



**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 2. Ocena rozwiązań materiałowo-technologicznych  
górných warstw nawierzchni asfaltowych i zalecenia w zakresie  
ich hałaśliwości**

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. 2: Politechnika Warszawska, Instytut  
Badawczy Dróg i Mostów, Politechnika  
Lubelska

Kierownik Zad. 2: dr hab. inż. Karol Kowalski, prof. PW

Data rozpoczęcia Zad. 2: 01.01.2016

Data zakończenia Zad. 2: 31.10.2017



## Zadanie 2. Ocena rozwiązań materiałowo-technologicznych górnych warstw asfaltowych i zalecenia w zakresie ich hałaśliwości

### **Zespół badawczy**

#### **Politechnika Warszawska**

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

dr inż. Michał Sarnowski

dr hab. inż. Jan Król

prof. dr hab. inż. Piotr Radziszewski

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

dr inż. Wojciech Bańkowski

prof. dr hab. inż. Dariusz Sybilski

Krzysztof Mirski

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

mgr Piotr Koźlarek

mg inż. Adam Liphardt

dr inż. Piotr Mioduszewski

mgr inż. Karol Pietrzak

dr inż. Igor Ruttmar

dr inż. Zbigniew Tokarski

inż. Klaudia Załęska

### **Współpraca badawcza/konsultacje**

Przedstawiciele firm drogowych (Budimex, Colas, Eurovia, Masfalt, Mostostal Warszawa S.A, Porr, Skanska, Strabag, TPA)

Przedstawiciele Oddziałów GDDKiA oraz centrali GDDKiA

Przedstawiciele ZDW

Przedstawiciele ZDM

## Spis treści:

1.	Wstęp - analiza stanu wiedzy.....	15
1.1.	Właściwości nawierzchni wpływające na hałas drogowy.....	16
1.1.1.	Tekstura .....	16
1.1.2.	Porowatość.....	17
1.1.3.	Sztywność .....	18
1.2.	Rozwiązania materiałowo-technologiczne ograniczające emisję hałasu drogowego .....	19
1.2.1.	SMA - mastyks grysowy .....	20
1.2.2.	SMA-LA - mastyks grysowy o zwiększonej zawartości wolnych przestrzeni .....	21
1.2.3.	BBTM - beton asfaltowy do bardzo cienkich warstw .....	23
1.2.4.	PA - asfalt porowaty .....	26
1.2.5.	MMA z dodatkiem gumy.....	29
1.3.	Zastosowanie asfaltowych nawierzchni obniżających hałas drogowy w Europie	30
1.4.	Zmiany hałasu drogowego w czasie eksploatacji nawierzchni.....	31
1.5.	Uwarunkowania formalno-prawne.....	32
2.	Bazy danych właściwości technicznych nawierzchni drogowych .....	34
3.	Technologia asfaltu porowatego w Holandii - zmiana skuteczności redukcji hałasu w czasie eksploatacji .....	36
3.1.	Wprowadzenie.....	36
3.2.	Eksploatacja nawierzchni z warstwą asfaltu porowatego - cykl życia i rozwiązania konstrukcyjne .....	37
3.3.	Technologia asfaltu porowatego .....	40
3.3.1.	Cel i zakres rozwiązań technologicznych.....	40
3.3.2.	Budowa nowych nawierzchni.....	47
3.3.3.	Eksploatacja, utrzymanie oraz rekonstrukcja nawierzchni istniejących...	60
3.3.4.	Case study .....	66
3.3.5.	Kompaktasfalt na autostradzie A2 w Holandii.....	69
3.4.	Badania terenowe .....	72
3.4.1.	Charakterystyka stanowisk pomiarowych .....	74
3.4.2.	Stanowisko w miejscowości Venlo .....	78
3.4.3.	Stanowisko w miejscowości Boxmeer .....	79
3.4.4.	Pomiar hałasu komunikacyjnego przy różnej grubości warstw porowatych	83
3.4.5.	Pomiar hałasu komunikacyjnego w różnych okresach eksploatacji.....	84
3.5.	Zastosowanie sztucznych sieci neuronowych do predykcji hałasu.....	86
3.6.	Podsumowanie .....	90
3.7.	Wnioski .....	93
4.	Zmiana hałasu drogowego w trakcie eksploatacji nawierzchni - pomiary długookresowe metodą CPX .....	94
4.1.	Wybrane odcinki testowe .....	94
4.2.	Metoda pomiarowa.....	95
4.3.	Przygotowanie danych pomiarowych .....	98
4.4.	Wpływ starzenia się nawierzchni na hałas ruchu drogowego.....	100

Zadanie 2. Ocena rozwiązań materiałowo-technologicznych górnych warstw asfaltowych i zalecenia w zakresie ich hałaśliwości

---

4.4.1.	Beton asfaltowy .....	100
4.4.2.	Mastyks grysowy .....	101
4.4.3.	Cienkie warstwy asfaltowe .....	103
4.4.4.	Mieszanki asfaltowe z dodatkiem gumy.....	104
4.4.5.	Asfalt porowaty jednowarstwowy .....	106
4.4.6.	Asfalt porowaty dwuwarstwowy .....	108
4.5.	Podsumowanie .....	110
5.	Doświadczenia krajowe w zakresie zastosowania asfaltowych nawierzchni obniżających hałas drogowy .....	112
5.1.	Technologie redukujące hałas drogowy .....	112
5.1.1.	SMA i SMA-LA - mastyks grysowy .....	112
5.1.2.	BBTM - beton asfaltowy do bardzo cienkich warstw .....	123
5.1.3.	PA - asfalt porowaty .....	123
5.1.4.	Nawierzchnia z dodatkiem gumy .....	128
5.1.5.	Podsumowanie .....	128
5.2.	Drogi krajowe.....	133
5.1.	Drogi wojewódzkie .....	137
5.2.	Drogi w Polsce .....	141
5.3.	Doświadczenia wykonawców - drogowych firm budowlanych .....	145
5.4.	Podsumowanie .....	148
6.	Ocena równoważnego poziomu hałasu w środowisku .....	149
6.1.	Badania hałasu środowiskowego .....	149
6.1.1.	Informacje ogólne .....	149
6.1.2.	Opis metody pomiarowej.....	159
6.2.	Wyniki .....	161
6.2.1.	Wyniki badań - droga krajowa DK-50 (punkt A).....	161
6.2.2.	Wyniki badań - Korytów (punkt D).....	163
6.2.3.	Wyniki badań - droga krajowa DK-50 (punkt E) .....	164
6.2.4.	Wyniki badań - droga krajowa DK-50 (punkt F) .....	166
6.2.5.	Wyniki badań - droga krajowa DK-50 (punkt G).....	167
6.2.6.	Wyniki badań - droga krajowa DK-50C (punkt H).....	169
6.2.7.	Wyniki badań - droga krajowa DK-50D (punkt I) .....	170
6.2.8.	Wyniki badań - droga krajowa DK-48 (punkt J).....	172
6.3.	Analiza wyników.....	174
6.4.	Wnioski .....	178
7.	Zależności pomiędzy rozwiązaniami materiałowo-technologicznymi górnych warstw nawierzchni drogowych a trwałością i hałasem drogowym.....	179
7.1.	Charakterystyka rozwiązań materiałowo-technologicznych.....	179
7.2.	Badania laboratoryjne .....	179
7.2.1.	Projektowanie recept .....	180
7.2.2.	Metody pomiarowe.....	181
7.2.3.	Odporność mieszanek mineralno-asfaltowych na działanie czynników mechanicznych i środowiskowych.....	181
7.2.4.	Podsumowanie.....	210
7.3.	Badania polowe .....	211
7.3.1.	Wybór odcinków drogowych .....	211
7.3.2.	Metody pomiarowe określenia stanu nawierzchni .....	220

---

7.3.3.	Ocena właściwości technicznych nawierzchni drogowych.....	221
7.3.4.	Podsumowanie.....	222
7.4.	Porównanie i zalecenia w zakresie rozwiązań materiałowo-technologicznych.....	222
8.	Szczególne rozwiązania materiałowo-technologiczne nawierzchni redukujących hałas drogowy.....	223
8.1.	Wprowadzenie.....	223
8.2.	Metodyka badawcza.....	224
8.2.1.	Plan badań MMA BBTM 8 A S AMG oraz BBTM 8 B S AMG: .....	226
8.2.2.	Plan badań MMA PA 8 S AMG:.....	226
8.3.	Wyniki badań .....	227
8.3.1.	BBTM 8 A S AMG.....	227
8.3.2.	BBTM 8 B S AMG:.....	232
8.3.3.	PA 8 S AMG:.....	235
8.4.	Podsumowanie .....	240
9.	Ekonomiczne skutki hałasu drogowego .....	242
9.1.	Analiza kosztów i korzyści a analiza opłacalności .....	242
9.2.	Metody spieniężenia społecznych kosztów hałasu .....	243
9.3.	Wycena wartości .....	244
9.4.	Nakłady na ochronę środowiska w aspekcie hałasu.....	246
9.5.	Obliczanie kosztów wpływu nadmiernego hałasu na środowisko .....	248
9.5.1.	Metoda I.....	249
9.5.2.	Metoda II .....	256
10.	Kalkulacja efektów ekonomicznych z tytułu przewidywanego zastosowania wyników zadania.....	259
11.	Podsumowanie .....	260
	Bibliografia.....	261
	Załącznik 1. Wymagania techniczne w zakresie rozwiązań materiałowo-technologicznych nawierzchni redukujących hałas drogowy .....	265
	Załącznik 2. Wymagania techniczne w zakresie eksploatacji nawierzchni drogowej w celu utrzymania poziomu hałaśliwości .....	266
	Załącznik 3. Pomiary współczynnika tarcia metodą SRT-3 .....	267
	Załącznik 4. Pogłębiony przegląd literatury .....	268
	Załącznik 5. Wyniki programów badawczych CEDR .....	269
	Załącznik 6. Europejskie programy badawcze.....	270

### Spis rysunków:

Rys. 1.1 Schematy i zdjęcia złych („pozytywna tekstura”, kolor czerwony) i dobrych („negatywna tekstura”, kolor zielony) profili tekstury w odniesieniu do emisji hałasu [6].....	17
Rys. 1.2 Odporność na koleinowanie mieszanki BBTM 8A [materiały niepublikowane producenta MMA].....	25
Rys. 1.3 Odporność na koleinowanie mieszanki BBTM 8B [materiały niepublikowane producenta MMA].....	25
Rys. 3.1 Schemat procesu załadunku, przewozu i wyładunku MMA [17], a) załadunek mieszanki.....	41
Rys. 3.2 Oryginalna receptura holenderska składu mieszanki.....	43
Rys. 3.3 Zestaw układarka-podajnik-samochód samowyładowczy.....	46
Rys. 3.4 Schemat frezowania i załadunku granulatu na samochody samowyładowcze.....	46
Rys. 3.5 Schemat technologiczny produkcji mieszanek mineralno-asfaltowych.....	47
Rys. 3.6 Widok ekranu głównego programu GPS Trace.....	54
Rys. 3.7 Widok ekranu a) z mapą satelitów b) siła sygnałów satelitarnych.....	55
Rys. 3.8 Widok ekranu a) trasa przejazdu (2D) b) wykres zależności prędkości i czasu.....	55
Rys. 3.9 Schematy dwóch zestawów a) zestaw układarka- <i>n</i> samochodów, b) trzy układarki- <i>n</i> samochodów,.....	57
Rys. 3.10 Wykres ilości mieszanki przewożonej w samochodach samowyładowczych.....	58
Rys. 3.11 Wykres średnich czasów rozładunku samochodów o różnej liczbie osi.....	58
Rys. 3.12 Wykres średnich wartości wydajności układarki przy rozładunku MMA.....	59
Rys. 3.13 Schemat przebiegu procesów.....	61
Rys. 3.14 Struktura logistyczna procesu produkcji i układania mieszanki.....	61
Rys. 3.15 Struktura logistyczna dla dwóch wytwórni MMA.....	62
Rys. 3.16 Schemat zestawu maszyn z shuttle buggy.....	68
Rys. 3.17 Mapa Holandii z zaznaczoną autostradą A2.....	70
Rys. 3.18 Widok autostrady A73 z zaznaczonymi stanowiskami pomiarowymi.....	73
Rys. 3.19 Schemat wymiarów nawierzchni.....	76
Rys. 3.20 Porównanie ekwiwalentnej wartości hałasu komunikacyjnego.....	81
Rys. 3.21 Porównanie ekwiwalentnej wartości hałasu komunikacyjnego.....	82
Rys. 4.1 Wpływ starzenia się nawierzchni z betonu asfaltowego na hałas generowany przez pojazdy.....	100
Rys. 4.2 Wpływ starzenia się nawierzchni z betonu asfaltowego na hałas generowany przez samochody osobowe (z lewej) i ciężarowe (z prawej).....	101
Rys. 4.3 Wpływ starzenia się nawierzchni z mastyksu grysowego na hałas generowany przez pojazdy.....	102
Rys. 4.4 Wpływ starzenia się nawierzchni z mastyksu grysowego na hałas generowany przez samochody osobowe (z lewej) i ciężarowe (z prawej).....	102
Rys. 4.5 Wpływ starzenia się cienkich warstw asfaltowych na hałas generowany przez pojazdy.....	103
Rys. 4.6 Wpływ starzenia się cienkich warstw asfaltowych na hałas generowany przez samochody osobowe (z lewej) i ciężarowe (z prawej).....	104
Rys. 4.7 Wpływ starzenia się mieszanek asfaltowych z dodatkiem gumy na hałas generowany przez pojazdy.....	105

Rys. 4.8 Wpływ starzenia się mieszanek asfaltowych z dodatkiem gumy na hałas generowany przez samochody osobowe (z lewej) i ciężarowe (z prawej).....	105
Rys. 4.9 Wpływ starzenia się mieszanek z jednowarstwowego asfaltu porowatego na hałas generowany przez pojazdy.....	106
Rys. 4.10 Wpływ starzenia się mieszanek z jednowarstwowego asfaltu porowatego na hałas generowany przez samochody osobowe (z lewej) i ciężarowe (z prawej) .....	107
Rys. 4.11 Wpływ starzenia się mieszanek z dwuwarstwowego asfaltu porowatego na hałas generowany przez pojazdy.....	108
Rys. 4.12 Wpływ starzenia się mieszanek z dwuwarstwowego asfaltu porowatego na hałas generowany przez samochody osobowe (z lewej) i ciężarowe (z prawej) .....	109
Rys. 5.1 Intensywność stosowania nawierzchni obniżających hałas na drogach krajowych.	133
Rys. 5.2 Rodzaje rozwiązań obniżających poziom hałasu na drogach krajowych w zależności od województw. ....	134
Rys. 5.3 Wykres liczby odcinków poszczególnych nawierzchni - drogi krajowe.....	135
Rys. 5.4 Udział poszczególnych województw w zastosowaniu nawierzchni obniżających hałas drogowy - drogi krajowe.....	136
Rys. 5.5 Intensywność stosowania nawierzchni obniżających hałas na drogach wojewódzkich. ....	137
Rys. 5.6 Rodzaje rozwiązań obniżających poziom hałasu na drogach wojewódzkich w zależności od województw.....	138
Rys. 5.7 Wykres liczby odcinków poszczególnych nawierzchni - drogi wojewódzkie. ....	139
Rys. 5.8 Udział poszczególnych województw w zastosowaniu nawierzchni obniżających hałas drogowy - drogi wojewódzkie .....	140
Rys. 5.9 Intensywność stosowania nawierzchni obniżających hałas na drogach w Polsce... ..	141
Rys. 5.10 Rodzaje rozwiązań obniżających poziom hałasu na drogach w Polsce w zależności od województw. ....	142
Rys. 5.11 Wykres liczby odcinków poszczególnych nawierzchni - drogi w Polsce. ....	143
Rys. 5.12 Udział poszczególnych województw w zastosowaniu nawierzchni obniżających hałas drogowy - drogi w Polsce. ....	144
Rys. 6.1 Ogólna lokalizacja odcinków pomiarowych hałasu środowiskowego na wybranych fragmentach dróg asfaltowych i betonowych .....	150
Rys. 6.2 Lokalizacja punktu pomiarowego w drogi krajowej DK-50 - km początkowy 22,000 - nawierzchnia BA (punkt A).....	151
Rys. 6.3 Lokalizacja punktu pomiarowego w Korytów - km początkowy 0,000 - nawierzchnia PU (punkt D).....	151
Rys. 6.4 Lokalizacja punktu pomiarowego w otoczeniu odcinka drogi krajowej DK-50 - km początkowy 72,800 - nawierzchnia BC (punkt E) .....	152
Rys. 6.5 Lokalizacja punktu pomiarowego w otoczeniu odcinka drogi krajowej DK-50 - km początkowy 41,500 - nawierzchnia SMA (punkt F) .....	152
Rys. 6.6 Lokalizacja punktu pomiarowego w otoczeniu odcinka drogi krajowej DK-50 - km początkowy 58,000 - nawierzchnia SMA (punkt G) .....	153
Rys. 6.7 Lokalizacja punktu pomiarowego w otoczeniu odcinka drogi krajowej DK-50C - km początkowy 2,000 - nawierzchnia SMA (punkt H) .....	153
Rys. 6.8 Lokalizacja punktu pomiarowego w otoczeniu odcinka drogi krajowej DK-50D - km początkowy 2,500 - nawierzchnia SMA (punkt I).....	154
Rys. 6.9 Lokalizacja punktu pomiarowego w otoczeniu odcinka drogi krajowej DK-48 - km początkowy 55,000 - nawierzchnia SS (punkt J).....	154

Rys. 6.10 Nawierzchnia na odcinku drogi krajowej DK-50 - km początkowy 22,000 - nawierzchnia BA (punkt A) .....	155
Rys. 6.11 Nawierzchnia na odcinku Korytów - km początkowy 0,000 - nawierzchnia PU (punkt D) .....	155
Rys. 6.12 Nawierzchnia na odcinku drogi krajowej DK-50 - km początkowy 72,800 - nawierzchnia BC (punkt E) .....	156
Rys. 6.13 Nawierzchnia na odcinku drogi krajowej DK-50 - km początkowy 41,500 - nawierzchnia SMA (punkt F) .....	156
Rys. 6.14 Nawierzchnia na odcinku drogi krajowej DK-50 - km początkowy 58,000 - nawierzchnia SMA (punkt G) .....	157
Rys. 6.15 Nawierzchnia na odcinku drogi krajowej DK-50C - km początkowy 2,000 - nawierzchnia SMA (punkt H) .....	157
Rys. 6.16 Nawierzchnia na odcinku drogi krajowej DK-50D - km początkowy 2,500 - nawierzchnia SMA (punkt I) .....	158
Rys. 6.17 Nawierzchnia na odcinku drogi krajowej DK-48 - km początkowy 55,000 - nawierzchnia SS (punkt J) .....	158
Rys. 6.18 Typowa lokalizacja punktu referencyjnego i dodatkowego w przekroju pomiarowym, gdy droga przebiega w poziomie terenu .....	160
Rys. 6.19 Miernik SVAN 958 .....	161
Rys. 6.20 Miernik SVAN 971 .....	161
Rys. 6.21 Otrzymane wyniki przedstawione jako funkcja trzech zmiennych: czas - natężenie - równoważny poziom dźwięku .....	163
Rys. 6.22 Otrzymane wyniki przedstawione jako funkcja trzech zmiennych: czas - natężenie - równoważny poziom dźwięku .....	164
Rys. 6.23 Otrzymane wyniki przedstawione jako funkcja trzech zmiennych: czas - natężenie - równoważny poziom dźwięku .....	166
Rys. 6.24 Otrzymane wyniki przedstawione jako funkcja trzech zmiennych: czas - natężenie - równoważny poziom dźwięku .....	167
Rys. 6.25 Otrzymane wyniki przedstawione jako funkcja trzech zmiennych: czas - natężenie - równoważny poziom dźwięku .....	169
Rys. 6.26 Otrzymane wyniki przedstawione jako funkcja trzech zmiennych: czas - natężenie - równoważny poziom dźwięku .....	170
Rys. 6.27 Otrzymane wyniki przedstawione jako funkcja trzech zmiennych: czas - natężenie - równoważny poziom dźwięku .....	172
Rys. 6.28 Otrzymane wyniki przedstawione jako funkcja trzech zmiennych: czas - natężenie - równoważny poziom dźwięku .....	173
Rys. 6.29 Porównanie wartości równoważnego poziomu dźwięku w punktach pomiarowych w zależności od struktury rodzajowej ruchu - pierwszy interwał pomiarowy .....	174
Rys. 6.30 Porównanie wartości równoważnego poziomu dźwięku w punktach pomiarowych w zależności od struktury rodzajowej ruchu - drugi interwał pomiarowy .....	174
Rys. 6.31 Porównanie wartości równoważnego poziomu dźwięku w punktach pomiarowych w zależności od struktury rodzajowej ruchu - trzeci interwał pomiarowy .....	175
Rys. 6.32 Porównanie wartości równoważnego poziomu dźwięku w punktach pomiarowych w zależności od struktury rodzajowej ruchu - czwarty interwał pomiarowy .....	175
Rys. 6.33 Porównanie wartości równoważnego poziomu dźwięku w punktach pomiarowych w zależności od struktury rodzajowej ruchu - piąty interwał pomiarowy .....	176



Rys. 6.34 Porównanie wartości równoważnego poziomu dźwięku w punktach pomiarowych w zależności od struktury rodzajowej ruchu - szósty interwał pomiarowy .....	176
Rys. 6.35 Porównanie wartości równoważnego poziomu dźwięku w punktach pomiarowych w zależności od struktury rodzajowej ruchu - siódmy interwał pomiarowy .....	177
Rys. 6.36 Porównanie wartości równoważnego poziomu dźwięku w punktach pomiarowych w zależności od struktury rodzajowej ruchu - ósmy interwał pomiarowy.....	177
Rys. 6.37 Zbiorcze zestawienie wartości równoważnego poziomu dźwięku w poszczególnych punktach pomiarowych w zależności od mierzonego interwału czasowego .....	178
Rys. 7.1 Krzywe uziarnienia mieszanek mineralno-asfaltowych .....	181
Rys. 7.2 Sztywność mieszanek mineralno-asfaltowych nie poddanych procesowi starzenia LTOA .....	184
Rys. 7.3 Sztywność mieszanek mineralno-asfaltowych poddanych procesowi starzenia LTOA .....	185
Rys. 7.4 Zestawienie sztywność mieszanek mineralno-asfaltowych nie poddanych i poddanych procesowi starzenia LTOA .....	185
Rys. 7.5 Wskaźnik zmiany sztywności IS.....	186
Rys. 7.6 Wykres odkształceń zarejestrowanych podczas badania odporności na deformacje trwałe mieszanek mineralno-asfaltowych nie poddanych procesowi starzenia LTOA .....	188
Rys. 7.7 Wykres odkształceń zarejestrowanych podczas badania odporności na deformacje trwałe mieszanek mineralno-asfaltowych poddanych procesowi starzenia LTOA .....	188
Rys. 7.8 Odkształcenie całkowite mieszanek mineralno-asfaltowych nie poddanych procesowi starzenia LTOA .....	189
Rys. 7.9 Odkształcenie całkowite mieszanek mineralno-asfaltowych poddanych procesowi starzenia LTOA .....	189
Rys. 7.10 Wykres zbiorczy odkształceń całkowitych mieszanek mineralno-asfaltowych nie poddanych i poddanych procesowi starzenia LTOA .....	190
Rys. 7.11 Indeks zmiany odporności mieszanek mma na powstawanie deformacji trwałych .....	190
Rys. 7.12 Wskaźnik ITSd dla próbek w zestawach nie poddanych oddziaływaniu wody i mrozu.....	191
Rys. 7.13 Wskaźnik ITSw dla próbek w zestawach poddanych oddziaływaniu wody i mrozu .....	192
Rys. 7.14 Wskaźnik ITSR dla próbek nie poddanych i poddanych starzeniu eksploatacyjnemu LTOA .....	192
Rys. 7.15 Przebieg badania TSRST mieszanki HP1 [AC8 S] .....	194
Rys. 7.16 Przebieg badania TSRST mieszanki HP9 [AC8 S LTOA].....	194
Rys. 7.17 Przebieg badania TSRST mieszanki HP2 [AC11 S] .....	195
Rys. 7.18 Przebieg badania TSRST mieszanki HP10 [AC11 S LTOA].....	196
Rys. 7.19 Przebieg badania TSRST mieszanki HP4 [SMA8].....	197
Rys. 7.20 Przebieg badania TSRST mieszanki HP6 [SMA8 LTOA].....	197
Rys. 7.21 Przebieg badania TSRST mieszanki HP5 [SMA11].....	199
Rys. 7.22 Przebieg badania TSRST mieszanki HP7 [SMA11 LTOA].....	199
Rys. 7.23 Przebieg badania TSRST mieszanki HP3 [BBTM8].....	200
Rys. 7.24 Przebieg badania TSRST mieszanki HP8 [BBTM8 LTOA] .....	201
Rys. 7.25 Przebieg badania TSRST mieszanki HP12 [PA8] .....	202

Rys. 7.26 Przebieg badania TSRST mieszanki HP11 [PA8 LTOA] .....	202
Rys. 7.27 Graficzna prezentacja wyników badań TSRST wszystkich mieszanek.....	204
Rys. 7.28 Graficzna prezentacja wyników badań TSRST mieszanek niestarzonych .....	205
Rys. 7.29 Graficzna prezentacja wyników badań TSRST mieszanek starzonych LTOA ....	206
Rys. 7.30 Średnia temperatura pęknięcia i przedział ufności 95% .....	207
Rys. 7.31 Średnia Naprężenie przy pęknięciu i przedział ufności 95%.....	208
Rys. 7.32 Średnia temperatura pęknięcia mieszanek po starzeniu krótkoterminowym.....	208
Rys. 7.33 Średnia temperatura pęknięcia mieszanek po starzeniu długoterminowym .....	209
Rys. 7.34 Średnie naprężenie przy pęknięciu w grupie mieszanek SMA i AC poziomie ufności 95%.....	209
Rys. 7.35 Średnie naprężenie przy pęknięciu mieszanek PA i BBTM przy poziomie ufności 95% .....	210
Rys. 7.36 Lokalizacja odcinka PA8 i BBTM8-Uścięcice.....	212
Rys. 7.37 Lokalizacja odcinka 7 .....	213
Rys. 7.38 Lokalizacja odcinka 8 .....	213
Rys. 7.39 Szczegóły związane z badaniami na odcinku 8 .....	214
Rys. 7.40 Szczegóły związane z badaniami na odcinku 8 .....	215
Rys. 7.41 Szczegóły związane z badaniami na odcinku 8 .....	215
Rys. 7.42 Szczegóły związane z badaniami na odcinku 8 .....	216
Rys. 7.43 Lokalizacja odcinka 9 .....	216
Rys. 7.44 Szczegóły związane z badaniami na odcinku 9 .....	217
Rys. 7.45 Szczegóły związane z badaniami na odcinku 9 .....	217
Rys. 7.46 Szczegóły związane z badaniami na odcinku 9 .....	218
Rys. 7.47 Szczegóły związane z badaniami na odcinku 9 .....	218
Rys. 7.48 Lokalizacja odcinka 10 .....	219
Rys. 7.49 Szczegóły związane z badaniami na odcinku10 .....	219
Rys. 7.50 Szczegóły związane z badaniami na odcinku 10 .....	220
Rys. 7.51 Szczegóły związane z badaniami na odcinku 10 .....	220
Rys. 8.1 Krzywa uziarnienia BBTM 8 A S AMG: .....	228
Rys. 8.2 Krzywa wiodąca dla mieszanki BBTM 8 A S AMG.....	231
Rys. 8.3 Krzywa uziarnienia BBTM 8 B S AMG:.....	232
Rys. 8.4 Krzywa wiodąca dla BBTM 8 B S AMG KR3-6: .....	235
Rys. 8.5 Krzywa uziarnienia PA 8 S AMG: .....	236
Rys. 8.6 Krzywa wiodąca dla PA 8 S AMG KR3-6: .....	239
Rys. 9.1 Kluczowy wpływ hałasu na zdrowie i funkcjonowanie ludzi.....	245
Rys. 9.2 Nakłady na środki trwałe w transporcie drogowym służące ochronie środowiska, działania ochronne poprzez modyfikację źródła hałasu/wibracji [54, 54, 55].....	246
Rys. 9.3 Nakłady na środki trwałe w transporcie drogowym służące ochronie środowiska, działania poprzez budowę barier i urządzeń ochronnych [opracowanie na podstawie [54, 54, 55]. .....	247
Rys. 9.4 Efekty rzeczowe oddanych do użytku inwestycji ochrony środowiska dotyczące zmniejszenia hałasu i wibracji na drogach [54, 54, 55]. .....	248
Rys. 9.5 Dynamika zmian krańcowych kosztów zewnętrznych hałasu w PLN na 1 poj-km w obszarze miejskim w porze dziennej.....	254
Rys. 9.6 Dynamika zmian krańcowych kosztów zewnętrznych hałasu w PLN na 1 poj-km w obszarze miejskim w porze nocnej.....	254

Rys. 9.7 Dynamika zmian krańcowych kosztów zewnętrznych hałasu w PLN na 1 poj-km w obszarze podmiejskim w porze daytimej.....	255
Rys. 9.8 Dynamika zmian krańcowych kosztów zewnętrznych hałasu w PLN na 1 poj-km w obszarze podmiejskim w porze nocnej.....	255
Rys. 9.9 Dynamika zmian krańcowych kosztów zewnętrznych hałasu w PLN na 1 poj-km w obszarze zamiejskim w porze daytimej. ....	256
Rys. 9.10 Dynamika zmian krańcowych kosztów zewnętrznych hałasu w PLN na 1 poj-km w obszarze zamiejskim w porze nocnej. ....	256

**Spis tablic:**

Tab. 1.1 Parametry i ich potencjalny wpływ na hałaśliwość nawierzchni drogowej [1].....	16
Tab. 1.2 Podsumowanie informacji na temat właściwości nawierzchni SMA-LA. ....	22
Tab. 1.3 Podsumowanie informacji na temat właściwości nawierzchni BBTM. ....	23
Tab. 1.4 Uziarnienie mieszanki mineralnej oraz minimalna zawartość lepiszcza dla mieszanki BBTM 8A i BBTM 8B przeznaczonej do ruchu kategorii KR3-KR7 [wg WT-2]..	24
Tab. 1.5 Odporność na deformacje trwałe (koleinowanie) mieszanki BBTM 8A i BBTM 8B przeznaczonej do warstwy ścieralnej dla ruchu kategorii KR3-KR7 [materiały niepublikowane producenta MMA] .....	25
Tab. 1.6 Materiały do asfaltu porowatego.....	27
Tab. 1.7 Podsumowanie informacji na temat właściwości nawierzchni PA.....	29
Tab. 1.8 Podsumowanie informacji na temat właściwości nawierzchni poroelastycznej (bardzo wysoka zawartość gumy). ....	30
Tab. 3.1 Układ warstw na holenderskich drogach krajowych .....	38
Tab. 3.2 Przykład grubości warstw nawierzchni krajowej.....	38
Tab. 3.3 Układ warstw na holenderskich drogach krajowych .....	38
Tab. 3.4 Przykład grubości warstw nawierzchni autostrady z betonu asfaltowego.....	38
Tab. 3.5 Układ warstw na holenderskiej autostradzie z płytą ciągłą z betonu cementowego .	39
Tab. 3.6 Przykład oznakowania zgodnego z CE.....	44
Tab. 3.7 Porównanie średniej ilości mieszanki w samochodach samowładowczych.....	58
Tab. 3.8 Porównanie średnich wartości czasu rozładunku mieszanki z samochodów .....	59
Tab. 3.9 Porównanie średniej wydajności zestawu układarka-samochód .....	59
Tab. 3.10 Wyniki obliczeń dla modelu masowej obsługi .....	69
Tab. 3.11 Wyniki analizy porównawczej.....	78
Tab. 3.12 Wartości hałasu komunikacyjnego 27.08.2014 w Boxmeer.....	80
Tab. 3.13 Wartości hałasu komunikacyjnego 27.08.2014 w Boxmeer.....	80
Tab. 3.14 Wartości pomiaru hałasu komunikacyjnego w dniu 01.09.2014 dla nawierzchni po rekonstrukcji.....	81
Tab. 3.15 Wartości pomiaru hałasu komunikacyjnego w dniu 01.09.2014.....	82
Tab. 3.16 Wyniki pomiarów hałasu komunikacyjnego na A73.....	83
Tab. 3.17 Zestawienie wyników poziomu hałasu komunikacyjnego i natężenia ruchu drogowego na różnych grubościach nawierzchni .....	84
Tab. 3.18 Porównanie wyników pomiarów zmiany hałasu w czasie eksploatacji.....	85
Tab. 3.19 Wyniki pomiaru struktury rodzajowej i poziomu hałasu.....	86
Tab. 3.20 Predykcja wartości $L_{eq}$ .....	89
Tab. 4.1 Dane techniczne nawierzchni na wybranych odcinkach testowych .....	95
Tab. 5.1 Zastosowanie nawierzchni z SMA na drogach krajowych oraz wojewódzkich. ....	114
Tab. 5.2 Zastosowanie nawierzchni z SMA-LA na drogach krajowych oraz wojewódzkich. ....	121
Tab. 5.3 Zastosowanie nawierzchni z BBTM na drogach krajowych oraz wojewódzkich. ..	124
Tab. 5.4 Zastosowanie nawierzchni z PA na drogach krajowych oraz wojewódzkich. ....	127
Tab. 5.5 Zestawienie średniej łącznej długości odcinków poszczególnych rodzajów mieszanki mineralno-asfaltowej.....	128
Tab. 5.6 Zastosowanie nawierzchni z dodatkiem gumy na drogach krajowych oraz wojewódzkich. ....	129
Tab. 5.7 Wykaz robót z Colsoft .....	146
Tab. 5.8 Wykaz robót z Rugosoft .....	146

Tab. 6.1 Zestawienie informacji szczegółowych dotyczących wyników pomiarów hałasu środowiskowego na wybranych odcinkach dróg betonowych.....	150
Tab. 6.2 Wyniki pomiaru natężenia ruchu drogowego na odcinku DK-50 (punkt A).....	162
Tab. 6.3 Wyniki pomiaru równoważnego poziomu dźwięku na odcinku DK-50 (punkt A).	162
Tab. 6.4 Wyniki pomiarów średniej prędkości pojazdów lekkich i ciężkich na odcinku DK-50 (punkt A) .....	162
Tab. 6.5 Wyniki pomiaru natężenia ruchu drogowego w Korytów (punkt D) .....	163
Tab. 6.6 Wyniki pomiaru równoważnego poziomu dźwięku w Korytów (punkt D).....	164
Tab. 6.7 Wyniki pomiarów średniej prędkości pojazdów lekkich i ciężkich w Korytów (punkt D).....	164
Tab. 6.8 Wyniki pomiaru natężenia ruchu drogowego na odcinku DK-50 (punkt E) .....	165
Tab. 6.9 Wyniki pomiarów średniej prędkości pojazdów lekkich i ciężkich na odcinku DK-50 (punkt E).....	165
Tab. 6.10 Wyniki pomiaru natężenia ruchu drogowego na odcinku DK-50 (punkt F) .....	166
Tab. 6.11 Wyniki pomiaru równoważnego poziomu dźwięku na odcinku DK-50 (punkt F)	167
Tab. 6.12 Wyniki pomiarów średniej prędkości pojazdów lekkich i ciężkich na odcinku DK-50 (punkt F).....	167
Tab. 6.13 Wyniki pomiaru natężenia ruchu drogowego na odcinku DK-50 (punkt G).....	168
Tab. 6.14 Wyniki pomiaru równoważnego poziomu dźwięku na odcinku DK-50 (punkt G)	168
Tab. 6.15 Wyniki pomiarów średniej prędkości pojazdów lekkich i ciężkich na odcinku DK-50 (punkt G) .....	168
Tab. 6.16 Wyniki pomiaru natężenia ruchu drogowego na odcinku DK-50C (punkt H).....	169
Tab. 6.17 Wyniki pomiaru równoważnego poziomu dźwięku na odcinku DK-50C (punkt H) .....	170
Tab. 6.18 Wyniki pomiarów średniej prędkości pojazdów lekkich i ciężkich na odcinku DK-50C (punkt H) .....	170
Tab. 6.19 Wyniki pomiaru natężenia ruchu drogowego na odcinku DK-50C (punkt I).....	171
Tab. 6.20 Wyniki pomiaru równoważnego poziomu dźwięku na odcinku DK-50D (punkt I) .....	171
Tab. 6.21 Wyniki pomiarów średniej prędkości pojazdów lekkich i ciężkich na odcinku DK-50D (punkt I).....	171
Tab. 6.22 Wyniki pomiaru natężenia ruchu drogowego na odcinku DK-48 (punkt J).....	172
Tab. 6.23 Wyniki pomiaru równoważnego poziomu dźwięku na odcinku DK-48 (punkt J)	173
Tab. 6.24 Wyniki pomiarów średniej prędkości pojazdów lekkich i ciężkich na odcinku DK-48 (punkt J) .....	173
Tab. 6.25 Rodzaje nawierzchni dla poszczególnych punktów pomiarowych.....	177
Tab. 7.1 Parametry objętościowe mieszanek mineralno-asfaltowych .....	180
Tab. 7.2 Podstawowe właściwości lepiszcza PmB 45/80-55.....	180
Tab. 7.3 Wyniki badań sztywności metodą IT-CY .....	182
Tab. 7.4 Wyniki badań odporności na deformacje trwałe metodą cyklicznego jednoosiowego ściskania (pełzanie) .....	187
Tab. 7.5 Wyniki badań odporności na działanie wody i mrozu metodą ITSr .....	191
Tab. 7.6 Wyniki badań odporności na spękania niskotemperaturowe (TSRST) mieszanki AC8 S (HP1 i HP9).....	193
Tab. 7.7 Wyniki badań odporności na spękania niskotemperaturowe (TSRST) mieszanki AC11 S (HP2 i HP10).....	195

Tab. 7.8 Wyniki badań odporności na spękania niskotemperaturowe (TSRST) mieszanki SMA8 (HP4 i HP6) .....	196
Tab. 7.9 Wyniki badań odporności na spękania niskotemperaturowe (TSRST) mieszanki SMA11 (HP5 i HP7) .....	198
Tab. 7.10 Wyniki badań odporności na spękania niskotemperaturowe (TSRST) mieszanki BBTM 8 (HP3 i HP8) .....	199
Tab. 7.11 Wyniki badań odporności na spękania niskotemperaturowe (TSRST) mieszanki PA8 (HP12 i HP11).....	201
Tab. 7.12 Wyniki badań odporności na spękania niskotemperaturowe (TSRST) .....	203
Tab. 7.13 Wyniki badań odporności na spękania niskotemperaturowe (TSRST) mieszanek niestarzonych.....	204
Tab. 7.14 Wyniki badań odporności na spękania niskotemperaturowe (TSRST) .....	205
Tab. 7.15 Lokalizacja odcinków drogowych .....	211
Tab. 7.16 Skorygowane średnie wartości współczynnika tarcia.....	221
Tab. 8.1 Właściwości objętościowe BBTM 8 A S AMG: .....	228
Tab. 8.2 Właściwości funkcjonalne oraz powiązane funkcjonalnie BBTM 8 A S AMG: ....	229
Tab. 8.3 Średnie wartości zespolonego modułu sztywności oraz kąta przesunięcia fazowego dla mieszanki BBTM 8 A S AMG KR3-6. ....	230
Tab. 8.4 Parametry krzywej wiodącej dla mieszanki BBTM 8 A S AMG KR3-6. ....	230
Tab. 8.5 Wyniki badań Texas Overlay Test dla mieszanki BBTM 8 A S AMG. ....	231
Tab. 8.6 Właściwości objętościowe BBTM 8 B S AMG: .....	232
Tab. 8.7 Właściwości funkcjonalne oraz powiązane funkcjonalnie BBTM 8 B S AMG:.....	233
Tab. 8.8 Średnie wartości zespolonego modułu sztywności oraz kąta przesunięcia fazowego dla mieszanki BBTM 8 B S AMG KR3-6: .....	234
Tab. 8.9 Parametry krzywej wiodącej dla mieszanki BBTM 8 B S AMG KR3-6: .....	234
Tab. 8.10 Wyniki badań Texas Overlay Test dla mieszanki BBTM 8 B S AMG. ....	235
Tab. 8.11 Właściwości objętościowe PA 8 S AMG: .....	236
Tab. 8.12 Właściwości funkcjonalne oraz powiązane funkcjonalnie PA 8 S AMG:.....	237
Tab. 8.13 Średnie wartości zespolonego modułu sztywności oraz kąta przesunięcia fazowego dla mieszanki PA 8 S AMG KR3-6: .....	238
Tab. 8.14 Parametry krzywej wiodącej dla mieszanki PA 8 S AMG KR3-6: .....	238
Tab. 9.1 Wybrane metody i kryteria wyceny dla analizy kosztów i korzyści.....	243
Tab. 9.2 Jednostkowe koszty ekonomiczne hałasu [EUR/1000 poj-km] według cen na 2010, wg [56, 57, 59] .....	250
Tab. 9.3 Krańcowe koszty zewnętrzne hałasu w PLN na 1 poj-km w obszarze miejskim, obszar Polski - PLN, indeksacja w czasie do 2045 r.....	251
Tab. 9.4 Krańcowe koszty zewnętrzne hałasu w PLN na 1 poj-km w obszarze podmiejskim, obszar Polski - PLN, indeksacja w czasie do 2045 r.....	252
Tab. 9.5 Krańcowe koszty zewnętrzne hałasu w PLN na 1 poj-km w obszarze zamiejskim, obszar Polski - PLN, indeksacja w czasie do 2045 r.....	253
Tab. 9.6 Wskaźnik negatywnego wpływu hałasu jako odsetek osób dorosłych poirytowanych w odniesieniu do osób narażonych na nadmierny hałas [56].....	257
Tab. 9.7 Jednostkowe koszty hałasu według cen na 2008 r. z podziałem na poziomy w dB (A), wg CUPT [57] .....	257
Tab. 9.8 Koszt średni na osobę, na którą hałas oddziałuje znacząco, obszar Polski - PLN, indeksacja w czasie do 2045 r. ....	257

## **Spis fotografii:**

Fot. 1.1 Próbka nawierzchni obniżającej poziom hałasu drogowego - SMA. <i>źródło: opracowanie własne.</i> .....	21
Fot. 1.2 Nawierzchnia obniżająca poziom hałasu drogowego - SMA-LA [12].....	22
Fot. 1.3. Nawierzchnia obniżająca poziom hałasu drogowego - PA.....	26
Fot. 1.4 Nawierzchnia obniżająca poziom hałasu drogowego - PA w dwóch warstwach [12]	27
Fot. 1.5 Przekroje próbek nawierzchni asfaltu porowatego dwuwarstwowego [13] .....	28
Fot. 3.1 Widok okładki dokumentu RAW .....	36
Fot. 3.2 Stanowiska w wybranej wytwórni stacjonarnej MMA w Holandii a) zbiorniki gotowej mieszanki, sterownia, b) podajnik MMA c) hala z otaczarką d) stanowisko załadunku asfaltów e) stanowisko meldowania dla kierowców f) waga i stanowisko załadunku gotowego wyrobu. ....	49
Fot. 3.3 Widok samochodów samowyładowczych a) postój pięćosiowego b) manewrowanie sześćosiowego .....	51
Fot. 3.4 Widok różnych zestawów a) zestaw układarki-samochody b) zestaw układarki-dodatkowy pojemnik-samochód .....	52
Fot. 3.5 Widok różnych zestawów maszyn do układania asfaltu porowatego a) zestaw układarka-samochód b) zestaw układarki-samochody c) zestaw dwie układarki-podajnik-samochód d) zestaw układarki z dwoma zbiornikami na mieszankę-samochód.....	56
Fot. 3.6 Widok próbek z asfaltu porowatego .....	63
Fot. 3.7 Widok maszyny do układania warstw kompaktowych.....	64
Fot. 3.8 Widok zestawu dwóch układarek z urządzeniem shuttle bugge .....	65
Fot. 3.9 Widok a) maszyn, b) porowatej warstwy po rekonstrukcji .....	66
Fot. 3.10 Zestaw maszyn shuttle buggy i dwie układarki .....	67
Fot. 3.11 Zestaw maszyn do układania warstw kompaktowych (układarka 1.).....	71
Fot. 3.12 Widok ułożonych warstw z asfaltu porowatego .....	72
Fot. 3.13 Widok stanowisk pomiarowych.....	74
Fot. 3.14 Widok stanowiska pomiarowego w miejscowości Venlo .....	75
Fot. 3.15 Widok stanowiska do pomiaru natężenia ruchu drogowego .....	75
Fot. 3.16 Widok stanowisk pomiarowych, a) pomiar hałasu, b) pomiar natężenia ruchu .....	76
Fot. 3.17 Widok zestawu maszyn do rekonstrukcji w Venlo.....	78
Fot. 3.18 Widok zestawu maszyn do rekonstrukcji w Boxmeer .....	79
Fot. 3.19 Widok układania MMA a) na podłożu warstwa pierwsza b) na warstwie pierwszej warstwa druga .....	91
Fot. 4.1 Przyczepa pomiarowa Tiresonic Mk 4 do badania hałasu opon samochodowych i nawierzchni drogowych zaprojektowana w wykonana w Politechnice Gdańskiej	97
Fot. 4.2 Rzeźby bieżnika opon referencyjnych P1 (z lewej) i H1 (z prawej) aktualnie wykorzystywanych do pomiarów metodą CPX.....	98

## **1. WSTĘP - ANALIZA STANU WIEDZY**

*Na wstępie należy zaznaczyć, że ze względu na zakres literatury dostępnej w tej tematyce, w pracy ograniczono się do wykorzystania w przeważającej mierze materiałów publikowanych po roku 2000. Z szerokiego zbioru literatury pozyskanego w trakcie realizacji zadań 2 i 5 ograniczono się do zagadnień dotyczących uwarunkowań materiałowo-technologicznych nawierzchni drogowych w aspekcie hałasu drogowego i zmian tych wartości w czasie.*

Hałas, obok emisji szkodliwych substancji do atmosfery, jest obecnie jednym z najistotniejszych negatywnych oddziaływań pojazdów i ruchu drogowego na środowisko. Najbardziej odczuwalny jest on w pobliżu głównych ciągów komunikacyjnych oraz przy trasach szybkiego ruchu. Dokuczliwy jest on także na osiedlach mieszkaniowych, gdzie w sposób szczególny oczekujemy ciszy i spokoju. Hałas drogowy zależy między innymi od natężenia i kompozycji ruchu drogowego (ilości poruszających się pojazdów w poszczególnych kategoriach: motocykle, samochody osobowe, dostawcze, ciężarowe bez przyczep, z przyczepami, z naczepami), od stanu technicznego pojazdów i rodzaju stosowanego ogumienia, od prędkości ruchu drogowego i jego charakteru (przyspieszanie, hamowanie, poruszanie się ze stałą prędkością). Zależy on również od usytuowania drogi (na płaskim terenie, w zagłębieniu, w tunelu, czy też na estakadzie) i charakteru jej bezpośredniego otoczenia (np. otwarty teren, sąsiedztwo zabudowy, nasypy ziemne, zadrzewienie, ekrany akustyczne). W zasadniczy sposób hałas ten zależy także od nawierzchni drogowej, po której poruszają się pojazdy. Nawierzchnie drogowe mają bezpośredni wpływ na generowanie hałasu przez toczące się po nich opony (główne i dominujące źródło hałasu poruszających się pojazdów) jak również wpływają na rozprzestrzenianie się hałasu emitowanego przez wszystkie źródła hałasu w pojeździe (opony, silnik, układ wydechowy, układ napędowy). Wpływ na rozprzestrzenianie się hałasu mają także warunki atmosferyczne (opady, wiatr, temperatura otoczenia, wilgotność).

