. 266–274, grudz. 2016..
- [84] Sandberg U., i Ejsmont J., Tyre/road noise reference book. Informex, 2002..
- [85] Morgan P., Guidance manual for the implementation of low-noise road surfaces. FEHRL, 2006..
- [86] Liao G., Sakhaeifar M. S., Heitzman M., West R., Waller B., Wang S., i Ding Y., The effects of pavement surface characteristics on tire/pavement noise, Applied Acoustics, t. 76, s. 14–23, 2014..
- [87] Allard J. F., i Noureddine A., Propagation of sound in porous media. Modelling sound absorbing materials. Wiley - A John Wiley and Sons Ltd, 2009..
- [88] Olszacki J., Hałas ruchu drogowego. Część 1. Mechanizm powstawania hałasu, Drogownictwo, t. 3/2008, s. 80–84, 2008..
- [89] Olszacki J., Hałas ruchu drogowego. Część 2. Mechanizm tłumienia hałasu, Drogownictwo, t. 4/2008, s. 118–122, 2008.
- [90] Kucharski R. J., Hałas drogowy. Warszawa: Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, 1979..
-

Zadanie 5. Ocena nawierzchni drogowych pod względem hałaśliwości wraz z katalogiem klasyfikacyjnym nawierzchni drogowych

---

- [91] Schulte W., i Gladbach B., *Offenporiger asphalt. Lärmschutzwirkung, -bedingungen und -dauer, Asphalt*, t. 2/2004, 2004..
- [92] Beckenbauer T., „Akustische Eigenschaften von Strassenoberflächen”, [w:] *Deutscher Strassen- und Verkehrskongress*, 2000, s. 234–240..
- [93] Peeters B., i Kuijpers A., „The effect of porous road surfaces on radiation and propagation of tyre noise”, [w:] *Acoustics 2008*, 2008, s. 4305–4310..
- [94] Sandberg U., „Tyre/road noise – Myths and realities”, [w:] *The 2001 International Congress and Exhibition on Noise Control Engineering*, 2001..
- [95] Engel Z., *Ochrona środowiska przed drganiem i hałasem. Wydanie drugie i poprawione. Wydawnictwo Naukowe PWN*, 2001..
- [96] Sybilski D. i inni: *Ocena wpływu typu i technologii wykonania nawierzchni drogowej na hałaśliwość ruchu drogowego i jego uciążliwość dla środowiska – Sprawozdanie końcowe, Instytut Badawczy Dróg i Mostów, Warszawa 2005..*
- [97] Gardziejczyk W.: *Wpływ technologii wykonania i tekstury nawierzchni drogowych na hałas pojazdów samochodowych*, Politechnika Białostocka, Białystok 2005..
- [98] Anfosso-Ledee F. and Dangla P., “Sound Propagation above a Porous Road Surface by Boundry Element Method,” *Road Materials and Pavement Design Journal*, Vol. 7, No. 3, 2007, pp. 289-312.
- [99] Król J., Brzeziński A., Radziszewski P., Kowalski K. J., Szagała P., “Multidirectional study for traffic noise control in case of Wołoska street in Warsaw”, VIIth International Scientific Conference Road Research and Administration CAR, Romania, Bucharest, 9-11 July 2015, pp. 762-773.
- [100] Kowalski K.J., Dare T., McDaniel R. S., Olek J. and Bernhard R., “Research on a laboratory technique for tire-pavement noise assessment of asphalt mixes”, *Archives of Civil Engineering*, vol. LIX, is. 4, 2013, pp. 561-577.
- [101] McDaniel, R. S., and Kowalski K. J., “Investigating the Feasibility of Integrating Pavement Friction and Texture Depth Data in Modeling for INDOT PMS”, Publication FHWA/IN/JTRP-2012/33., Joint Transportation Research Program, Indiana Department of Transportation and Purdue University, West Lafayette, Indiana, 2012, 29 pages..
- [102] Kowalski K. J. and West T. R., “Petrographic Evaluation of Coarse Aggregates Used in a Flexible Pavement Study on Noise and Frictional Characteristics”, *proceedings, 59th Highway Geology Symposium, Santa Fe, New Mexico, May 6-9, 2008*, pp. 307-320.
- [103] Kowalski K. J. „Influence of Mixture Composition on the Noise and Frictional Characteristics of Flexible Pavement”, Ph.D. thesis, Purdue University, Indiana, USA, 2007.
- [104] Gardziejczyk W.: *Przegląd i analiza porównawcza metod badania hałaśliwości nawierzchni drogowych. „Magazyn Autostrady” nr 1-2/2011, Katowice 2011..*
- [105] Kropp W., Kihlman T., Forssen J., i Ivarsson L., *Reduction potential of road traffic noise. A pilot study. Stockholm: Chalmers University of Technology*, 2007..
- [106] Baubonyte I., i Grazuleviciene R., *Road traffic flow and environmental noise in Kaunas City, Environmental Research, Engineering & Management*, t. 39, nr 1, s. 49–54, 2007..

## **ZAŁĄCZNIK 1. KATALOG KLASYFIKACYJNY NAWIERZCHNI DROGOWYCH W ODNIESIENIU DO HAŁASU DROGOWEGO**

Dokument dołączony w osobnym pliku

## **ZAŁĄCZNIK 2. POMIARY HAŁAŚLIWOŚCI METODĄ OBSI**

Dokument dołączony w osobnym pliku

## **ZAŁĄCZNIK 3. POMIARY CECH POWIERZCHNIOWYCH NAWIERZCHNI IRI, MPD I ETD**

Dokument dołączony w osobnym pliku