Nie ma obecnie wątpliwości, że to właśnie nawierzchnia drogowa powinna być brana pod uwagę jako główny potencjalny czynnik przy działaniach mających na celu redukcję hałasu pochodzącego od ruchu drogowego. Należy równocześnie pamiętać, że hałaśliwość nawierzchni jest jej cechą, która zmienia się wraz z upływem czasu.

Dostępne dane literaturowe [1, 2, 3, 4] dotyczące wpływu starzenia się nawierzchni na jej hałaśliwość wskazują, że emisja hałasu od poruszających się pojazdów zmienia się na przestrzeni czasu ponieważ warstwa ścieralna starzeje się na skutek wpływu między innymi warunków atmosferycznych, a także równocześnie następuje jej zużycie (ścieranie) głównie w wyniku oddziaływania ruchu drogowego. Generalnie wraz z wiekiem nawierzchni jej hałaśliwość rośnie. Dla nawierzchni porowatych wzrost ten jest znaczny (1 - 2.5 dB rocznie) i utrzymuje się na tym poziomie przez kilka lat, natomiast dla nawierzchni nieprzepuszczalnych w ciągu pierwszych 1-2 lat od ułożenia ich hałaśliwość może wzrosnąć (o około 1 - 2 dB), a następnie ulega ona stabilizacji.



## 1.1. Właściwości nawierzchni wpływające na hałas drogowy

Nawierzchnia drogowa musi zapewniać bezpieczne, ekonomiczne, komfortowe i przyjazne dla środowiska poruszanie się po niej pojazdów jak również powinna być ekonomiczną i przyjazną dla środowiska zarówno podczas etapu budowy jak i przy jej utylizacji.

Dlatego nawierzchnia musi spełniać określone wymagania odnośnie parametrów takich jak: przyczepność (zarówno w warunkach suchej jak mokrej nawierzchni), zużycie opon, zużycie warstwy ścieralnej, trwałość, wygląd, właściwości drenażowe, efekt rozpryskiwania wody, emisja cząstek stałych do atmosfery, opory toczenia i hałaśliwość. Te wymagania powinny być spełnione nie tylko wtedy, gdy nawierzchnia jest nowa, ale także podczas całego okresu jej użytkowania. Oznacza to, że parametr który jest przedmiotem szczególnego zainteresowania w niniejszym raporcie, czyli hałaśliwość, jest tylko jednym z wielu, które obserwujemy w procesie projektowania, budowy i eksploatacji nawierzchni.

Parametry konstrukcyjne nawierzchni wpływające na jej hałaśliwość zostały przedstawione w Tab. 1.1. Stopień wpływu poszczególnych parametrów może się zmieniać w zależności od rodzaju nawierzchni.

Tab. 1.1 Parametry i ich potencjalny wpływ na hałaśliwość nawierzchni drogowej [1]

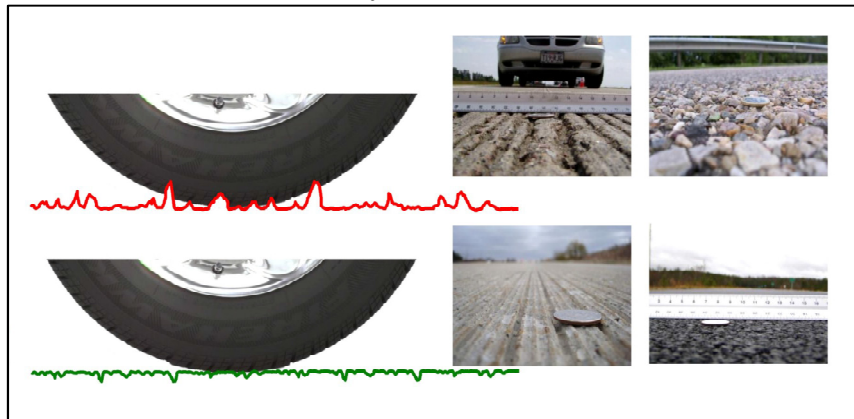
Parametr	Stopień wpływu
Makrotekstura	Bardzo wysoki
Megatekstura	Wysoki
Mikrotekstura	Niski - średni
Nierówność	Niewielki
Porowatość	Bardzo wysoki
Grubość warstwy	Wysoki, dla nawierzchni porowatych
Adhezja (pionowa)	Niski - średni
Przyczepność	<i>patrz mikrotekstura</i>
Sztywność	Niepewny, średni (?)

### 1.1.1. Tekstura

Tekstura nawierzchni, zgodnie z normą ISO 13473-2 [5] składająca się z makrotekstury, mikrotekstury oraz megatekstury, jest zdefiniowana jako odstępstwo powierzchni rzeczywistej powierzchni nawierzchni drogowej od idealnej płaskiej powierzchni. W zależności od długości nierówności (długość nierówności może być fizycznie interpretowana jako długość okresowo powtarzających się partii profilu nawierzchni) wyróżnia się mikroteksturę (długość nierówności mniejsza niż 0.5 mm, makroteksturę (długość od 0.5 mm do 50 mm) oraz megateksturę (długość od 50 mm do 500 mm). Teksturę nawierzchni charakteryzuje się zwykle przez długość fali (długość nierówności może być fizycznie interpretowana jako długość okresowo powtarzających się partii profilu nawierzchni). Długość fali, wyrażona jako częstotliwość środkowa trzeciej długości fali, dla mikrotekstury wynosi do 0.5 mm, dla makrostruktury od 0.63 mm do 50 mm, i dla megatekstury od 63 mm do 500 mm. Charakterystykę nawierzchni dla długości fali większych niż 500 mm nie zalicza się już do tekstury i nazywana jest „nierównością”.

Mikrotekstura wpływa głównie na przyczepność, tarcie i zużycie opon. Ma tylko niewielki, do umiarkowanego, wpływ na hałaśliwość nawierzchni. Makrotekstura i megatekstura wpływają głównie emisję hałasu i przyczepność. Im większa tekstura dla długości fali w zakresie od około 0.5 do 10 mm tym generowany hałas będzie charakteryzował się niższą częstotliwością (mechanizm przetłaczania powietrza w śladzie styku opony z nawierzchnią). Ale im większa tekstura dla długości fali w zakresie od 10 do 500 mm, tym wyższy hałas niskoczęstotliwościowy (poniżej 1000 Hz). Ta część hałasu wywoływana zjawiskami drgań mechanicznych klocków bieżnika i całej opony może być zredukowana przez optymalizację tekstury nawierzchni, a konkretnie przez minimalizację rozmiaru kruszywa użytego do wytworzenia warstwy ścieralnej, a także poprzez uelastycznienie nawierzchni stosując w tym celu np. dodatek gumy pochodzący z zużytych opon samochodowych.

Tekstura nawierzchni powinna być optymalizowana poprzez tworzenie płaskiej tekstury nawierzchni - tzw. negatywnej tekstury (Rys. 1.1). Zoptymalizowana tekstura nawierzchni zmniejsza drgania bieżnika toczonej się po niej opony - mechanizm odpowiedzialny za generowanie hałasu w zakresie niskich częstotliwości.



Rys. 1.1 Schematy i zdjęcia złych („pozytywna tekstura”, kolor czerwony) i dobrych („negatywna tekstura”, kolor zielony) profili tekstury w odniesieniu do emisji hałasu [6]

Zarówno makrotekstura jak i megatekstura (choć powinny być minimalizowane ze względu na hałas) są korzystne dla właściwości przeciwoślizgowych nawierzchni i zapewniają odprowadzanie wody ze śladu styku opony z nawierzchnią.

### 1.1.2. Porowatość

Porowatość nawierzchni oznacza obecność pustych przestrzeni powietrznych pomiędzy kruszywem w warstwie ścieralnej. Jest ona tworzona przez nieciągłe uziarnienie kruszywa. Ta cecha pozwala wodzie deszczowej przenikać do wnętrza takiej nawierzchni poprzez połączone przestrzenie powietrzne, a następnie wypływać bokiem (właściwości drenażowe nawierzchni), a także zapewnia odprowadzenie powietrza uwięzionego między bieżnikiem opony a nawierzchnią drogi (właściwości akustyczne). Aby te właściwości nawierzchni były skuteczne, puste przestrzenie powietrzne muszą być ze sobą wzajemnie połączone. Zwiększenie porowatości nawierzchni prowadzi do zmniejszenia jej hałaśliwości w zakresie wysokich częstotliwości - powyżej 1000 Hz. Porowatość przyczynia się do zmniejszenia przetłaczania powietrza w przestrzeni pomiędzy oponą a nawierzchnią, ogranicza drgania

powietrza w rowkach bieżnika oraz minimalizuje „efekt rogu”. Tym samym znacznie zmniejsza tą część hałasu generowanego przez toczącą się oponę, która wywoływana jest zjawiskami aerodynamicznymi. Dodatkowo porowatość zwiększa absorpcję (zmniejsza propagację) dźwięku, również tego pochodzącego z innych źródeł hałasu pojazdu (silnik, układ wydechowy). Porowatość nie wpływa natomiast zasadniczo na pozostałą część hałasu wywoływaną zjawiskami drgań mechanicznych klocków bieżnika i całej opony.

Należy również wspomnieć o wysokim wpływie grubości warstwy ścieralnej na hałaśliwość nawierzchni porowatych. Na ogół im wyższa jest skuteczna porowatość, tym niższa hałaśliwość; im mniejszy rozmiar wolnych przestrzeni powietrznych, tym niższa hałaśliwość; im większa grubość warstwy, tym również niższa jej hałaśliwość. Porowatość, zapewniająca dobre odprowadzanie wody ze śladu styku opony z nawierzchnią, jest więc także korzystna dla właściwości przeciwoślizgowych takiej nawierzchni. Dodatkowo na nawierzchni porowatej w czasie deszczu, w związku z niezaleganiem warstwy wody na jej powierzchni, praktycznie wyeliminowane jest rozpryskiwanie wody przez poruszające się pojazdy i występowanie mgiełki wodnej za pojazdem ograniczającej widoczność innym uczestnikom ruchu oraz znacznie zredukowane są odbicia światła reflektorów (zarówno sucha jak i mokra nawierzchnia jest matowa), co również przyczynia się do poprawy bezpieczeństwa na drodze.

Główna zaleta nawierzchni porowatej - otwarta struktura - stanowi jednak również jej główną wadę: w otwarte przestrzenie wnikają wszystkie zanieczyszczenia takie jak pyły czy też drobne kruszywo co powoduje z czasem ich zapychanie się i skutkuje w efekcie końcowym pogorszeniem własności drenażowych. Wzrasta więc z czasem również hałaśliwość takiej nawierzchni. Rozwiązaniem tego problemu jest czyszczenie nawierzchni porowatych przy użyciu specjalistycznego sprzętu. Nawierzchnia porowata ułożona na drodze szybkiego ruchu, na skutek ruchu powietrza wywołanego przez szybko poruszające się samochody będzie podlegała „samooczyszczaniu”. Należy także pamiętać o konieczności serwisowania i konserwacji takiej nawierzchni w okresie zimowym poprzez szybkie i obfitsze stosowanie odpowiednich środków chemicznych niedopuszczających do zamarznięcia wody wewnątrz struktury nawierzchni, co skutkowało mogłoby jej uszkodzeniem. Utrzymanie zimowe nawierzchni porowatej jest bardziej kosztowne niż innych nieprzepuszczalnych nawierzchni. Również żywotność takiej nawierzchni jest mniejsza w porównaniu do tradycyjnych.

W zależności od zawartości wolnych przestrzeni powietrznych w nawierzchni można wyróżnić [1] nawierzchnie nieprzepuszczalne - poniżej 10 % wolnych przestrzeni, semi-porowate - posiadające 10 do 15 % wolnych przestrzeni oraz nawierzchnie porowate - zawartość wolnych przestrzeni powyżej 15 %. Warto wspomnieć, że porowatość może znacząco zmniejszyć generowanie i propagację hałasu pojazdów, zwłaszcza gdy objętość połączonych wolnych przestrzeni powietrza przekracza 20 % (do 30 % dla nowej nawierzchni).

### 1.1.3. Sztywność

Wpływ sztywności na hałaśliwość nawierzchni nie został jeszcze dostatecznie wyjaśniony - wciąż występują obszary pewnej niepewności. Teoretycznie znaczne obniżenie sztywności nawierzchni, które może być zrealizowane np. przez zastosowanie nadmiernej ilości lepiszcza i dodatku gumy, może sprawić, że współpraca bieżnika opony i tekstury nawierzchni będzie bardziej „miękką”. Takie działania mogą doprowadzić do redukcji hałasu, głównie w zakresie średnich częstotliwości (800 - 1200 Hz), ze względu na zmniejszenie efektu uderzenia

klocków bieżnika o nawierzchnię i drgań mechanicznych klocków. Podążając za tą ideą przeprowadzono wiele projektów badawczo-rozwojowych dotyczących nawierzchni z mieszanej asfaltowych z dodatkiem gumy pochodzącej ze zużytych opon. Ich znaczące różnice w stosunku do konwencjonalnych mieszanek asfaltowych to zwiększona zawartość lepiszcza (12 - 20 % wagowo w stosunku do masy całej mieszanki) oraz znaczny dodatek granulatu gumowego do lepiszcza (około 20 %). Nie dowiedziono jeszcze, czy za redukcję hałaśliwości tych nawierzchni odpowiedzialna jest jej obniżona sztywność, czy też lepiej zoptymalizowana tekstura ze względu na zwiększony udział masowy lepiszcza w masie mieszanki oraz wzrost lepkości samego lepiszcza. Potencjalnie, na zmniejszenie hałaśliwości może mieć wpływ także zmniejszenie udziału hałasu generowanego poprzez zjawisko chwilowego „przyklejania i odklejania się” opony do nawierzchni poprzez obniżenie adhezji pomiędzy gumą opony a gumowaną nawierzchnią. Uelastycznienie nawierzchni może również wpłynąć w pewnym stopniu na obniżenie hałasu niskoczęstotliwościowego (częstotliwości poniżej 1000 Hz).

Zaletą takiej nawierzchni z dodatkiem gumy jest jej wydłużona trwałość w wyniku zapewnienia skutecznego pokrycia agregatu gumowanym lepiszczem, które chroni warstwę ścierną przed utlenianiem w wyniku oddziaływania powietrza i w efekcie przed wykruszaniem ziaren kruszywa.

## **1.2. Rozwiązania materiałowo-technologiczne ograniczające emisję hałasu drogowego**

Zakłócenia w ruchu drogowym bardzo często wynikają z kategorii ruchu i niewłaściwej prognozy ruchu, ale również z ukształtowania terenu, usytuowania drogi w terenie oraz ze stanu nawierzchni przedwcześnie wyeksploatowanej. Jedną z przyczyn może być przeciążenie osi pojazdów ciężarowych, zła technologia wykonania i niewłaściwe materiały zastosowane do budowy drogi. Prowadzone w krajach Wspólnoty badania wskazują na potrzebę podniesienia bezpieczeństwa w ruchu drogowym i określenia właściwego czasu eksploatacji nawierzchni w tym w szczególności warstwy ścierną. Jedną z najnowszych w tym zakresie technologii jest stosowanie asfaltu porowatego, który oprócz pochłaniania wody opadowej redukuje również hałas powstający przy toczeniu się kół. Jest to szczególnie ważne na terenach poddanych ochronie akustycznej. Odpowiednie harmonogramy budowy i rekonstrukcji po okresie eksploatacji warstwy ścierną zapewniają akceptację społeczną innowacyjnych rozwiązań i odpowiednią koordynację w zakresie eksploatacji i utrzymania nawierzchni.

Hałas i jego wpływ na otoczenie człowieka jest w państwach Unii Europejskiej, w tym również w Polsce, ograniczany poprzez tworzenie optymalnych rozwiązań materiałowo-technologicznych dostosowanych do warunków klimatycznych i drogowych w danym kraju członkowskim [7, 8]. Właściwym kierunkiem działań jest zapewnienie możliwości wykonywania cichych i trwałych nawierzchni asfaltowych, których charakterystyczną właściwością jest obniżenie poziomu hałasu emitowanego przez poruszające się pojazdy samochodowe. Jednym z rozwiązań jest zastosowanie nawierzchni z asfaltu porowatego redukującego hałas o 3-8 dB (redukcja hałasu o 3 dB odpowiada zmniejszeniu się natężenia ruchu drogowego o połowę) [9], jednak ze względu na różne warunki eksploatacji na terenie Unii Europejskiej, wyznacza się dla takich nawierzchni okres

gwarancji, w czasie którego warstwa ścieralna powinna spełniać oczekiwaną funkcję w zakresie redukcji hałasu i pochłaniania wody opadowej.

Stosowanie odpowiednich rozwiązań materiałowo-technologicznych do budowy górnych warstw nawierzchni ma na celu konstruowanie nawierzchni w taki sposób, by były one bezpieczne i komfortowe dla użytkowników oraz ograniczały negatywny wpływ na otoczenie. Istnieje kilka rodzajów nawierzchni, które można stosować w celu obniżenia hałasu od ruchu samochodowego i które wciąż są udoskonalane, by jak najlepiej spełniać założoną funkcję przy stosunkowo niskim nakładzie kosztów wbudowania oraz utrzymania [10].

Nawierzchnie specjalne, do których należą te obniżające hałas od ruchu drogowego, wymagają szczególnie starannego utrzymania w czasie eksploatacji. Czynności utrzymaniowe mają na celu zapewnienie odpowiednich właściwości wbudowanej mieszanki przez jak najdłuższy czas.

Mieszanki porowate i o uziarnieniu nieciągłym o zwiększonej zawartości wolnej przestrzeni są najczęściej stosowane jako warstwy ścieralne na nowych odcinkach asfaltowych nawierzchni drogowych oraz jako dodatkowe warstwy – nakładki przy remontach istniejących nawierzchni asfaltowych lub z betonu cementowego. Mieszanki takie są również stosowane w miejscach, w których należy ograniczyć emisję hałasu drogowego powstającego na styku opony z nawierzchnią. Otwarta, półotwarta struktura mieszanek tego rodzaju, z odpowiednio wykształconą teksturą, wpływa na redukcję hałasu powstającego na styku opony z nawierzchnią.

Na świecie coraz częściej do tego rodzaju mieszanek mineralno-asfaltowych są stosowane lepszycza gumowo-asfaltowych, które umożliwiają, ze względu na swoje korzystne właściwości, ograniczenie grubości warstwy nawierzchni [11]. Stosowane w Kalifornii mieszanki mineralno-gumowo-asfaltowe o nieciągłym uziarnieniu są wykonywane najczęściej w warstwach o grubości 30 – 60 mm. Mieszanki te mogą być stosowane do budowy nawierzchni dróg w zabudowie miejskiej oraz wszędzie tam, gdzie ruch pojazdów samochodowych jest powolny, z częstym zatrzymaniem i ruszaniem pojazdów. Mieszanki takie charakteryzują się zwiększoną odpornością na starzenie w wyniku oksydacji i polepszonymi właściwościami lepkosprężystymi, poprawiającymi odporność warstwy na spękania odbite i koleinowanie oraz, ze względu na szkielet mineralny, większą szorstkością i redukcją hałasu drogowego [11]. Badania w zakresie mechaniki pękania mieszanek z lepszyczem gumowo-asfaltowym wykazały, że mieszanki mineralno-gumowo-asfaltowe charakteryzują się polepszonymi właściwościami w zakresie energii pęknięcia (ang. *fracture energy*) oraz propagacji spękań, w porównaniu do mieszanek ze standardowymi asfaltami drogowymi [11].

### **1.2.1. SMA - mastyks grysowy**

Mastyks grysowy (SMA - ang. stone mastic asphalt) jest mieszanką mineralno-asfaltową wymagającą zagęszczenia, należąca do typu pośredniego o nieciągłym uziarnieniu, składająca się z dużej zawartości (około 60-80%) grubego, łamanego kruszywa, związanego zaprawą mastyksową.

Warstwa ścieralna wykonana z mastyksu grysowego charakteryzuje się dużą szorstkością, zwiększoną odpornością na odkształcenia trwałe w postaci kolein oraz odpornością na działanie czynników atmosferycznych. Powyższe cechy wynikają z dużej zawartości mastyksu otaczającego ziarna gysu grubą warstwą i wypełniającego wolne przestrzenie w mieszance, czyniąc ją tym samym nieprzepuszczalną dla wody i powietrza, a przez to odporną na działanie wilgoci i przyspieszone starzenie lepszycza asfaltowego.



Fot. 1.1 Próbką nawierzchni obniżającej poziom hałasu drogowego - SMA. *źródło: opracowanie własne.*

W mieszankach SMA do warstw ścieralnych stosuje się kruszywa o maksymalnym wymiarze ziaren 5, 8 lub 11 mm (SMA 5, SMA 8 lub SMA 11) w zależności od kategorii ruchu i tak dla kategorii ruchu KR1 - KR4 stosuje się SMA 5 i SMA 8, natomiast dla kategorii ruchu KR5 - KR 7 stosuje się mieszanki SMA 8 i SMA 11. Mastyks grysowy może w pewnych przypadkach być klasyfikowany jako nawierzchnia obniżająca hałas drogowy ze względu na stosunkowo drobne uziarnienie, które jest kluczowym elementem do uzyskania obniżenia poziomu hałasu.

### **1.2.2. SMA-LA - mastyks grysowy o zwiększonej zawartości wolnych przestrzeni**

Mastyks grysowy o zwiększonej zawartości wolnych przestrzeni (SMA-LA - ang. split mastic asphalt, niem. Lärmarm) jest mieszanką mineralno-asfaltową wymagającą zagęszczenia, należąca do typu pośredniego o nieciągłym uziarnieniu, składająca się z dużej zawartości kruszywa grubego oraz zwiększonej zawartości wolnych przestrzeni.

Warstwa ścieralna wykonana z mastyksu grysowego o zwiększonej zawartości wolnych przestrzeni charakteryzuje się trwałością, odpornością na odkształcenia trwałe w postaci kolein oraz redukcją natężenia hałasu. W zależności od grubości warstw, można rozróżnić mieszankę SMA 5 LA przeznaczoną do stosowania jako warstwa o grubości 20-30 mm oraz SMA 8 LA przeznaczoną do stosowania jako warstwa o grubości 25-40 mm dla wszystkich kategorii ruchu (KR1 - KR7).

*Projekt RID - I/76 Ochrona przed hałasem drogowym*  
Zadanie 2. Ocena rozwiązań materiałowo-technologicznych górnych warstw asfaltowych i zalecenia w zakresie ich hałaśliwości

---



Fot. 1.2 Nawierzchnia obniżająca poziom hałasu drogowego - SMA-LA [12]

Nawierzchnia wykonana z SMA-LA wykazuje redukcję hałasu na poziomie około 2,5 dB (Tab. 1.2), co zależy od warunków ruchu oraz prędkości pojazdów, a także maksymalnej wielkości kruszywa zastosowanego w mieszance mineralnej. W porównaniu do asfaltu porowatego (PA) ten typ nawierzchni jest tańszy w wytwarzaniu oraz mniej kłopotliwy w utrzymaniu ze względu na mniejsze zużycie soli do odladzania nawierzchni zimą, a czas jej użytkowania może być dłuższy.

Tab. 1.2 Podsumowanie informacji na temat właściwości nawierzchni SMA-LA

<b>Czynnik</b>	<b>Właściwość nawierzchni</b>
1. Szacowana średnioroczna średnia redukcja hałasu w samochodach osobowych	2,5 dB w stosunku do AC lub SMA
2. Opór toczenia (wpływ na zużycie energii i emisję CO <sub>2</sub> )	Brak uwag
3. Szorstkość/tarcie (istotne dla bezpieczeństwa ruchu drogowego)	Brak uwag
4. Komfort kierowców (rozprysk wody, cisza wewnątrz pojazdu)	Brak uwag
5. Bezpieczeństwo ruchu (zjawisko akwaplanacji, przyczepność kół pojazdu do mokrej nawierzchni, rozprysk wody, widoczność oznakowania)	Brak uwag
6. Koszt nawierzchni	Ekonomiczne rozwiązanie, tańsze od PA
7. Trwałość nawierzchni	Dłuższa niż PA, krótsza niż AC i SMA
8. Konieczne zabiegi utrzymaniowe	-

9. Utrzymanie zimowe	Nie ma poważnych problemów i nie zwiększa się konsumpcja soli
10. Ograniczenia w praktycznym zastosowaniu na drogach	Nie nadaje się do stosowania na łukach i wszędzie tam, gdzie występują siły ścinające pod powierzchnią opon

źródło: opracowanie własne na podstawie [12]

### 1.2.3. BBTM - beton asfaltowy do bardzo cienkich warstw

Beton asfaltowy do bardzo cienkich warstw (BBTM - fr. beton bitumineuse très mince) jest mieszanką mineralno-asfaltową wymagającą zagęszczenia, należąca do typu pośredniego o nieciągłym uziarnieniu i otwartej strukturze.

Beton asfaltowy do bardzo cienkich warstw o maksymalnym wymiarze ziaren 8 lub 11 mm (BBTM 8 lub BBTM 11) stosuje się do wykonywania warstw ścieralnych o grubości 20-30 mm w zabiegach utrzymaniowych zamiast powierzchniowego utrwalenia oraz do wykonywania nowych nawierzchni dla wszystkich kategorii ruchu (KR1 - KR7). W zależności od wymiaru kruszywa, można rozróżnić mieszankę BBTM 8 przeznaczoną do stosowania jako warstwa technologiczna o grubości 10-30 mm oraz BBTM 11 przeznaczoną do stosowania jako warstwa o grubości 15-35 mm.

Nawierzchnia wykonana z BBTM charakteryzuje się obniżeniem poziomu hałasu od 1 do 4,5 dB, a przy zastosowaniu ziaren kruszywa o mniejszej średnicy, można uzyskać większe tarcie, a tym samym i bezpieczeństwo na drodze. Ten typ nawierzchni nie wymaga zastosowania tak specjalnych środków utrzymaniowych jak w przypadku asfaltu porowatego, a jego trwałość jest zazwyczaj kilka lat krótsza niż standardowych nawierzchni.

Tab. 1.3 Podsumowanie informacji na temat właściwości nawierzchni BBTM.

Czynnik	Właściwość nawierzchni
1. Szacowana średnioroczna średnia redukcja hałasu w samochodach osobowych	1 - 3 dB w stosunku do AC 11 2,5 - 4,5 dB w stosunku do SMA 16
2. Opór toczenia (wpływ na zużycie energii i emisję CO <sub>2</sub> )	Istnieje możliwość uzyskania mniejszych oporów toczenia przy zastosowaniu mniejszej średnicy ziaren
3. Szorstkość/tarcie (istotne dla bezpieczeństwa ruchu drogowego)	Zastosowanie ziaren o mniejszej średnicy poprawia tarcie
4. Komfort kierowców (rozprysk wody, cisza wewnątrz pojazdu)	Komfort kierowcy taki sam jak na standardowej nawierzchni lub nieco wyższy dzięki mniejszemu rozpryskowi wody i mniejszemu hałasowi wewnątrz pojazdu
5. Bezpieczeństwo ruchu (zjawisko akwaplanacji, przyczepność kół pojazdu do mokrej nawierzchni, rozprysk wody, widoczność oznakowania)	Tak samo, jak przy nawierzchni standardowej lub z niewielką poprawą spowodowaną lepszym tarcie i mniejszym rozpryskiem



*Projekt RID - I/76 Ochrona przed hałasem drogowym*  
**Zadanie 2. Ocena rozwiązań materiałowo-technologicznych górnych warstw asfaltowych i zalecenia w zakresie ich hałaśliwości**

6. Koszt nawierzchni	Podstawowy koszt najczęściej zbliżony do kosztów standardowej nawierzchni. W przypadku, gdy warstwa podłoża jest w złym stanie, może być konieczne zmielenie starej nawierzchni i zastosowanie nowej warstwy nośnej, co zwiększa koszt
7. Trwałość nawierzchni	Zwykle kilka lat krócej od nawierzchni standardowych
8. Konieczne zabiegi utrzymaniowe	Generalnie nie są potrzebne specjalne czynności konserwacyjne
9. Utrzymanie zimowe	Brak uwag
10. Ograniczenia w praktycznym zastosowaniu na drogach	Nie nadaje się do stosowania na skrzyżowaniach dróg

źródło: opracowanie własne na podstawie [12]

Wg obecnie stosowanych w Polsce zaleceń (Wymagania Techniczne GDDKiA, WT-2) mieszanki BBTM mogą się różnić m.in. charakterem wykresu krzywej przesiewu. W tablicy 1.4 przedstawiono uziarnienie mieszanki BBTM 8A i 8B wg koncepcji Politechniki Warszawskiej, która stanowi zmodyfikowaną wersję w stosunku do WT-2.

Tab. 1.4 Uziarnienie mieszanki mineralnej oraz minimalna zawartość lepiszcza dla mieszanki BBTM 8A i BBTM 8B przeznaczonej do ruchu kategorii KR3-KR7 [wg koncepcji Politechniki Warszawskiej]

Właściwość	Przesiew [% (m/m)]			
	BBTM 8A KR1-KR7		BBTM 8B KR1-KR7	
Wymiar sita # [mm]	od	do	od	do
11,2	100	100	100	100
8	90	100	90	100
5,6	55	75	46	65
4	35	55	25	45
2	25	35	15	25
0,125	10	15	6	11
0,063	7	9	4	6
Zawartość środka stabilizującego <sup>a)</sup>	0,3	1,5	0,3	1,5
Zawartość lepiszcza <sup>b)</sup>	$B_{\min} 5,6$		$B_{\min} 5,4$	

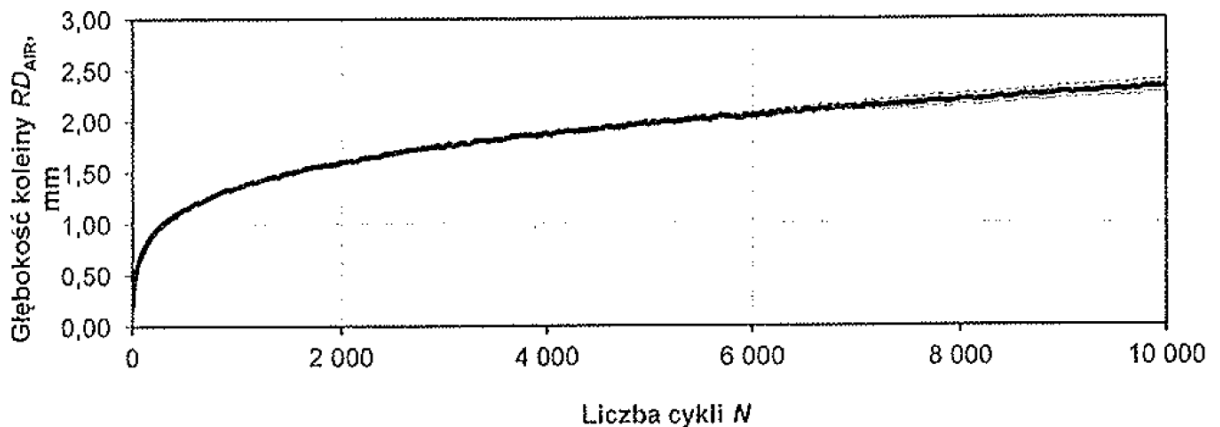
Zadanie 2. Ocena rozwiązań materiałowo-technologicznych górnych warstw asfaltowych i zalecenia w zakresie ich hałaśliwości

a) W przypadku stosowania lepiszcza gumowo-asfaltowego należy sprawdzić zasadność stosowania stabilizatora

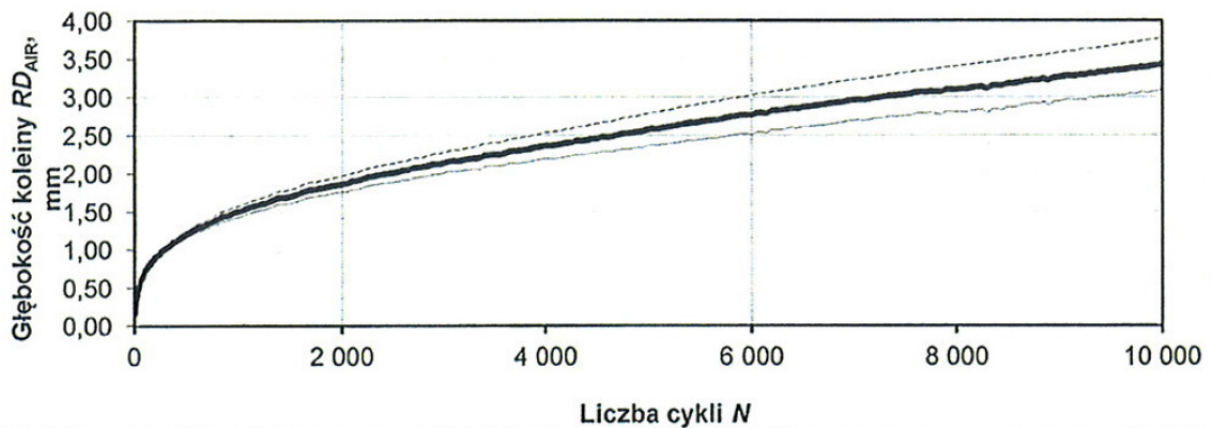
b) Uwaga: podane minimalne zawartości asfaltu dotyczą mieszanki BBTM 8A i BBTM 8B do ruchu kategorii KR3-KR7 o referencyjnej gęstości mieszanki mineralnej wynoszącej 2,65 Mg/m<sup>3</sup>. W przypadku uzyskania innej gęstości mieszanki mineralnej dla  $B_{\min}$  należy zastosować współczynnik korygujący  $\alpha$  wg wzoru  $\alpha = 2,65/\rho_a$ , gdzie  $\rho_a$  – gęstość objętościowa ziaren kruszywa mieszanki mineralnej [Mg/m<sup>3</sup>], określona zgodnie z normą PN-EN 1097-6.

$$\alpha = \frac{2,650}{\rho_d}$$

Przykładowe wyniki badania koleinowania w małym koleinomierzu mieszanek mineralno-asfaltowych BBTM 8 A i B przedstawiono na Rys. 1.2 , Rys. 1.3 i w Tab. 1.5.



Rys. 1.2 Odporność na koleinowanie mieszanki BBTM 8A [materiały niepublikowane producenta MMA]



Rys. 1.3 Odporność na koleinowanie mieszanki BBTM 8B [materiały niepublikowane producenta MMA]

Tab. 1.5 Odporność na deformacje trwałe (koleinowanie) mieszanki BBTM 8A i BBTM 8B przeznaczonych do warstwy ścieralnej dla ruchu kategorii KR3-KR7

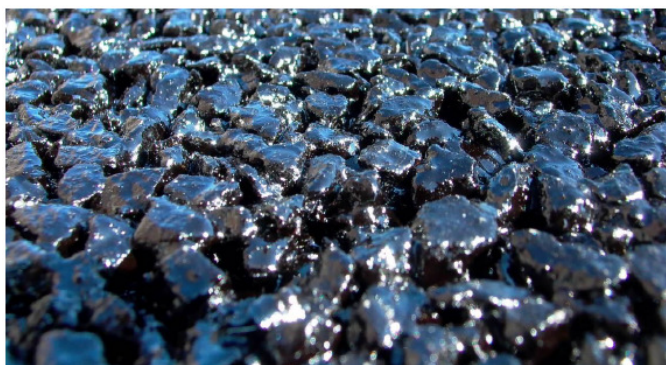
Właściwość	Warunki zagęszczania wg PN-EN 13108-20	Metoda i warunki badania	Jednostka	BBT M 8A	BBTM 8B

Odporność na deformacje trwałe	C.1.20, wałowanie, P <sub>98</sub> -P <sub>100</sub>	PN-EN 12697-22, metoda B w powietrzu, PN-EN 13108-20, D.1.6, 60°C, 10 000 cykli	[mm/1000 cykli]	$WTS_{AI}$	$WTS_{AIR}$
			$R$ 0,08	0,17	
			[%/1000 cykli]	$PRD_{AI}$	$PRD_{AIR}$
			$R$ 5,9	8,7	

#### 1.2.4. PA - asfalt porowaty

Zastosowanie asfaltu porowatego jest najskuteczniejszą powszechnie stosowaną na świecie technologią nawierzchni drogowych redukującą poziom hałasu komunikacyjnego. Istotą problemu jest starzenie eksploatacyjne warstwy ścieralnej powodujące pogorszenie właściwości nawierzchni, w tym zmniejszona skuteczność redukcji pochłaniania dźwięku.

Asfalt porowaty (PA - ang. porous asphalt) jest mieszanką mineralno-asfaltową wymagającą zagęszczenia, należąca do typu pośredniego o nieciągłym uziarnieniu, składająca się z dużej zawartości (około 80-90%) frakcji grysowej oraz dużej zawartości połączonych ze sobą wolnych przestrzeni (Fot. 1.3), która zapewnia właściwości drenażowe i zmniejszające hałas.



Fot. 1.3. Nawierzchnia obniżająca poziom hałasu drogowego - PA

Definicję asfaltu porowatego zawiera norma PN-EN 13108-7. Zgodnie z tym dokumentem „Asfalt porowaty jest to mieszanka mineralno-asfaltowa o bardzo dużej zawartości wolnych przestrzeni, które umożliwiają przepływ wody i powietrza, co zapewnia właściwości drenażowe i zmniejszające hałas”. Właściwości drenażowe asfaltu porowatego umożliwiają szybkie odprowadzenie wody i przyczyniają się do poprawy bezpieczeństwa ruchu pojazdów w czasie opadów deszczu poprzez redukcję mgły wodnej i poprawę przyczepności opony do nawierzchni.

Stosowanie nawierzchni porowatych, poza zmniejszeniem hałasu emitowanego na styku opony z nawierzchnią przez pojazdy poruszające się z prędkością powyżej około 50 km/h, umożliwia również lepsze odprowadzenie wody z nawierzchni. Ma to istotny wpływ na bezpieczeństwo ruchu pojazdów w czasie opadów deszczu. Dzięki właściwości umożliwiającej pochłanianie wody poprawia się przyczepność opony do nawierzchni i zredukowana jest mgła wodna w czasie poruszania się pojazdów. Z tą właściwością wiąże się również utrzymanie trwałości korzystnych cech akustycznych w wyniku zatykania się wolnych przestrzeni. Zatykanie się kanalików tworzących sieć wewnątrz struktury warstw nawierzchni jest związane również z występowaniem zanieczyszczeń na drodze, pyłów, ścieraniem się opon itp.

Skład mieszanki asfaltu porowatego przewidzianej do wykonania warstwy wiążącej i ścieralnej dla kruszywa i lepiszcza podano w Tab. 1.6.

Tab. 1.6 .Materiały do asfaltu porowatego

Materiał	Kategorie ruchu KR3÷KR7
Kruszywa mineralne	WT-1 <i>Kruszywa</i> 2014: tablice 23, 24, 25
Lepiszczka asfaltowe	PMB 45/80-55, PMB 45/80-65, PMB 45/80-80, PMB 65/105-60, PMB 65/105-80, asfalty specjalne np. z gumą wg europejskich ocen technicznych lub aprobat technicznych
Mieszanka mineralno-asfaltowa o wymiarze <i>D</i> (mm)	8, 11, 16 <sup>a)</sup>
<sup>a)</sup> tylko do warstwy wiążącej do układu dwuwarstwowego z asfaltu porowatego	

Warstwa nawierzchni wykonana z asfaltu porowatego charakteryzuje się możliwością przepływu wody oraz powietrza, czego efektem są dobre właściwości drenażowe nawierzchni, a także zmniejszony hałas komunikacyjny. Duża zawartość grysów, które tworzą bardzo silną strukturę, zapewnia wysoką odporność na deformacje trwałe w postaci kolein.

Nawierzchnia z asfaltu porowatego jest szorstka i szybko odprowadza wodę z powierzchni, co znacznie zwiększa bezpieczeństwo ruchu.



Fot. 1.4 Nawierzchnia obniżająca poziom hałasu drogowego - PA w dwóch warstwach [12]

Asfalt porowaty stosuje się do warstwy ścieralnej oraz warstwy wiążącej nawierzchni dla kategorii ruchu KR3 - KR7. Do warstw ścieralnych z PA stosuje się kruszywa o maksymalnym wymiarze ziaren 8 lub 11 mm (PA 8 lub PA 11), natomiast do warstw wiążących kruszywa o maksymalnym wymiarze ziaren 8, 11 lub 16 mm (PA 8, PA 11 lub PA 16). Asfalt porowaty może być również wykonywany w dwóch warstwach (Fot. 1.5), różniących się od siebie maksymalnym wymiarem zastosowanego kruszywa, co jeszcze bardziej poprawia jego właściwości obniżające hałas.



Fot. 1.5 Przekroje próbek nawierzchni asfaltu porowatego dwuwarstwowego [13]

Nawierzchnia wykonana z jednej warstwy PA wykazuje redukcję hałasu na poziomie co najmniej 2 dB, natomiast dwie warstwy PA obniżają poziom hałasu około dwukrotnie w porównaniu do PA jednowarstwowego. Ze względu na zmniejszony rozprysk wody i niższy hałas wewnątrz pojazdu ten rodzaj nawierzchni poprawia komfort jazdy użytkowników drogi, a także ich bezpieczeństwo (Tab. 1.7). Nawierzchnia porowata wymaga jednak odpowiedniego utrzymania: zimą należy używać do odładzania jedynie soli a do odśnieżania pługów z gumowym lemieszem, a w celu zapewnienia zakładanych właściwości redukcji hałasu, wymaga czyszczenia wodą pod wysokim ciśnieniem przy użyciu wyspecjalizowanego sprzętu maksymalnie co 2 lata, co znacznie wpływa na koszty konserwacji.

Tab. 1.7 Podsumowanie informacji na temat właściwości nawierzchni PA.

<b>Czynnik</b>	<b>Właściwość nawierzchni</b>
1. Szacowana średnioroczna średnia redukcja hałasu w samochodach osobowych	Jedna warstwa PA: 2 - 4 dB w stosunku do AC 11 3,5 - 5,5 dB w stosunku do SMA 16 Dwuwarstwowy PA: 1 - 2 dB w stosunku do jednej warstwy PA
2. Opór toczenia (wpływ na zużycie energii i emisję CO <sub>2</sub> )	Istnieje możliwość uzyskania mniejszych oporów toczenia przy zastosowaniu mniejszej średnicy ziaren
3. Szorstkość/tarcie (istotne dla bezpieczeństwa ruchu drogowego)	Zastosowanie ziaren o mniejszej średnicy poprawia tarcie
4. Komfort kierowców (rozprysk wody, cisza wewnątrz pojazdu)	Poprawiony komfort jazdy ze względu na zmniejszony rozprysk wody i hałas wewnątrz pojazdu
5. Bezpieczeństwo ruchu (zjawisko akwaplanacji, przyczepność kół pojazdu do mokrej nawierzchni, rozprysk wody, widoczność oznakowania)	Poprawa spowodowana lepszą szorstkością i mniejszym rozpryskiem wody
6. Koszt nawierzchni	Ogólnie koszt wyższy niż standardowych nawierzchni
7. Trwałość nawierzchni	Krótsza niż standardowych nawierzchni
8. Konieczne zabiegi utrzymaniowe	Czyszczenie nawierzchni; może wydłużyć jej żywotność
9. Utrzymanie zimowe	Wymagające dodatkowej uwagi. Wymagany odpowiedni monitoring, zarządzanie, solenie i odśnieżanie w okresach zimowych
10. Ograniczenia w praktycznym zastosowaniu na drogach	Nie nadaje się do stosowania na odcinkach dróg i skrzyżowaniach z siłą skrętu wywołaną oponami

źródło: opracowanie własne na podstawie [12]

### **1.2.5. MMA z dodatkiem gumy**

Mieszanka mineralno-asfaltowa z dodatkiem gumy jest mieszanką, do której został wprowadzony granulatu gumowy. Istnieją dwie metody wprowadzania granulatu gumowego do mieszanki: na sucho oraz na mokro. Metoda na sucho polega na dodaniu do mieszanki mineralnej granulatu gumowego w celu zastąpienia drobnej frakcji kruszywa, natomiast metoda na mokro polega na wcześniejszym modyfikowaniu lepiszcza granulatem gumowym i wprowadzeniu gotowego lepiszcza asfaltowo-gumowego do mieszanki mineralnej [14].

Stosowanie modyfikacji granulatem gumowym jest najbardziej efektywnym sposobem zagospodarowania zużytych odpadów gumowych. Zgodnie z obecnym stanem wiedzy technicznej, jedynie uzasadnione jest stosowanie metody na mokro.

W Tab. 1.8 przedstawiono podstawową charakterystykę doświadczalnych mieszanek mineralno-asfaltowych z bardzo wysoką zawartością gumy (innowacyjne mieszanki poroelastyczne).

Tab. 1.8 Podsumowanie informacji na temat właściwości nawierzchni poroelastycznej (bardzo wysoka zawartość gumy).

<b>Czynnik</b>	<b>Właściwość nawierzchni</b>
1. Szacowana średnioroczna średnia redukcja hałasu w samochodach osobowych	W pierwszym roku: 8 - 10 dB w stosunku do AC 11 10 - 12 dB w stosunku do SMA 16 Brak danych jeśli chodzi o dłuższy czas
2. Opór toczenia (wpływ na zużycie energii i emisję CO <sub>2</sub> )	Wyższy niż dla standardowych nawierzchni
3. Szorstkość/tarcie (istotne dla bezpieczeństwa ruchu drogowego)	obniżona
4. Komfort kierowców (rozprysk wody, cisza wewnątrz pojazdu)	Zmniejszenie rozprysku wody prawie jak dla PA
5. Bezpieczeństwo ruchu (zjawisko akwaplanacji, przyczepność kół pojazdu do mokrej nawierzchni, rozprysk wody, widoczność oznakowania)	Brak szczegółowych badań
6. Koszt nawierzchni	Znacznie wyższe koszty niż nawierzchni PA
7. Trwałość nawierzchni	Krótsza niż nawierzchni PA
8. Konieczne zabiegi utrzymaniowe	Brak danych
9. Utrzymanie zimowe	Takie, jak dla nawierzchni PA; wrażliwość na stalowe lemieszki pługów i miotły do usuwania śniegu
10. Ograniczenia w praktycznym zastosowaniu na drogach	Nie zaleca się stosowania na odcinkach dróg z siłami stycznymi powodowanymi przez opony manewrujących pojazdów.

źródło: opracowanie własne na podstawie [12].

### **1.3. Zastosowanie asfaltowych nawierzchni obniżających hałas drogowy w Europie**

W Europie najczęściej stosowanym rodzajem nawierzchni obniżającej hałas drogowy jest asfalt porowaty, którego najistotniejszą zaletą jest zdolność odprowadzania wody. Ta właściwość niesie za sobą szereg kolejnych korzyści takich, jak zmniejszenie rozprysku wody oraz zjawiska akwaplanacji, poprawa widoczności na drodze a co za tym idzie, wzrost bezpieczeństwa i komfortu jazdy użytkowników [12].

W Niemczech, w Bawarii, powstało około 28 km autostrady, której warstwa ścieralna wykonana jest z asfaltu porowatego. Na tym odcinku zaobserwowano problem z krótszym

okresem użyteczności nawierzchni (drogi z wysokim obciążeniem ruchem), co spowodowało wzrost kosztów utrzymania. Zauważono również problem zapychania się porów, z czym poradzono sobie poprzez wykorzystanie do utrzymania zimowego nawierzchni sprzętu łączącego suchą i mokłą sól, co niestety również podniosło koszt oraz jakość zimowego utrzymania.

W ramach realizacji pracy badawczej RID-76 przeprowadzono wizytę studyjną w zarządzie drogowym w Niemczech-region Brandenburgia. Na podstawie przeprowadzonych rozmów stwierdzono, że technologia nawierzchni obniżających poziom hałasu drogowego nie jest obecnie powszechnie stosowana.

Szwajcaria może pochwalić się wybudowaniem 250 km autostrad z asfaltu porowatego. Jednak administracja dróg krajowych nie jest zwolennikiem tego typu nawierzchni ze względu na jej problemy z trwałością oraz rosnącymi kosztami utrzymania. Na szwajcarskich drogach asfalt porowaty jest stosowany tylko i wyłącznie na odcinkach, gdzie budowa ekranów dźwiękochłonnych nie wystarcza, by spełnić wymagane normy hałasowe.

We Francji natomiast zaprzestano wykorzystywania asfaltu porowatego jako nawierzchni obniżającej hałas drogowy, czego główną przyczyną były zbyt wysokie koszty utrzymania zimowego tego typu nawierzchni. Jednakże wciąż około 200 km autostrad wybudowanych przez prywatne firmy jest wykonanych z asfaltu porowatego ze względu na jego właściwości istotnie wpływające na komfort i bezpieczeństwo użytkowników drogi, przepuszczalność a co za tym idzie, zmniejszenie rozprysku wody oraz zjawiska akwaplanacji.

Tymczasem polityka państwa w Holandii wymaga zastosowania asfaltu porowatego na całej sieci autostrad, przede wszystkim w celu obniżenia hałasu drogowego. Obecnie około 70 % holenderskich autostrad jest wykonanych z asfaltu porowatego w jednej warstwie, natomiast kolejnych 20 % posiada asfalt porowaty w dwóch warstwach. Średnia długość okresu użytkowania nawierzchni porowatej jednowarstwowej w Holandii wynosi około 17 lat (rok krócej niż innych nawierzchni), natomiast dwuwarstwowej - 13 lat a dominującym mechanizmem zniszczenia nawierzchni jest wykruszanie się ziaren z wbudowanej mieszanki.

W przeszłości asfalt porowaty był stosowany również w Austrii. Jednak wysokie zużycie soli podczas utrzymania zimowego zdecydowało o zaprzestaniu wykorzystania tego typu nawierzchni. W celu ograniczenia hałasu drogowego zaczęto stosować mastyks grysowy o zwiększonej zawartości wolnych przestrzeni.

Z powodów formalno-prawnych, w tym związanych z ochroną własności intelektualnej, dokonania europejskie (programy badawcze CEDR, Distance i granty badawcze UE) w zakresie rozwiązań materiałowo-technologicznych obniżających hałas drogowy przedstawiono bardziej szczegółowo w załączniku 5 i 6.

## **1.4. Zmiany hałasu drogowego w czasie eksploatacji nawierzchni**

W trakcie eksploatacji nawierzchnie drogowe podlegają zmianom w zakresie cech powierzchniowych, które skutkują zmianami w hałasie drogowym. Wyrwanie ziaren, powstające wyboje oraz ubytki nawierzchni w obrębie skrzyżowań mogą obniżać efektywność akustyczną w czasie eksploatacji. 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 hałasu drogowego [1].

Z powodów formalno-prawnych, w tym związanych z ochroną własności intelektualnej, studia literaturowe w zakresie zmian hałasu drogowego w czasie eksploatacji przedstawiono bardziej szczegółowo w załączniku 4.

## **1.5. Uwarunkowania formalno-prawne**

Konsekwencją przystąpienia Polski do krajów Unii Europejskiej było i wciąż jest dostosowywanie przepisów prawa do przepisów obowiązujących na obszarze Wspólnoty. Wymieniona Dyrektywa 89/106/EWG, która harmonizuje przepisy m.in. w zakresie swobody przepływu towarów, stała się w ostatnim czasie przedmiotem oceny Komisji Europejskiej, która przyjęła strategię zmniejszenia kosztów administracyjnych wynikających z tej Dyrektywy i usunięcia przeszkód oraz uproszczenia zasad certyfikacji w szczególności dla małych i średnich przedsiębiorstw. Dotyczy to również takich problemów jak Europejska Ocena Techniczna (EOT), jednostki do spraw oceny technicznej (JOT), europejski dokumentu oceny (EDO), europejskie aprobaty techniczne (ETAG), specjalnej dokumentacji technicznej i procedur z tym związanych.

W odniesieniu do tej pracy podano skrócony stan prawny, który zawiera normy i wymagania dotyczące kruszyw, lepiszczy, wypełniaczy oraz mieszanek mineralno-asfaltowych PN-EN 13043 „Kruszywa do mieszanek bitumicznych i powierzchniowych utrwaleń stosowanych na drogach, lotniskach i innych powierzchniach przeznaczonych do ruchu”. W roku 2006 ukazały się kolejne normy dotyczące lepiszczy tj. norma PN-EN 13924. Podstawowym dokumentem normowym jest norma PN-EN 13108-x „Mieszanki mineralno-asfaltowe. Wymagania”. Uzupełnieniem do tych norm są dokumenty aplikacyjne w postaci „Wymagań Technicznych” oznaczonych jako WT-1, WT-2, WT-3, WT-4 i WT-5.

Normy dotyczące wymagań mieszanek mineralno-asfaltowych podzielone zostały następująco:

- PN-EN 13108-1 Mieszanki mineralno-asfaltowe. Wymagania. Część 1: Beton asfaltowy,
- PN-EN 13108-7 Mieszanki mineralno-asfaltowe. Wymagania. Część 7: Asfalt porowaty,
- PN-EN 13108-8 Mieszanki mineralno-asfaltowe. Wymagania. Część 8: Destrukt asfaltowy,
- PN-EN 13108-20 Mieszanki mineralno-asfaltowe. Wymagania. Część 20: Badania typu,
- PN-EN 13108-21 Mieszanki mineralno-asfaltowe. Wymagania. Część 21: Zakładowa kontrola produkcji.

Jako stan prawny dotyczący hałasu komunikacyjnego, w zakresie związanym z budową nawierzchni drogowych, wymienić można następujące dokumenty:

- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady Europy z dnia 25 czerwca 2002 r. w sprawie oceny i zarządzania hałasem w środowisku 2002/49/WE - „Dyrektywa ma na celu zdefiniowanie wspólnego podejścia do unikania, zapobiegania lub zmniejszania szkodliwych skutków narażenia na działanie hałasu, w tym jego dokuczliwości, na podstawie ustalonych priorytetów.”,

- Norma PN-ISO 1996-1 Akustyka. Opis, pomiary i ocena hałasu środowiskowego. Część 1: Wielkości podstawowe i procedury oceny,

- Norma PN-EN ISO 11819-1 Akustyka. Pomiary wpływu nawierzchni dróg na hałas drogowy. Część Metoda statystycznego pomiaru podczas przejazdu,

- Nawierzchnie asfaltowe na drogach krajowych. WT-2:2014 Mieszanki mineralno-asfaltowe. Wymagania Techniczne - Podstawowe zalecenia doboru wyrobów do asfaltowej nawierzchni drogowej dotyczą mieszanek mineralno- asfaltowych i materiałów do nich stosowanych,

- 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, portem (Dz. U. Nr 192, poz. 1392),

- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 14 czerwca 2007 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku wraz ze zmianą z dnia 1 października 2012 roku, zmieniającą rozporządzenie w sprawie poziomów hałasu w środowisku (Dz. U. z 2012 r. poz. 1109), które weszło w życie 23 października 2012 roku. Określa dopuszczalne poziomy hałas.

Norma PN-EN 13108 Część 7 określa zarówno zależności materiałowo-technologiczne jak również warunki eksploatacji i utrzymania nawierzchni porowatych. Ponadto właściwości asfaltu porowatego określają następujące normy:

- gęstość objętościowa MMA-norma PN-EN 12697-6,
- zawartość wolnej przestrzeni w próbkach Marshalla-norma PN-EN 12697-8,
- wodoprzepuszczalność pionowa  $K_v$ -norma PN-EN 12697-19:2009,
- wodoprzepuszczalność pozioma  $K_h$ -norma PN-EN 12697-19:2009,
- ubytek ziaren-norma PN-EN 12697-17,
- spływność lepiszcza-norma PN-EN 12697-18.

Ustalenie zgodnie z przedstawionymi normami właściwości warstwy z asfaltu porowatego oraz pokazanie zmiany cech funkcjonalnych warstwy ścieralnej w określonym czasie eksploatacji pozwala na podjęcie prac związanych z rekonstrukcją warstwy ścieralnej.

## **2. BAZY DANYCH WŁAŚCIWOŚCI TECHNICZNYCH NAWIERZCHNI DROGOWYCH**

Nowoczesne zarządzanie siecią drogową (*road asset management*) związane jest z gromadzeniem i przetwarzaniem dużych ilości danych. W przypadku właściwego odczytywania informacji zwrotnej w zakresie stanu nawierzchni drogowej modyfikować można stosowane technologie wykonania nawierzchni drogowych i prowadzenia zabiegów utrzymaniowych. Zwrócić należy uwagę na fakt, że obecnie nie są w Polsce prowadzone prace, w tym prace badawcze, w zakresie pozyskania doświadczeń z wcześniej wykonanych i eksploatowanych odcinków drogowych. Jednym z celów takich prac mogłoby być opracowanie oceny technologii budowy nawierzchni drogowych z wykorzystaniem metody „analizy cyklu kosztów życia” (LCCA). Ocena taka powinna zawierać ujednoczoną metodykę oceny rozwiązań materiałowo-technologicznych stosowanych do budowy warstw konstrukcyjnych nawierzchni drogowych, w tym w z uwzględnieniem oceny nakładów inwestycyjnych, kosztów społecznych i środowiskowych.

Właściwie prowadzone i analizowane bazy danych zmierzać powinny do oceny trwałości poszczególnych rozwiązań materiałowo-technologicznych na podstawie danych z realizacji inwestycji drogowych na drogach krajowych na przestrzeni ostatnich 10-25 lat. W ramach takich prac powinny zostać opracowane typowe scenariusze eksploatacji i utrzymania nawierzchni drogowych w ciągu zakładanego cyklu ich życia. Metodami statystycznymi mogłyby zostać określone typowe interwały między zadaniami inwestycyjno-remontowymi. Dla administracji drogowej korzystnym byłoby prowadzenie oceny technologii budowy nawierzchni drogowych, umożliwiające inwestorowi i projektantom przeprowadzenie porównania różnych rozwiązań materiałowo-technologicznych z uwzględnieniem ich trwałości, nakładów inwestycyjnych, kosztów społecznych i środowiskowych. Takie oceny mogłyby być wykorzystane jako narzędzie przy opracowaniach w procesie decyzyjno-inwestycyjnym, projektowym, wykonawczym oraz gwarancyjnym.

W ramach corocznie wykonywanych przez GDDKiA badań stanów nawierzchni, gromadzone są dane o następujących parametrach techniczno – eksploatacyjnych nawierzchni:

- spękaniach (pozwalających uzyskać wstępne informacje dotyczące nośności),
- równości podłużnej,
- głębokości kolein (równości poprzecznej),
- stanie powierzchni,
- właściwościach przeciwpoślizgowych,
- ugięciach nawierzchni (są to dane uzupełniające; pomiary wykonywane są w zakresie niezbędnym do określenia technologii robót).

Na podstawie gromadzonych danych co roku powstają raporty o stanie technicznym sieci dróg krajowych w zakresie ogólnej oceny stanu technicznego, zmiany stanu technicznego oraz potrzebach finansowych. Raporty te stanowią istotne źródło informacji dla decydentów politycznych w sprawie prowadzenia krótko, średnio i długoterminowej polityki drogowej w Polsce.

Stwierdzić należy, że jakkolwiek zakres gromadzonych informacji jest bardzo szeroki, to nie znajdują się w nich szczegółowe informacje dotyczące zastosowanej technologii

wykonania warstw konstrukcyjnych nawierzchni drogowych oraz w zakresie właściwości akustycznych nawierzchni. Jakkolwiek mapy hałasu są dostępne dla wielu obszarów, nie istnieje jednak precyzyjna metoda powiązania map akustycznych z informacjami gromadzonymi obecnie przez GDDKiA. W związku z powyższym dostępne bazy danych zostały w projekcie wykorzystane w ograniczonym stopniu, głównie na początkowym etapie gromadzenia informacji wyjściowych i wyboru lokalizacji miejsc pomiarowych.

Postulować należy, aby w przyszłości pomiary rozszerzyć o badanie właściwości akustycznych nawierzchni drogowych.

### 3. TECHNOLOGIA ASFALTU POROWATEGO W HOLANDII - ZMIANA SKUTECZNOŚCI REDUKCJI HAŁASU W CZASIE EKSPLOATACJI

W latach 2011-2016 autorzy wykonali prace własne w postaci cyklicznych pomiarów terenowych na autostradach w Holandii. Celem badań była analiza zmiany poziomu hałasu komunikacyjnego w trakcie eksploatacji nawierzchni drogowych z nawierzchnią wykonaną z asfaltu porowatego. W opracowaniu przedstawiono wyniki pomiarów dla nowych nawierzchni (pierwszy rok eksploatacji) oraz starych (ostatni rok eksploatacji). Do analizy prognozowania hałasu zastosowano sztuczne sieci neuronowe. Przedstawione rozwiązania są przydatne do oceny skuteczności redukcji hałasu w określonym okresie eksploatacji wynikającym z gwarancji na wykonanie robót. W rozdziale przedstawiono również inne spostrzeżenia w zakresie stosowania technologii asfaltu porowatego w Holandii.

W opracowaniu wykorzystano m.in. doświadczenia holenderskie w zakresie analizy poziomu porowatości i skuteczności pochłaniania hałasu drogowego w zależności od zastosowanej technologii wykonania i standaryzacji rozwiązań stosowanych w Holandii. Podstawą do przeprowadzenia takiej analizy jest dokument „Standaard RAW Bepalingen”. Na Fot. 3.1 przedstawiono widok okładki tego dokumentu będącego zbiorem wymagań technicznych do budowy dróg w Holandii, z roku 2015.

CROW

Standaard  
RAW Bepalingen 2015



Fot. 3.1 Widok okładki dokumentu RAW

#### 3.1. Wprowadzenie

Zagadnienie związane z eksploatacją nawierzchni drogowych z warstwa ścieralną z asfaltu porowatego jest od dawna przedmiotem badań i wdrożeń w Holandii. Prowadzone badania [15, 16] pozwalają na uogólnienie uzyskanych modeli i opracowanie odpowiednich rozwiązań w budownictwie drogowym. Jednym z najważniejszych warunków jest

zastosowanie właściwej metody podejmowania decyzji poprzez wykorzystanie odpowiedniego warsztatu matematycznego w postaci metod probabilistycznych lub stochastycznych ponieważ jest to typowe działanie w warunkach losowych i różnych sytuacjach decyzyjnych.

Istota problematyki w tych pracach dotyczy uzyskania prawidłowości określających przebieg zmian hałaśliwości nawierzchni z asfaltu porowatego w określonym czasie oraz podania końcowych zależności w postaci graficznej. W odniesieniu do problematyki technologiczno-organizacyjnej realizacji przedsięwzięć budownictwa drogowego będzie to:

1. Analiza przedsięwzięć drogowych oraz ustalenie kluczowych procesów, zdefiniowanie zakłóceń i trudności w zakresie prowadzenia pomiarów terenowych oraz opracowania wyników.

2. Analiza modeli oraz metod odpowiednich do racjonalizacji w czasie dla zastosowanych rozwiązań.

3. Zbadanie roli i wpływu różnych czynników takich jak czas eksploatacji, warunki atmosferyczne, w celu ustalenia możliwości wdrożenia innowacji produktowych (nowych, lepszych w danych warunkach).

Stosowanie nowych technologii w Holandii wiąże się z wieloletnimi doświadczeniami projektantów holenderskich zarówno w zakresie technologii stosowanych materiałów do produkcji mieszanek mineralno-asfaltowych (MMA), jak również z budową i rekonstrukcją nawierzchni autostrad. Przyjęty okres gwarantujący zmniejszenie hałaśliwości wynosi od ośmiu do dwunastu lat, a podejmowanie decyzji o wykonaniu rekonstrukcji warstwy ścieralnej wynika m.in. z utraty skuteczności pochłaniania hałasu w projektowanym zakresie. Hałaśliwość nawierzchni monitoruje się w czasie jej eksploatacji i w zależności od stanu warstwy ścieralnej zmieniającego się w czasie, podejmuje decyzje o przeprowadzeniu rekonstrukcji tej warstwy.

### **3.2. Eksploatacja nawierzchni z warstwą asfaltu porowatego - cykl życia i rozwiązania konstrukcyjne**

Przeprowadzona analiza wyników pomiaru struktury rodzajowej natężenia ruchu uporządkowanych według trzech kategorii pozwala, łącznie z wynikami pomiaru hałasu, na ustalenie gwarantowanego okresu eksploatacji oraz na zaplanowanie czasu wykonania rekonstrukcji warstwy ścieralnej autostrady. Zmieniająca się skuteczność pochłaniania hałasu dla danej warstwy z asfaltu porowatego może stanowić podstawę do prognozowania robót remontowych na danym odcinku. Rekonstrukcja warstwy ścieralnej wynika ze standaryzacji konstrukcji nawierzchni stosowanej w Holandii. W zakresie działań innowacyjnych jednym z rozwiązań skutecznie wprowadzanych przez projektantów na budowach zachodnich jest standaryzacja, rozumiana jako dążenie do wypracowania odpowiednich reguł stanowiących przeciętny wzorzec, typ lub model. Standaryzacja pozwala na zwiększenie stopnia spójności działań. W szczególności dotyczy to projektowania, budowy i utrzymania sieci drogowej, ale również bezpieczeństwa i komfortu życia kierowców-użytkowników drogi. Jednym z dobrych rozwiązań dla całego cyklu życia obiektu budowlanego jest opracowanie standardowych przekrojów, półsztywnych i podatnych nawierzchni drogowych stosowanych w Holandii. W Tab. 3.1 - Tab. 3.5 przedstawiono układ standardowy warstw na drogach krajowych i na autostradach w Holandii.

*Projekt RID - I/76 Ochrona przed hałasem drogowym*  
 Zadanie 2. Ocena rozwiązań materiałowo-technologicznych górnych warstw asfaltowych i zalecenia w zakresie ich hałaśliwości

Tab. 3.1 Układ warstw na holenderskich drogach krajowych

Materiał warstwy	Grubość warstwy [cm]	Nazwa warstwy	Nazwa grupy warstw	
Beton asfaltowy	10-25	Ścieralna i wiążąca	nawierzchnia	Konstrukcja jezdni
Mieszanka WT-4	25	Podbudowa zasadnicza i pomocnicza	podbudowa	
Grunt nasypowy	50-65	Podłoże	Piasek naturalny bez składników organicznych frakcja 2mm (max.15%) Frakcja 0,063 (max.15%)	

Tab. 3.2 Przykład grubości warstw nawierzchni krajowej

Materiał warstwy	Grubość warstwy [cm]	Nazwa warstwy	Nazwa grupy warstw
SMA, asfalt porowaty	3-5	Ścieralna	Nawierzchnia
Beton asfaltowy	6-8	Wiążąca	
Beton asfaltowy	6-7	Wzmacniająca	

Tab. 3.3 Układ warstw na holenderskich drogach krajowych

Materiał warstwy	Grubość warstwy [cm]	Nazwa warstwy	Nazwa grupy warstw	
Beton asfaltowy	25-35	Ścieralna i wiążąca	nawierzchnia	Konstrukcja jezdni
Mieszanka WT-4	25	Podbudowa zasadnicza i pomocnicza	podbudowa	
Grunt nasypowy	40-50	Podłoże	Piasek naturalny bez składników organicznych frakcja 2mm (max.15%) Frakcja 0,063 (max.15%)	

Tab. 3.4 Przykład grubości warstw nawierzchni autostrady z betonu asfaltowego

Materiał warstwy	Grubość warstwy [cm]	Nazwa warstwy	Nazwa grupy warstw
SMA, asfalt porowaty	3-5	Ścieralna	Nawierzchnia
Beton asfaltowy	6-8	Wiążąca	
Beton asfaltowy	6-7	Wzmacniająca	

*Projekt RID - I/76 Ochrona przed hałasem drogowym*  
Zadanie 2. Ocena rozwiązań materiałowo-technologicznych górnych warstw asfaltowych i zalecenia w zakresie ich hałaśliwości

---

Tab. 3.5 Układ warstw na holenderskiej autostradzie z płytą ciągłą z betonu cementowego

Materiał warstwy	Grubość warstwy [cm]	Nazwa warstwy	Nazwa grupy warstw
Asfalt porowaty	5 cm w jednej warstwie lub 7 cm w dwóch warstwach	Ścieralna	Nawierzchnia (Konstrukcja nawierzchni)
Beton cementowy płyta zbrojona, ciągła, z dylatacją podłużną	25	Wiążąca	
Beton asfaltowy	5	Podbudowa	

Myślą przewodnią programowania i planowania inwestycji jest usprawnienie procesu przygotowania inwestycji, który-jak uczy doświadczenie-jest najbardziej czasochłonną fazą. Tu zatem tkwią największe rezerwy skrócenia czasu, który upływa między zaplanowaniem budowy drogi a jej oddaniem do użytku, choć przy stosowaniu nowych technologii, również warto zwrócić uwagę na powtarzalność procesów budowy zwanych w cyklu życia rekonstrukcją, umożliwiającym szerokie wykorzystanie materiałów z recyklingu. Nie mniej istotnym elementem prawidłowej realizacji budowy drogi, a następnie jej eksploatacji jest wykonanie, które spełni potrzeby społeczne zarówno w odniesieniu do lokalnej społeczności, jak i wszystkich użytkowników zbudowanej i eksploatowanej drogi. Przy technologii bardziej złożonej, do której należy technologia asfaltu porowatego polegająca na zastosowaniu w procesie planowania i programowania standaryzacji, istnieje szereg możliwości pozwalających na wariantowanie rozwiązań doboru maszyn i urządzeń do budowy i dotyczących w sposób pośredni okresu gwarancji i prawidłowej eksploatacji oraz utrzymania w celu przedłużenia trwałości danej infrastruktury. Przykładem może być porowatość warstwy ścieralnej, dzięki której woda deszczowa przenika do działu wodnego danego terenu, a następnie uzupełnia stan wód w rzekach umożliwiających lepszą gospodarkę wodną na danym terenie. W szerszym ujęciu jest to poprawienie jakości życia, zwiększenie bezpieczeństwa, a dzięki odpowiedniej eksploatacji i utrzymaniu drogi jest to również konkurencyjność gospodarcza kraju.

To zagadnienie wiąże się, zgodnie ze zrównoważonym rozwojem, również z recyklingiem warstw przeznaczonych do rekonstrukcji, istotnym dla ochrony zasobów i dbałości o środowisko naturalnego. Problem ten będzie również przedmiotem tego opracowania.

W cykl życia obiektu infrastrukturalnego, którym jest droga, w szczególny sposób wpisuje się nawierzchnia z asfaltu porowatego. Odpowiednio wykonana taka technologia ma znaczący wpływ na trwałość podlegającą w czasie eksploatacji okresowi gwarancji. W Holandii dla nawierzchni z asfaltu porowatego jest to 8 lat, ale można wydłużyć ten czas przy odpowiednim utrzymaniu nawet do lat 12. Wpływa to również korzystnie na spowolnienie procesu pogorszenia właściwości akustycznych nawierzchni w tym okresie. W opracowaniu przedstawiono najważniejsze zasady dobrego wykonania nawierzchni z uwzględnieniem własnych doświadczeń i pomiarów terenowych. Opracowane wyniki pomiarów terenowych dla hałasu komunikacyjnego z uwzględnieniem wykonania nawierzchni w technologii warstw kompaktowych można uznać dla polskiego programu



rozwoju gospodarczego jako innowacyjne rozwiązanie zwiększające skuteczność i konkurencyjność rozwiązań również na rynkach zewnętrznych.

Scenariusz cyklu życia obiektu drogowego realizowany zgodnie z przyjętą strategią powinien zapewnić nieprzerwaną realizację fazy eksploatacji w cyklu jego życia. Na fazę tą składa się sama eksploatacja nawierzchni, wraz z poddaniem jej procesom utrzymania bieżącego oraz z monitorowaniem jej stanu. Na podstawie monitorowania stanu w trakcie eksploatacji zarządca otrzymuje informacje o bieżącym zużyciu eksploatacyjnym i konieczności rozpoczęcia procesów remontowych lub modernizacyjnych (rekonstrukcji warstwy ścieralnej, przebudowy - dodatkowy pas ruchu itp). Procesy te powinny być ustalone odpowiednio wcześniej, już na etapie ustalania okresu gwarancji dla danego obiektu. W tym kontekście przydatne mogą być wyniki predykcji wartości hałasu komunikacyjnego na danych odcinkach autostrady. Jednym z kryteriów oceny stanu danej nawierzchni jest zapewnienie bezpieczeństwa użytkownikom drogi oraz odpowiedniego klimatu akustycznego w otoczeniu drogi. Zakończenie rzeczywistej fazy następuje przy takim stanie technicznym drogi, który wyklucza dalszą bezpieczną eksploatację. W wyniku monitorowania faza eksploatacji może jednak przejść do fazy programowania i projektowania. Przejście to następuje po ocenie wyników monitoringu stanu lub na podstawie zaplanowanych procesów scenariusza cyklu życia produktu, który może przewidywać rekonstrukcję nawierzchni ze względu na niewłaściwy poziom hałasu ekwiwalentnego. W wyniku realizacji tej fazy powstaje dokumentacja zbiorcza (poeksploatacyjna) dla cyklu życia danej drogi, na podstawie której, określa się wskaźnik efektywności przedsięwzięcia. Dla oznaczenia poziomu spełnienia funkcji celu w cyklu życia produktu, wskaźnik ten można porównać ze wskaźnikiem prognozowanym.

W Holandii trwałość nawierzchni z asfaltu porowatego przyjmuje się na osiem do dziesięciu lat.

### **3.3. Technologia asfaltu porowatego**

W podrozdziale przedstawiono informacje w zakresie rozwiązań materiałowo-technologicznych związanych ze stosowaniem technologii asfaltu porowatego w Holandii.

#### **3.3.1. Cel i zakres rozwiązań technologicznych**

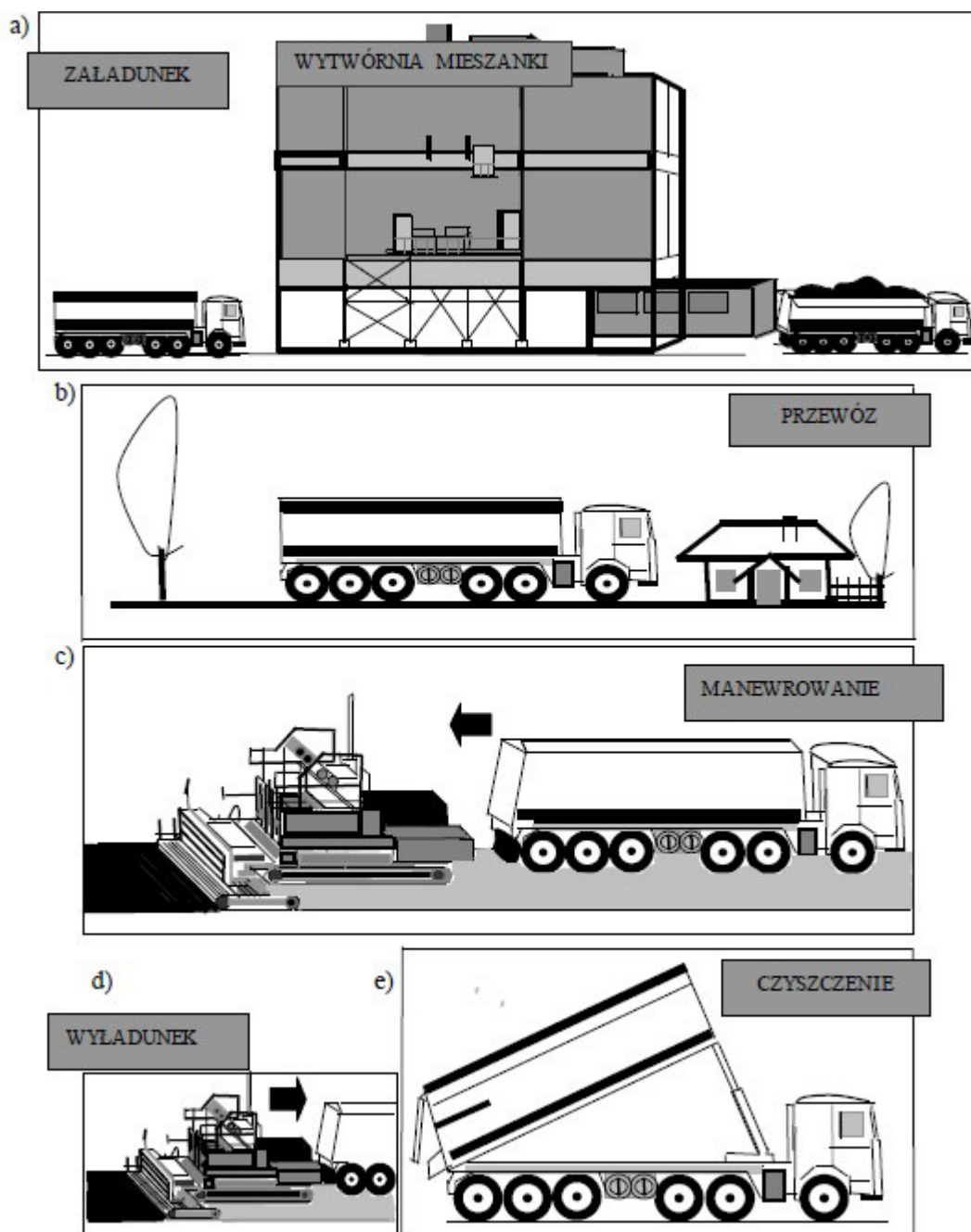
W nawierzchniach z asfaltu porowatego zawartość wolnej przestrzeni wynosi w Holandii 18-24%.

Dla zwiększenia bezpieczeństwa na drodze o nawierzchni z asfaltu porowatego oraz dla utrzymania trwałości skutecznego pochłaniania hałasu stosuje się nowe technologie czyszczenia porów poprzez wsysanie zanieczyszczeń do poruszających się o określonych porach dnia samochodów wyposażonych w instalacje wciągające brud i zanieczyszczenia z powierzchni drogi. Dzięki temu działaniu zwiększa się skuteczność pochłaniania hałasu na drogach istniejących, a tym samym wydłuża się okres użytkowania nawierzchni i planowanych remontów. Problem skutecznego pochłaniania hałasu w czasie eksploatacji nawierzchni autostrady oraz po wykonaniu rekonstrukcji warstwy ścieralnej z asfaltu porowatego, stał się inspiracją do przeprowadzenia na terenie Holandii, na autostradzie A73 w latach 2011-2016 pomiarów terenowych dotyczących hałaśliwości warstwy ścieralnej z asfaltu porowatego. W latach 2011-2012 były to pomiary dotyczące hałaśliwości oraz hałasu przy określonej strukturze rodzajowej pojazdów, po zakończeniu okresu gwarancji,

Projekt RID - I/76 Ochrona przed hałasem drogowym  
Zadanie 2. Ocena rozwiązań materiałowo-technologicznych górnych warstw asfaltowych i  
zalecenia w zakresie ich hałaśliwości

a w latach 2013-2016 były to pomiary warstwy ścieralnej z asfaltu porowatego po rekonstrukcji.

Zgodnie z podanym stanem prawnym zagadnienie technologii asfaltu porowatego powinno obejmować proces produkcji, transportu i układania MMA, z podaniem celu stosowania takiej technologii. Celem może być znaczne zmniejszenie emisji hałasu toczących się kół po nawierzchni, komfort jazdy, bezpieczeństwo. Przebieg takiego procesu pokazano na Rys. 3.1.



Rys. 3.1 Schemat procesu załadunku, przewozu i wyładunku MMA [17], a) załadunek mieszanki b) przewóz produktu c), d) manewrowanie i wyładunek e) czyszczenie skrzyni

Budowa nawierzchni z asfaltu porowatego wymaga opracowania danych niezbędnych do stworzenia modelu działania w postaci ogólnej, który na początku wymaga przygotowania danych stanowiących warunki wejściowe do takiego modelu. Postać szczegółowa wynikająca z warunków wejściowych musi uwzględniać charakterystykę modelu dla konkretnych warunków np. z ograniczoną kolejką, z preferencją lub innych o określonej strukturze logistycznej dla całego procesu budowy składającego się z następujących elementów:

- produkcji mieszanki mineralno-asfaltowej,
- przewozu gotowej mieszanki mineralno-asfaltowej z wytwórni na budowę,
- wykonania nawierzchni.

*Produkcja mieszanki mineralno-asfaltowej* odbywa się na gorąco w otaczarce, którą tworzy zestaw maszyn i urządzeń do dozowania, podgrzewania i mieszania składników oraz przechowywania gotowej mieszanki. Sposób i czas mieszania składników MMA powinny zapewnić równomierne otoczenie kruszywa lepiszczem asfaltowym. Składniki do produkcji mieszanek mineralno-asfaltowych należy dobierać w zależności od rodzaju nawierzchni i jej funkcji oraz kategorii ruchu, warunków obciążenia ruchem, warunków klimatycznych, właściwości poślizgowych, hałasu toczenia kół i ewentualnych wymagań specjalnych zamawiającego.

Kruszywo o różnym uziarnieniu lub pochodzeniu należy składować oddzielnie według wymiaru i chronić przed zanieczyszczeniem.

Wypełniacz należy przechowywać w suchych warunkach najlepiej w zasiekach oddzielających poszczególne rodzaje i frakcje.

Lepiszczce przechowuje się w okrągłych zbiornikach z odpowiednim wyposażeniem technologicznym do pompowania i przemieszczania tego składnika w czasie produkcji MMA. Ponadto przy takim stanowisku powinien być zapewniony dojazd dla cystern dostarczających lepiszczce do wytwórni mieszanki mineralno-asfaltowej.

Istotne jest również przygotowanie stanowisk wydawania mieszanki, które mogą się znajdować pod zbiornikiem gotowej mieszanki, napełnianym bezpośrednio z mieszalnika, lub pod zbiornikami gotowej mieszanki, napełnianymi za pomocą podajnika jednonaczyniowego. Przygotowanie tych stanowisk oraz ich właściwe wyposażenie np. w wagi, sygnalizację świetlną stanowisk załadunku, środki łączności, wyświetlacze czasu trwania załadunku itp. przyspiesza załadunek i ułatwia organizację załadunku w całym procesie logistycznym.

Podstawowym dokumentem programu produkcji wytwórni mieszanki mineralno-asfaltowej jest receptura oraz charakterystyka produktu zgodna z dokumentem CE. Na Rys. 3.2 pokazano oryginalną recepturę dla asfaltu porowatego stosowaną w wytwórniach holenderskich. W Tab. 3.6 pokazano jako uzupełnienie dokument CE zgodny z normami Unii Europejskiej.

*Projekt RID - I/76 Ochrona przed hałasem drogowym*  
**Zadanie 2. Ocena rozwiązań materiałowo-technologicznych górnych warstw asfaltowych i zalecenia w zakresie ich hałaśliwości**

## RECEPTUUR BRABANTSE ASFALT-CENTRALE

**Soort asfalt :** PA 16 70/100 Grauwacke 10+

**31/08/13**

**Recept nr. :** 55043-06

**Code nieuw :** ----

Afweging mineraal			
Fractie	Straat		afweging kg/ton
	A	B	
Bypass	1	7	
0/3	2	8	<b>74</b>
3/8	3	9	212
8/16	4	10	597
16/24	5	11	21
24/40	6	12	0
Totaal aan materiaal nieuw			<b>904</b>

**830**

Voordosering		
Standaard instelling		
Soort Bouwstof	Doseur	
morene brekerzand	1	<b>6</b>
grauwacke 8/11	2	<b>52</b>
grauwacke 5/8	4	<b>15</b>
grauwacke 11/16	6	<b>21</b>
Totaal		<b>94</b>

Afweging vulstof		
Silonr.	Soort	kg/ton
Silo 1	Eigen Stof	<b>14</b>
Silo ?	Wigro 60K	<b>29</b>
Totaal afweging vulstof		<b>43</b>

Afweging Bitumen	
Soort	kg/ton
Bitumen 70/100	<b>53</b>

Afweging toevoegingen	
Soort	(%)
Cellulosevezel	<b>0,20</b>

Totaal kg/ton	<b>1000</b>
---------------	-------------

Voor accoord :	<b>AW</b>
----------------	-----------

### Opmerkingen :

Temperatuur 140 - 150 - 170°C


#### Invoer controle:

Paraaf menger      Paraaf controle

**Datum:**

Rys. 3.2 Oryginalna receptura holenderska składu mieszanki

Tab. 3.6 Przykład oznakowania zgodnego z CE

 01234	<p>Oznakowanie zgodne CE składające się z symbolu „CE” Numer identyfikacyjny jednostki Certyfikującej Nazwa lub znak identyfikacyjny oraz zarejestrowany adres producenta Dwie ostatnie cyfry roku w którym oznakowanie zostało umieszczone Numer certyfikatu Numer normy europejskiej Opis wyrobu Znormalizowane oznaczenie Nazwa wytwórni Kod identyfikacyjny mieszanki i informacje o ustalonych właściwościach, które powinny być zgodne z tablicą ZA.1; producent może zadeklarować rzeczywiste wartości funkcjonalne oprócz kategorii lub klasy określonej w niniejszej normie</p>													
Asfaltcentrale Corr.adres: Postbus 291, 5700 AG Helmond  07 01234-CPD-00234														
EN 13108-7 Asfalt porowaty do nawierzchni dróg i innych powierzchni obciążonych ruchem  PA 11 70/100 Brabancka centrala asfaltowa (Holandia) P 08 Uziarnienie (przechodzi przez sito): <table style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr><td>#22,4 mm</td><td>100 %</td></tr> <tr><td>#16,0 mm</td><td>94 %</td></tr> <tr><td>#11,2 mm</td><td>75 %</td></tr> <tr><td>#5,6 mm</td><td>50 %</td></tr> <tr><td>#2,0 mm</td><td>15 %</td></tr> <tr><td>#500 μm</td><td>8 %</td></tr> <tr><td>#63 μm</td><td>4,5 %</td></tr> </table> Zawartość lepiszcza $B_{\min 4,5}$ (4,5 %) Zawartość wolnych przestrzeni $V_{\min 22}$ (22 %) Odporność na działanie wody $ITSR_{90}$ (90 %) Ubytek ziaren $PL_{50}$ (50 %) Przepuszczalność pozioma $K_{h3,0}$ ( $3,0 \cdot 10^{-3}$ m/s) Przepuszczalność pionowa $K_{v1,5}$ ( $1,5 \cdot 10^{-3}$ m/s) Spławność lepiszcza $D_o$ (0 %) Reakcja na ogień (EN 13501-1) Euroklasa Cfl Temperatura mieszanki od 140 °C do 170 °C Niebezpieczne substancje NPD		#22,4 mm	100 %	#16,0 mm	94 %	#11,2 mm	75 %	#5,6 mm	50 %	#2,0 mm	15 %	#500 μm	8 %	#63 μm
#22,4 mm	100 %													
#16,0 mm	94 %													
#11,2 mm	75 %													
#5,6 mm	50 %													
#2,0 mm	15 %													
#500 μm	8 %													
#63 μm	4,5 %													
<p>Oznaczenia NPD - „no performance determined” (właściwość nieoznaczona)</p>														

Oprócz przedstawionych w Tab. 3.6 informacji dotyczących substancji niebezpiecznych (NPD) zaleca się, aby do wyrobu była dołączona (wtedy i tam gdzie jest to wymagane) dokumentacja w odpowiedniej formie, w której będą wymienione wszystkie przepisy dotyczące niebezpiecznych substancji i według których ogłasza się zgodność, łącznie z wszystkimi informacjami wymienionymi w tych przepisach. Jest to szczególnie ważne, gdy do materiałów nowych dodaje się materiały z recyklingu.

*Przewóz mieszanki mineralno-asfaltowej* powinien uwzględniać w danych wejściowych do modelu wydajność maszyn na budowie i zapotrzebowanie na mieszankę w ustalonych przedziałach czasu. Istotne jest prognozowanie tego zapotrzebowania, zgodnie z przygotowanym frontem robót oraz zakłóceniami procesu wyładunku, takimi jak tankowanie paliwa do maszyn, planowane przerwy, a czasem również nieprzewidziane przestoje wynikające z wykonywania robót pod wiaduktem, w tunelu i innych miejscach utrudniających przejazd i manewrowanie samochodów samowładowczych np. podnoszenie skrzyni. Istotne na tym etapie procesu transportowego mogą być również zakłócenia ruchu drogowego na trasie przejazdu oraz sytuacje nieprzewidziane, takie jak awaria samochodu, kolizja z innym pojazdem lub roboty drogowe, które powodują konieczność zmiany trasy. Wyznaczenie nowej trasy powinno uwzględniać nośność obiektów inżynierskich oraz dopuszczalne obciążenia na oś pojazdu, wymiary jezdni oraz poboczy, po których będą poruszały się samochody dostarczające mieszankę mineralno-asfaltową na budowę.

Właściwa organizacja przewozu mieszanki powinna uwzględniać rozwiązania wariantowe oraz niezbędne kryteria wyboru rozwiązań najlepszych dla danych warunków realizacji przyjętego modelu w czasie programowania przedsięwzięcia.

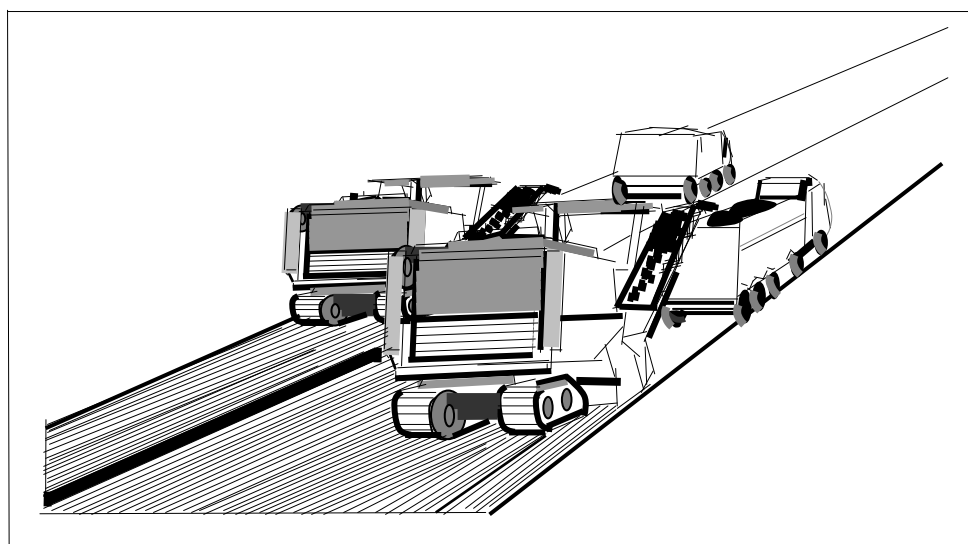
Jak podano wcześniej, planowanie cyklu transportowego musi uwzględniać zarówno pracę wytwórni jak i możliwość transportowania mieszanki mineralno-asfaltowej z dwóch, a nawet trzech wytwórni, a ponadto dla prawidłowego przebiegu procesu logistycznego niezbędne jest uwzględnienie technologii układania poszczególnych warstw konstrukcji nawierzchni.

*Wykonanie nawierzchni* łączy się z najważniejszym czynnikiem organizacji transportu mieszanki tj. wydajnością maszyn układających mieszankę mineralno-asfaltową na budowie. Przyjęta technologia określa liczbę maszyn, podział na działki robocze oraz organizację przebiegu robót zgodnie z przyjętym harmonogramem budowy i dostaw. Dostarczenie właściwej ilości mieszanki usprawnia realizację robót, ich planowanie w krótkim i dłuższym przedziale czasu, np. kilku godzin, kilku kolejnych dni lub tygodni. Właściwy przebieg robót mogą zakłócić warunki atmosferyczne, awarie maszyn oraz sytuacje związane z ruchem drogowym na trasie przejazdu samochodów do transportu technologicznego mieszanki na budowę. Na Rys. 3.3 pokazano klasyczny sposób rozładunku mieszanki mineralno-asfaltowej, ale istnieje również możliwość zastosowania nowych rozwiązań technologicznych w postaci tzw. Kompaktasfaltu [18]. Kompaktasfalt może być układany w dwóch wariantach. Pierwszy wariant dotyczy układania dwóch warstw porowatych w pojedynczych operacjach, a wariant drugi-układanie dwóch warstw w jednej operacji. Drugie rozwiązanie przewiduje zamiast klasycznego zestawu układarka-samochód, zastosowanie zestawu składającego się z układarki z dwoma zbiornikami na dwie różne mieszanki o dwóch frakcjach (górny poziom frakcja 4/8 i dolny poziom-frakcja 11/16) oraz z dodatkowego przenośnika taśmowego.



Rys. 3.3 Zestaw układarka-podajnik-samochód samowyładowczy

Rozwiązanie takie stosuje się zarówno przy układaniu nowej nawierzchni jak i rekonstrukcji nawierzchni istniejącej. Jeżeli wykonuje się rekonstrukcję to model powinien uwzględniać możliwość dostarczania MMA na budowę i załadunek oraz przewóz granulatu asfaltowego w drodze powrotnej samochodów do transportu technologicznego. Wówczas cykl transportowy wydłuża się o czas załadunku i przewozu destruktu z budowy. Schematyczny proces załadunku destruktu pokazano na Rys. 3.4. Frezarki najczęściej pracują na dwóch pasach, a jeden pas pozostawia się dla istniejącego na drodze ruchu samochodowego. Samochody dowożą na budowę jednocześnie dwa rodzaje mieszanki tj. o frakcji 4/8 i 11/16.



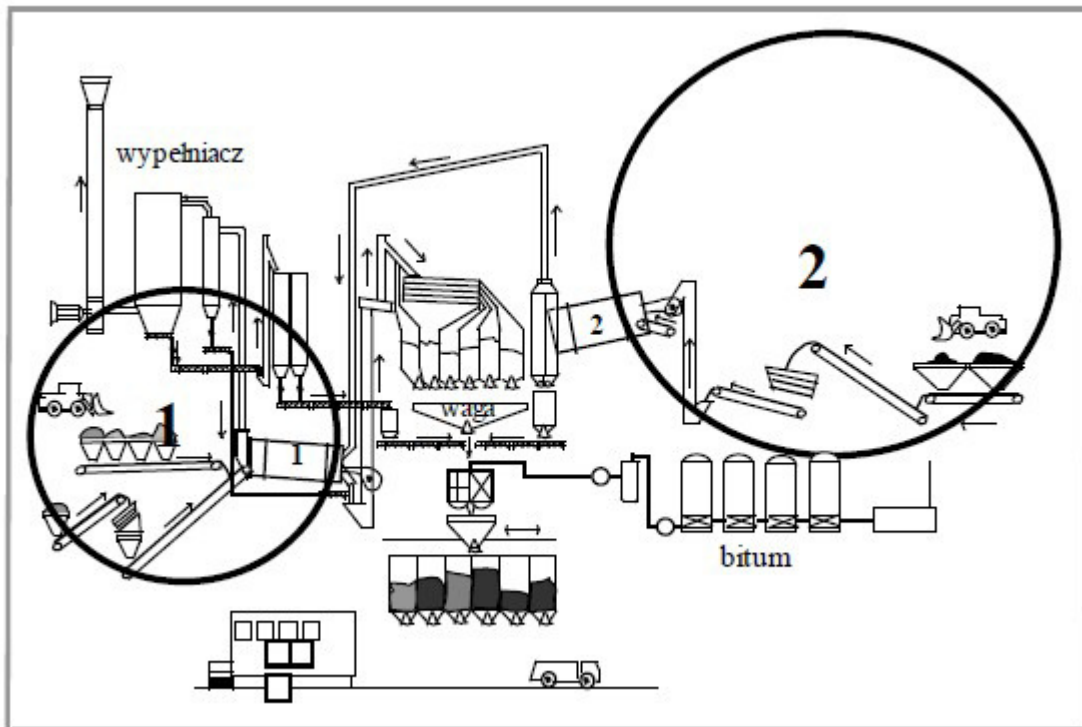
Rys. 3.4 Schemat frezowania i załadunku granulatu na samochody samowyładowcze

### 3.3.2. Budowa nowych nawierzchni

Budowa nowej nawierzchni z asfaltu porowatego może mieć miejsce na nowym terenie, albo na śladzie drogi istniejącej. Najczęściej nowa konstrukcja wynika z analizy zakłóceń otoczenia i dużej uciążliwości istniejącej nawierzchni. W tym rozdziale rozpatrywana jest budowa drogi od początku, a celem jest poprawa komfortu poruszania się pojazdów na danym terenie i zmniejszeniem wielkości hałaśliwości danej drogi.

Asfalt porowaty jest przeznaczony do warstw ścieralnych i wiążących. Mieszanka do asfaltu porowatego wytwarzana jest w typowych wytwórniach mieszanek mineralno-asfaltowych, jednak skład recepturowy pokazuje, że istnieje możliwość spływania lepiszcza z powierzchni ziaren kruszywa w czasie transportu mieszanki mineralno-asfaltowej. W celu przeciwdziałaniu temu zjawisku zaleca się stosowanie podczas produkcji mieszanki mineralno-asfaltowej stabilizatorów, którymi mogą być włókna mineralne, celulozowe lub polimerowe. Można je stosować także w postaci granulatu, w tym ze środkiem wiążącym. Stabilizatora nie stosuje się, jeżeli lepiszcze zapewnia spełnienie wymagania jego spływności, lub gdy technologia produkcji i transportu asfaltu porowatego nie powoduje spływu lepiszcza z ziaren kruszywa.

Zgodnie z definicją normową mieszanka ma charakteryzować się dużą zawartością połączeń wolnych przestrzeni umożliwiających przepływ wody i powietrza, w celu zapewnienia właściwości drenażowych i zmniejszających hałas. Na Rys. 3.5 pokazano przykładowy schemat technologiczno-organizacyjny wytwórni mieszanki mineralno-asfaltowej wyposażonej w dodatkowy ciąg technologiczny do przetwarzania granulatu asfaltowego.



Rys. 3.5 Schemat technologiczny produkcji mieszanek mineralno-asfaltowych

#### 3.3.2.1. Przygotowanie mieszanki mineralno-asfaltowej



Na schemacie wytwórni Euro 280S z rozbudowanym modułem zbiorników gotowej mieszanki (łącznie można przechowywać 1080 Mg) zaznaczono strzałkami proces technologii produkcji mieszanki mineralno-asfaltowej z zastosowaniem kruszywa z recyklingu. Kołem mniejszym (1) zaznaczono tzw. *biały materiał*, a kołem większym (2) tzw. *czarny materiał*. Przebieg procesu produkcji polega na dostarczeniu z zasobników kruszywa nowego-*białego materiału*, do suszarki pierwszej (1) oraz kruszywa z recyklingu-*czarnego*, do suszarki drugiej (2).

Istota wykorzystania materiału z recyklingu polega na podgrzaniu w temperaturze około 130°C, w suszarce drugiej, granulatu asfaltowego. Odzyskane składniki, kruszywo i bitum gromadzone są w silosie, z którego transportowane są do mieszalnika. Gorące „brudne” powietrze przemieszcza się do suszarki pierwszej. Tu oddzielane są pozostałe części kruszywa i mieszają się z nowym kruszywem w temperaturze 160-180°C, a następnie pionowym przenośnikiem kubelkowym dostarczane są na sita sortownika. Odmierzanie wagowe nowych składników polega na zważeniu tylko takiej ilości, jaka jest potrzebna po odmierzeniu składników z suszarki drugiej. Z suszarki pierwszej odciąga się ponadto frakcje pylaste, które kierowane są do silosu zwanego cyklonem, gdzie przenośnikiem łańcuchowym transportowane są do zbiornika z wypełniaczem. Ewentualne grubsze frakcje wracają do przenośnika pionowego transportującego kruszywo nowe (*białe*). W tej fazie materiał osiąga już temperaturę około 20°C. Na zewnątrz, do atmosfery, trafiają poprzez układ filtrów, ze zbiornika na wypełniacz, najdrobniejsze frakcje o wymiarze około 5 mikronów.

W tym procesie można dozować do 50% kruszywa z recyklingu. Pozostałą część stanowi kruszywo nowe i wypełniacz wraz z bitumem. Najtrudniejszym elementem cyklu produkcyjnego jest odmierzenie właściwej ilości kruszywa nowego. Nie wiadomo dokładnie, ile i o jakiej frakcji może być kruszywa w części „z recyklingu” procesu. Laboratoria muszą cały czas kontrolować ten proces, aby końcowy produkt był zgodny z założeniami projektowymi. Proces ten wymaga dwukrotnie więcej przygotowań i działań kontrolnych niż produkcja z nowych składników. Na podkreślenie zasługuje fakt, że ten proces produkcji nie generuje żadnych odpadów.

Ważne jest, że już w procesie programowania przewidziane jest zastosowanie kruszywa z recyklingu do wszystkich warstw nawierzchni dróg, w tym również do warstw ścieralnych o nazwie ZOAB (bardzo otwarty asfaltobeton) [19]. Warstwa drenażowa (porowata) podwyższa bezpieczeństwo ruchu na drodze dzięki wchłanianiu wody deszczowej. Woda ta jest gromadzona w miejscach naturalnego jej oczyszczania poprzez biologiczne wchłanianie przez rośliny wodne produktów ropopochodnych spływających wraz z wodą. Grubość warstwy ścieralnej może mieć wartość 5 cm (jednowarstwowo) lub wartość 7 cm (dwuwarstwowo). Dla grubości warstwy 5 cm stosuje się kruszywo o frakcji 0/16 i 0/22. Jako rozwiązanie innowacyjne stosuje się nową technologię układania dwóch warstw drenażowych o grubościach 4,5 cm dla frakcji 8/16 oraz 2,5 cm dla frakcji 4/8. Drobniejsza frakcja ma zapobiegać tworzeniu się mgiełki, z wody wysanej z nawierzchni przez koła pojazdów.

Na podstawie obserwacji własnych stwierdzono, że czas załadunku gotowej mieszanki w wytwórni nie jest zależny od pojemności skrzyni, ani rodzaju mieszanki [17]. Wynika on najczęściej z ilości ładowanej mieszanki oraz z ewentualnych chwilowych przestojów podczas załadunku (zmęczenie osób przy wykonywaniu robót w porze nocnej). Istotne jest tu działanie zgodne z zasadą just - in - time, rozumiane jako potrzeba wytworzenia i dostarczenia na czas wyrobu o odpowiedniej jakości, zgodnie z zapotrzebowaniem na budowie. Z tego wynika również celowe przedłużanie momentu wyjazdu z wytwórni, związane z brakiem miejsca na budowie do tworzenia kolejki samochodów oczekujących na

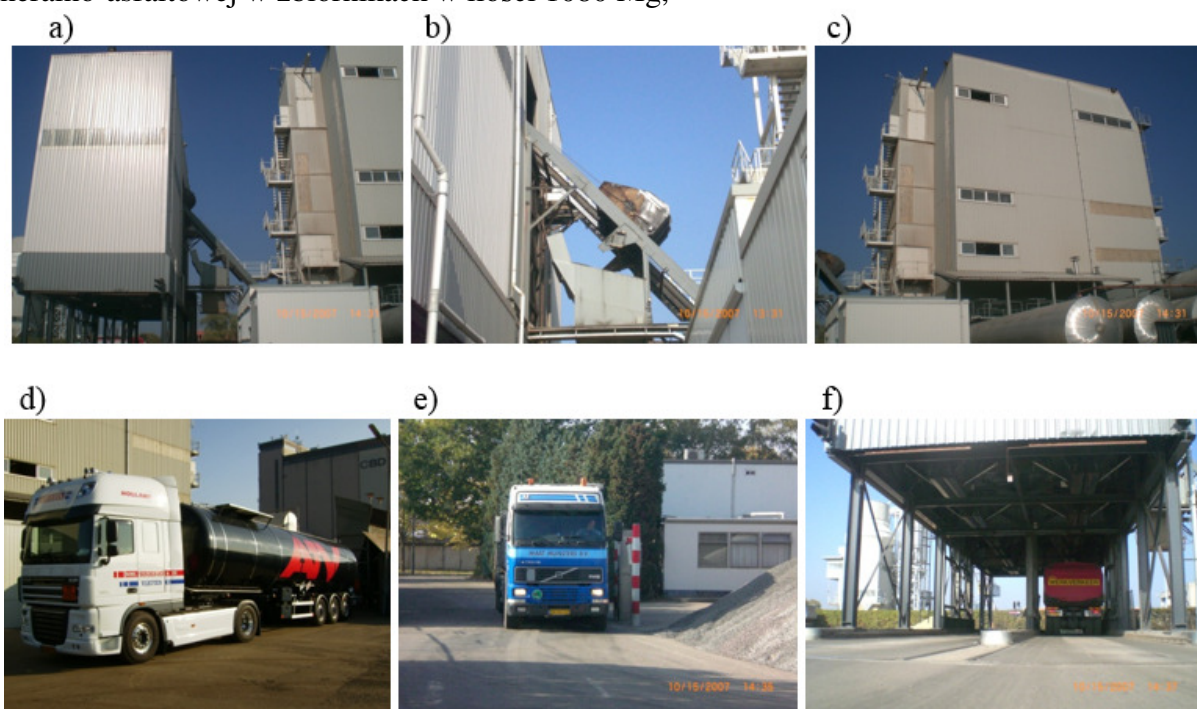
rozładunek (model z ograniczoną kolejką). Ten proces jest sterowany przez decydenta zgodnie z podanym w dalszej części schematem struktury logistycznej.

Czas oczekiwania na wyjazd z wytwórni jest dłuższy, gdy na budowie tworzy się kolejka. Wówczas samochody wyjeżdżają z wytwórni później. Jest to szczególnie ważne wówczas, gdy równolegle pracuje na budowie kilka zestawów układarek.

Całkowity czas cyklu załadunku środków transportowych w wytwórni jest bardzo istotny. Stwierdzono na podstawie badań, że prawidłowy czas cyklu samochodów w wytwórni jest głównie wynikiem właściwej organizacji procesu transportowego i prawidłowego zarządzania logistycznego w produkcji i dystrybucji. Krótszy czas pobytu samochodu w wytwórni, umożliwi wprawdzie szybsze dostarczenie mieszanki mineralno-asfaltowej na plac budowy, ale często, z logistycznego punktu widzenia sterowanie procesem transportowym jest uzależnione od tego, co dzieje się na budowie i kontrolowanego rzeczywistego zapotrzebowania na mieszankę mineralno-asfaltową w danej chwili.

Mieszanka mineralno-asfaltowa do wykonania warstwy porowatej ma specjalną strukturę. Wiedza na ten temat pozwala na sterowanie przepływami, zgodne z zasadą racjonalnego gospodarowania zasobami oraz efektywnym zarządzaniem logistycznym w procesie produkcyjnym.

Dla przybliżenia problemu projektowania pierwszej części cyklu transportowego (załadunku) procesu transportowego, pokazano na Fot. 3.2. dla wybranej wytwórni mieszanek mineralno-asfaltowych najbardziej charakterystyczne stanowiska. Jest to wytwórnia o wydajności 240 mg/h z przebudowanym modułem przechowywania gotowej mieszanki mineralno-asfaltowej w zbiornikach w ilości 1080 Mg,



Fot. 3.2 Stanowiska w wybranej wytwórni stacjonarnej MMA w Holandii a) zbiorniki gotowej mieszanki, sterownia, b) podajnik MMA c) hala z otaczarką d) stanowisko załadunku asfaltów e) stanowisko meldowania dla kierowców f) waga i stanowisko załadunku gotowego wyrobu.

### **3.3.2.2. Transport mieszanki mineralno-asfaltowej**

Transport mieszanek mineralno-asfaltowych (MMA) z wytwórni do miejsca wbudowania powinien odbywać się takimi środkami do transportu technologicznego, które zapewnią:

- sprawny i szybki załadunek, przewóz oraz wyładunek MMA;
- możliwość realizacji zamówienia na MMA w trudnych warunkach terenowych;
- ochronę mieszanki przed zanieczyszczeniem i nadmiernym schłodzeniem;
- wykorzystanie wydajności wytwórni i układarki.

Wyboru środków transportu należy dokonać kierując się następującymi zasadami:

- gdy wbudowanie mieszanki mineralno-asfaltowej odbywa się układarką, do przewozu należy stosować samochody samowyładowcze z wyładunkiem materiału do tyłu;
- przy układaniu MMA na małej szerokości (poszerzenie istniejącej drogi, naprawa kolein), należy stosować małe układarki i jednostki transportowe o mniejszej ładowności,
- przy dużych powierzchniach układania (autostrady, nawierzchnia z łącznicą, place manewrowe w dużych magazynach) należy stosować większe jednostki transportowe.

Ponadto na liczbę jednostek transportowych wpływ ma rodzaj mieszanki i układana warstwa oraz grubość warstwy. Przy większej grubości zużywa się więcej mieszanki, jednak należy pamiętać, że warstwa wyrównawcza i wiążąca są układane dłużej, a w związku z tym rozładunek jednostek transportowych również jest dłuższy. Na czas przejazdu i na liczbę jednostek transportowych wpływ ma trasa przejazdu, stan dróg dojazdowych na budowę, odpowiednia powierzchnia manewrowania i liczba punktów do zawracania. Im większa jednostka transportowa tym trudności z manewrowaniem są większe. Dla przykładu jednostka transportowa 6-cio osiowa na standardowej szerokości autostrady nie zawróci. Musi więc jechać tyłem od wjazdu na budowę aż do układarki. Czasem jest to nawet kilkaset metrów. Innym problemem jest relacja między ładownością, liczbą osi i czasem wyładunku MMA na budowie. Zagadnienie to przedstawiono w dalszej części tego podpunktu.

Realizacja zapotrzebowania na przewóz mieszanki z wytwórni na budowę uwarunkowana jest wieloma czynnikami, które często wynikają z bieżących sytuacji, takich jak zakłócenia ruchu na trasie przejazdu, zmiana organizacji robót wynikająca z braku MMA i brak w wytwórni składników do produkcji mieszanki mineralno-asfaltowej, a nawet czasem awaria układarki. Brak składników i MMA może spowodować zamianę wytwórni na inną i w konsekwencji spowodować zmianę trasy przejazdu. Awaria może czasowo wstrzymać dostawę mieszanki na budowę. Wynika z tego, że realizacja zapotrzebowania na przewóz w znacznym stopniu uzależniona jest od prawidłowo przekazywanej informacji i przemyślanych decyzji w ciągu całej zmiany roboczej.

Odległość przewozu mieszanki mineralno-asfaltowej należy tak dobierać, aby czas transportu nie był dłuższy niż dwie godziny, a warunkiem doboru jednostek transportowych jest zachowanie wymaganych właściwości i wymaganej temperatury mieszanki mineralno-asfaltowej dostarczonej na budowę. Prędkość transportowania MMA w samochodach do transportu technologicznego zależy od wybranej trasy przejazdu, natężeniu ruchu oraz pory dnia (nocy) przewożenia ładunku. Wybór trasy może być związany z ilością przewożonego ładunku, istniejącymi ograniczeniami nośności obiektów inżynierskich oraz godziny (czasu) przejazdu z ładunkiem i bez ładunku. Transport MMA w godzinach szczytu przewozowego powoduje zmniejszenie prędkości transportowej, co zwiększa liczbę samochodów transportujących mieszankę na budowę.

Szybki rozładunek mieszanki na budowie np. bez oczekiwania w kolejce, pozwala na utrzymanie właściwej temperatury mieszanki podczas wyładunku. Wydajność układarek na budowie uzależniona jest jednak od płynnego dostarczania mieszanki i utrzymania stałego kontaktu z wytwórną lub wytwórniami mieszanki przygotowującymi MMA. Również ilość mieszanki w skrzyni samochodu ma wpływ na zmianę jej temperatury, bo oziębienie gorącej mieszanki następuje w warstwie przypowierzchniowej o grubości około 10 cm. Wraz ze wzrostem grubości przewożonej mieszanki następuje większe zróżnicowanie jej temperatury w przekroju warstwy, a przepływ ciepła odbywa się od środka warstwy do jej powierzchni. Należy dodać, że warstwa oziębionej mieszanki stanowi warstwę izolującą, chroniącą pozostałą na skrzyni część mieszanki przed dalszą utratą ciepła. Przy przewozie niewielkiej ilości MMA warstwa powierzchniowa praktycznie nie nadaje się do wbudowania. Podobna sytuacja występuje przy układaniu mieszanki na większej powierzchni. Wynika z tego, że lepszym rozwiązaniem jest zastosowanie wówczas samochodu o mniejszej ładowności skrzyni. Na rysunku 11 pokazano przykładowo samochody do transportu MMA (samochód na Fot. 3.3b ma trudności z manewrowaniem ze względu na liczbę osi).

a)



b)



Fot. 3.3 Widok samochodów samowyładowczych a) postój pięcioosiowego b) manewrowanie sześćoosiowego

Jeżeli rozpatrywane są różne technologie układania MMA to możliwe jest zastosowanie różnych zestawów maszyn do układania asfaltu porowatego. Na Fot. 3.4 pokazano dwa wybrane zestawy do układania nawierzchni z asfaltu porowatego.



Fot. 3.4 Widok różnych zestawów a) zestaw układarki-samochody b) zestaw układarki-dodatkowy pojemnik-samochód

W czasie transportu mieszanki ważna jest również temperatura powietrza i pora roku realizowanych robót. Wysoka temperatura powietrza ułatwia transport mieszanki, niska temperatura wymaga lepszych zabezpieczeń skrzyni i ogranicza transport mieszanki na większe odległości. Niska temperatura powoduje również ochłodzenie miejsca układania mieszanki, a tym samym intensyfikuje oddawanie ciepła i powoduje konieczność przyspieszenia całego procesu układania i zagęszczania danej warstwy. W literaturze [17] wymienia się możliwość zastosowania w takich sytuacjach samochodów ze skrzyniami podgrzewanymi (specjalny obieg spalin).

Organizacja przewozu mieszanki mineralno-asfaltowej w samochodach do transportu technologicznego może być projektowana zgodnie ze znaną metodą graficzną polegającą na wyznaczeniu cykli transportowych w zależności od czasu załadunku, czasu przejazdu z ładunkiem, czasu wyładunku i czasu przejazdu powrotnego, jednak zarówno zdarzenia losowe mogące wystąpić na trasie przejazdu, jak i zakłócenia zarówno w czasie załadunku jak i wyładunku MMA wymagają zastosowania bardziej dokładnych metod projektowania procesów transportowych szczególnie przy dostarczaniu ładunku według zasady „akurat na czas”. Jedną z dokładnych metod projektowania jest monitorowanie przejazdu jednostek transportowych i na podstawie uzyskanych wyników, organizowanie dostaw MMA na budowę. Właściwa organizacja dostaw MMA może być monitorowana dzięki zastosowaniu pomiaru telematycznego i śledzeniu trasy przejazdu samochodów transportujących mieszankę. Do bardzo dokładnych pomiarów służy aparatura GPS, którą stosuje się w procesie decyzyjnym, szczególnie gdy występują zakłócenia przewozu mieszanki spowodowane przejazdami kolejowymi, wypadkami na trasie przejazdu lub trudnymi warunkami atmosferycznymi. Monitoruje się również proces załadunku w wytwórni i wyładunku na budowie, łącznie z oczekiwaniem samochodu samowyładowczego w kolejce.

Pojęcie „telematyka” to połączenie słów telekomunikacja i informatyka (technologie informatyczne), która wskazuje na jednoczesne stosowanie technologii informatycznych i telekomunikacyjnych w określonych dziedzinach życia gospodarczego. Telematyka transportu oznacza zatem wykorzystywanie technologii teleinformatycznych w zarządzaniu systemami transportowymi. Zastosowanie to obejmuje korzystanie z urządzeń i sprzętu telekomunikacyjnego oraz korzystanie ze sprzętu komputerowego.

Usprawnienia systemu transportowego za pomocą inteligentnych systemów transportowych (ITS) prowadzą do osiągnięcia następujących celów:

- podniesienie stopnia wykorzystania istniejącej infrastruktury transportowej (drogi transportowe, pojazdy),
- zwiększenie bezpieczeństwa ruchu w transporcie,
- zmniejszenie zanieczyszczenia środowiska naturalnego spowodowanego przez transport,
- obniżenie kosztów transportu poprzez zmniejszenie zużycia energii i paliw przez środki transportu technologicznego.

W polskich aktach prawnych pojęcie telematyka pojawiło się jako telematyka transportu i oznaczało „inteligentny transport prowadzony w ramach tworzenia podstaw społeczeństwa informacyjnego”.

Z punktu widzenia transportu materiałów na budowę, system ten umożliwia prowadzenie procesu decyzyjnego w zakresie sterowania dostawami na budowę poprzez uzyskanie danych o aktualnych warunkach drogowych (System Ochrony Meteorologicznej Dróg), o natężeniach i strukturze ruchu drogowego na trasie przejazdu jednostek transportu technologicznego, a także o zakłóceniach ruchu i zalecanych trasach przejazdu.

Do określenia trasy przejazdu oraz pomiaru czasu przejazdu i prędkości transportowej samochodów transportujących MMA można zastosować system GPS, a jednym z urządzeń pomiarowych wykorzystanych do tego opracowania jest rejestrator 3-R GPS będący połączeniem palmtopa klasy PocketPC, wyposażony w odbiornik GPS i antenę wzmacniającą sygnał satelitarny oraz oprogramowanie [18, 20]. Odbiornik GPS pozwala na pomiar położenia obiektu będącego w ruchu z dokładnością do 3 m. Odbiornik jest wyposażony w pamięć własną oraz zasilanie, a wszystkie funkcje dostępne są poprzez zainstalowane w palmtopie oprogramowanie. Połączenie zapewnia złącze CompactFlash. Praca tego rejestratora nie jest w pełni automatyczna i wymaga dodatkowo kontrolowania jego działania przez obsługującego.

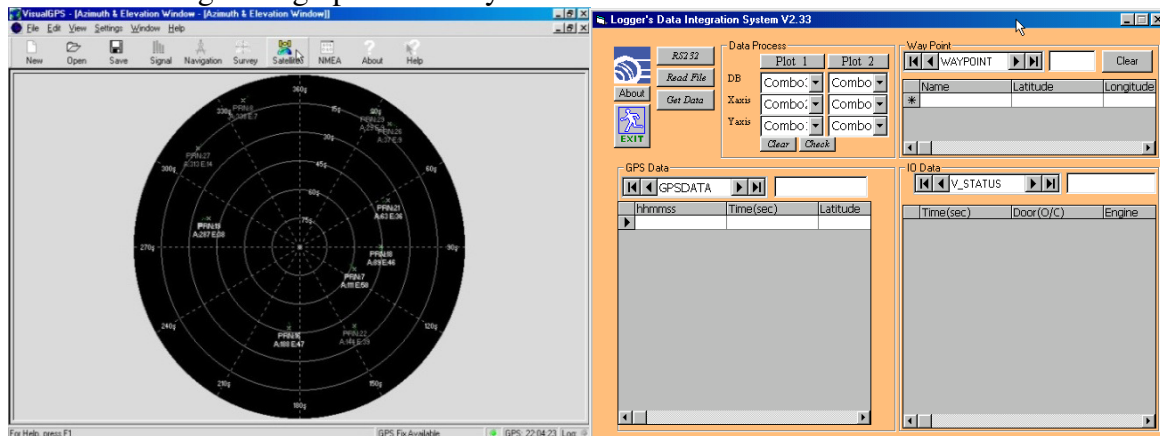
Pracę bezobsługową zapewnia urządzenie o nazwie Data Logger. Jest to w pełni automatyczny odbiornik wyposażony w zintegrowaną w obudowie antenę oraz pamięć 4 MB. Urządzenie rozpoczyna pomiar według zadanego programu natychmiast po podłączeniu zasilania. Zapis danych umożliwia ustalenie położenia obiektu z dokładnością do 10 m przy częstotliwości 1 Hz. Przyjęty program pomiaru i sposób zapisu danych umożliwia umieszczenie w pamięci urządzenia 50000 punktów pomiarowych, co oznacza czas trwania pomiaru bez przerw przez około trzynaście godzin. Zasilanie rejestratora może odbywać się z komputera przez złącze PS/2 lub z gniazdka zapalniczki samochodowej w kabinie kierowcy. Dla lepszej autonomii urządzenia można zastosować do zasilania suche akumulatory o dużej pojemności. Sterowanie parametrami odbywa się z komputera PC poprzez złącze RS-232. Złącze to umożliwia również odczytanie danych zgromadzonych w pamięci rejestratora. W celu uzyskania danych przydatnych do opracowania logistycznych procesów transportowych konieczne jest zastosowanie w przenośnym komputerze odpowiedniego oprogramowania. Cały zestaw stanowiący stanowisko badawcze wymaga wyposażenia w następujące oprogramowanie [19].

- VisualGPS - oprogramowanie służące do testowania komunikacji z urządzeniem GPS; umożliwia również bezpośrednie nagrywanie wyników pomiarów GPS na dysk twardy komputera w postaci standardowego pliku NMEA.

Zadanie 2. Ocena rozwiązań materiałowo-technologicznych górnych warstw asfaltowych i zalecenia w zakresie ich hałaśliwości

- GPS Trace - software firmy Sanav służące do ustawiania parametrów pracy data loggerów GL-50, odczytywania danych z pamięci rejestratora, konsolidacji danych z różnych rejestratorów oraz wykonywania podstawowych operacji na danych GPS.

Program VisualGPS umożliwia prowadzenie bieżącej obserwacji stanu urządzeń do pomiarów satelitarnych oraz na odtworzenie zapisanych danych. Program GPS Trace pozwala na pozyskanie danych z urządzenia data logger i wyświetlenie go na ekranie głównym programu. W satelitarnych metodach sterowania działanie polega na pomiarze czasu dotarcia sygnału radiowego z satelitów do odbiornika. Znając prędkość fali elektromagnetycznej oraz znając dokładny czas wysłania danego sygnału, można odległość odbiornika od satelitów określić. Sygnał zawiera w sobie informację o układzie satelitów na niebie oraz informację o ich teoretycznej drodze oraz odchylen od niej. Odbiornik w pierwszej fazie aktualizuje te informacje w swojej pamięci oraz wykorzystuje w dalszej części do ustalenia swojej odległości od poszczególnych satelitów wykrytych przez odbiornik. Wykonując przestrzenne liniowe wcięcie wstecz mikroprocesor odbiornika może obliczyć pozycje geograficzną (długość, szerokość geograficzną oraz wysokość elipsoidalną) i podać ją następnie w wybranym układzie odniesienia wraz z aktualnym czasem, z bardzo dużą dokładnością, Widok ekranu głównego pokazano Rys. 3.6.



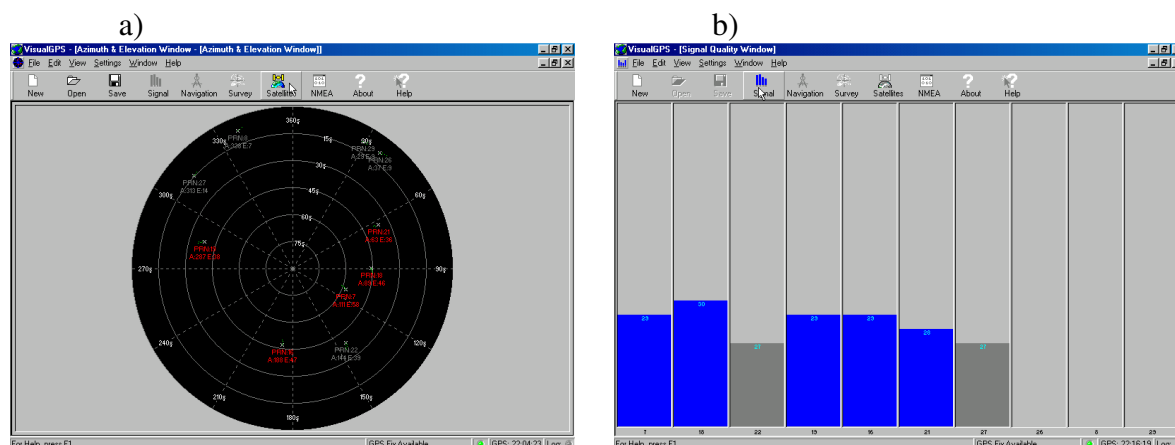
Rys. 3.6 Widok ekranu głównego programu GPS Trace

Dla przybliżenia techniki prowadzenia pomiaru opracowano przykład dla rzeczywistych danych.

Przykład.

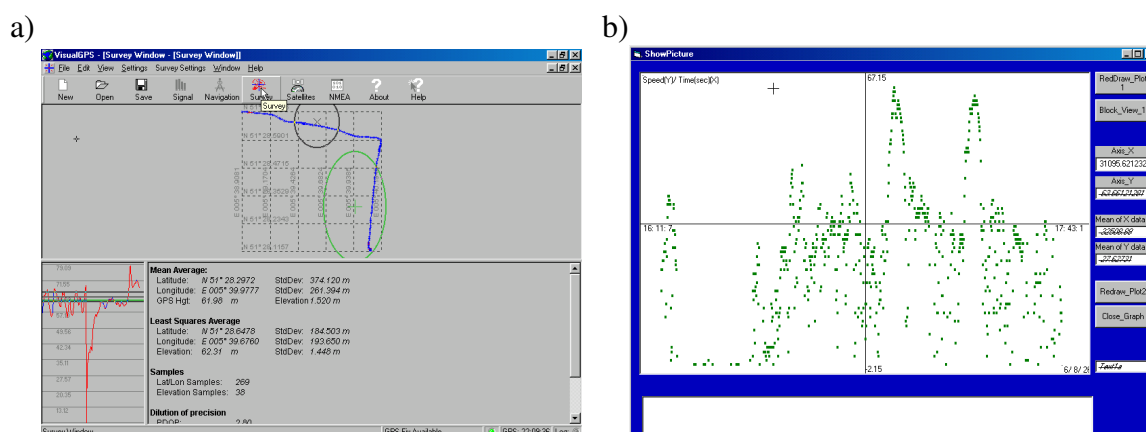
Po podłączeniu do komputera rejestratora 3R-GPS, na ekranie można obserwować przejazd samochodu transportującego MMA. Dane w pomiaru zawierają współrzędne punktów pomiaru i prędkość pojazdu, lokalizację satelitów w przestrzeni kosmicznej, informację o sile uzyskanego sygnału oraz wizualizacje trasy w wymiarze 2D. Na Rys. 3.7 i Rys. 3.8 przedstawiono widok obrazu na ekranie komputera podczas odtwarzania danych w czasie rejestracji za pomocą rejestratora 3R-GPS.

*Projekt RID - I/76 Ochrona przed hałasem drogowym*  
 Zadanie 2. Ocena rozwiązań materiałowo-technologicznych górnych warstw asfaltowych i zalecenia w zakresie ich hałaśliwości



Rys. 3.7 Widok ekranu a) z mapą satelitów b) siła sygnałów satelitarnych

Dla procesu decyzyjnego rejestracja trasy przejazdu oraz pozostałych danych jest szczególnie ważna wówczas, gdy samochód transportujący mieszankę musi zmienić trasę z powodu zakłóceń. Opracowanie nowej koncepcji przewozu oraz ustalenie właściwej liczby samochodów wynikającej z wydłużenia trasy i zwiększenia czasu przewozu ładunku jest łatwiejsze dzięki danym uzyskanym z pomiaru satelitarnego.



Rys. 3.8 Widok ekranu a) trasa przejazdu (2D) b) wykres zależności prędkości i czasu

Akty prawne dotyczące telematki są w Polsce obecnie dopiero tworzone, a jednym z dokumentów Unii Europejskiej w tej sferze działań jest Rozporządzenie Wspólnot Europejskich 2008/683/WE z 9 lipca 2008 roku, w sprawie dalszej realizacji europejskich programów nawigacji satelitarnej (ENGOS i Galileo).

W dalszej części opracowania pokazano różne struktury logistyczne uwzględniające dostarczenie mieszanki „na czas” dla pojedynczej lub podwójnej warstwy z asfaltu porowatego.

### Rozładunek i wbudowanie mieszanki mineralno-asfaltowej

Rozładunek mieszanki mineralno-asfaltowej na budowie związany jest z dostępem do technologii o różnym stopniu zaawansowania. Zastosowane maszyny wymuszają tworzenie mniej lub bardziej złożonych zestawów maszyn, a następnie zaplanowanie najlepszych



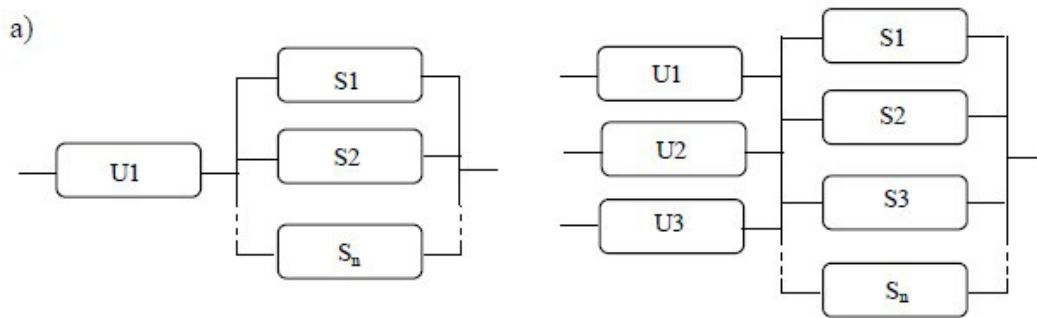
zestawów umożliwiających projektowanie i realizację robót według przyjętego harmonogramu. Dla opracowania harmonogramu niezbędne są więc dane o przyjętej technologii i czasach trwania poszczególnych procesów. Na Fot. 3.5 pokazano różne technologie układania mieszanki mineralno-asfaltowej stosowane również do nawierzchni z asfaltu porowatego.



Fot. 3.5 Widok różnych zestawów maszyn do układania asfaltu porowatego a) zestaw układarka-samochód b) zestaw układarki-samochody c) zestaw dwie układarki-podajnik-samochód d) zestaw układarki z dwoma zbiornikami na mieszankę-samochód

Harmonogram robót dla klasycznego zestawu (Rys. 3.7a) jest łatwy do zaprojektowania jednak trwałość układanych warstw jest mniejsza z powodu znacznej ilości połączeń między układanymi warstwami. Różne są temperatury podłoża i mieszanki a złącza zarówno poziome jak i pionowe wymagają dodatkowych czynności w czasie układania. Liczne połączenia pionowe układanej warstwy są wyeliminowane przy jednoczesnym ustawieniu ukłdark obok siebie (Fot. 3.5b). Dobrego połączenia wymagają wówczas jedynie poziome połączenia między różnymi warstwami np. wiążącą i ścieralną. Odwzorowanie graficzne dwóch pierwszych zestawów można przedstawić tak jak to pokazano na Rys. 3.9.

## Zadanie 2. Ocena rozwiązań materiałowo-technologicznych górnych warstw asfaltowych i zalecenia w zakresie ich hałaśliwości



Rys. 3.9 Schematy dwóch zestawów a) zestaw układarka- $n$  samochodów, b) trzy układarki- $n$  samochodów,

Wbudowywanie w pojedynczej operacji dwóch warstw MMA (Rys.13d) stanowi najnowsze rozwiązanie technologiczne, a proces rozładunku dotyczy jednoczesnego dostarczenia i ułożenia dwóch różnych warstw mieszanki mineralno-asfaltowej. Problemem staje się natomiast zaprojektowanie łańcucha logistycznego dostaw MMA w znacznej ilości, zróżnicowanej co do frakcji, jak również co do grubości układanej warstwy.

Wpływ doboru jednostek transportowych na proces rozładunku MMA.

Transport mieszanki mineralno-asfaltowej powinien odbywać się samochodami samowładowczymi. O ilości dostarczanej MMA decyduje postęp robót, a istotnym czynnikiem tego postępu jest prawidłowa organizacja, która obejmuje przygotowanie podłoża, prognozę pogody, park maszyn pozostający do dyspozycji oraz wybór technologii właściwej dla danej budowy. Podłożem pod warstwę asfaltową może być nowa warstwa podbudowy z kruszywa niezwiązanego lub związanego, albo nowa warstwa asfaltowa.

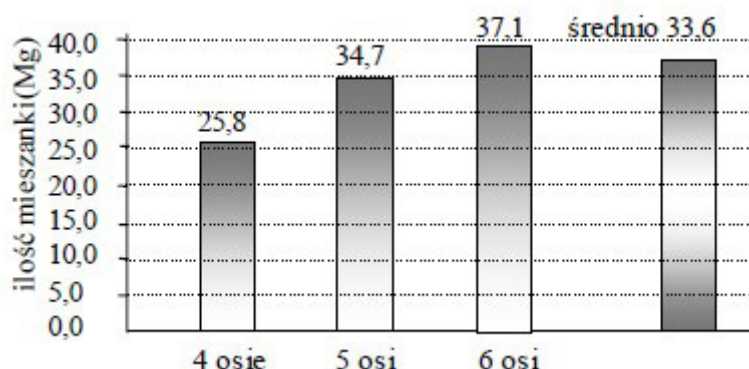
Podłożem może być również stara warstwa nawierzchni np. warstwa po frezowaniu, nawierzchnia

z kostki brukowej lub z betonu cementowego. Szczególnym przypadkiem podłoża jest również poszerzenie istniejącej nawierzchni, które wymaga innej niż pozostałe technologii wykonania.

W celu przedstawienia istoty doboru jednostek transportowych przeprowadzono na jednej z budów holenderskich pomiar średniej ilości MMA na skrzyni dla samochodów 4-ro, 5-cio i 6-cio osiowych oraz pomiar średnich czasów rozładunku dostarczonej na budowę mieszanki mineralno-asfaltowej [20]. Pomiar przeprowadzono dla samochodów o różnej liczbie osi, zgłaszających się losowo, w dowolnej kolejności. Uzyskane wyniki przedstawiono w formie graficznej dla dwóch warstw o grubości 8 cm i uziarnieniu 0/22 układanych w pojedynczych operacjach. Uzyskane wyniki pomiaru dotyczą:

- ilości dostarczonej mieszanki na budowę przez samochody 4-ro, 5-cio i 6-cio osiowe;
- czasów rozładunku samochodów 4-ro, 5-cio i 6-cio osiowych;
- wydajności układarki, z podziałem na samochody 4-ro, 5-cio i 6-cio osiowe.

Na Rys. 3.10 przedstawiono wykres ilości mieszanki



Rys. 3.10 Wykres ilości mieszanki przewożonej w samochodach samowyładowczych

Wydajność układarek przy układaniu pierwszej warstwy wiążącej jest niższa od wydajności przy układaniu drugiej warstwy wiążącej. Wynika to nierówności podbudowy przy układaniu warstwy wiążącej-gruz budowlany o grubości 50 cm.

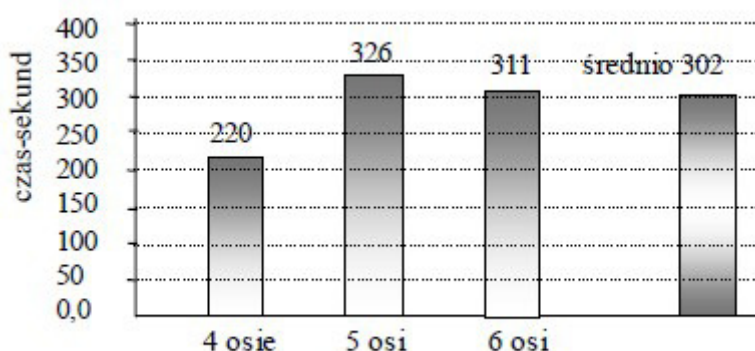
Dla porównania pokazano w Tab. 3.7 ilość mieszanki dla tych samych samochodów przewożących MMA na dwie warstwy. Uziarnienie dla obu warstw-0/22.

Tab. 3.7 Porównanie średniej ilości mieszanki w samochodach samowyładowczych

Układana warstwa	Ilość mieszanki w samochodach (Mg)			Średnio dla warstwy (Mg)
	4-ro osiowy	5-cio osiowy	6-cio osiowy	
dolna	25,8	34,7	37,1	33,6
górna	26,9	35,2	37,2	33,6

W zależności od liczby osi przewożona ilość mieszanki różni się nieznacznie, ale końcowa wartość przewieziona i ułożona mieszanki jest taka sama.

Porównanie średnich czasów rozładunku pokazano na Rys. 3.11 Wykres średnich czasów rozładunku samochodów o różnej liczbie osi



Rys. 3.11 Wykres średnich czasów rozładunku samochodów o różnej liczbie osi

Dla porównania w Tab. 3.8 Porównanie średnich wartości czasu rozładunku mieszanki z samochodów pokazano średnie czasów rozładunku, dla dwóch warstw.

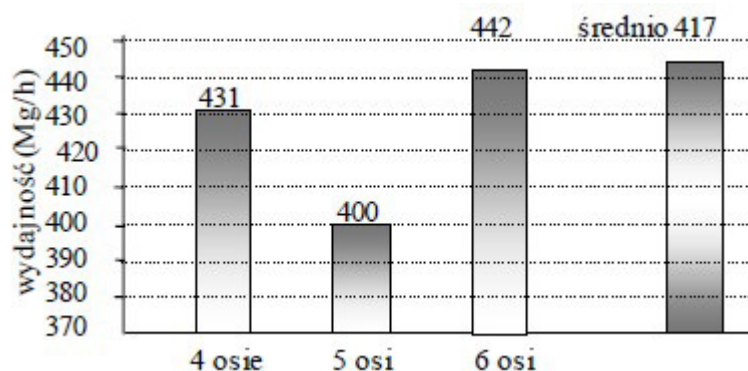
Tab. 3.8 Porównanie średnich wartości czasu rozładunku mieszanki z samochodów

Układana warstwa	Średni czas rozładunku MMA (s)			Średnio dla warstwy (s)
	4-ro osiowy	5-cio osiowy	6-cio osiowy	
dolna	220	326	311	302
górna	223	289	288	274

Porównanie wyników wykazało, że średni czas rozładunku jest krótszy dla górnej warstwy,

a ponadto porównywalne są tylko czasy dla samochodów 4-ro osiowych. Wartości czasów rozładunku dla samochodów 5-cio i 6-cio osiowych wartości różnią się wyraźnie. Na podstawie przedstawionych wyników można stwierdzić, że projektując przewóz MMA samochodami o takiej samej liczbie osi, istotna jest również kolejność układanych warstw.

Czas rozładunku samochodów zależy przede wszystkim od wydajności układarki. Dla szerszego przedstawienia problemu pokazano na Rys. 3.12 średnią wydajność układarki przy rozładunku (układaniu) MMA, w zależności od liczby osi samochodów transportujących mieszankę mineralno-asfaltową.



Rys. 3.12 Wykres średnich wartości wydajności układarki przy rozładunku MMA

Dla porównania pokazano w Tab. 3.9 wydajność układarki dla różnych samochodów przewożących MMA na dwie warstwy.

Tab. 3.9 Porównanie średniej wydajności zestawu układarka-samochód

Układana warstwa	Średni czas rozładunku MMA			Średnio dla warstwy (Mg/h)
	4-ro osiowy	5-cio osiowy	6-cio osiowy	
dolna	431	400	442	417
górna	442	444	470	474

Bardzo charakterystyczne są wyniki przedstawione w tej tabelicy. Wartość średnia wydajności układarki przy rozładunku samochodów o różnej liczbie osi była większa przy układaniu warstwy górnej. Największą wydajność uzyskały zestawy z samochodami 6-cio osiowymi, ale zaskakująco dużą wydajność osiągnęły również układarki przy rozładunku samochodów 4-ro osiowych. Z przedstawionych wartości wynika, że najlepszym rozwiązaniem jest zastosowanie samochodów 6-cio osiowych, które dowożą jednorazowo

największą ilość MMA, jednocześnie jednak wymagają jednak dużej powierzchni do manewrowania pod układarką, lub cofania na dużej odległości przed układarką. Dobrym rozwiązaniem jest również zastosowanie samochodów 4-ro osiowych, które manewrują sprawniej i skracają dzięki temu przerwy pod układarką w czasie zamiany jednostek transportowych z pustą skrzynią, na samochody z pełną skrzynią.

Przedstawione dane wykazują, że dobór liczby jednostek transportowych w modelu obliczeniowym uzależniony jest w sposób istotny od rzeczywistych wyników pomiarów terenowych.

W celu zwiększenia trwałości całej konstrukcji drogi układa się w Holandii takie nawierzchnie, które wymagają rekonstrukcji tylko warstwy ścieralnej po okresie gwarancji. Rozwiązania takie zmniejszają łączny koszt eksploatacji i utrzymania nawierzchni, wpisują się w politykę zrównoważonego rozwoju i mają cechy technologii innowacyjnej.

W zakresie działań innowacyjnych jednym z rozwiązań skutecznie wprowadzanych przez projektantów na budowach holenderskich jest *standaryzacja* rozumiana jako dążenie do wypracowania odpowiednich reguł stanowiących przeciętny wzorzec, typ lub model.

Standaryzacja pozwala na zwiększenie stopnia spójności działań w transporcie. W szczególności dotyczy to projektowania, budowy i utrzymania sieci drogowej, ale również bezpieczeństwa i komfortu życia kierowców-użytkowników dróg. W szerszym zakresie dotyczy to również systemów projektowania dróg oraz systemów operowania informacją dotyczącą realizacji i utrzymania sieci drogowej. Opracowanie tak rozumianych zasad, reguł i standardów operowania informacją branżową stanowi w Holandii skuteczne narzędzie do usprawnienia procesu projektowania, wykonania i eksploatacji oraz rekonstrukcji lub utylizacji drogi po okresie jej użytkowania. Spełnieniem takich oczekiwań zajmują się laboratoria własne firm oraz ośrodki badawczo-rozwojowe działające w odpowiednich strukturach interdyscyplinarnych w celu wypracowania odpowiednich form standaryzacyjnych, które mają sprzyjać konstruowaniu różnych planów rozwojowych na poziomie zarówno dróg lokalnych jak i sieci dróg ekspresowych oraz autostrad. Uzyskane rozwiązania w szerszym zakresie stanowią również wkład w metodykę systematyzowania i racjonalizowania innych dziedzin gospodarki związanych niewątpliwie z obszarem szeroko rozumianego transportu.

### **3.3.3. Eksploatacja, utrzymanie oraz rekonstrukcja nawierzchni istniejących**

Złożoność wszystkich procesów łącznie z analizą natężenia i struktury ruchu na istniejącej autostradzie wskazują, że technologia asfaltu porowatego przy takich warunkach realizacji wymaga uwzględniania następujących okoliczności:

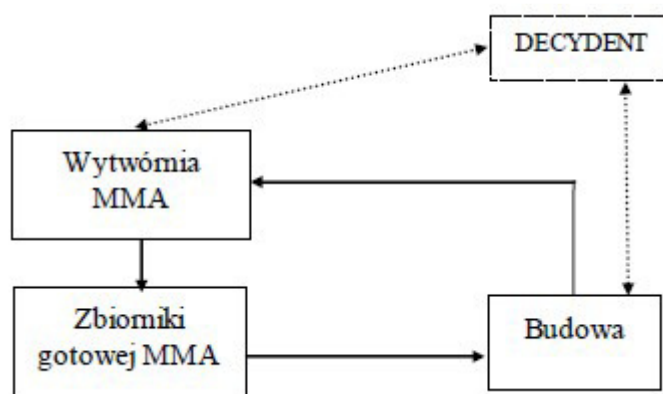
- zamknięcie całkowite wszystkich pasów ruchu,
- pozostawienie jednego pasa dla ruchu na drodze i zamknięcie pozostałych pasów.

Na Rys. 3.13 pokazano dla istniejącej autostrady ogólny przebieg procesów tzw. cyklu życia, który składa się z procesu wyprodukowania mieszanki mineralno-asfaltowej (litera A), układania mieszanki (litera B), eksploatacji (litera C) oraz utrzymania i rekonstrukcji nawierzchni (litera D).



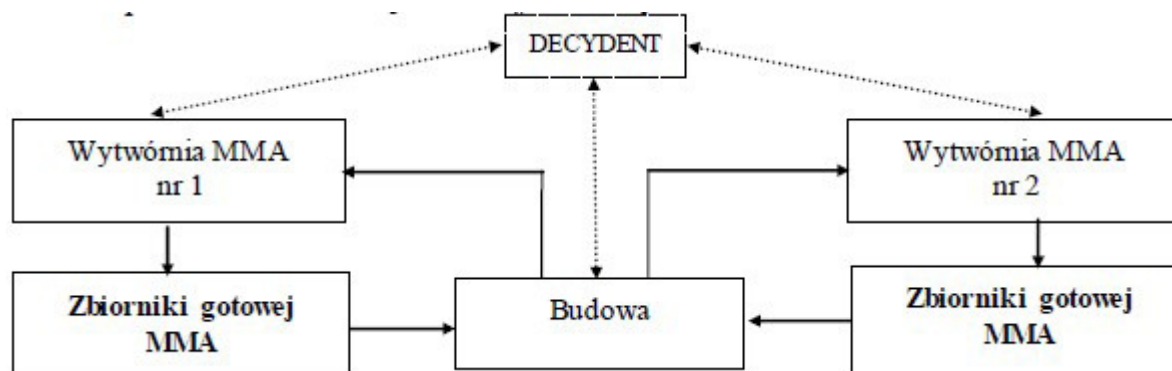
Rys. 3.13 Schemat przebiegu procesów

Jak przedstawiono na rysunku, po okresie eksploatacji i prawidłowego utrzymania, nawierzchnia jest poddawana rekonstrukcji, lub w przypadku konieczności poprawy właściwości czy zmiany kategorii ruchu, jest rozbierana i budowana od nowa. Prawidłowa organizacja procesu produkcji i układania MMA wymaga opracowania odpowiedniej struktury logistycznej. Na Rys. 3.14 pokazano przykład struktury logistycznej. Opracowanie właściwej struktury pozwoli na sterowanie procesem i przygotowanie prawidłowego modelu produkcji, dostaw i układania MMA. Dla schematu z jedną wytwórnią problemem jest jedynie wybór takiej wytwórni, która ma dostateczną liczbę zbiorników na gotową mieszankę. Jest to o tyle ważne, że bardzo ograniczony jest czas wykonania robót, gdzie np. przy dużym natężeniu ruchu ciężkiego planuje się wykonanie robót w okresie tzw. weekendowym tj. od piątku wieczorem do poniedziałku rano.



Rys. 3.14 Struktura logistyczna procesu produkcji i układania mieszanki

Na Rys. 3.15 pokazano strukturę bardziej złożoną.



Rys. 3.15 Struktura logistyczna dla dwóch wytwórni MMA

Jest to struktura dwustopniowa, która porządkuje proces produkcji MMA (stopień pierwszy), przechowywania mieszanki w zbiornikach gotowej mieszanki (stopień drugi) i dostarczenia mieszanki mineralno-asfaltowej na budowę. Jednostka decyzyjna ustala liczbę środków transportowych oraz zapotrzebowanie na mieszankę. Planuje również możliwość oczekiwania na rozładunek w wytwórni oraz na budowie, a także decyduje o wyborze trasy przejazdu, z zagwarantowaniem drogi zastępczej. Jeżeli przewiduje się wykorzystanie w produkcji mieszanki mineralno-asfaltowej granulatu z recyklingu, to jednostka decyzyjna ustala technologię pozyskania tego materiału, dokonuje wyboru miejsca składowania, ilości kruszywa (granulatu) dostarczanego na plac składowy oraz ustala liczbę maszyn podstawowych i zapasowych, przewidzianych do zastosowania w całym procesie. Dotyczy to zarówno układania nowych nawierzchni jak i rekonstrukcji oraz rozbiórki nawierzchni istniejących.

Gdy mieszanka ma być produkowana w dwóch wytwórniach, wówczas struktura logistyczna będzie obejmowała dostarczenie MMA na jedną lub dwie warstwy, z utrzymaniem, jeśli jest to konieczne, priorytetu dla konkretnej budowy. Priorytetu wymagają najczęściej budowy o dużym zapotrzebowaniu na mieszankę i wymagające stałej dostawy w określonym czasie.

Struktura logistyczna przedstawiona na Rys. 3.14 i Rys. 3.15 wiąże się z ogólnym pojęciem jakim jest logistyka. Zgodnie z literaturą [21] logistyka jest to planowanie, realizacja i kontrola przemieszczania i rozmieszczania ludzi i (lub) dóbr oraz działań wspierających związanych z tym przemieszczaniem i rozmieszczaniem, w systemie stworzonym dla osiągnięcia określonych celów. W zastosowaniu do produkcji, przewozu i układania MMA, logistyka jest nauką dostarczającą wiedzę i narzędzia do optymalizacji decyzji logistycznych zgodnie z kryteriami oceny tych decyzji [22]. Decyzje optymalne dotyczą dostarczenia w ustalone miejsce, właściwej ilości produktu w określonym stanie, co w przypadku budowy drogi może oznaczać korygowanie miejsca dostaw zgodnie z frontem robót. Ponadto ważny jest czas dostawy, odbiorca lub odbiorcy oraz cena, określona dla przyjętych warunków realizacji.

Jednym z materiałów składowanych w wytwórni mieszanki mineralno-asfaltowej (D) jest granulaty asfaltowy. Jest on stosowany jako dodatek spełniający wymagania normowe. Granulaty asfaltowy może być wykorzystywany do produkcji mieszanki mineralno-asfaltowej, jeżeli spełnione są wymagania dotyczące wyrobu końcowego. Wytwórnia mieszanek

mineralno-asfaltowych powinna spełniać warunki kontrolowanego mechanicznego dozowania granulatu asfaltowego podczas produkcji MMA. W produkcji stosowane są dwie metody dodawania granulatu asfaltowego do mieszalnika otaczarki:

- bez wstępnego ogrzewania granulatu asfaltowego („metoda na zimno”),
- ze wstępnym ogrzewaniem granulatu asfaltowego („metoda na ciepło”).

W Polsce w „metodzie na zimno” dopuszcza się stosowanie dodatku granulatu asfaltowego w ilości nie większej niż 15 % mieszanki mineralno-asfaltowej, a w „metodzie na ciepło” można zwiększyć tę ilość do 30 % gotowej mieszanki mineralno-asfaltowej. W Holandii, jak to pokazano na rysunku 2 zawartość granulatu można zwiększyć do 50%.

Grubość warstwy ścieralnej z asfaltu porowatego może mieć wartość 5,0 cm lub 7,0 cm (4,5 cm i 2,5 cm). Prowadzone w Holandii badania wykazały, że przy grubości warstwy 5,0 cm zastosowana porowatość wynosząca 30% v/v powoduje niekorzystny skutek w postaci ssania wody z porowatej warstwy ścieralnej i w efekcie powrotu części wody w postaci „mgły wodnej”. Zmniejsza to w istotny sposób komfort jazdy, a ponadto stwarza zagrożenie bezpieczeństwa szczególnie przy poruszających się samochodach ciężarowych i osobowych na tym samym pasie ruchu. Taka sytuacja może występować nawet wówczas, gdy opady deszczu już nie występują. Aby ten niekorzystny skutek ograniczyć zmniejszono zawartość wolnej przestrzeni do 25% v/v oraz w ostatnich latach zaproponowano nowe rozwiązanie w postaci dwóch warstw porowatych o różnych frakcjach. Zaprojektowano porowatą warstwę dolną o grubości 4,5 cm i frakcji 11/16 oraz warstwę górną o grubości 2,5 cm i frakcji 4/8. Widok próbek laboratoryjnych obu warstw pokazano na Fot. 3.6.



Fot. 3.6 Widok próbek z asfaltu porowatego

Istotą rozwiązania konstrukcyjnego nawierzchni porowatej jest zatem zastosowanie odpowiednich frakcji kruszywa w ostatnich górnych warstwach nawierzchni, a pokazany przykład świadczy o ciągłym poszukiwaniu najlepszych rozwiązań, mimo świadomości wysokiej ceny materiałów oraz kosztów wykonania i utrzymania. W szczególności chodzi o zapewnienie właściwej zawartości wolnych przestrzeni w zagęszczonej mieszance mineralno-asfaltowej oraz o unowocześnioną technologię zimowego utrzymania i rodzaj używanych środków zapobiegających oblodzeniu. Z utrzymaniem wiąże się okres gwarancji na te warstwy. W Holandii czas trwania gwarancji na wykonane warstwy wynosi 7-8 lat. Po tym czasie planowana jest rekonstrukcja, a zakres robót wynika z utraty wodoprzepuszczalności oraz równości poprzecznej i podłużnej na danym pasie ruchu. Najczęściej jest to pas dla ruchu wolniejszego.



Tradycyjna technologia polegająca na układaniu warstw nawierzchni za pomocą pojedynczego zestawu układarka-samochód, jest stale udoskonalana. Dla lepszego połączenia technologicznego warstw mieszank mineralno-asfaltowych stosuje się jednocześnie kilka zestawów maszyn na równoległych działkach, na całej szerokości nawierzchni mieszankę w jednej lub dwóch warstwach. W roku 2006 na autostradzie A2 w Holandii zastosowano do jednoczesnego układania dwóch warstw porowatych (kompaktasfalt) układarkę pokazaną na Fot. 3.7. Był to prototyp przewidziany do szybkiego układania dwóch warstw w jednej operacji technologicznej.



Fot. 3.7 Widok maszyny do układania warstw kompaktowych

Pod względem logistycznym rozwiązanie polegało na dobrym zaplanowaniu dostaw MMA i właściwego kierowania ruchem wywrotek wysypujących na przemian, do pojemnika przenośnika taśmowego, dwa rodzaje mieszanki. Z pojemnika mieszanka była przemieszczana na taśmie do dwóch zbiorników jednej układarki. Roboty wykonywano na dwóch działkach roboczych dwoma różnymi układarkami w systemie „weekendowym”

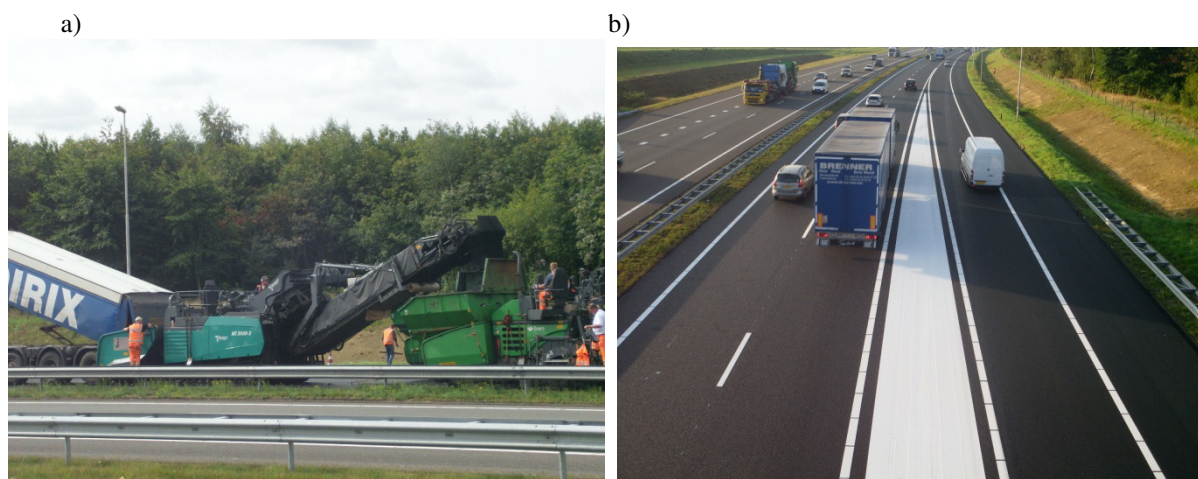
Jednym z najnowocześniejszych pod względem technologiczno-organizacyjnym rozwiązań było zastosowanie w roku 2007 na budowie autostrady A73 najnowszej amerykańskiej maszyny tzw. shuttle bugge [23]. Istotą rozwiązania było układanie na całej szerokości nawierzchni autostrady, za pomocą dwóch układarek, równoległe obok siebie, dolnej warstwy porowatej o grubości 4,5 cm. Mieszanka była dostarczana do zbiornika shuttle bugge, i dalej przemieszczano ją przenośnikiem taśmowym do zbiorników układarek. Zbiorniki te o ładowności 10,0 Mg były specjalnie zamontowane na układarkach w celu umożliwienia sprawniejszego napełniania ich mieszanką transportowaną na taśmie. Do pojemnika shuttle bugge jednorazowo wsypywano maksymalnie 25 Mg mieszanki. Była ona układana na płycie żelbetowej o szerokości 12,45 m i grubości warstwy-25 cm. Długość odcinka robót wynosiła 9 km. Widok stanowiska układania mieszanki pokazano na Fot. 3.8.



Fot. 3.8 Widok zestawu dwóch układarek z urządzeniem shuttle bugge

Ułożoną warstwę zagęszczano sześć walców, dwa statyczne i cztery dynamiczne. Porowatość warstwy MMA wynosiła 25% v/v. Mieszankę dostarczano z dwóch wytwórni: z miejscowości Stein i z miejscowości Helmond. Do przewozu mieszanki zastosowano samochody 5-cio i 6-cio osiowe. Rozwiązanie takie zapewniało dostarczenie w sposób ciągły dużej ilości mieszanki i gwarantowało pełne wykorzystanie nowego urządzenia shuttle bugge zakupionego w roku 2007. Z logistycznego punktu widzenia rozwiązanie takie miało wykluczyć wszelkie zakłócenia w procesie transportowania mieszanki na budowę np. likwidacja kolejki pod układarkami, właściwa temperatura mieszanki itp.

Podobne rozwiązanie zastosowano w roku 2013 przy rekonstrukcji nawierzchni o grubości 5 cm w miejscowości Venlo. Układ maszyn i gotową nawierzchnię pokazano na Fot. 3.9



Fot. 3.9 Widok a) maszyn, b) porowatej warstwy po rekonstrukcji

Przedstawione rozwiązania dla standaryzowanych konstrukcji nawierzchni autostrad są przykładem na to, że przedstawione technologie są udoskonalane, a trwałość konstrukcji jest tym lepsza im lepsze są wyniki pomiarów terenowych. Wykonanie rekonstrukcji warstw porowatych może dzięki dobremu monitorowaniu być przesunięte w czasie nawet o 4 lata, pod warunkiem, że warstwa podlegająca rekonstrukcji spełnia kryteria bezpieczeństwa ruchu drogowego i kryteria funkcjonalne przyjęte przez projektanta.

Do oceny trwałości akustycznej nawierzchni z asfaltu porowatego w Holandii wykonuje się pomiar wodoprzepuszczalności. Pomiary wykonuje się pośrednio przez urządzenie Becker [24]. Określa się, że czas przepływu wody z górnej warstwy ZOAB o grubości frakcji 4/8 na warstwę dolną ZOAB o grubości frakcji 11/16 średnio nie powinien być wyższy niż 17 sekund, a maksymalny czas nie powinien być wyższy niż 20 sekund. Jeśli następuje spełnienie tych wymogów zakłada się, że wymagana wydajność redukcji dźwięku jest zachowana.

### 3.3.4. Case study

Przygotowanie danych do projektowania zestawów maszyn powinno być zgodne z wybranym modelem obliczeniowym [20]. Dla przeprowadzenia pomiarów i opracowania wyników wybrano model z jedną układarką i równoległym układem samochodów samowładowczych, dostarczających mieszankę mineralno-asfaltową z dwóch wytwórni, co nie ma wpływu na wybór modelu.

Jest to najprostszy model obsługi ze stacjonarną kolejką zgłoszeń, opisaną rozkładem Poissona i wykładniczym rozkładem częstotliwości obsługi. Rozkład Poissonowski jest utworzony przez nieskończony ciąg zdarzeń taki, że liczba zdarzeń zachodzących w pewnym czasie jest niezależna od zdarzeń, które miały miejsce uprzednio, oraz że prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzeń jest proporcjonalne do rozpatrywanego czasu. Dla przyjętego modelu liczba zdarzeń zachodzących w czasie  $t$  jest zmienną losową o rozkładzie

$$P_n(t) = \frac{(\lambda \cdot t)^n e^{-\lambda t}}{n!} \quad (3.1)$$

gdzie  $P_n(t)$  prawdopodobieństwo, że w czasie  $t$  zajdzie  $n$  zdarzeń,  $\lambda$  – średnia częstotliwość zgłoszeń do systemu.

Jeżeli  $\mu$  będzie średnim czasem obsługi, a stopień wykorzystania kanału obsługi  $\rho$  wynosi

$$P_{n>0} = \rho = \frac{\lambda}{\mu} \quad (3.2)$$

to prawdopodobieństwo braku kolejki

$$P_0 = 1 - \rho, \quad (3.3)$$

a średnia długość kolejki

$$Q = \frac{\rho^2}{1 - \rho} \quad (3.4)$$

Średnia liczba jednostek w systemie

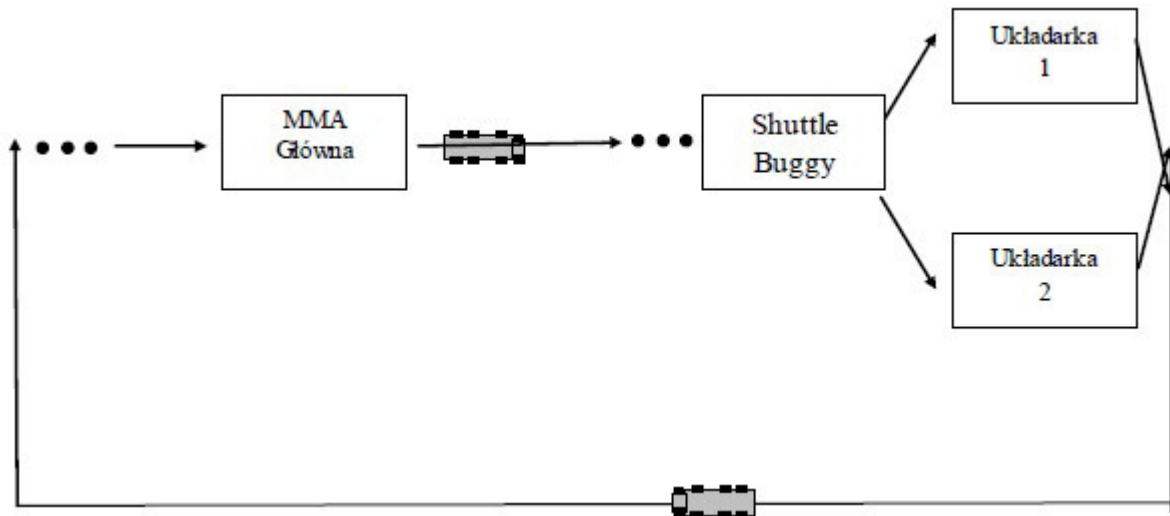
$$\bar{n} = \frac{\rho}{1 - \rho} \quad (3.5)$$

W opracowaniu przedstawiono przykład obliczeniowy dla zestawu maszyn z zastosowaniem shuttle buggy. Na Fot. 3.10 i Rys. 3.16 przedstawiono widok zestawu maszyn dla przyjętego modelu.



Fot. 3.10 Zestaw maszyn shuttle buggy i dwie układarki

Zadanie 2. Ocena rozwiązań materiałowo-technologicznych górnych warstw asfaltowych i zalecenia w zakresie ich hałaśliwości



Rys. 3.16 Schemat zestawu maszyn z shuttle buggy

Dla danego modelu zostały przyjęte założenia, że w systemie masowej obsługi przy budowie autostrady z asfaltu porowatego znajdują się: wytwórnia mieszanki mineralno - asfaltowej, środki transportowe, dwie ukłdarki do budowy nawierzchni oraz przenośnik taśmowy shuttle buggy do rozdzielania mieszanki mineralno - asfaltowej pomiędzy ukłdarki.

Dla wytwórni mieszanki mineralno - asfaltowej przyjęto założenia:

- jedna wytwórnia mieszanki mineralno - asfaltowej o wydajności 240Mg/h,
- średni czas załadunku jednego środka transportu wynosi 182 sekundy,
- średni czas całego cyklu transportowego w wytwórni wynosi 718 sekund (na czas obsługi składał się czas przyjmowania zgłoszenia, czas manewrowania przed i po załadunku oraz czas oczekiwania na dokumenty),
- średni odstęp czasu pomiędzy zgłoszeniami wynosi 552 sekundy,
- pomiary przeprowadzono w 2006 roku dla mieszanki ZOAB o grubości frakcji 4/8,
- dla wytwórni do obliczeń przyjęto model masowej obsługi M/M/1.

Dla zestawu maszyn shuttle buggy - dwie ukłdarki przyjęto założenia:

- pracują dwie ukłdarki,
- w zestawie maszyn znajduje się maszyna shuttle buggy firmy KWS
- średni czas obsługi maszyny shuttle buggy (liczony dla porównania jako czas rozładunku środków transportowych przy ukłdarkce) wynosi 300 sekund,
- średni odstęp czasu pomiędzy kolejnymi zgłoszeniami wynosi 684 sekundy.

W Tab. 3.10 przedstawiono wyniki dla modelu z dwiema ukłdarkami oraz przy zastosowaniu shuttle buggy.

Tab. 3.10 Wyniki obliczeń dla modelu masowej obsługi

Wyszczególnienie	Wytwórnia mieszanki	Budowa	Budowa z shuttle buggy
Średnia stopa przybyć	0,1087	0,0893	0,0909
Średnia stopa obsługi	0,3333	0,1087	0,2000
Średni odstęp czasu między kolejnymi zgłoszeniami [s]	552	674	684
Średni czas obsługi [s]	182	560	300
Prawdopodobieństwo wystąpienia kolejki	0,1063	0,3374	0,2066
Średnia liczba jednostek w systemie	0,2174	0,3661	0,3636
Średnia długość kolejki	0,1578	0,9446	0,3788
Średni czas przebywania jednostki w systemie [min]	4,4516	25,7600	9,1667
Średni czas oczekiwania jednostki w kolejce [min]	1,4516	21,1600	4,1667

Przy zastosowaniu shuttle buggy można zaobserwować mniejszy średni czas obsługi niż w przypadku zestawu maszyn złożonego z dwóch układarek. Występuje również niższe prawdopodobieństwo wystąpienia kolejki. Średni czas przebywania jednostki w systemie wynosi 9 minut, natomiast w przypadku modelu z dwiema układarkami wynosi 25 minut.

Zgodnie z teorią zarządzania łańcuchami dostaw taki układ drugi jest bardziej korzystny ze względu na zwiększoną wydajność pracy maszyn, mniejszą liczbę potrzebnych środków transportowych, zmniejszenie zanieczyszczenia powietrza w otoczeniu budowy. Samochody krócej oczekują w kolejce co oznacza, że występuje lepsze wykorzystanie czasu pracy kierowców, a także zmniejszenie czasu manewrowania (zamiast do każdej układarki jest jedna kolejka pod shuttle buggy).

### **3.3.5. Kompaktasfalt na autostradzie A2 w Holandii**

W 2006 roku wykonano rekonstrukcję nawierzchni autostrady A2 na sześciokilometrowym odcinku między miejscowością Eindhoven a miejscowością Den Bosch. Roboty przeprowadzono w weekend od godz. 20.00 w piątek, do godz. 6.00 w poniedziałek. Plac budowy obejmował trzy pasy ruchu na autostradzie (w jednym kierunku)

o łącznej szerokości 12 m, z czego układarka pierwsza pracowała na szerokości 4. metrów, a układarka druga na szerokości 8. metrów. Miejsce wykonywanych robót pokazano na Rys.



3.17

Rys. 3.17 Mapa Holandii z zaznaczoną autostradą A2

### **3.3.5.1. Opis technologii robót - informacje ogólne**

Budowa dotyczyła naprawy (rekonstrukcji) po okresie gwarancyjnym nawierzchni z asfaltu porowatego o grubości 7,0 cm. Mieszankę z wytwórni na budowę transportowały 4-ro, 5-cio i 6-cio osiowe samochody samowyładowcze. Wyładunek MMA z samochodu do układarki 1. odbywał się za pomocą przenośnika taśmowego, natomiast do układarki 2. za pomocą przenośnika. Nawierzchnię na pierwszej działce (4 m) rozścielała układarka gąsienicowa. Układano w pojedynczej operacji dwie warstwy. Na dwóch pozostałych działkach (8 m) MMA układała większa układarka. Na Fot. 3.11 przedstawiono zestaw maszyn na pierwszej działce roboczej wykonujący dwie warstwy porowate w jednej operacji technologicznej.



Fot. 3.11 Zestaw maszyn do układania warstw kompaktowych (układarka 1.)

Tradycyjnie stosowana technologia umożliwia pozostawienie jednego pasa dla ruchu samochodowego i wykonanie robót na zmianę raz na jednym, raz na drugim pasie. Zastosowanie maszyn do jednoczesnego układania dwóch warstw na całej szerokości jezdni takie rozwiązanie eliminuje.

### **3.3.5.2. Frezowanie istniejącej warstwy nawierzchni**

Frezowanie wykonywały dwie frezarki o szerokości frezowania 4 m i jedna o szerokości frezowania 1 m. Ze względu na całkowitą szerokość nawierzchni wynoszącą 12 m, jedna z dużych frezarek cofała się frezując pozostały do wykonania odcinek. Przy planowaniu robót istotne było doświadczenie wykonawców oraz prognozowane warunki atmosferyczne. Ostateczna decyzja o rozpoczęciu robót była podejmowana w dniu rozpoczęcia o godzinie 13.00. Jeżeli na trasie znajdował się wiadukt, to konieczne było zastosowanie dodatkowej małej frezarki, która wykonywała frezowanie nawierzchni tylko na tym obiekcie. Rozwiązanie takie wynikało z konieczności precyzyjnego wykonania prac przy dylatacjach poprzecznych oraz przy układaniu nawierzchni innego rodzaju mieszanki mineralno-asfaltowej stosowanej na takich obiektach.

### **3.3.5.3. Układanie nowych dwóch warstw nawierzchni porowatej**

Rozpoczęcie układania nowych warstw poprzedzone było czyszczeniem frezowanego odcinka oraz skropieniem emulsją ułatwiającą połączenie starej i nowej warstwy. Do jednoczesnego układania dwóch warstw porowatych zaprojektowano dwa zestawy maszyn. W pierwszym zestawie (szerokość układania 4 m) zastosowano małą układarkę o konstrukcji zaprojektowanej przez biuro projektów robót drogowych w Helmond, a w drugim zestawie zastosowano dużą układarkę znanej firmy niemieckiej. Do napełnienia zasobników układarek zastosowano niemieckie przenośniki taśmowe wyposażone w specjalne zbiorniki do wysypywania mieszanki bezpośrednio ze skrzyni samochodu. Istotą dobrego wykonania dwóch warstw układanych jednocześnie było dostarczenie na czas dwóch rodzajów mieszanek frakcji 4/8 (górną warstwą) i 11/16 (dolną warstwą). Ważnym elementem było również takie tempo układania, aby odległość między układarkami była jak najmniejsza.



Umożliwiło to utrzymanie wysokiej temperatury łączonych warstw na dwóch działkach roboczych.

Do transportu mieszanki zastosowano 4-ro, 5-cio i 6-cio osiowe samochody samowyładowcze. Zbiornik przenośnika taśmowego pod mniejszą układarką był mały i mógł pomieścić mieszankę o masie 10 Mg (ton), natomiast zbiornik pod dużą układarką był dużo większy i miał ładowność około 25 Mg mieszanki. Z przeprowadzonych na budowie obserwacji wynikało, że mniej manewrów wykonywały samochody pod dużą układarką. Wynikało to z ładowności zbiornika na mieszankę zamontowanego do tej układarki. Ułatwiało to znacznie sterowanie ruchem samochodów samowyładowczych i sterowanie dostawami mieszanki na budowę. Przy tak dużej liczbie samochodów dostarczających mieszankę (około 50 samochodów) konieczny był stały kontakt brygadzysty zarówno z kierowcami samochodów jak i obsługą wytwórni mieszanek. Ze względu na różne zużycie mieszanki na budowie na poszczególne warstwy, niezbędna była również dobra koordynacja procesu produkcji i dostaw mieszanki na budowę. Różne zużycie wynikało z faktu, że warstwa wykonana z mieszanki 11/16 miała grubość 4,5 cm, a warstwa z mieszanki 4/8 miała grubość 2,5 cm. Mieszankę wykonywały dwie wytwórnie BAC w Helmond (drobniejsza frakcja) i ACL w Stein (grubsza frakcja). Widok dwóch ułożonych warstw pokazano na Fot. 3.12.



Fot. 3.12 Widok ułożonych warstw z asfaltu porowatego

### **3.4. Badania terenowe**

Przedstawione wyniki pomiaru hałaśliwości dotyczą dwóch odcinków autostrady A73 w Holandii w miejscowości Venlo oraz Boxmeer. Pomiary wykonano w latach 2011-2016. Efektem przeprowadzonych pomiarów są wyniki dotyczące warstwy ścieralnej tych samych odcinków autostrady otrzymane w kolejnych latach eksploatacji.

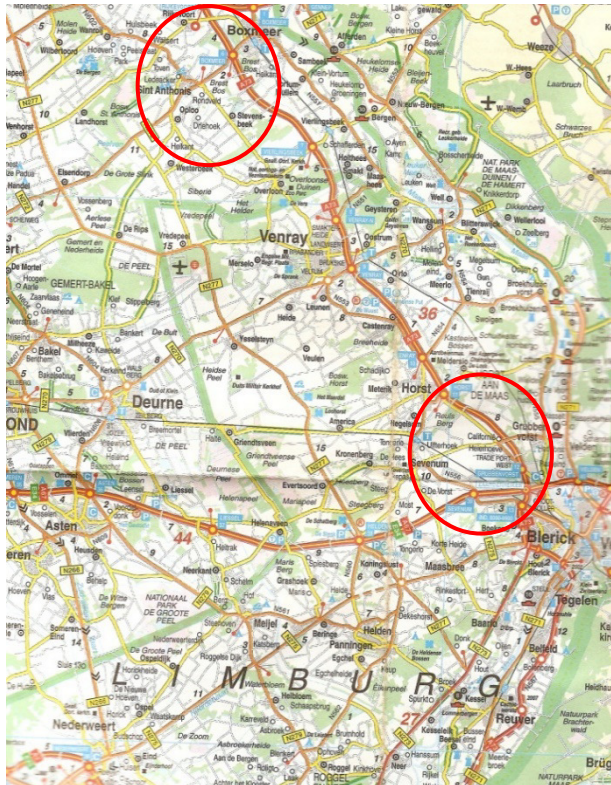
Prowadzone na terenie Holandii od lat 90-tych monitorowanie budowy autostrady A73 pozwoliło na wybranie odcinków o różnym stanie eksploatacji warstwy ścieralnej. Warstwa ta

Zadanie 2. Ocena rozwiązań materiałowo-technologicznych górnych warstw asfaltowych i zalecenia w zakresie ich hałaśliwości

ma grubość 5 cm i jest ułożona na płycie żelbetowej ciągłej o grubości 22 cm. Porowatość zawarta jest w przedziale 22-24 procent. Istotą było ustalenie możliwości wykonania pomiarów dla istniejącej nawierzchni przy kończącym się okresie gwarancji przyjętych normowo właściwości oraz hałaśliwości warstwy porowatej nawierzchni autostrady. Z przeprowadzonej analizy stanu warstwy ścieralnej wynikała możliwość wykonania pomiarów w miejscowości Venlo dla warstwy istniejącej w ostatnim okresie eksploatacji i nowej warstwy po rekonstrukcji. W miejscowości Boxmeer stwierdzono możliwość jednoczesnego pomiaru hałaśliwości na dwóch stanowiskach dla tego samego potoku ruchu, usytuowanych obok siebie odcinków o starej i nowej nawierzchni. Pomiary natężenia hałasu wykonano na autostradzie A73 o tzw. konstrukcji standardowej o grubości 22 cm płyty żelbetowej ciągłej, ułożonej na niej jednej lub dwóch warstwach ścieralnych z asfaltu porowatego. Wybrano do pomiarów następujące odcinki:

- w miejscowości Boxmeer z pojedynczą warstwą ścieralną o grubości 5 cm,
- w miejscowości Venlo z pojedynczą warstwą ścieralną o grubości 5 cm.

Lokalizację stanowisk pomiarowych na autostradzie A73 pokazano na Rys. 3.18



Rys. 3.18 Widok autostrady A73 z zaznaczonymi stanowiskami pomiarowymi

Wymienione odcinki charakteryzowały się różnymi stanami eksploatacji. Stany te były następujące:

- Boxmeer-nowa warstwa z asfaltu porowatego po rekonstrukcji (pierwszy rok eksploatacji) oraz stara warstwa z asfaltu porowatego przed rekonstrukcją,
- Venlo-warstwa z asfaltu porowatego przed wykonaniem rekonstrukcji po zakończeniu okresu gwarancji (ostatni rok eksploatacji) oraz nowa warstwa z asfaltu porowatego po rekonstrukcji (pierwszy rok eksploatacji).

### 3.4.1. Charakterystyka stanowisk pomiarowych

Przeprowadzone badania terenowe dotyczyły hałaśliwości nawierzchni z asfaltu porowatego oraz pomiaru natężenia ruchu. Stanowiska do pomiaru hałasu usytuowano na poboczu jezdni, a stanowiska do cyfrowego pomiaru natężenia i struktury rodzajowej ruchu usytuowano na wiaduktach. Widok stanowisk pomiarowych przedstawiono na Fot. 3.13.



Fot. 3.13 Widok stanowisk pomiarowych

Do pomiaru hałasu stosowano urządzenia firmy SVANTEK charakteryzujące się pierwszą klasą dokładności i spełniające normy: PN-EN 60651 *Mierniki poziomu dźwięku*, PN-EN 60804 *Całkująco-uśredniające mierniki poziomu dźwięku* oraz PN-EN 61672-1 *Elektroakustyka - Mierniki poziomu dźwięku - Część 1: Wymagania*.

Kompletny zestaw aparatury składał się z następujących elementów [Grucki K.: *Zastosowanie sieci neuronowych do analizy natężenia hałasu komunikacyjnego na autostradzie*, monografia pod redakcją Zbigniewa Tokarskiego, Aktualna Problematyka Badawcza, Bydgoszcz 2013.]:

- urządzenia do pomiaru natężenia hałasu (SVAN 971, SVAN 958 oraz SVAN 912 AE),
- przedwzmacniacza,
- mikrofonu,
- statywu z zaczepem do mocowania urządzenia.

Dzięki jednoczesnemu zastosowaniu do pomiaru hałasu dwóch urządzeń możliwe było prowadzenie pomiarów w dwóch punktach jednocześnie. Pomiar prowadzono dla różnego stanu nawierzchni i tego samego potoku ruchu. Widok stanowiska pomiarowego przedstawiono na Fot. 3.14.



Fot. 3.14 Widok stanowiska pomiarowego w miejscowości Venlo

Na Fot. 3.15 przedstawiono widok stanowiska do pomiaru natężenia ruchu drogowego i jego struktury rodzajowej.



Fot. 3.15 Widok stanowiska do pomiaru natężenia ruchu drogowego

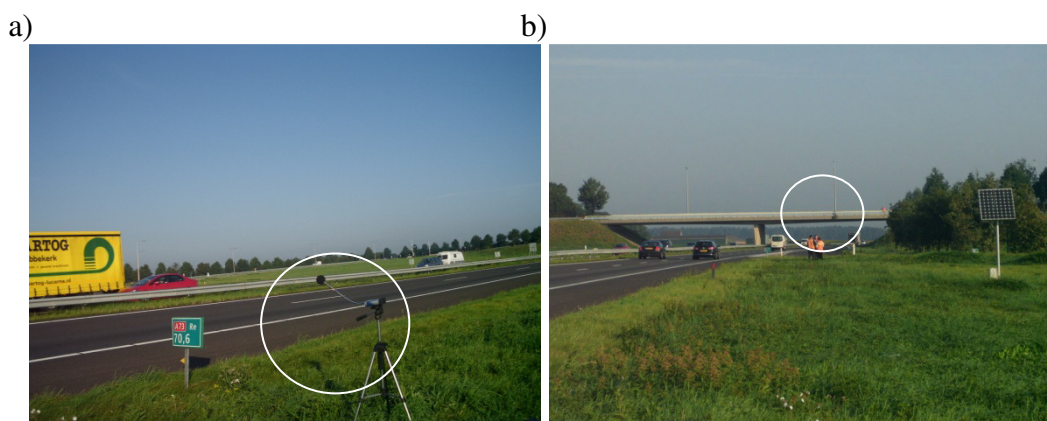
- Oprócz opisanej aparatury zastosowano dodatkowo do pomiaru następujące urządzenia:
- pirometr,
  - anemometr,
  - stanowisko pomiaru warunków atmosferycznych,
  - aparat fotograficzny z matrycą 18 Mp.

Jednym z zadań organizacji badań terenowych było właściwe usytuowanie stanowisk pomiarowych polegające na wyborze miejsca do parkowania dla pojazdów przewożących aparaturę pomiarową i właściwe ustawienie urządzeń pomiarowych do pomiaru hałasu oraz do pomiaru natężenia i struktury rodzajowej pojazdów.

Badania hałasu obejmowały dwa rodzaje pomiarów:

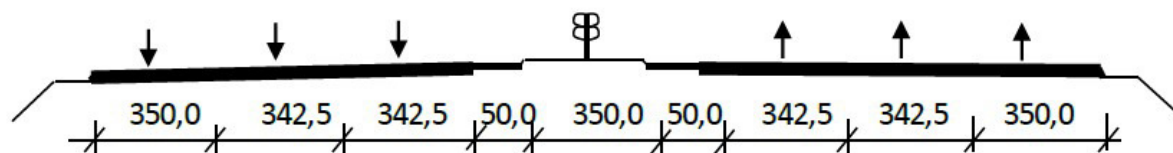
- pomiar hałasu chwilowego (funkcja  $S_{pl}$ ),
- pomiar ekwiwalentnego hałasu (funkcja  $L_{eq}$ )

W roku 2011 przeprowadzono pomiary próbne natężenia ruchu i hałaśliwości w miejscowości Venlo, na kierunku Venray-Venlo. Widok stanowisk pomiarowych pokazano na Fot. 3.16



Fot. 3.16 Widok stanowisk pomiarowych, a) pomiar hałasu, b) pomiar natężenia ruchu

W roku 2012 i 2013 pomiary wykonano w miejscowości Venlo na odcinku nowej nawierzchni wykonanej w ramach rekonstrukcji nawierzchni istniejącej po okresie gwarancji. Stanowiska pomiarowe usytuowano w podobny sposób jak przy poprzednim pomiarze tj. na wiadukcie i obok jezdni zgodnie z wymogami normowymi odległości urządzenia od osi jezdni. Wymiary pasów ruchu, pasów awaryjnych i pasa rozdziału pokazano na Rys. 3.19.



Rys. 3.19 Schemat wymiarów nawierzchni

Do oceny wpływu natężenia ruchu drogowego na hałas komunikacyjny przyjęto kategorie pojazdów zgodnie z normą PN-EN ISO 11819-1 *Akustyka. Pomiary wpływu nawierzchni dróg na hałas drogowy. Część 1: Metoda statystycznego pomiaru podczas przejazdu*, która wyróżnia trzy kategorie pojazdów:

- kategoria 1 - samochody osobowe oraz samochody dostawcze o dopuszczalnej masie całkowitej nie przekraczającej 3,5 t,
- kategoria 2a - pojazdy ciężkie dwuosiowe (ciężarówki, autobusy i autokary z dwiema osiami i więcej niż czterema kołami),
- kategoria 2b - pojazdy ciężkie wieloosiowe (ciężarówki, autobusy i autokary z więcej niż dwiema osiami oraz motocykle).

Równocześnie z prowadzonymi pomiarami natężenia ruchu i dźwięku rejestrowano temperaturę nawierzchni i otoczenia, prędkość i kierunek wiatru, wilgotność powietrza oraz ciśnienie atmosferyczne. Pomiary wykonywano co 5 minut podczas całego czasu rejestrowania wyników.

Celem badań terenowych przeprowadzonych w Holandii było wykonanie pomiarów poziomów hałasu komunikacyjnego, natężenia ruchu drogowego oraz pomiar warunków atmosferycznych. Pomiary wykonywano w godzinach szczytu przedpołudniowego i popołudniowego. Widoczność na stanowiskach pomiarowych była dobra.

Wymagania dotyczące przeprowadzenia pomiaru hałasu były następujące:

- w promieniu 50 metrów brak skał, budynków i płotów,
- sucha nawierzchnia i dobry stan techniczny nawierzchni,
- temperatura powietrza 0-40 °C,
- wiatr mniejszy niż 5 m/s,
- hałas pojazdu o 10-15 dB wyższy niż tło akustyczne,

Pomiar wykonywano w porze dziennej i w porze nocnej. Zakres pomiarów na poszczególnych stanowiskach był następujący:

- stanowisko 1-pomiar hałasu komunikacyjnego,
- stanowisko 2-pomiar natężenia ruchu drogowego,
- stanowisko 3-pomiar warunków atmosferycznych.

W celu przeprowadzenia analizy wyników opracowano wykresy zależności poziomu dźwięku od natężenia ruchu. Pomiar wykonywano w interwałach 15-to minutowych. Istotą analizy było porównanie wyników pomiaru poziomu dźwięku przy zbliżonych warunkach atmosferycznych i podobnych natężeniach pojazdów ciężarowych. Analizę uzyskanych wyników przeprowadzono dla wszystkich stanowisk pomiarowych.

Do oceny ilościowej obliczono poziom dźwięku maksymalny, minimalny i równoważny, według poniższych wzorów:

$$L_{max} = 10 \log \left( \max_T \left( \frac{p_w^2(t)}{p_0^2} \right) \right) \quad (3.6)$$

$$L_{min} = 10 \log \left( \min_T \left( \frac{p_w^2(t)}{p_0^2} \right) \right) \quad (3.7)$$

$$Leq_{AT} = 10 \log \left( \frac{1}{T} \int_0^T (\alpha_A^2(t) / p_0^2) dt \right) \quad (3.8)$$

gdzie:

T- czas pomiaru

$\alpha_A(t)$  - chwilowa wartość skuteczna ciśnienia akustycznego z korekcją A

Stanowiska pomiarowe do cyfrowego pomiaru natężenia i struktury rodzajowej ruchu wybrano na wiaduktach, a do pomiaru hałasu-na poboczu jezdni, zgodnie z wymaganiami normowymi odpowiednimi do zastosowanej metody pomiaru.

Program pomiarów dotyczących hałasu obejmował:

- ustalenie lokalizacji stanowisk pomiarowych zgodnie z obowiązującymi normami,
- przygotowanie aparatury badawczej odpowiednio do warunków pracy w terenie,
- przygotowanie arkuszy pomiarowych,
- wybór metody pomiaru hałasu i natężenia ruchu.

Program pomiaru natężenia ruchu obejmował:

- strukturę rodzajową ruchu,
- natężenie ruchu.

### 3.4.2. Stanowisko w miejscowości Venlo

W celu pokazania uzyskanych wyników na tych samych stanowiskach pomiarowych w roku 2012 i 2013 w miejscowości Venlo, dobrano podobną strukturę rodzajową ruchu, przy porównywalnych warunkach pogodowych. Rekonstrukcję wykonano w roku 2013 ze względu na zakończenie okresu gwarancji. Widok placu budowy pokazano na Fot. 3.17



Fot. 3.17 Widok zestawu maszyn do rekonstrukcji w Venlo

Na podstawie przeprowadzonej analizy stwierdzono, że na nawierzchni po rekonstrukcji generowany hałas jest mniejszy o 1,7 dB(A), jak przedstawiono w Tab. 3.11.

Tab. 3.11 Wyniki analizy porównawczej

Godzina[hh:mm]	1	2a	2b	L <sub>eq</sub> [dB(A)]
Data: 06.09.2012				
16:30	508	11	61	75,5
Data: 02.09.2013				
17:00	493	11	52	73,8

Rekonstrukcję nawierzchni porowatej wykonano bez zmiany parametrów technicznych drogi. Zarówno w przypadku pomiarów w 2012 jak i 2013 roku warstwa ścieralna była wykonana z asfaltu porowatego ZOAB jako jednowarstwowa o grubości 5 cm.

### 3.4.3. Stanowisko w miejscowości Boxmeer

Rekonstrukcja warstwy ścieralnej została wykonana w roku 2013. Widok placu budowy przy układaniu nowej warstwy ścieralnej pokazano na Fot. 3.18.



Fot. 3.18 Widok zestawu maszyn do rekonstrukcji w Boxmeer

Prezentowane pomiary zostały wykonane na autostradzie A73 w pobliżu miejscowości Boxmeer. W tym samym miejscu rok wcześniej odbywały się roboty związane z rekonstrukcją porowatej warstwy ścieralnej o grubości nawierzchni 5 cm, na odcinku o długości 1181 m.

Pomiary były przeprowadzone jednocześnie na 4 stanowiskach badawczych:

- stanowisko 1 - pomiar hałasu ekwiwalentnego i chwilowego,
- stanowisko 2 - pomiar hałasu ekwiwalentnego i chwilowego,
- stanowisko 3 - pomiar natężenia ruchu drogowego,
- stanowisko 4 - pomiar warunków atmosferycznych i temperatury nawierzchni.

Wszystkie mierzone wartości były zapisywane na kartach pomiarowych lub zgrywane zaraz po zakończeniu dnia badań do komputera i arkusza kalkulacyjnego pakietu Office.

W Tab. 3.12 przedstawiono wyniki pomiaru hałasu na stanowisku w Boxmeer na kierunku z Venlo do Boxmeer centrum, a w Tab. 3.13 zestawiono wyniki pomiarów hałasu komunikacyjnego na kierunku przeciwnym tj. do Venlo. Oba pomiary zostały wykonane w dniu 27.08.2014 roku.



*Projekt RID - I/76 Ochrona przed hałasem drogowym*  
 Zadanie 2. Ocena rozwiązań materiałowo-technologicznych górnych warstw asfaltowych i zalecenia w zakresie ich hałaśliwości

---

Tab. 3.12 Wartości hałasu komunikacyjnego 27.08.2014 w Boxmeer  
 Kierunek Venlo - Boxmeer Centrum

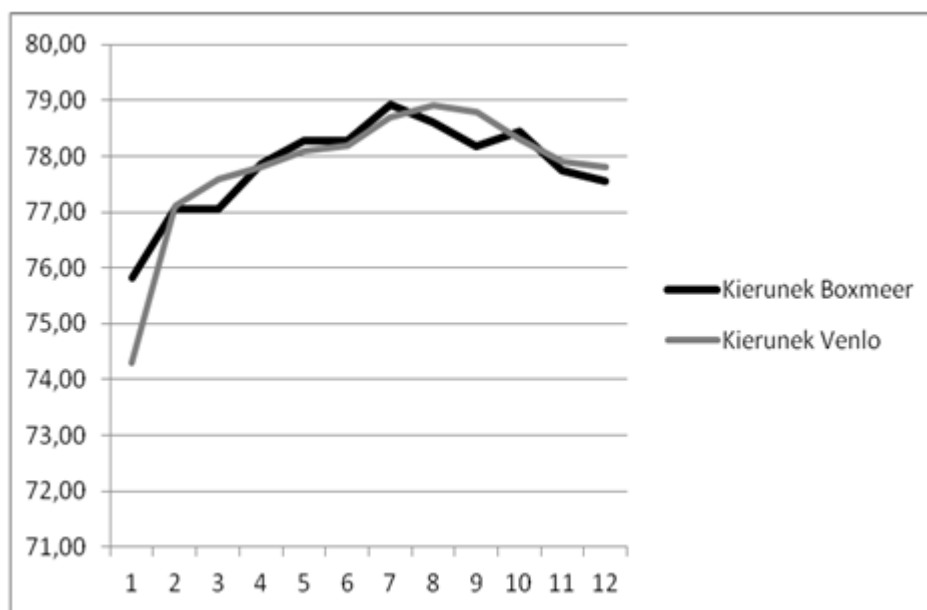
L.p.	Godzina pomiaru [hh:mm]	$L_{max}$ [dB(A)]	$L_{min}$ [dB(A)]	$L_{eq}$ [dB(A)]
1	06:00	88,50	51,88	75,82
2	06:15	88,94	55,66	77,05
3	06:30	88,94	55,66	77,05
4	06:45	93,08	56,43	77,86
5	07:00	89,32	56,16	78,28
6	07:15	92,67	56,75	78,28
7	07:30	92,26	59,54	78,92
8	07:45	88,37	61,65	78,62
9	08:00	87,68	60,08	78,18
10	08:15	88,75	56,41	78,43
11	08:30	93,12	56,50	77,75
12	08:45	92,78	54,65	77,56

Tab. 3.13 Wartości hałasu komunikacyjnego 27.08.2014 w Boxmeer  
 Kierunek Boxmeer - Venlo

L.p.	Godzina pomiaru	$L_{max}$ [dB(A)]	$L_{min}$ [dB(A)]	$L_{eq}$ [dB(A)]
1	06:00	84,40	49,30	74,30
2	06:15	95,20	55,10	77,10
3	06:30	85,90	57,90	77,60
4	06:45	85,70	60,20	77,80
5	07:00	86,70	57,90	78,10
6	07:15	86,00	59,40	78,20
7	07:30	91,10	61,60	78,70
8	07:45	91,20	60,50	78,90
9	08:00	87,50	61,70	78,80
10	08:15	87,50	60,20	78,30
11	08:30	85,60	59,80	77,90
12	08:45	85,00	56,40	77,80

Wszystkie pomiary były wykonane w dobrych warunkach atmosferycznych, wietrze wiejącym z kierunku południowego o prędkości 0,5 m/s. Wilgotność powietrza wynosiła około 80 %, temperatura powietrza miała wartość średnio 11 °C, a temperatura nawierzchni-10,3 °C. Porównując wartości z obu tablic za pomocą wykresu pokazanego na Rys. 3.20 Porównanie ekwiwalentnej wartości hałasu komunikacyjnego. można zauważyć, że różnice wartości średnich pomierzonego hałasu są nieznaczne.

## Zadanie 2. Ocena rozwiązań materiałowo-technologicznych górnych warstw asfaltowych i zalecenia w zakresie ich hałaśliwości



Rys. 3.20 Porównanie ekwiwalentnej wartości hałasu komunikacyjnego

W Tab. 3.14 i Tab. 3.15 przedstawiono pomiary dla nawierzchni po rekonstrukcji i przed rekonstrukcją. Pomiary wykonano dla tego samego potoku ruchu pojazdów.

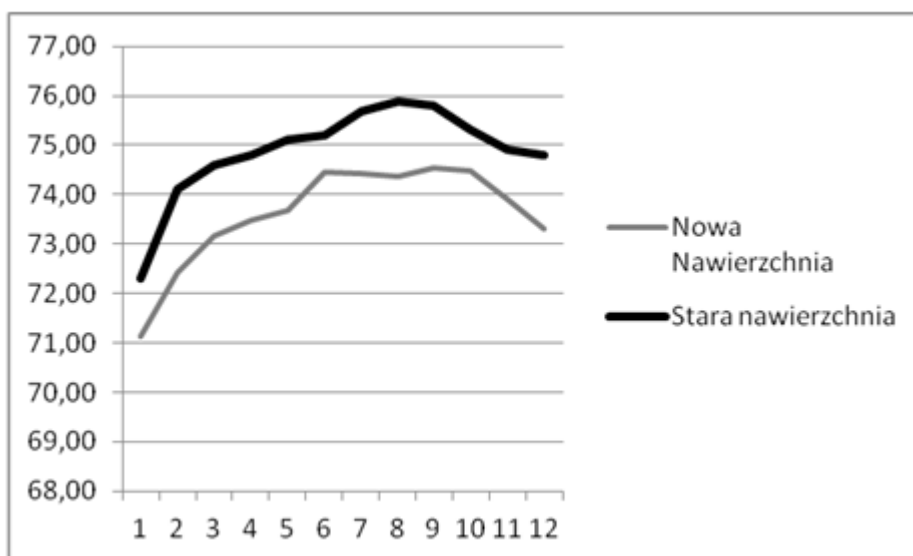
Tab. 3.14 Wartości pomiaru hałasu komunikacyjnego w dniu 01.09.2014 dla nawierzchni po rekonstrukcji

L.p.	Godzina pomiaru [hh:mm]	$L_{max}$ [dB(A)]	$L_{min}$ [dB(A)]	$L_{eq}$ [dB(A)]
1	06:00	84,32	48,84	71,13
2	06:15	86,39	54,02	72,42
3	06:30	90,19	53,25	73,16
4	06:45	85,65	53,84	73,47
5	07:00	86,83	53,43	73,69
6	07:15	87,81	51,97	74,44
7	06:00	85,50	55,56	74,42
8	06:15	86,62	56,74	74,36
9	06:30	87,03	54,14	74,53
10	06:45	85,07	53,92	74,47
11	07:00	84,20	55,63	73,91
12	07:15	85,70	53,34	73,32

Tab. 3.15 Wartości pomiaru hałasu komunikacyjnego w dniu 01.09.2014 dla nawierzchni przed rekonstrukcją

L.p.	Godzina pomiaru [hh:mm]	$L_{max}$ [dB(A)]	$L_{min}$ [dB(A)]	$L_{eq}$ [dB(A)]
1	06:00	87,80	53,40	72,30
2	06:15	95,20	55,10	74,10
3	06:30	85,90	57,90	74,60
4	06:45	85,70	60,20	74,80
5	07:00	86,70	57,90	75,10
6	07:15	86,00	59,40	75,20
7	07:30	91,10	61,60	75,70
8	07:45	91,20	60,50	75,90
9	08:00	87,50	61,70	75,80
10	08:15	97,50	60,20	75,30
11	08:30	85,60	59,80	74,90
12	08:45	85,00	56,40	74,80

Porównując wyniki z obu tablic można zauważyć, że różnica pomiędzy hałasem ekwiwalentnym wynosi średnio 1,5 dB(A). Pokazano to na Rys. 3.21.



Rys. 3.21 Porównanie ekwiwalentnej wartości hałasu komunikacyjnego

Przykładowe zestawienie wyników pomiarów wykonano w Tab. 3.16. Wyniki pomiarów dotyczą porównania skuteczności redukcji hałasu na autostradzie A73 w miejscowości Boxmeer.

Tab. 3.16 Wyniki pomiarów hałasu komunikacyjnego na A73

Data i godzina	Nowa nawierzchnia			Stara nawierzchnia		
	MAX [dB(A)]	MIN [dB(A)]	LEQ [dB(A)]	MAX [dB(A)]	MIN [dB(A)]	LEQ [dB(A)]
2014-08-27 06:15:00	84,32	48,84	71,13	87,8	53,4	72,3
2014-08-27 06:30:00	86,39	54,02	72,42	84,3	54,8	73,7
2014-08-27 06:45:00	90,19	53,25	73,16	89,7	55,4	73,9
2014-08-27 07:00:00	85,65	53,84	73,47	86,6	54,9	74,6
2014-08-27 07:15:00	86,83	53,43	73,69	86,9	56,6	74,8
2014-08-27 07:30:00	87,81	51,97	74,44	88,6	55,7	75,6
2014-08-27 07:45:00	85,5	55,56	74,42	85,8	54	75,7
2014-08-27 08:00:00	86,62	56,74	74,36	84,5	58,8	75,5
2014-08-27 08:15:00	87,03	54,14	74,53	87	57	75,6
2014-08-27 08:30:00	85,07	53,92	74,47	87,5	56,8	75,6
2014-08-27 08:45:00	84,2	55,63	73,91	85,1	56,5	75,1

Średnia różnica ekwiwalentnego poziomu hałasu  $L_{EQ}$  równała się 1,1 dB(A), poziomu minimalnego 2,1 dB(A), a poziomu maksymalnego 0,4 dB(A).

Rekonstrukcję nawierzchni porowatej wykonano bez zmiany parametrów technicznych drogi. Zarówno w przypadku pomiarów w 2012 jak i 2013 roku warstwa ścieralna była jednowarstwowa o grubości 5cm.

W opracowaniu przedstawiono uzyskane wyniki pomiarów terenowych dotyczące pomiarów hałasu komunikacyjnego wykonanych na autostradzie A73 w Holandii. Celem pomiarów była ocena skuteczności redukcji hałasu komunikacyjnego w czasie eksploatacji nawierzchni porowatej.

Wykonano pomiar referencyjny i pomiar rzeczywisty na wybranym odcinku.

Badania przewidywały pomiar hałasu komunikacyjnego dla tego samego miejsca pomiarowego w różnym okresie eksploatacji:

- w roku 2012 był to ostatni rok eksploatacji wynikający z okresu gwarancji,
- w roku 2013 był to pierwszy rok eksploatacji po rekonstrukcji nawierzchni drogowej,
- w roku 2014 był to drugi rok eksploatacji nawierzchni.

Wykonano również porównanie skuteczności redukcji hałasu dla technologii jednowarstwowej asfaltu porowatego i dwuwarstwowej [25].

#### **3.4.4. Pomiar hałasu komunikacyjnego przy różnej grubości warstw porowatych**

W celu określenia skuteczności redukcji hałasu poprzez zastosowanie porowatych nawierzchni asfaltowych o zróżnicowanej grubości porównano wyniki dla dwóch nawierzchni,

w miejscowości Sint Joost oraz w miejscowości Overloon. W miejscowości Sint Joost autostrada A73 składa się z dwuwarstwowej nawierzchni wykonanej z asfaltu porowatego ZOAB (*ned.* zeer open asfaltbeton) o grubości 7 cm (dolna warstwa o grubości 4,5 cm, frakcja 11/16 i górna warstwa o grubości 2,5 cm, frakcji 4/8). W miejscowości Overloon autostrada A73 ma jednowarstwową nawierzchnię wykonaną z asfaltu porowatego ZOAB

o grubości 5 cm i frakcji 0/22. W celu określenia stopnia pochłaniania hałasu komunikacyjnego przy różnych grubościach nawierzchni, należało porównać poziomy dźwięku przy podobnych natężeniach ruchu drogowego oraz przy zbliżonych warunkach atmosferycznych. W Tab. 3.17 przedstawiono wyniki dla różnych grubości nawierzchni.

Tab. 3.17 Zestawienie wyników poziomu hałasu komunikacyjnego i natężenia ruchu drogowego na różnych grubościach nawierzchni

Miejscowość	Godzina pomiaru [hh:mm]	Kategoria pojazdów			Poziom dźwięku LEQ [dB(A)]
		1	2a	2b	
Overloon	06:30	224	6	43	74,77
Sint Joost	06:00	207	3	48	72,00
Overloon	09:15	220	6	48	73,95
Sint Joost	06:00	207	3	48	72,00
Overloon	09:45	199	6	49	73,78
Sint Joost	06:00	207	3	48	72,00
Overloon	06:45	279	3	42	74,97
Sint Joost	06:15	266	4	47	72,47
Overloon	08:45	277	4	46	74,42
Sint Joost	06:15	266	4	47	72,47
Overloon	09:00	255	12	46	74,31
Sint Joost	06:15	266	4	47	72,47
Overloon	07:00	307	4	50	75,13
Sint Joost	08:15	327	11	41	72,63
Overloon	07:15	343	7	42	75,64
Sint Joost	08:15	327	11	41	72,63
Overloon	08:30	353	6	47	75,14
Sint Joost	06:30	365	4	53	72,57
Overloon	08:30	353	6	47	75,14
Sint Joost	07:00	377	2	49	73,25

Na podstawie analizy wyników stwierdzono, że porowate nawierzchnie asfaltowe o grubości 7 cm redukują poziom hałasu komunikacyjnego w sposób zdecydowany. Uzyskana wartość dla dwuwarstwowej nawierzchni porowatej jest większa średnio o 2,2 dB(A) niż dla nawierzchni jednowarstwowej o grubości 5 cm.

### 3.4.5. Pomiar hałasu komunikacyjnego w różnych okresach eksploatacji

W Tab. 3.18 przedstawiono zestawienie wyników pomiarów dla podobnych natężeń ruchu drogowego w latach 2012-2014 [22]. Należy zaznaczyć, że w roku 2013 została wykonana rekonstrukcja warstwy ścieralnej. Oznacza to, że w 2012 roku pomiary wykonano dla ostatniego roku eksploatacji nawierzchni drogowej, w roku 2013 w pierwszym roku eksploatacji nawierzchni, a w roku 2014 w drugim roku eksploatacji.

*Projekt RID - I/76 Ochrona przed hałasem drogowym*  
 Zadanie 2. Ocena rozwiązań materiałowo-technologicznych górnych warstw asfaltowych i zalecenia w zakresie ich hałaśliwości

---

Tab. 3.18 Porównanie wyników pomiarów zmiany hałasu w czasie eksploatacji

Rok	Poziom dźwięku LEQ [dB(A)]	Kategoria pojazdów		
		1	2a	2b
2012	74,83	226	4	41
2014	74,64	206	4	46
2012	72,84	247	9	66
2013	71,3	238	0	72
2012	73,73	270	7	52
2013	72,7	256	9	55
2014	75,21	265	2	51
2012	73,7	273	7	46
2013	72,8	271	0	56
2012	73,24	280	6	44
2014	75,31	280	15	43
2013	73,1	285	9	54
2014	74,89	282	18	48
2012	73,82	340	1	30
2013	71,9	343	0	31
2013	71,5	350	0	17
2014	73,59	348	1	11
2013	71,6	359	2	19
2014	73,99	365	0	15
2012	74,58	369	10	69
2014	76,66	375	4	65
2012	74,42	431	11	51
2013	73,8	417	12	52
2013	73,9	434	15	59
2014	75,52	443	10	54
2012	74,75	461	6	45
2013	73,9	467	4	50
2013	74,2	470	11	66
2014	76,46	484	17	66

Na podstawie analizy Tab. 3.18 stwierdzić można, że następuje zmiana redukcji poziomu hałasu komunikacyjnego w trakcie eksploatacji nawierzchni drogowej. Różnica między hałasem w ostatnim roku eksploatacji, a pierwszym wynosi około 1-2 dB(A). Można natomiast zaobserwować również zmianę w poziomie hałasu w roku 2014 rok po rekonstrukcji nawierzchni drogowej. Różnica między nową nawierzchnią w 2013 roku, a nawierzchnią w 2014 roku wynosi około 2 dB(A).

### 3.5. Zastosowanie sztucznych sieci neuronowych do predykcji hałasu

Pomiar hałasu wykonano urządzeniem SVAN 958, a pomiar struktury rodzajowej ruchu drogowego przeprowadzono z zastosowaniem dwóch kamer cyfrowych z niezależnym zasilaniem zewnętrznym. Punkt pomiarowy charakteryzował najbliższe otoczenie jednorodne pod względem akustycznym. W Tab. 3.19 podano wyniki pomiaru struktury rodzajowej w poszczególnych przedziałach oraz poziom hałasu w tych przedziałach. Podanie wyników badań umożliwia porównanie wartości hałasu komunikacyjnego w kolejnych latach.

Wartości podane w kolumnie pierwszej Tab. 3.19 oznaczają początek przedziału (interwału), w którym wykonano pomiar.

Tab. 3.19 Wyniki pomiaru struktury rodzajowej i poziomu hałasu

Godzina [hh:mm]	M [szt]	So [szt]	Sd [szt]	Sc [szt]	Scp [szt]	A [szt]	$L_{eq}$ [dB(A)]
Data: 01.09.2013 (niedziela)							
12:15	15	306	14	4	5	0	71,9
12:30	13	278	11	0	4	0	71,3
12:45	9	280	15	5	6	1	71,1
13:00	8	134	5	0	1	0	72,5
13:15	28	336	7	0	3	0	71,9
13:30	13	325	8	1	4	1	71,1
13:45	16	352	7	0	3	2	71,6
14:00	19	322	17	1	1	0	70,9
14:15	21	319	14	2	2	1	71,3
14:30	30	345	22	0	5	0	71,7
14:45	17	332	18	0	0	0	71,5
15:00	20	315	14	2	0	0	71,8
Data: 02.09.2013 (poniedziałek)							
06:30	2	219	37	8	53	1	72,7
06:45	3	237	48	8	51	1	73,1
07:00	4	375	59	14	55	1	73,9
07:15	1	401	66	4	49	0	73,9
07:30	2	320	51	12	42	0	74,1
07:45	4	387	58	9	33	0	74,2
08:00	1	403	39	4	43	0	73,6
08:15	0	353	44	8	45	1	71,5
08:30	3	380	45	2	57	0	74,4
08:45	0	279	37	0	49	2	73,0
09:00	0	236	44	1	64	0	72,9
09:15	1	229	48	0	54	0	73,1
09:30	0	156	22	0	52	0	72,3

## Zadanie 2. Ocena rozwiązań materiałowo-technologicznych górnych warstw asfaltowych i zalecenia w zakresie ich hałaśliwości

09:45	0	245	26	0	56	0	72,8
10:00	0	230	29	1	58	0	72,6
10:15	3	190	48	0	69	0	71,3
16:15	4	321	74	8	50	0	73,7
16:30	5	336	81	11	47	1	73,8
16:45	6	365	68	16	57	0	74,0
17:00	6	442	51	11	46	0	73,8
17:15	12	421	49	8	54	3	74,2
17:30	3	547	56	1	64	0	73,2
17:45	7	478	28	3	38	3	72,9
18:00	2	417	23	5	37	2	72,5
18:15	3	215	24	1	19	0	71,9

## Oznaczenia:

 $t_n$  - temperatura nawierzchni $v_w$  - prędkość wiatru $t_{p1}$  - temperatura powietrza na poziomie terenu $t_{p2}$  - temperatura powietrza-odczyt z sondy na wysokości 3m $w_1$  - wilgotność powietrza na poziomie terenu $w_2$  - wilgotność powietrza-odczyt z sondy na wysokości 3 m $c$  - ciśnienie powietrza

M - motocykle

So - samochody osobowe

Sd - samochody dostawcze

Sc - samochody ciężarowe

Scp - samochody ciężarowe z przyczepą

A - autobusy

Charakterystyczne dla pomiaru przeprowadzonego w niedzielę są motocykle, które mają istotny wpływ na poziom hałasu. Liczba samochodów osobowych w obu dniach pomiarowych kształtuje się podobnie. W poniedziałek zwiększyła się liczba samochodów dostawczych i znacznie wzrosła liczba samochodów z przyczepą. Liczba autobusów jest niewielka. Poziom hałasu  $L_{eq}$  w niedzielę kształtuje się w przedziale 70,9 dB(A)-72,5 dB(A), a w poniedziałek 71,3 dB(A)-74,4 dB(A). Wartość największa miała miejsce przy znacznej liczbie samochodów osobowych i ciężarowych z przyczepą. Wybrane przedziały czasu w poniedziałek dotyczą porannego i popołudniowego szczytu ruchu drogowego.

W procesie podejmowania decyzji dotyczących określonego przedsięwzięcia mamy do czynienia z potrzebą przewidywania przebiegu organizowanego procesu. Proces ten jest przedmiotem projektowania i planowania, ale przewidywanie efektów finalnych jest trudne do dokładnego, algorytmicznego określenia. Wynika to m.in. ze stochastycznego charakteru wpływu czynników kształtujących realizowany proces. Trudna lub niemożliwa do ustalenia bywa także liczba i charakter relacji wzajemnego oddziaływania czynników decydujących o przebiegu procesu. Zagadnienie to obserwowane jest w praktyce przy realizacji przedsięwzięć, a teoretycznie, notowane jest w teorii organizacji i teorii systemów [26].

Dla zilustrowania możliwości wykorzystania sztucznych sieci neuronowych (SSN) w rozwiązywaniu problemów pojawiających się w procesie rekonstrukcji warstwy ścierzalnej



nawierzchni autostrady opracowano model sztucznej sieci neuronowej [27]. Celem opracowania modelu jest wykonanie predykcji wartości  $L_{eq}$  dla ustalonych warunków.

Konstrukcja modelu.

Wejście stanowiące zbiór zmiennych charakteryzujący podejmowane przedsięwzięcie zgodnie z uprzednio wykonanymi pomiarami terenowymi. Niezbędna była ich identyfikacja i selekcja, prowadząca do określenia całego zbioru cech kształtujących oczekiwany poziom  $L_{eq}$  i równocześnie minimalizująca ilość informacji wymaganych do wystarczająco dokładnej jego oceny. Uzasadnione jest to także losowością czynników charakteryzujących warunki eksploatacji drogi. Na podstawie wykonanych badań sondażowych dla nowej warstwy ścieralnej nawierzchni zdecydowano o wprowadzeniu na wejściu do sieci siedmiu czynników charakteryzujących stan nawierzchni i jej otoczenie. Wektor wejścia miał postać następującą:

$$X(x_1, x_2, \dots, x_7) \quad (3.8)$$

Poszczególne jego współrzędne były następujące:

- $x_1$  - temperatura powierzchni jezdni,
- $x_2$  - prędkość wiatru,
- $x_3$  - temperatura powietrza na poziomie pomiaru hałasu,
- $x_4$  - temperatura powietrza na wysokości 3 m,
- $x_5$  - wilgotność powietrza na poziomie pomiaru hałasu,
- $x_6$  - wilgotność powietrza na wysokości 3 m,
- $x_7$  - ciśnienie atmosferyczne.

Dla każdej ze współrzędnych wektora wejścia zdefiniowano zastosowaną miarę standaryzując ją według zasad statystyki matematycznej w przedziale (0:1). Dla potrzeb uczenia i konstruowania SSN przygotowano wyniki zaobserwowanych w roku 2013 pomiarów. Prowadzone badania pozwoliły na ograniczenie zakresu informacyjnego wartości  $x_1$  dotyczącej temperatury powietrza jezdni w ustalonej ilości informacji podawanych numerycznie w postaci współczynnika informacyjnego pobudzenia sieci  $p_{ij}$ . Podobne były rozstrzygnięcia odnoszące się do każdego wektora wejścia tj.  $x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7$ .

Wyjście  $Z$  omawianej sieci jest informacją jednoelementową będącą oszacowaniem wartości  $L_{eq}$  w rozpatrywanym przedsięwzięciu. Jest ono odpowiedzią sieci na informację wprowadzoną na wejściu w postaci wektora  $X$ . Warstwa wyjścia zbudowana była z jednego neuronu. Na potrzeby zadania stworzono sieci o następującej topologii:

- typ sieci: perceptron wielowarstwowy (MLP),
- algorytm uczenia: BFGS,
- liczba neuronów w warstwie ukrytej: 5,
- funkcja agregacji: tangens hiperboliczny,
- funkcja wyjścia: liniowa.

Ze względu na to, że dane poddawane analizie stanowiły zbiór sześćdziesięciu czterech wartości, co stanowi małą ilość przy analizie z wykorzystaniem sieci neuronowych, wykorzystano opcję wielokrotnego próbkowania. Opcja ta pozwala na stworzenie zespołu sieci neuronowych (w zadaniu wykorzystano 3 sieci neuronowe), dla każdej sieci definiowany był inny zbiór uczący, testowy oraz walidacyjny co wprowadza zmienność do algorytmów uczenia każdej pojedynczej sieci. Ponadto należy zwrócić uwagę na to, że wyniki badań przeprowadzane zostały w kolejnych latach (2012 rok - przed rekonstrukcją i 2013 rok - po

*Projekt RID - I/76 Ochrona przed hałasem drogowym*  
 Zadanie 2. Ocena rozwiązań materiałowo-technologicznych górnych warstw asfaltowych i zalecenia w zakresie ich hałaśliwości

rekonstrukcji nawierzchni), co daje szerszy obraz predykcji danych na badanych odcinku autostrady A73. Uzyskane wyniki podano w Tab. 3.20

Tab. 3.20 Predykcja wartości  $L_{eq}$

Lp	$L_{eq}$ [dB(A)]	Predykcja				Poprawność 1:5 [%]
		$S_1$	$S_2$	$S_3$	S	
	1	2	3	4	5	
1	71,900	71,624	71,696	71,915	71,745	0,998
2	71,900	72,117	71,982	71,821	71,973	0,999
3	71,100	71,465	71,368	70,975	71,269	0,998
4	71,600	71,770	71,362	71,676	71,603	1,000
5	70,900	71,114	71,371	71,165	71,217	0,996
6	71,300	71,204	71,259	71,266	71,243	0,999
7	71,700	71,938	71,673	71,756	71,789	0,999
8	71,500	71,209	71,379	71,101	71,230	0,996
9	71,800	71,694	71,485	71,770	71,650	0,998
10	73,100	73,086	72,614	73,111	72,937	0,998
11	73,900	73,874	73,798	74,367	74,013	0,998
12	73,900	74,400	74,287	73,871	74,186	0,996
13	74,100	74,110	74,034	74,045	74,063	0,999
14	74,200	74,377	74,214	74,179	74,257	0,999
15	73,600	74,382	74,133	73,634	74,050	0,994
16	71,500	71,572	72,584	71,491	71,882	0,995
17	74,400	73,969	73,914	74,341	74,075	0,996
18	73,000	72,883	72,376	73,031	72,764	0,997
19	72,900	72,826	72,973	72,902	72,900	1,000
20	73,100	73,288	72,985	73,039	73,104	1,000
21	72,800	72,865	72,378	72,793	72,679	0,998
22	71,300	71,316	71,447	71,325	71,363	0,999
23	74,000	74,277	74,377	74,061	74,238	0,997
24	74,200	74,093	74,256	74,217	74,189	1,000
25	73,200	73,144	73,155	73,193	73,164	1,000
26	72,900	72,865	72,870	72,929	72,888	1,000
27	71,900	71,929	71,723	71,897	71,850	0,999

Oznaczenia:  $L_{eq}$  - równoważny poziom dźwięku,

$S_1, S_2, S_3$  - predykcja odpowiednio dla sieci pierwszej, drugiej i trzeciej

S - predykcja dla zespołu sieci.

Jakość walidacji wynosiła średnio 98 %, co należy uznać za wynik poprawny na tym poziomie tworzenia sieci neuronowych.

Zastosowanie sieci neuronowych pozwala na szczegółową analizę aktualnie rozpatrywanego problemu, łącznie z interpolacją uzyskanych wyników i adaptacją ich do modeli rozpatrywanych w innych warunkach. Parametry wejścia, które stanowią zbiór danych rzeczywistych wymagają odpowiedniej interpretacji (tj. jaka wartość ma być prognozowana, które z nich stanowią wejścia jakościowe, a które ilościowe). Bazę danych zaprezentować można w postaci macierzy złożonej z wierszy i kolumn, które wypełniają nie tylko liczby, ale także charakterystyki jakościowe i nazwy. Istotne jest odpowiednie określenie struktury baz danych

oraz analiza danych eksperymentalnych, bowiem sieć była uczona według danych zebranych dla normalnych warunków ruchu, a nie miała styczności z sytuacją, gdy występuje np. jedna grupa pojazdów i dlatego nie można oczekiwać od stworzonego algorytmu prawidłowego prognozowania wartości  $L_{Aeq}$  dla warunków znacząco odmiennych od tych dla których był tworzony. Stosowanie liniowej funkcji wyjściowej pozwala na wychodzenie w sposób nieznaczny poza zakresy wprowadzonych danych (np. nieco większe lub mniejsze natężenie ruchu samochodów osobowych), jednak nie jest możliwe prawidłowe modelowanie zjawiska dla nieznanymi wcześniej parametrów. Dokonanie oceny poprawności uzyskanych wyników możliwe jest dopiero po wykonaniu pomiarów dla sytuacji zbliżonych do zadawanych algorytmowi.

### 3.6. Podsumowanie

Przedstawione problemy hałaśliwości nawierzchni z asfaltu porowatego wymagają uzupełnienia a w przyszłości również rozszerzenia o okoliczności w jakich odbywa się eksploatacja warstw porowatych, szczególnie kompaktasfaltu. Klasyczna eksploatacja nie uwzględnia różnych obciążeń i natężeń na poszczególnych pasach ruchu. Ponadto w Holandii jako podłoże często stosuje się mieszanki kruszywowe niezwiązane co może być przyczyną rozdzielania poziomych ułożonych warstw. Istotnym zagadnieniem jest opisany wcześniej problem szwów pionowych wykonywanych warstw w określonej technologii:

- na różnych działkach równoległych, ale każdej warstwy osobno (w pojedynczej operacji);
- na różnych działkach równoległych, ale dwóch warstw w jednej operacji technologicznej.

Innym zagadnieniem jest utrzymanie warstw porowatych w czasie eksploatacji. Istotne problemy to:

- zanieczyszczenie miejscowe z powodu wypadku (wypływ płynów eksploatacyjnych lub toksycznych będących przewożonym ładunkiem),
- ubytki miejscowe kruszywa spowodowane procesem czyszczenia (ruch obrotowy szczotek),
- zanieczyszczenia miejscowe spowodowane kolizją ze zwierzęciem,
- pył ze starych opon poruszających się samochodów,
- uszkodzenia bieżnika z powodu wysypującego się materiału jako przewożonego ładunku np. materiał szklany klinujący się w porach warstwy porowatej,

oraz eksploatacja w warunkach zimowych np.

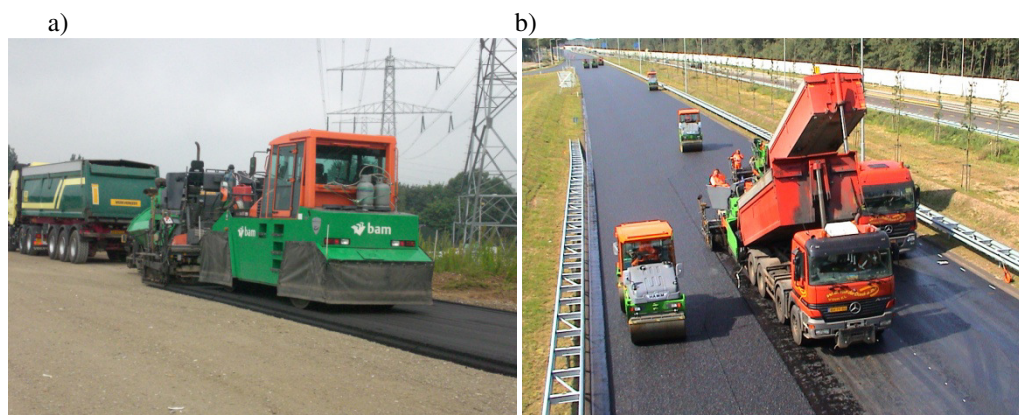
- tworzenie się lokalnych miejsc poślizgu (lokalne zaklinowanie porów),
- zaklinowanie porów z powodu źle dobranych składników do posypywania np. granulacja soli.

Należy pamiętać że całkowicie zamknięta warstwa porowata nie może być wyczyszczona i należy wykonać warstwę zabezpieczającą dla ruchu, jeśli z cyklu życia wynika, że rekonstrukcja nie jest jeszcze przewidziana. Jeżeli jeden z pasów ruchu (najczęściej prawy) nie spełnia swojej funkcji to należy wykonać doraźną naprawę na tym pasie, który będzie eksploatowany aż do planowanej rekonstrukcji na całej szerokości. Rozwiązanie takie jest jednak bardzo kosztowne. W skrajnym przypadku sytuacja taka może wystąpić w okresie utrzymania zimowego. Wykonanie nowej nawierzchni na jednym pasie również jest możliwe,

Zadanie 2. Ocena rozwiązań materiałowo-technologicznych górnych warstw asfaltowych i zalecenia w zakresie ich hałaśliwości

ale wymaga to zastosowania odpowiednich środków poprawiających trwałość takiej nawierzchni.

Podłoże powinno być na całej powierzchni ustabilizowane i nośne, czyste, bez zanieczyszczeń i pozostałości luźnego kruszywa oraz wyprofilowane, równe i bez kolein. Przykład takiego podłoża pokazano na Fot. 3.19 a), gdzie warstwa mieszanki układana jest na nowej warstwie z kruszywa niezwiązanego hydraulicznie. Na uwagę zasługuje przykład pokazany na rysunku 45 b), gdzie układarki pracują przy układaniu drugiej warstwy porowatej obok siebie.



Fot. 3.19 Widok układania MMA a) na podłożu warstwa pierwsza b) na warstwie pierwszej warstwa druga

Ze względu na trudność z manewrowaniem samochodów z mieszanką pod ostatnią układarkę często szerokość tej działki roboczej jest mniejsza w porównaniu z pozostałymi. Widok ustawienia układarek wskazuje, że układarka na pierwszej działce pracuje najszybciej. Jest to prawidłowa kolejność przyjętej wydajności, gdyż opóźnienie w budowywania mieszanki na tej działce powodowałoby opóźnienie na pozostałych, a w konsekwencji opóźnienie wykonania złączy poziomych i spoin poprzecznych oraz podłużnych. Z punktu widzenia organizacji robót można stwierdzić, że na tej działce musi pracować najlepiej przygotowana grupa robotników. Bardzo ważne jest również korygowanie błędów w dostarczaniu mieszanki na budowę. Z praktyki wynika, że takie sytuacje zdarzają się i wówczas samochody manewrują dwa, a nawet trzy razy pod różne układarki w celu wyrównania tempa robót. Taki stan musi być utrzymany do przyjazdu kolejnej jednostki transportowej z wytwórni mieszanki. W wymaganiach technicznych podano, że taka technologia robót ma zapewnić prawidłowe i szczelne połączenie układanych pasów warstwy technologicznej. Dla spełnienia tego warunku należy zapewnić minimalną odległość między układarkami. Zaleca się, aby stanowiła ona odcinek nie większy niż długość jednej układarki. Warstwę następną można układać na działkach usytuowanych odwrotnie tj. tak jak to pokazano na rysunku 33 b). Poza tym szerokość pasa dla ruchu ciężkiego jest najczęściej większa niż pasów pozostałych. Jako pierwszy do wykonania ustala się pas dla ruchu ciężkiego. Mija się w ten sposób pionowe połączenia spoin usytuowane w warstwie poprzedniej.

Pewne zakłócenia powoduje również praca układarek pod wiaduktami. Wywrotki nie mogą podnosić skrzyni na pełną wysokość i w związku z tym, przed samym wiaduktem dosypują mieszankę do zbiorników układarki i odjeżdżają przed wiadukt. Wyładowana ilość mieszanki powinna wystarczyć do wykonania odcinka pod wiaduktem. Jest to inna

technologia rozładunku powodująca zakłócenia procesu wbudowywania mieszanki szczególnie w sytuacji, gdy brakuje samochodów i jeden rozładowujący musi wyładowywać mieszankę do kilku układarek. W tym przykładzie widać jak ważne jest zapobieganie zakłóceniom dostaw i monitorowanie przejazdu każdej jednostki transportowej.

W opracowaniu została przedstawiona innowacyjna technologia asfaltu porowatego dwuwarstwowego. Aktualnie w Holandii jest to najbardziej skuteczna technologia nawierzchni redukująca hałas komunikacyjny. Istnieje również bardzo istotne uzasadnienie doboru tej technologii ze względu na zrównoważony rozwój.

Nawierzchnie z asfaltu porowatego istotnie redukują hałas komunikacyjny. Należy jednak zaznaczyć, że posiadają mniejszą trwałość niż tradycyjne technologie. W Holandii dąży się do zwiększenia trwałości, okres gwarancji wydłuża się z 8 lat do 12 lat. Dzięki odpowiedniej technologii wykonania nawierzchni, która została opisana w opracowaniu, istnieje możliwość zachowania właściwości akustycznych nawierzchni przez cały okres eksploatacji. W ciągu całego cyklu życia nawierzchni następuje spadek pochłaniania hałasu o około 2 dB(A). Odpowiednia technologia produkcji, transportu i wbudowania mieszanki mineralno-asfaltowej ma kluczowe znaczenie przy wykonaniu nawierzchni z asfaltu porowatego. Trwałość nawierzchni porowatych zależy od prawidłowego wykonania, a także od odpowiedniego utrzymania nawierzchni ze szczególnym uwzględnieniem utrzymania zimowego.

Na podstawie własnych pomiarów terenowych wykazano, że nawierzchnia z asfaltu porowatego dwuwarstwowa redukuje hałas o około 2 dB(A) więcej niż nawierzchnia jednowarstwowa. Wpływa ona również na bezpieczeństwo ruchu drogowego poprzez dodatkowe zmniejszenie zjawiska aquaplaningu. Najwyższa jakość wykonania i utrzymania dwuwarstwowego asfaltu porowatego umożliwia znaczącą redukcję hałasu i zastąpienie stosowania innych kosztownych technik eliminujących hałas.

### 3.7. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań i analiz sformułowano następujące wnioski:

1. Zarządzanie cyklem życia nawierzchni z asfaltu porowatego na etapie projektowania powinno uwzględniać już na etapie programowania realizacji przedsięwzięcia strategię utrzymania nawierzchni z zastosowaniem danych o stanie technicznym nawierzchni autostrady.
2. Opracowane wyniki z zastosowaniem sieci neuronowych dla warstwy z asfaltu porowatego stanowią cenny materiał wykonany w warunkach ruchu drogowego Holandii i mogący służyć do prognozowania hałasu i projektowania rekonstrukcji warstw po okresie gwarancji z ewentualnym przesunięciem czasowym. Procesy te powinny być wyznaczone odpowiednio wcześniej, już na etapie ustalania okresu gwarancji dla danego obiektu. W tym kontekście przydatne mogą być wyniki predykcji wartości hałasu komunikacyjnego na danych odcinkach autostrady. Jednym z kryteriów oceny stanu danej nawierzchni jest zapewnienie bezpieczeństwa użytkownikom drogi oraz odpowiedniego klimatu akustycznego w otoczeniu drogi.
3. Opracowany algorytm sieci neuronowych może być wykorzystany w procesie lokalizacji ekranów akustycznych oraz modelowania wartości hałasu komunikacyjnego bez konieczności prowadzenia pomiarów terenowych, co znacząco przyspiesza proces projektowania.
4. Przy zastosowaniu liniowej funkcji aktywacji (umożliwiającej poszerzenie obszaru, z którego pochodzą dane wejściowe - ze względu na inną strukturę rodzajową ruchu drogowego w Holandii i Polsce) możliwa jest adaptacja zaproponowanego modelu do warunków polskich.
5. Opracowane wyniki pomiarów terenowych wykonanych w Holandii dla porowatych nawierzchni asfaltowych umożliwiają określenie zależności natężenia ruchu drogowego, struktury rodzajowej pojazdów oraz czynników atmosferycznych i poziomu hałasu komunikacyjnego.
6. Cykliczne wykonywanie pomiarów w tych samych punktach pomiarowych umożliwia określenie wpływu stanu nawierzchni na zmianę skuteczności pochłaniania poziomu dźwięku przez porowate nawierzchnie asfaltowe.
7. Na podstawie autorskich pomiarów terenowych opracowano analizę wyników pomiarów w miejscowości Venlo, która wykazała po wykonaniu rekonstrukcji spadek poziomu hałasu komunikacyjnego o 1,7 dB(A). Analiza wyników pomiarów w miejscowości Boxmeer wykazała po wykonaniu rekonstrukcji spadek poziomu hałasu komunikacyjnego o 1,12 dB(A).
8. Zaobserwowane wyniki spadku skuteczności redukcji hałasu komunikacyjnego świadczą o tym, że dzięki odpowiednim zabiegom utrzymaniowym istnieje możliwość zachowania odpowiednich właściwości akustycznych nawierzchni w całym okresie eksploatacji.
9. Prowadzone badania terenowe umożliwiają prognozowanie robót remontowych w zależności od stanu nawierzchni na danym odcinku autostrady.
10. Autorzy planują dalsze monitorowanie klimatu akustycznego na wybranych odcinkach autostrad holenderskich, a także przygotowanie kolejnych sztucznych sieci neuronowych opartych na coraz większym zbiorze danych z wielu lat pomiarów. Planuje się też przygotowanie sieci neuronowych odpowiednich do polskich warunków.

## **4. ZMIANA HAŁASU DROGOWEGO W TRAKCIE EKSPLOATACJI NAWIERZCHNI - POMIARY DŁUGOOKRESOWE METODĄ CPX**

Opracowanie wykonano w oparciu o wyniki własnych pomiarów hałaśliwości nawierzchni drogowych przeprowadzonych w ciągu ostatnich 9 lat na terenie Europy.

Celem rozdziału jest określenie wpływu starzenia się nawierzchni asfaltowych na ich hałaśliwość z uwzględnieniem ich podziału na tradycyjne i specjalne - o obniżonej hałaśliwości. Wyróżniono sześć typów nawierzchni z mieszanek mineralno-asfaltowych. Do tradycyjnych zaliczono nawierzchnie wykonane z betonu asfaltowego, mastyksu grysowego oraz tzw. cienkie warstwy asfaltowe. Nawierzchnie specjalne reprezentowane są przez asfalty porowate jedno i dwuwarstwowe oraz mieszanki asfaltowe z dodatkiem gumy. W każdym z tych typów występują warstwy ścieralne charakteryzujące się różnym maksymalnym uziarnieniem kruszywa.

Należy podkreślić, że na potrzeby tego raportu, z powodu założonego budżetu i ograniczeń czasowych, nie wykonywano specjalnych dedykowanych wieloletnich badań wpływu starzenia się na hałaśliwość nawierzchni drogowych. Raport opiera się na wynikach prowadzonych przez autora badań hałaśliwości kilkudziesięciu odcinków testowych ulokowanych na terenie Europy. Dla zdecydowanej większości odcinków pomiary wykonywano kilkakrotnie na przestrzeni kilku lat, rozpoczynając zwykle miesiąc po ułożeniu danej nawierzchni. Dlatego też w niniejszym raporcie przy określaniu akustycznego starzenia się nawierzchni dana warstwa ścieralna o konkretnym maksymalnym uziarnieniu reprezentowana jest zwykle przez tylko jeden bądź dwa odcinki testowe. Ułożone na nich warstwy ścieralne nie odbiegały parametrami technicznymi od innych nawierzchni tego samego typu, jednakże należy być ostrożnym w rozszerzaniu wyciąganych wniosków na cały typ nawierzchni i traktować ten raport techniczny bardziej jako studium konkretnego przypadku.

### **4.1. Wybrane odcinki testowe**

Zmiany hałasu drogowego w trakcie eksploatacji nawierzchni zostały przeanalizowane w oparciu o wyniki pomiarów hałaśliwości nawierzchni wybranych 26 odcinków testowych ulokowanych na terenie Europy. Dla każdego odcinka pomiary wykonywano zwykle corocznie, na przestrzeni kilku lat, pierwszy pomiar przeważnie w ciągu miesiąca od daty ułożenia danej nawierzchni. Na potrzeby analizy wyszczególniono łącznie sześć różnych typów nawierzchni z mieszanek mineralno-asfaltowych w dwóch grupach. Do grupy nawierzchni tradycyjnych zaliczono warstwy ścieralne wykonane z betonu asfaltowego (ang. *Dense Asphalt Concrete* - DAC), mastyksu grysowego (ang. *Stone Mastic Asphalt* - SMA) oraz tzw. cienkie warstwy asfaltowe (ang. *Thin Asphalt Layer* - TAL). Druga grupa - nawierzchnie specjalne o obniżonej hałaśliwości - reprezentowana jest przez asfalty porowate jednowarstwowe (ang. *Porous Asphalt Concrete* - PAC) i dwuwarstwowe (ang. *Double-layer Porous Asphalt Concrete* - DPAC) oraz mieszanki asfaltowe z dodatkiem gumy (ang. *Asphalt Rubber* - AR). W każdym z wybranych sześciu typów występują warstwy ścieralne charakteryzujące się różnym maksymalnym uziarnieniem kruszywa (8, 11 i 16 mm).

*Projekt RID - I/76 Ochrona przed hałasem drogowym*  
Zadanie 2. Ocena rozwiązań materiałowo-technologicznych górnych warstw asfaltowych i zalecenia w zakresie ich hałaśliwości

Dostępne dane techniczne nawierzchni na wybranych odcinkach testowych przedstawiono w Tab. 4.1.

Tab. 4.1 Dane techniczne nawierzchni na wybranych odcinkach testowych

Grupa	Typ	Oznaczenie	Data budowy	Maksymalny rozmiar kruszywa	Grubość warstwy	Zawartość wolnych przestrzeni	Lepiszczce	Udział masowy lepiszcza	Masowy udział gumy w lepiszczu	Dopuszczalna prędkość	AADT
Nawierzchnie tradycyjne	DAC	DAC 8	2010-06-15	8 mm	32 mm	n/d	B 70/100	n/d	-	80 km/h	1 600
		DAC 11	2010-06-15	11 mm	32 mm	n/d	B 70/100	n/d	-	80 km/h	1 600
	SMA	SMA 8	2010-06-15	8 mm	32 mm	n/d	B 70/100	n/d	-	80 km/h	1 600
		SMA 11	2010-06-15	11 mm	32 mm	n/d	B 70/100	n/d	-	80 km/h	1 600
		SMA 16 (1)	2006-08-04	16 mm	40 mm	2.6 %	B 70/100	5.9 %	-	100 km/h	6 100
		SMA 16 (2)	2002-08-01	16 mm	35 mm	2.6 %	B 70/100	5.9 %	-	90 km/h	1 200
		SMA 16 (3)	2009-04-23	16 mm	39 mm	2.6 %	B 50/70	5.9 %	-	90 km/h	5 000
		SMA 16 (4)	2010-08-01	16 mm	60 mm	n/d	B 70/100 Remix plus	n/d	-	100 km/h	7 000
		SMA 16 (5)	2013-12-03	16 mm	39 mm	2.6 %	B 50/70	5.9 %	-	90 km/h	18 900
		SMA 16 (6)	2014-06-23	16 mm	17 mm	n/d	B 70/100 Remix	n/d	-	90 km/h	2 700
	SMA 16 (7)	2011-11-09	16 mm	13 mm	n/d	B 70/100 Remix	n/d	-	70 km/h	2 200	
	SMA 16 (8)	2010-08-01	16 mm	35 mm	2.6 %	B 70/100	5.9 %	-	90 km/h	2 700	
TAL	TAL 11	2010-05-21	11 mm	17 mm	n/d	B 70/100	n/d	-	90 km/h	2 500	
	TAL 16	2004-06-24	16 mm	20 mm	n/d	B 50/70	n/d	-	110 km/h	7 100	
Nawierzchnie specjalne	AR	OGAR 8	2009-09-15	8 mm	25 mm	15 - 19 %	n/d	8.3 - 9.0 %	16 - 20 %	50 km/h	4 700
		OGAR 11	2007-09-15	11 mm	30 mm	15 - 19 %	n/d	8.3 - 9.0 %	16 - 20 %	70 km/h	2 600
		GGAR 8	2009-09-15	8 mm	25 mm	2 - 2.5 %	n/d	8.3 - 9.0 %	16 - 20 %	50 km/h	4 600
		GGAR 11	2007-08-15	11 mm	40 mm	2 - 2.5 %	B 70/100	8.3 - 9.0 %	16 - 20 %	110 km/h	14 600
		GGAR 16	2007-08-15	16 mm	40 mm	2 - 2.5 %	B 70/100	8.3 - 9.0 %	16 - 20 %	110 km/h	17 000
	PAC	PAC 11 (1)	2010-06-20	11 mm	30 mm	20 - 25 %	B 70/100	6.3 %	-	90 km/h	7 700
		PAC 11 (2)	2010-06-20	11 mm	30 mm	20 - 25 %	B 70/100	6.3 %	-	90 km/h	3 300
		PAC 16	2008-10-27	16 mm	39 mm	n/d	PMB 100/150-75	n/d	-	110 km/h	7 900
	DPAC	DPAC 11/11 (1)	2012-07-01	11 / 11 mm	37 / 30 mm	20 - 25 %	PMB 70/100-48	6.3 %	-	90 km/h	7 700
		DPAC 11/11 (2)	2012-07-01	11 / 11 mm	37 / 30 mm	20 - 25 %	PMB 70/100-48	6.3 %	-	90 km/h	3 300
		DPAC 11/16 (1)	2010-06-20	11 / 16 mm	30 / 50 mm	20 - 25 %	B 70/100	6.3 %	-	90 km/h	8 200
		DPAC 11/16 (2)	2010-06-20	11 / 16 mm	30 / 50 mm	20 - 25 %	B 70/100	6.3 %	-	90 km/h	3 500

AADT - average annual daily traffic

Wybrane odcinki nawierzchni z betonu asfaltowego i mastyksu grysowego nie odbiegały swym składem i właściwościami od nawierzchni tego typu stosowanych w Polsce.

Odmienne zaś od spotykanych w naszym kraju były badane cienkie warstwy asfaltowe - nie posiadały one właściwości istotnie redukujących hałas i dlatego należy je klasyfikować raczej jako mieszanki SMA układane w postaci cienkiej warstwy o grubości 20 - 30 mm.

Nawierzchnie z asfaltów porowatych jednowarstwowych miały właściwości typowe dla tego typu warstw ściernalnych stosowanych powszechnie w Europie. Wśród nawierzchni z asfaltów porowatych dwuwarstwowych znalazła się nietypowa nawierzchnia, gdzie na istniejącą nawierzchnię porowatą jednowarstwową po 2 latach eksploatacji i po jej uprzednim wyczyszczeniu nałożono drugą warstwę asfaltu porowatego o tym samym maksymalnym uziarnieniu kruszywa (11 mm).

Testowane mieszanki asfaltowe z dodatkiem gumy występowały w dwóch odmianach: o nieciąglym uziarnieniu (ang. *Gap-Graded Asphalt Rubber* - GGAR) oraz porowate (ang. *Open-Graded Asphalt Rubber* - OGAR). Odróżniają się one od tradycyjnych nawierzchni asfaltowych znacznie wyższą zawartością lepiszcza (o 50 - 100 % więcej), które w około 20 % składa się z granulatu gumowego pochodzącego zwykle ze zużytych opon.

## 4.2. Metoda pomiarowa

Do oceny hałaśliwości nawierzchni stosuje się dwie metody pomiarowe: metodę statystycznego przejazdu - SPB (ang. *Statistical Pass-By Method*) oraz metodę „bliskiego



mikrofonu” zwaną także metodą przyczepową - CPX (ang. *Close Proximity Method*). Obie są znormalizowane [28, 29] i powszechnie stosowane na całym świecie poza Stanami Zjednoczonymi Ameryki Północnej, gdzie dominuje trzecia metoda - OBSI (ang. *On-Board Sound Intensity*) [30].

**Metoda SPB** (ang. *Statistical Pass-By Method*) ISO 11819-1:1997 [28] polega na bezpośrednim pomiarze poziomu hałasu emitowanego przez pojedyncze, przypadkowe pojazdy uczestniczące w rzeczywistym potoku ruchu. Pomiarom podlega również ich prędkość. Hałas mierzy się za pomocą mikrofonu umieszczonego na poboczu drogi na wysokości 1.2 m w stosunku do poziomu nawierzchni drogowej w odległości 7.5 m od środka pasa ruchu, którym poruszają się pojazdy. Metoda ta uwzględnia całkowity hałas pojazdów oraz właściwości nawierzchni wpływające na rozprzestrzenianie się dźwięku.

**Metoda CPX** (ang. *Close Proximity Method*) ISO/FDIS 11819-2:2016 [29], zasadniczo uwzględnia tylko wpływ nawierzchni na zjawisko generowania hałasu przez toczące się opony, nie uwzględnia natomiast wpływu nawierzchni na rozprzestrzenianie się dźwięku. W metodzie tej bierze się pod uwagę wyłącznie hałas toczenia opon pomijając pozostałe źródła dźwięku poruszającego się pojazdu.

Należy w tym miejscu nadmienić, że celem realizowanego w latach 2013-2016 w ramach 7-go Programu Ramowego Unii Europejskiej projektu ROSANNE [31] był rozwój i ujednolicenie metod pomiarowych właściwości przeciwpoślizgowych, hałaśliwości i oporu toczenia nawierzchni drogowych w ramach przygotowań do standaryzacji. Głównym celem zadania WP 2 tego projektu, dotyczącego hałaśliwości nawierzchni, był rozwój i doskonalenie aktów normalizacyjnych w zakresie prac grupy roboczej CEN / TC 227 / WG 5. W odniesieniu do wpływu nawierzchni drogowych na emisję hałasu, głównym zadaniem było połączenie istniejących dwóch metod pomiarowych SPB i CPX w ujednoloną, stabilną i niezawodną metodę oceny akustycznych właściwości nawierzchni drogowej. W czasie prac przeprowadzonych w ramach projektu ROSANNE, w których autor tego raportu technicznego aktywnie uczestniczył, na podstawie bardzo obszernej bazy danych pomiarowych, wyznaczono silną liniową zależność pomiędzy oboma metodami. Pozwoliło to na przedstawienie propozycji zintegrowanej procedury pomiarowej oceny wpływu nawierzchni drogowej na emitowany hałas. Procedura ta została oparta wyłącznie na metodzie CPX. Reasumując można stwierdzić, że obecnie metoda CPX jest metodą silnie preferowaną podczas gdy metoda SPB, choć nadal obowiązująca, będzie wygaszana.

Metoda CPX dedykowana jest do:

- oceny własności akustycznych nawierzchni ułożonej praktycznie w każdym miejscu i czasie, w celu sprawdzenia ich zgodności ze specyfikacją danej nawierzchni,
- sprawdzenia wpływu utrzymania i stanu technicznego nawierzchni (zużycie, uszkodzenia, zanieczyszczenia) na jej właściwości akustyczne,
- sprawdzenie jednorodności nawierzchni,
- prac badawczo-rozwojowych nad cichymi nawierzchniami i nad zjawiskiem współpracy opony z nawierzchnią.

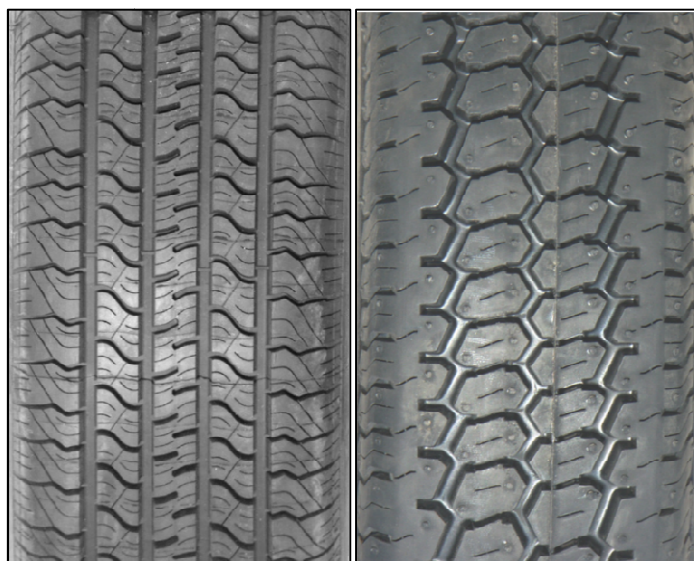
Badania hałasu drogowego przeprowadzone metodą CPX polegają na pomiarze poziomu hałasu za pomocą dwóch mikrofonów zainstalowanych w pobliżu styku opony z nawierzchnią (ustawione w odległości 200 mm od płaszczyzny pionowej przechodzącej przez

oś koła, odsunięte 200 mm na zewnątrz od boku opony oraz uniesione 100 mm nad nawierzchnią). Koło badane umieszczone jest w specjalnie skonstruowanej przyczepie badawczej, która może być, ale nie musi, wyposażona w komorę osłonową. Osłona ta redukuje hałas zakłócający pochodzący przeważnie od pozostałych kół pojazdu, od innych przejeżdżających pojazdów oraz hałas aerodynamiczny wiatru. Osłona powinna być skonstruowana w taki sposób, aby nie wprowadzać niepożądanych odbić dźwięku wewnątrz komory. W chwili obecnej na świecie istnieje zaledwie kilkanaście przyczep do pomiaru hałasu drogowego zgodnie z metodą CPX. Jedną z nich jest przyczepa skonstruowana i zbudowana w Politechnice Gdańskiej - *Tiresonic Mk 4* (Fot. 4.1).



Fot. 4.1 Przyczepa pomiarowa Tiresonic Mk 4 do badania hałasu opon samochodowych i nawierzchni drogowych zaprojektowana i wykonana w Politechnice Gdańskiej

Pomiary prowadzone są w polu bliskim, a mikrofony poruszają się wraz z pojazdem. Do oceny nawierzchni wykorzystuje się dwie opony referencyjne (Fot. 4.2) zgodnie z aktualną wersją specyfikacji technicznej ISO/DTS 11819-3:2016 [11]: jedną reprezentującą hałas samochodów osobowych - opona P225/60R16 Uniroyal Tigerpaw „Standard Reference Test Tyre” (SRTT) według standardu ASTM F2493-14 - oznaczoną symbolem P1 oraz jedną reprezentującą hałas samochodów ciężarowych - 195R14C Avon Supervan AV4 wyprodukowaną przez Cooper Tire & Rubber Co. w Wielkiej Brytanii - oznaczoną symbolem H1. Opony te są oficjalnie stosowane od 2008 roku. Ciśnienie pompowania dla obu opon jest jednakowe i wynosi 200 kPa „na zimno”. Obciążenie badanego koła wynosi 3200 N.



Fot. 4.2 Rzeźby bieżnika opon referencyjnych P1 (z lewej) i H1 (z prawej) aktualnie wykorzystywanych do pomiarów metodą CPX

W roku 2016 do ostatniej wersji normy ISO/FDIS 11819-3 [11] wprowadzono ograniczenia odnośnie dopuszczalnej twardości wykorzystywanych opon referencyjnych, która musi się zawierać w zakresie 62-73 Shore A dla opony P1 oraz 60-73 Shore A dla opony H1. Niezależnie, w procedurze przetwarzania wyników pomiarów hałaśliwości nawierzchni, stosuje się korekcję z uwagi na różnicę aktualnej twardości stosowanych opon w stosunku do twardości referencyjnej wynoszącej 66 Shore A.

Pomiary hałasu wykonuje się kolejno dla każdej z opon referencyjnych zwykle przy dwóch referencyjnych prędkościach toczenia: 50 km/h i 80 km/h. Podstawową prędkością referencyjną jest 80 km/h. Dla dróg szybkiego ruchu pomiary prowadzi się także dla prędkości 110 km/h. Na określonym dystansie, wyodrębniając z odcinka segmenty o długości 20 m, mierzy się tercjowe widmo dźwięku w zakresie 315 - 5000 Hz (oraz opcjonalnie poziom dźwięku). Równolegle dla każdego segmentu rejestruje się rzeczywistą prędkość i temperaturę powietrza. Opcjonalnie system może rejestrować temperaturę badanej nawierzchni, a także pozycję geograficzną GPS.

### **4.3. Przygotowanie danych pomiarowych**

Pomiary hałaśliwości nawierzchni drogowych wykorzystane na potrzeby niniejszego raportu technicznego były wykonane w latach 2008-2016. W tym okresie projektowana norma ISO 11819-2, zgodnie z którą prowadzono wszystkie pomiary, podlegała pewnym zmianom, które wynikały z rozwoju wiedzy dotyczącej wpływu różnych parametrów na mierzony hałas w relacji opona/nawierzchnia. Jak już wspomniano, od 2008 roku wprowadzono dwie nowe opony referencyjne - wcześniej stosowano komplet czterech innych opon. Przed rokiem 2008 znany był już wpływ prędkości pomiarowej na hałas w zależności od typu nawierzchni (asfaltowe nieprzepuszczalne, porowate i cementowe). Po roku 2008 regulowany był już przez normę, choć następnie jeszcze kilkakrotnie modyfikowany, wpływ temperatury powietrza (również w zależności od typu nawierzchni). Dopiero w roku 2016 określono ostatecznie i implementowano w projektowanym standardzie wpływ twardości

ogumienia na mierzony hałas. Wytyczne odnośnie opon referencyjnych oraz korekcje mierzonych poziomów dźwięku ze względu na temperaturę powietrza i twardość opon wprowadzono finalnie do standardu w 2016 roku w postaci specyfikacji technicznej ISO/DTS 11819-3 [32]. Aktualnie w ramach grupy roboczej ISO/TC 43/SC 1/WG 27 trwają prace (w których również uczestniczy autor niniejszego raportu) nad osobnym standardem, w formie specyfikacji technicznej, traktującym o wpływie temperatury na pomiary hałaśliwości nawierzchni (ISO/DTS 13471). Prowadzone są dalsze prace badawcze w kierunku doskonalenia metod pomiarowych, proponujące między innymi korekcje wprowadzane dla poszczególnych częstotliwości widma dźwięku a nie, jak dotychczas, dla całkowitych poziomów dźwięku.

Pomiary hałaśliwości nawierzchni stanowiące podstawę niniejszego raportu wykonywano zawsze zgodnie z obowiązującą w owym czasie wersją projektowanego standardu ISO 11819. Z uwagi na wyżej wspomniane modyfikacje metody pomiarowej na przestrzeni kilkuletniego czasu wykonywania tych pomiarów, ich wszystkie wyniki zostały ponownie przeliczone bazując na „surowych” danych zarejestrowanych podczas prowadzonych badań. Zastosowano podaną poniżej procedurę zgodną z aktualną (na dzień 15.10.2016) wersją projektowanych standardów ISO/DIS 11819-2 oraz ISO/DTS 11819-3. Procedura ta została szczegółowo opisana w standardzie ISO/DIS 11819-2 (Annex C - *Detailed explanation of the calculation procedure*) [29].

Dla każdego segmentu badanego odcinka pomiarowego (długości 20 m) całkowite poziomy dźwięku obliczane były na podstawie zarejestrowanego przez dwa mikrofony widma dźwięku, które uśredniono bazując na metodzie energetycznej. Wpierw wprowadzono korekcję uśrednionego widma dźwięku z uwagi na charakterystykę częstotliwościową zastosowanego urządzenia badawczego, w tym przypadku przyczepy pomiarowej. Następnie całkowite poziomy dźwięku skorygowano o odchyłkę prędkości rzeczywistej w stosunku do prędkości referencyjnej, o odchyłkę zmierzonej temperatury powietrza w stosunku do temperatury referencyjnej wynoszącej 20 °C, a także o odchyłkę wynikającą z różnic w twardości opon referencyjnych w stosunku do wartości referencyjnej 66 Shore A.

W wyniku szczegółowej analizy każdego z przejazdów odrzucono segmenty na których wystąpiły zakłócenia. Procedura kwalifikacji zakłóconego segmentu również została szczegółowo opisana w standardzie [6]. Następnie ostateczne wyniki (tylko niezakłócone) uśredniono dla całego odcinka pomiarowego i na ich podstawie wyliczono wskaźniki służące do oceny akustycznej badanych nawierzchni. Wskaźniki te, zwane *CPX Index (CPXI)*, obliczane są jako średnia arytmetyczna poziomów hałasu dla dwóch opon referencyjnych (współczynnik wagowy dla każdej opony wynosi 50%). Wyznaczono również wskaźniki CPX oddzielnie dla samochodów osobowych (oznaczony symbolem *CPXP* na podstawie hałasu opony P1) oraz dla samochodów ciężarowych (*CPXH* - na podstawie hałasu opony H1).

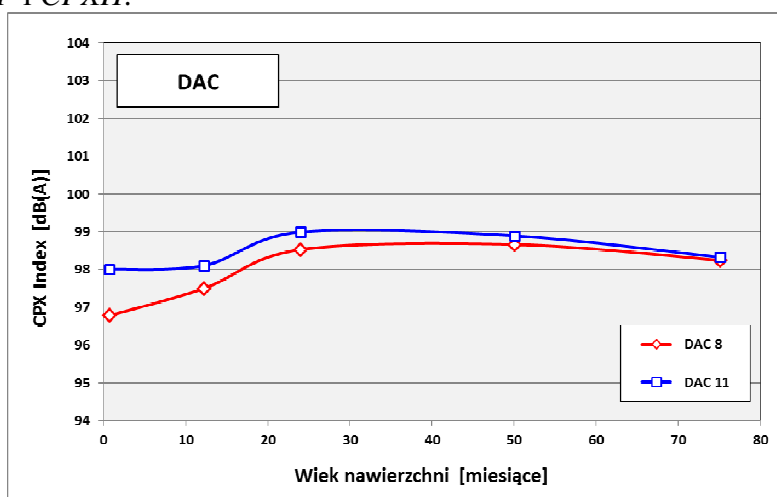
Rezultaty przedstawiane i analizowane w dalszej części niniejszego raportu technicznego bazują zasadniczo na wskaźniku *CPX Index* uwzględniającym łączny wpływ samochodów osobowych oraz ciężarowych. Dodatkowo oddzielnie analizowany jest hałas reprezentatywny dla samochodów osobowych (na podstawie wskaźnika *CPXP*) oraz dla ciężarowych (biorąc pod uwagę wskaźnik *CPXH*).

## 4.4. Wpływ starzenia się nawierzchni na hałas ruchu drogowego

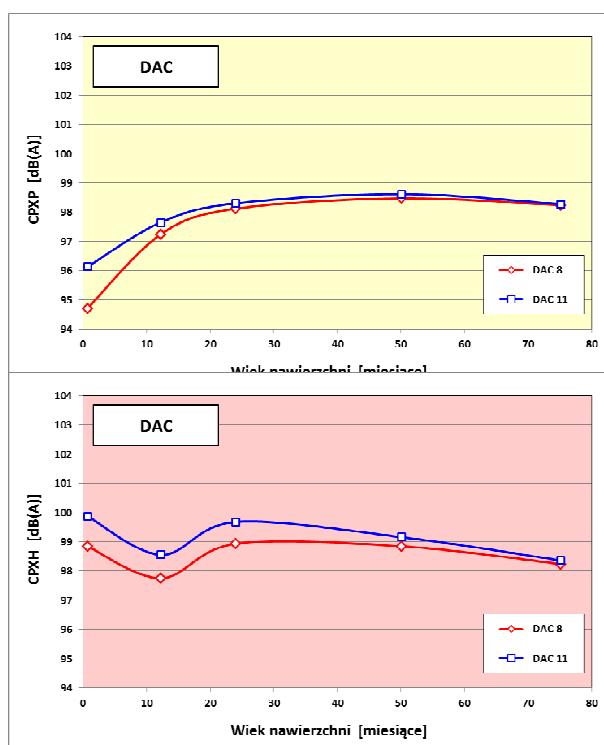
Przy określaniu wpływu starzenia się nawierzchni drogowych na ich hałaśliwość spośród wybranych nawierzchni 26 odcinków testowych wyszczególnionych w Tab. 4.1 wyróżniono sześć typów nawierzchni z mieszanek mineralno-asfaltowych, zgodnie z podziałem przyjętym w podrozdziale 4.2. Analizy sporządzono bazując na wskaźniku *CPX Index* uwzględniającym łączny wpływ samochodów osobowych i ciężarowych oraz osobno dla poszczególnych typów pojazdów biorąc pod uwagę wskaźniki *CPXP* i *CPXH*.

### 4.4.1. Beton asfaltowy

Nawierzchnie z betonu asfaltowego (DAC) były reprezentowane przez 2 odcinki badawcze. Jeden cechował się maksymalnym uziarnieniem kruszywa 8 mm, drugi - 11 mm. Wpływ starzenia się pokazano na Rys. 4.1 i Rys. 4.2 bazując odpowiednio na wskaźnikach *CPXI* oraz *CPXP* i *CPXH*.



Rys. 4.1 Wpływ starzenia się nawierzchni z betonu asfaltowego na hałas generowany przez pojazdy



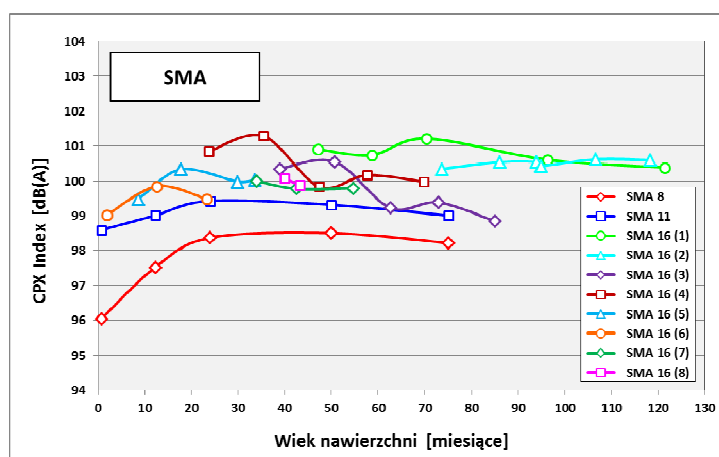
Rys. 4.2 Wpływ starzenia się nawierzchni z betonu asfaltowego na hałas generowany przez samochody osobowe (z lewej) i ciężarowe (z prawej)

Analiza powyższych wykresów dokładnie potwierdza dane literaturowe mówiące o 1-2 dB wzroście hałaśliwości nawierzchni w przeciągu pierwszych 2 lat od jej ułożenia. Wzrost ten jest większy dla nawierzchni o mniejszym maksymalnym uziarnieniu kruszywa (DAC 8). W kolejnych latach obserwuje się niewielką tendencję zniżkową hałaśliwości. Rozpatrując oddzielnie hałas generowany przez samochody osobowe (CPXP) możemy stwierdzić dwukrotnie większy wzrost hałaśliwości w ciągu pierwszych 2 lat. W ciągu kolejnych lat hałaśliwość utrzymywała się na stałym poziomie. Dla hałasu samochodów ciężarowych (CPXH) zanotowano najpierw spadek o około 1 dB w ciągu pierwszego roku, następnie wzrost do pierwotnego poziomu (po 2-gim roku) i niewielką tendencję spadkową w kolejnych latach.

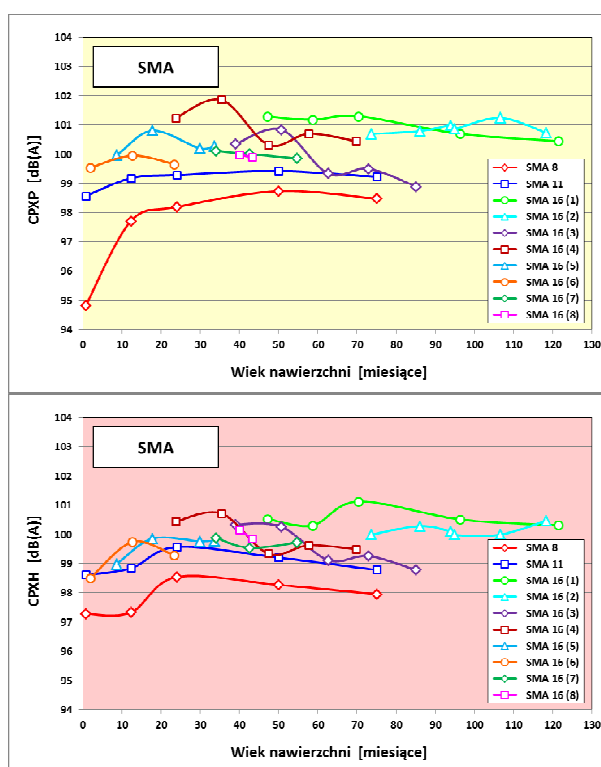
#### 4.4.2. Mastyks grysowy

Nawierzchnie z mastyksu grysowego (SMA) były najliczniej reprezentowane (10 odcinków badawczych). Wśród nich było po jednym odcinku o maksymalnym uziarnieniu kruszywa 8 i 11 mm oraz 8 odcinków z kruszywem o maksymalnym rozmiarze 16 mm. Wpływ starzenia się pokazano na Rys. 4.3i Rys. 4.4 bazując odpowiednio na wskaźnikach CPXI oraz CPXP i CPXH.

Projekt RID - I/76 Ochrona przed hałasem drogowym  
 Zadanie 2. Ocena rozwiązań materiałowo-technologicznych górnych warstw asfaltowych i  
 zalecenia w zakresie ich hałaśliwości



Rys. 4.3 Wpływ starzenia się nawierzchni z mastyksu grysowego na hałas generowany przez pojazdy



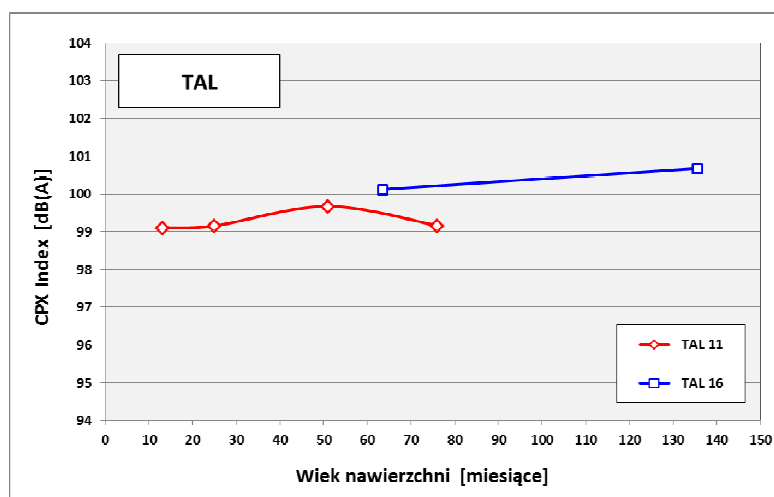
Rys. 4.4 Wpływ starzenia się nawierzchni z mastyksu grysowego na hałas generowany przez samochody osobowe (z lewej) i ciężarowe (z prawej)

Bardzo podobną zależność, w stosunku do uzyskanej dla nawierzchni z betonu asfaltowego, zaobserwowano dla nawierzchni z mastyksu grysowego (SMA). Odnotowano wzrost o około 1-2 dB w ciągu pierwszych 2 lat i stabilizację w latach kolejnych. Również podobnie do DAC większym początkowym wzrostem cechują się nawierzchnie o mniejszym maksymalnym uziarnieniu kruszywa (8 i 11 mm). Nie stwierdza się dla nawierzchni SMA zasadniczych różnic w zmianach ich hałaśliwości w zależności od kategorii pojazdów za wyjątkiem SMA 8, w przypadku której wzrost hałasu generowanego przez samochody

osobowe (*CPXP*) w ciągu pierwszych 2 lat był dwukrotnie większy niż wzrost hałasu pochodzącego od samochodów ciężarowych (*CPXH*).

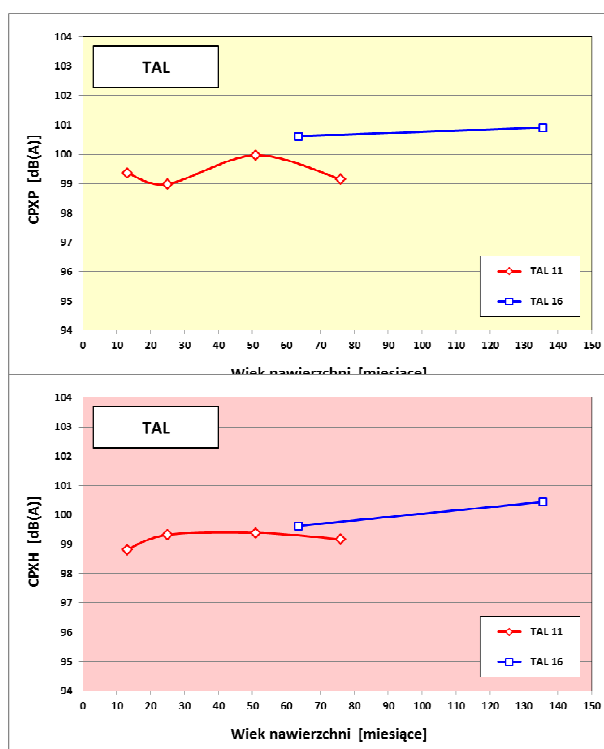
#### 4.4.3. Cienkie warstwy asfaltowe

Cienkie warstwy asfaltowe (TAL) były reprezentowane tylko przez 2 odcinki badawcze, jeden o maksymalnym uziarnieniu kruszywa 11 mm, drugi - 16 mm. Wpływ starzenia się pokazano na Rys. 4.5 i Rys. 4.6 bazując odpowiednio na wskaźnikach *CPXI* oraz *CPXP* i *CPXH*.



Rys. 4.5 Wpływ starzenia się cienkich warstw asfaltowych na hałas generowany przez pojazdy





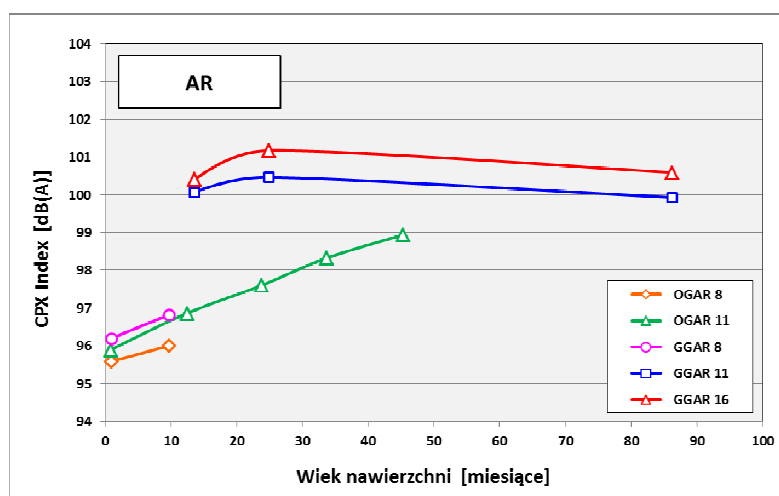
Rys. 4.6 Wpływ starzenia się cienkich warstw asfaltowych na hałas generowany przez samochody osobowe (z lewej) i ciężarowe (z prawej)

Badań hałaśliwości nawierzchni z cienkich warstw asfaltowych (TAL) nie przeprowadzono w ciągu pierwszego miesiąca po ułożeniu - pierwszy pomiar wykonano 1 rok od wybudowania dla odcinka TAL 11 i 5 lat dla odcinka TAL 16. Niezależnie od kategorii pojazdu nie zaobserwowano istotnych zmian ich hałaśliwości w ciągu 6 lat, w których prowadzono obserwację - nawierzchnie te wykazują stabilność swej hałaśliwości na przestrzeni czasu. Zachowanie to jest zgodne z obserwowanym dla pozostałych konwencjonalnych nawierzchni DAC i SMA, do grupy których, jak już wspomiano wcześniej, należy zaliczyć również cienkie warstwy TAL.

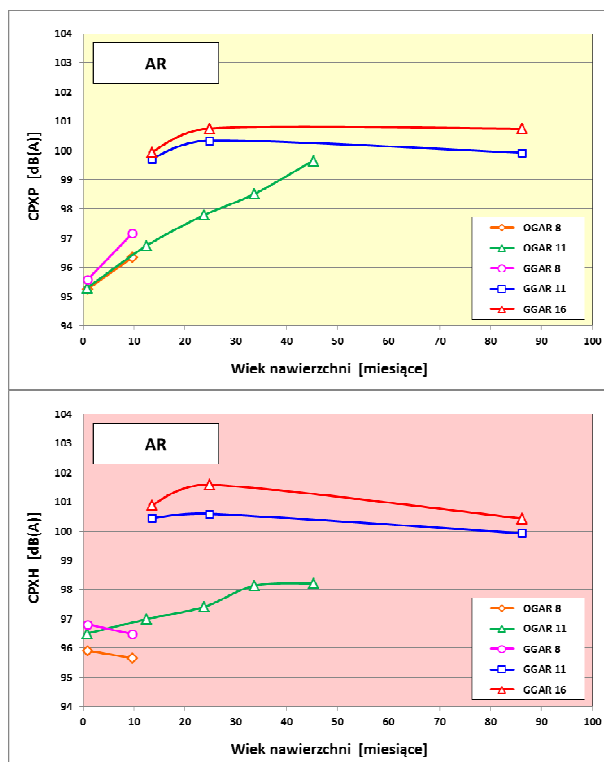
#### 4.4.4. Mieszanki asfaltowe z dodatkiem gumy

Wśród mieszanek asfaltowych z dodatkiem gumy (AR) były 3 odcinki badawcze nawierzchni o nieciąglym uziarnieniu (GGAR) o maksymalnym rozmiarze kruszywa 8, 11 i 16 mm oraz 2 odcinki nawierzchni porowatych (OGAR) o maksymalnym uziarnieniu 8 i 11 mm. Wpływ starzenia się pokazano na Rys. 4.7 i Rys. 4.8 bazując odpowiednio na wskaźnikach  $CPXI$  oraz  $CPXP$  i  $CPXH$ .

Projekt RID - I/76 Ochrona przed hałasem drogowym  
 Zadanie 2. Ocena rozwiązań materiałowo-technologicznych górnych warstw asfaltowych i zalecenia w zakresie ich hałaśliwości



Rys. 4.7 Wpływ starzenia się mieszanek asfaltowych z dodatkiem gumy na hałas generowany przez pojazdy



Rys. 4.8 Wpływ starzenia się mieszanek asfaltowych z dodatkiem gumy na hałas generowany przez samochody osobowe (z lewej) i ciężarowe (z prawej)

Analizując wpływ starzenia się na hałaśliwość nawierzchni wykonanych z mieszanek asfaltowych z dodatkiem gumy (AR) należy oddzielnie rozpatrywać mieszanki o nieciągłym uziarnieniu (GGAR) oraz mieszanki porowate (OGAR).

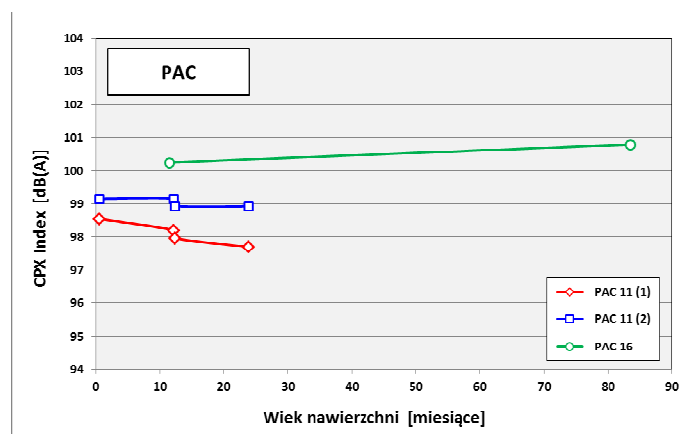
W przypadku pierwszej odmiany, dla nawierzchni GGAR 11 i GGAR 16, wpływ ten jest analogiczny do obserwowanego dla nawierzchni klasycznych (DAC, SMA, TAL) - niewielki wzrost w ciągu pierwszych 2 lat po ułożeniu i stabilizacja z niewielką tendencją spadkową w

latach kolejnych. W przypadku odcinka z GGAR 8 pomiary wykonano tylko miesiąc i następnie rok po ułożeniu. Nie mniej jednak potwierdza on charakter wpływu starzenia się na przestrzeni tego krótkiego czasu, choć trudno prognozować go na dalsze lata. Dla tego odcinka zaobserwowano podobne zróżnicowanie wpływu starzenia się w zależności od kategorii pojazdów jak dla nawierzchni DAC i SMA - odnotowano w ciągu pierwszego roku znaczny wzrost hałasu generowanego przez samochody osobowe (*CPXP*) oraz nieznaczny spadek hałasu samochodów ciężarowych (*CPXH*).

Dla odcinków wykonanych z mieszanek porowatych z dodatkiem gumy OGAR 8 i OGAR 11 zaobserwowano ciągły i stabilny wzrost ich hałaśliwości na przestrzeni czasu wynoszący około 1 dB/rok. Wzrost ten jest większy dla hałasu pochodzącego od samochodów osobowych (1.2 dB/rok) niż od ciężarowych (0.5 dB/rok). Wyjątkiem jest tutaj nawierzchnia OGAR 8, w przypadku której w ciągu pierwszego roku dla samochodów ciężarowych zanotowano nieznaczny spadek hałasu.

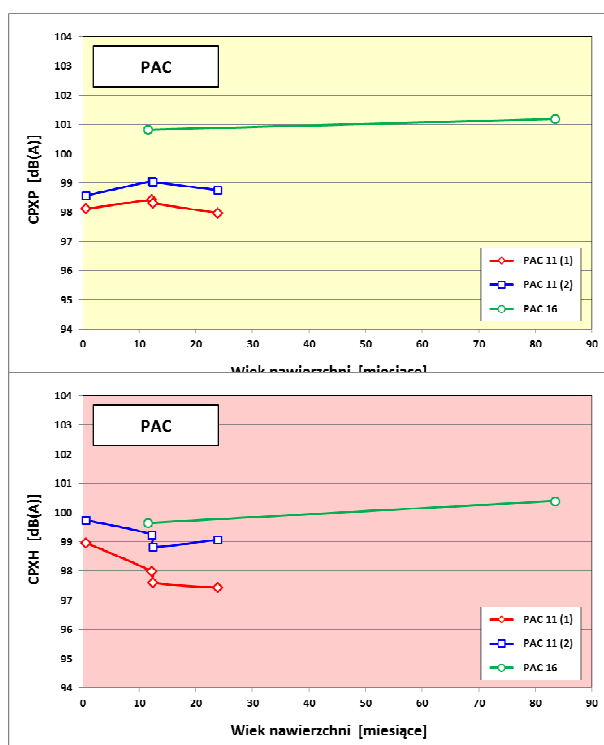
#### 4.4.5. Asfalt porowaty jednowarstwowy

Nawierzchnie wykonane z jednowarstwowego asfaltu porowatego (PAC) były reprezentowane przez 3 odcinki badawcze. Dwa z nich charakteryzowały się uziarnieniem kruszywa o maksymalnym rozmiarze 11 mm, pozostały odcinek - 16 mm. Wpływ starzenia się pokazano na Rys. 4.9 i Rys. 4.10 bazując odpowiednio na wskaźnikach *CPXI* oraz *CPXP* i *CPXH*.



Rys. 4.9 Wpływ starzenia się mieszanek z jednowarstwowego asfaltu porowatego na hałas generowany przez pojazdy

Projekt RID - I/76 Ochrona przed hałasem drogowym  
Zadanie 2. Ocena rozwiązań materiałowo-technologicznych górnych warstw asfaltowych i zalecenia w zakresie ich hałaśliwości



Rys. 4.10 Wpływ starzenia się mieszank z jednowarstwowego asfaltu porowatego na hałas generowany przez samochody osobowe (z lewej) i ciężarowe (z prawej)

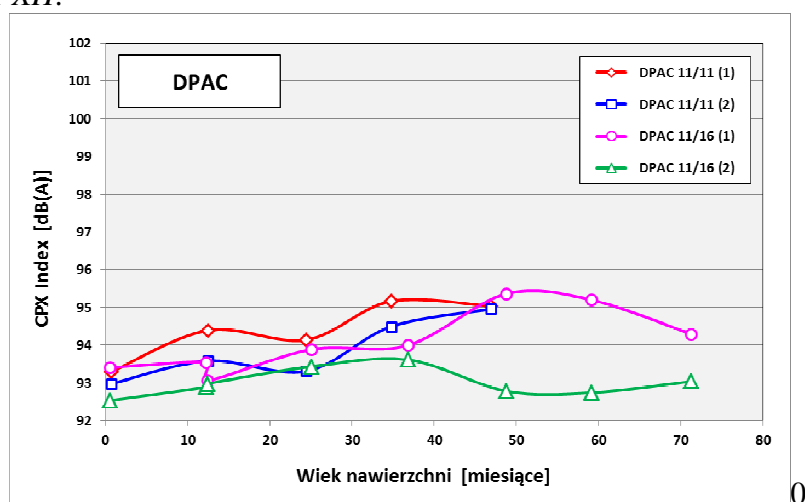
Rozważając wpływ starzenia się nawierzchni wykonanej w technologii jednowarstwowego asfaltu porowatego na ich hałaśliwość na podstawie dostępnych danych dla 3 odcinków badawczych należy na wstępie nadmienić, że w przypadku dwóch z nich (oba PAC 11) po pierwszym roku eksploatacji wykonano czyszczenie nawierzchni, czym niejako przywrócono ich porowatość. Zauważyć to można na powyższych wykresach - odnotowano niewielkie spadki zarejestrowanych poziomów hałasu (uskoki wskaźników CPX), przy czym większe spadki występują dla hałasu samochodów ciężarowych (CPXH). Trzeci odcinek pomiarowy (PAC 16) już po pierwszym roku, kiedy przeprowadzono pomiary, nie wykazywał znacznej porowatości i zasadniczy wpływ na generowany przez pojazdy hałas miała w tym przypadku zapewne jego tekstura wynikająca z dużego maksymalnego uziarnienia kruszywa (16 mm). Wszystkie 3 odcinki znajdowały się na drogach o stosunkowo dużym obciążeniu ruchem drogowym i z wysokim ograniczeniem prędkości (patrz Tab. 4.1), gdzie nie tworzą się zatory. Faktem tym można tłumaczyć brak zasadniczego wzrostu hałaśliwości tych odcinków na przestrzeni pierwszych dwóch lat, co wynika z bardzo dobrych właściwości samooczyszczania się tych nawierzchni.

Z powyższych wykresów wynika, że wpływ starzenia się nawierzchni z asfaltów porowatych jednowarstwowych na ich hałaśliwość jest znikomy - wszystkie badane odcinki wykazały zasadniczo niezmienną hałaśliwość na przestrzeni czasu. Analizując oddzielnie hałas generowany przez samochody osobowe i ciężarowe, zaobserwowany wpływ starzenia się tych nawierzchni (wzrost ich hałaśliwości dla samochodów osobowych i równocześnie spadek dla samochodów ciężarowych w ciągu pierwszego roku) jest podobny do charakteru tego wpływu dla grupy nawierzchni klasycznych. Biorąc pod uwagę również stosunkowo

wysokie poziomy rejestrowanego hałasu autor niniejszego raportu skłaniałby się do zakwestionowania wysokiej reprezentatywności tych odcinków dla całej populacji asfaltów porowatych jednowarstwowych.

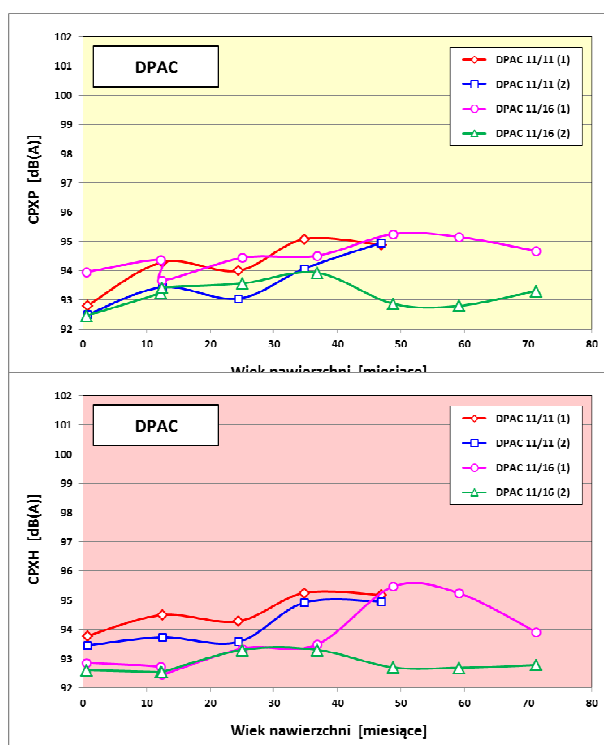
#### 4.4.6. Asfalt porowaty dwuwarstwowy

Wśród odcinków nawierzchni wykonanych z dwuwarstwowego asfaltu porowatego (DPAC) były 2 odcinki badawcze mieszanek charakteryzujących się maksymalnym uziarnieniem kruszywa 11/16 mm (górną/dolną warstwę) oraz 2 odcinki nietypowej nawierzchni, gdzie na istniejącą nawierzchnię porowatą jednowarstwową o maksymalnym uziarnieniu kruszywa 11 mm po 2 latach eksploatacji i po uprzednim wyczyszczeniu tej nawierzchni nałożono drugą warstwę asfaltu porowatego o tym samym maksymalnym rozmiarze kruszywa. Uzyskano w efekcie dwuwarstwowy asfalt porowaty 11/11 mm. Wpływ starzenia się pokazano na Rys. 4.11i Rys. 4.12 bazując odpowiednio na wskaźnikach *CPXI* oraz *CPXP* i *CPXH*.



Rys. 4.11 Wpływ starzenia się mieszank z dwuwarstwowego asfaltu porowatego na hałas generowany przez pojazdy

Projekt RID - I/76 Ochrona przed hałasem drogowym  
Zadanie 2. Ocena rozwiązań materiałowo-technologicznych górnych warstw asfaltowych i zalecenia w zakresie ich hałaśliwości



Rys. 4.12 Wpływ starzenia się mieszank z dwuwarstwowego asfaltu porowatego na hałas generowany przez samochody osobowe (z lewej) i ciężarowe (z prawej)

Przed przystąpieniem do szczegółowej analizy na należy na wstępie zaznaczyć, że w ciągu okresu eksploatacji dwóch odcinków nawierzchni DPAC 11/16 były na nich wykonywane pewne zabiegi utrzymaniowe. Zarówno po pierwszym jak i drugim roku eksploatacji odcinki te były poddawane procesowi czyszczenia. Pomiary hałaśliwości w pierwszym roku wykonano w odstępie tygodnia zarówno przed jak i tuż po czyszczeniu. Na wykresach można zaobserwować nieznaczny spadek hałaśliwości wskutek czyszczenia dla 12-go miesiąca. Spadek ten był minimalny ponieważ nawierzchnie te ułożone na dwóch sąsiednich pasach autostrady obciążonej dużym ruchem drogowym poruszającym się z dużymi prędkościami (patrz Tab. 4.1) podlegały istotnemu samooczyszczaniu i po roku eksploatacji nie były zanieczyszczone.

W drugim roku pomiary były wykonane już po przeprowadzonym czyszczeniu nawierzchni. W trzecim roku eksploatacji, miesiąc po pomiarach hałaśliwości, jeden odcinek tej nawierzchni, DPAC 11/16 (1), poddany został zabiegowi przeciwstarzeniowemu polegającemu na rozpyleniu emulsji „Fog seal” zapobiegającej utlenianiu się lepiscza, a w efekcie zmniejszającej wykruszanie się kruszywa. Wpływ zastosowania tej emulsji odnotowany został dopiero przy pomiarach hałaśliwości przeprowadzonych w kolejnym roku (wzrost o 2.6 dB w stosunku do sąsiedniego odcinka, który nie został poddany temu zabiegowi). Należy przyjąć, że w wyniku tego zabiegu nastąpiło zatkanie większości otwartych porów nawierzchni dla tego odcinka. Na przestrzeni kolejnych dwóch lat hałaśliwość tego odcinka znacznie malała, na co miał zapewne wpływ efekt samooczyszczania się nawierzchni porowatych.

Generalnie badane nawierzchnie wykonane z mieszanek porowatych dwuwarstwowych charakteryzują się umiarkowanym wzrostem hałaśliwości w funkcji czasu, średnio 0.5 dB/rok. Wyjątkiem był odcinek DPAC 11/16 (2) ułożony na szybkim pasie ruchu autostrady, dla którego zanotowano istotne (o około 1 dB) obniżenie hałaśliwości w czwartym roku eksploatacji i niezmiennosc w dalszym okresie czasu. Dla wszystkich odcinków nie zanotowano zasadniczych różnic wpływu ich starzenia się w zależności od tego, czy hałas generowany był przez samochody osobowe (wskaźnik *CPXP*) czy ciężarowe (wskaźnik *CPXH*).

## 4.5. Podsumowanie

Przeprowadzona analiza wpływu starzenia się nawierzchni na jej hałaśliwość na podstawie wybranych 26 odcinków pomiarowych potwierdziła wnioski innych badaczy wpływające z dostępnych pozycji literaturowych [1, 2, 3, 4]. Zaobserwowano zmienność emisji hałasu od poruszających się pojazdów wraz z upływem czasu. W okresie eksploatacji warstwa ścieralna starzeje się wskutek oddziaływania warunków atmosferycznych, procesów utrzymaniowych nawierzchni, a także równocześnie następuje jej zużycie (ścieranie) głównie w wyniku oddziaływania ruchu drogowego.

Dla prawie wszystkich odcinków pomiarowych zaobserwowano, że wraz z wiekiem nawierzchni jej hałaśliwość rośnie. W przypadku nawierzchni nieprzepuszczalnych (DAC, SMA, TAL, GGAR) odnotowano wzrost ich hałaśliwości (o około 1-2 dB) w ciągu pierwszych 1-2 lat od ułożenia, a następnie jej stabilizację, czasami niewielki spadek. Wzrost ten jest większy dla nawierzchni o mniejszym maksymalnym uziarnieniu kruszywa. Zauważono również, że początkowy wzrost hałaśliwości jest około dwukrotnie większy dla samochodów osobowych niż dla ciężarowych, dla których notowano czasami niezmiennosc, a nawet obniżenie hałaśliwości w pierwszym roku po ułożeniu nawierzchni.

Z analizy uzyskanych wyników pomiarów hałasu wynika, że wpływ starzenia się nawierzchni wykonanych w technologii asfaltów porowatych jednowarstwowych na ich hałaśliwość jest znikomy. Wszystkie badane odcinki wykazały zasadniczo niezmienną hałaśliwość na przestrzeni czasu. Rozpatrując ten wpływ w rozbiciu na kategorie pojazdów odnotowano w ciągu pierwszego roku wzrost hałaśliwości w przypadku samochodów osobowych i równocześnie spadek dla samochodów ciężarowych. Wnioski te nie potwierdzają dostępnych danych literaturowych wskazujących na stosunkowo znaczny (1 - 2.5 dB rocznie) i stały wzrost hałaśliwości nawierzchni porowatych.

Powyższe dane literaturowe znajdują natomiast potwierdzenie w wynikach badań odcinków wykonanych z mieszanek porowatych z dodatkiem gumy. Zaobserwowano w ich przypadku ciągły i stabilny wzrost hałaśliwości na przestrzeni czasu wynoszący około 1 dB/rok. Odnotowano również dwukrotnie większy wzrost dla hałasu samochodów osobowych, niż dla ciężarowych. Potwierdzają je również przeprowadzone pomiary dla mieszanek porowatych dwuwarstwowych, które wykazały umiarkowany wzrost hałaśliwości w funkcji czasu, średnio 0.5 dB/rok. Dla tych nawierzchni nie zanotowano zaś zasadniczych różnic wpływu ich starzenia się w zależności od kategorii pojazdów (osobowe czy ciężarowe).

W przypadku nawierzchni porowatych ciągły wzrost ich hałaśliwości wynika z faktu, że występujące w nich wolne przestrzenie powietrzne ulegają stopniowemu zatykaniu zanieczyszczeniami (aż do całkowitej utraty porowatości), co w efekcie powoduje utratę

pierwotnych właściwości redukujących hałas. W przypadku nawierzchni konwencjonalnych (nieporowatych) wiedza odnośnie czynników wywołujących wzrost hałaśliwości (choć znacznie mniejszy w porównaniu do nawierzchni porowatych) nie jest wyczerpująca i trudno jednoznacznie określić dokładne przyczyny występowania tego zjawiska. Wpływ mogą mieć zmiany megatekstury i makrotekstury nawierzchni na skutek jej ścierania się i zmian sztywności nawierzchni poprzez jej zagęszczanie pod wpływem obciążenia ruchem drogowym, zmiany mikrotekstury w efekcie polerowania nawierzchni oponami przejeżdżających pojazdów, zmiany mikrotekstury i makrotekstury na skutek oddziaływania związków chemicznych występujących w atmosferze i środowisku (również poprzez stosowanie związków chemicznych w procesach utrzymaniowych nawierzchni) oraz w efekcie erozji i wykruszania się nawierzchni, bądź zmiany mikrotekstury wskutek występowania opadów atmosferycznych lub też ewentualnego pęknięcia warstwy ścieralnej.

Więcej informacji na temat wpływu starzenia się nawierzchni porowatych zawarto w publikacji [33], odnośnie tego wpływu dla nawierzchni asfaltowych z dodatkiem gumy w publikacji [34] natomiast dla bardzo cienkich warstw (BBTM) w publikacji [35]. Publikacje te odnoszą się do pomiarów prowadzonych przez z wykorzystaniem poprzedniego kompletu opon referencyjnych (według wersji standardu aktualnej do 2008 roku), dlatego też odcinki te nie zostały ujęte w niniejszym opracowaniu.



## **5. DOŚWIADCZENIA KRAJOWE W ZAKRESIE ZASTOSOWANIA ASFALTOWYCH NAWIERZCHNI OBNIŻAJĄCYCH HAŁAS DROGOWY**

Informacje zebrane na temat zastosowania nawierzchni obniżających hałas drogowy w Polsce zostały zebrane poprzez rozesłanie pism do Zarządców dróg krajowych oraz wojewódzkich z prośbą o udostępnienie informacji dotyczącej doświadczeń związanych z zastosowaniem asfaltowych nawierzchni drogowych umożliwiających obniżenie hałasu komunikacyjnego. W kilku przypadkach skontaktowano się także z zarządcami dróg miejskich. W celu całościowego ujęcia zagadnienia stosowania nawierzchni obniżających hałas drogowy w Polsce przeprowadzono spotkania z przedstawicielami działów technologii firm drogowych realizujących kontrakty drogowe w kraju.

### **5.1. Technologie redukujące hałas drogowy**

W zamieszczonym wykazie przedstawiono te realizacje, które deklarowane były przez inwestorów jako „nawierzchnie z technologią obniżającą hałas toczenia”.

W Tab. 5.1 - Tab. 5.5 przedstawiono poszczególne odcinki dróg, których warstwa ścieralna nawierzchni została wykonana w technologii mającej na celu obniżenie poziomu hałasu.

Zastosowano podział ze względu na:

- zarządców dróg,
- rodzaj zastosowanej technologii,
- województwa.

Odcinki uporządkowano według roku ich budowy od najwcześniej wykonanego oraz umieszczono informacje na temat oceny nawierzchni na danym odcinku. W przypadku braku bardziej szczegółowych danych, zamieszczono stosowny komentarz.

Wszelkie informacje zawarte w Tab. 5.1 - Tab. 5.5 pozyskano od zarządców dróg w postaci pism z odpowiedzią na prośbę o udzielenie takowych informacji.

#### **5.1.1. SMA i SMA-LA - mastyks grysowy**

Na drogach krajowych w Polsce stosuje się mieszankę mineralno-asfaltową z mastyksu grysowego o maksymalnym uziarnieniu 8 mm (Tab. 5.1). Najbardziej rozwiniętym województwem pod względem zastosowania tego typu nawierzchni jest województwo małopolskie, gdzie od 2010 roku powstało prawie 25 km dróg o nawierzchni z SMA 8. Dodatkowo, wbudowane odcinki utrzymują się w bardzo dobrym stanie i jedynie na jednym z nich zauważono niewielkie uszkodzenia w postaci lokalnych spękań. W województwie lubelskim oraz podlaskim powstało około 11 km nawierzchni z mastyksu grysowego, które na odcinkach prostych również są w dobrym stanie. Niestety w obrębie skrzyżowań w postaci ronda, w szczególności na dojeździe do skrzyżowania, występują miejscowe deformacje, co wskazuje na niższą wytrzymałość nawierzchni na ścinanie.

Pośród dróg wojewódzkich najwięcej odcinków, na których warstwa ścieralna nawierzchni wykonana została z SMA 8, znajduje się w województwie warmińsko-mazurskim, gdzie na przełomie zaledwie 3 lat (2013 - 2015) powstało około 70 km dróg o „cichej” nawierzchni z mastyksu grysowego. Warto zwrócić uwagę na to, że w województwie warmińsko-mazurskim mieszankę o maksymalnym uziarnieniu 8 mm stosowano na drogach na terenie zabudowanym, natomiast mieszankę o maksymalnym uziarnieniu 11 mm - na terenie niezabudowanym, co mogło wynikać z potrzeby obniżenia hałasu w obszarach zabudowanych na wyższym poziomie, ponieważ zastosowanie kruszywa o mniejszym maksymalnym wymiarze ziaren skutkuje większym obniżeniem hałasu. Wbudowane odcinki prawidłowo spełniają założone cele, obniżając poziom hałasu w otoczeniu dróg a ich stan jest na chwilę obecną zadowalający. W pozostałych województwach, w których zastosowano ten rodzaj rozwiązania, odcinki także są w dobrym stanie i w zależności od regionu uzyskano większe lub mniejsze obniżenie poziomu hałasu drogowego.

Mastyks grysowy o maksymalnym uziarnieniu równym 5 mm nie jest rozwiązaniem powszechnie stosowanym w Polsce (Tab. 5.2). Nawierzchnia SMA 5 powstała w województwie małopolskim w 2014 roku wykazuje rozszczelnienie spoin technologicznych oraz spękania warstwy ścieralnej, natomiast ta sama nawierzchnia wbudowana na terenie województwa pomorskiego w 2015 roku jest nadal w dobrym stanie. Taki stan rzeczy może świadczyć jedynie o różnych warunkach klimatycznych występujących na północy oraz na południu kraju, które mają znaczący wpływ na stan nawierzchni. Można także podejrzewać nieprawidłowe utrzymanie odcinków, jednak w tym zakresie trudno jest zdobyć jakiegokolwiek dane.

Warstwa ścieralna nawierzchni drogowej wykonana z mastyksu grysowego o zwiększonej zawartości wolnych przestrzeni jak dotąd wykonywana była tylko i wyłącznie w województwie wielkopolskim, zarówno na drogach krajowych, jak i wojewódzkich. Ponad 30 km wybudowanych odcinków dróg na chwilę obecną jest w bardzo dobrym stanie pomimo stosunkowo długiego czasu użytkowania, wynoszącego około 8 lat. Pomiary wykonane w ciągu drogi wojewódzkiej nr 184 wykazały niewielkie przekroczenia dopuszczalnego poziomu hałasu z porze dziennej oraz spore przekroczenia w porze nocnej (Tab. 5.1).

W najbliższym czasie planowana jest budowa odcinka drogi ekspresowej S6 z zastosowaniem nawierzchni SMA-LA w celu obniżenia poziomu hałasu.

Tab. 5.1 Zastosowanie nawierzchni z SMA na drogach krajowych oraz wojewódzkich.

Zarządcy dróg	Rodzaj MMA	Województwo	Istniejące odcinki				
			Numer drogi, miejscowość	Rok budowy	Kilometraż/długość odcinka	Ocena stanu nawierzchni	
Krajowych (GDDKiA)	<b>SMA 8</b>	Lubelskie	S19 Międzyrzec Podlaski - Lubartów	2011	257+500,00 - 265+215,00 ok. 7 700 m	Stan dobry - nie zauważono spękań i koleinowania, brak pomiarów poziomu hałasu	
			DK12	2013	593+090,00 - 593+782,87 584+024,00 - 584+367,67 ok. 1 000 m	Stan dobry; miejscowe deformacje na dojeździe do ronda, brak pomiarów poziomu hałasu	
			DK82	2014	006+119,00 - 006+985,00 ok. 850 m	Deformacje na dojeździe do ronda na długości ok. 100 m 2016 r.: pomiary poziomu hałasu wykazały nieznaczne przekroczenia dopuszczalne w porze nocnej w jednym punkcie pomiarowym	
			DK17 Łabunie Reforma - Polanówka	2015	191+200,00 - 193+200,00 ok. 2 000 m	Stan dobry - nie zauważono spękań i koleinowania, brak pomiarów poziomu hałasu	
		Lubuskie	Druza jezdni obwodnicy Gorzowa Wielkopolskiego.				Budowa nawierzchni w planach
			Obwodnica Międzyrzecza	2016	000+080,00 - 000+270,00 002+380,00 - 004+400,00 ok. 4 000 m łącznie	Z uwagi na bardzo krótki okres eksploatacji brak możliwości zaobserwowania zniszczenia nawierzchni; brak pomiarów poziomu hałasu	

Zadanie 2. Ocena rozwiązań materiałowo-technologicznych górnych warstw asfaltowych i zalecenia w zakresie ich hałaśliwości

cd. Tab. 5.1. Zastosowanie nawierzchni z SMA na drogach krajowych oraz wojewódzkich.

Zarządcy dróg	Rodzaj MMA	Województwo	Istniejące odcinki			
			Numer drogi, miejscowość	Rok budowy	Kilometraż/długość odcinka	Ocena stanu nawierzchni
Krajowych (GDDKiA)	<b>SMA 8</b>	Małopolskie	S7	2010	000+000,00 - 001+800,00 ok. 1 800 m	Uszkodzenie nawierzchni w postaci niewielkich lokalnych spękań podłużnych i poprzecznych
			DK87	2015	025+055,00 - 027+808,00 ok. 2 700 m	Brak uszkodzeń
			DK75	2016	017+210,00 - 020+730,00 ok. 3 500 m	Brak uszkodzeń
			DK79	2016	316+992,00 - 320+300,00 ok. 3 300 m	Brak uszkodzeń
			DK94	2016	317+800,00 - 318+900,00 ok. 1 100 m	Brak uszkodzeń
		Podlaskie	DK16 Szczuczyn - Augustów	2015	237+153,00 - 248+160,00 ok. 11 000 m	Brak informacji
		Świętokrzyskie	Stosowano.			Brak badań oraz widocznych uszkodzeń
Wojewódzkich (ZDW)	<b>SMA 5</b>	Małopolskie	DW780 Liszki	2014	021+634,00 - 030+060,00 ok. 8 400 m	2015 r.: rozszczelnienie spoin technologicznych 2016 r.: spękania warstwy ścieralnej, powstanie szczelin na krawędzi zjazdów
		Pomorskie	DW222 Trąbki Wielkie	2015	Brak informacji	Stan dobry, brak spękań oraz kolein

cd. Tab. 5.1. Zastosowanie nawierzchni z SMA na drogach krajowych oraz wojewódzkich.

Zarządcy dróg	Rodzaj MMA	Województwo	Istniejące odcinki				
			Numer drogi, miejscowość	Rok budowy	Kilometraż/długość odcinka	Ocena stanu nawierzchni	
Wojewódzkich (ZDW)	<b>SMA 8</b>	Wielkopolskie	DW184 Pamiętkowo - Przeźmierowo	2011 - 2012	034+719,91 - 043+356,75 044+834,33 - 048+829,00 ok. 12 600 m	Brak kolein; pomiary poziomu hałasu wykazały przekroczenia o 0,9 i 1 dB w porze dziennej oraz 0,8 do 4 dB w porze nocnej.	
			DW241 obwodnica Wągrowiec	2015	1 690 m	Brak kolein; pomiary poziomu hałasu wykazały przekroczenia o 0,9 i 1 dB w porze dziennej oraz 0,8 do 4 dB w porze nocnej.	
		Lubelskie	DW835	2011	076+100,00 - 077+375,00 078+200,00 - 079+200,00 ok. 2 300 m	Brak spękań, kolein oraz nierówności podłużnych; pomiary poziomu hałasu z 2016 r. nie wykazały przekroczeń	
			DW822	2013	Lublin - Port lotniczy Świdnik	Stan nawierzchni dobry, brak spękań, kolein oraz nierówności podłużnych; pomiary poziomu hałasu z 2016 r. nie wykazały przekroczeń	
			DW747	2015	ok. 9 700 m	Stan nawierzchni dobry, brak spękań oraz kolein	
			DW808	2015	009+020,00 - 009+875,00 017+710,00 - 018+700,00 ok. 1 800 m	Stan nawierzchni dobry, brak spękań, nierówności podłużnych, głębokość kolein do 2 mm	
		Lubuskie	DW305 Obwodnica Wschowa	2011	001+672,50 - 001+822,50 ok. 150 m	2012 r.: pomiary poziomu hałasu wykazały rzeczywiste obniżenie hałasu	
		Łódzkie	Aktualnie realizowane są pierwsze inwestycje z zastosowaniem nawierzchni SMA 8				

cd. Tab. 5.1. Zastosowanie nawierzchni z SMA na drogach krajowych oraz wojewódzkich.

Zarządcy dróg	Rodzaj MMA	Województwo	Istniejące odcinki				
			Numer drogi, miejscowość	Rok budowy	Kilometraż/długość odcinka	Ocena stanu nawierzchni	
Wojewódzkich (ZDW)	<b>SMA 8</b>	Małopolskie	DW791 Olkusz	2016	111+550,00 - 112+762,00 ul. 20 Straconych ok. 1 200 m	Brak informacji	
		Mazowieckie	DW573	2013	014+550,00 - 014+808,50 ok. 250 m	Stan dobry, brak kolein oraz spękań nawierzchni; brak pomiarów poziomu hałasu	
			DW740	2014	015+527,00 - 017+775,00 ok. 2 200 m		
			DW740	2016	016+357,00 - 017+775,00 ok. 1 400 m	W związku z krótkim okresem eksploatacji nie zauważono żadnych uszkodzeń nawierzchni; brak pomiarów poziomu hałasu	
		Opolskie	Opole		2015-2016	ul. Kościuszki Rondo ul. Krapowiecka DK 45 - ul. Prószkowska DW 414 ul. Chmielowicka DG	Długi okres użytkowania, nie wymaga specjalnego utrzymania
					2017	Rondo ul. Chabrów, Luboszycka, Narcyzów, Tulipanów	Budowa nawierzchni w planach
		Pomorskie	DW211 DW224 Obwodnica Kartuz	2016		Brak informacji	Obserwacje: stan bardzo dobry, brak spękań oraz kolein

cd. Tab. 5.1. Zastosowanie nawierzchni z SMA na drogach krajowych oraz wojewódzkich.

Zarządcy dróg	Rodzaj MMA	Województwo	Istniejące odcinki			
			Numer drogi, miejscowość	Rok budowy	Kilometraż/długość odcinka	Ocena stanu nawierzchni
Wojewódzkich (ZDW)	<b>SMA 8</b>	Świętokrzyskie	DW765 Staszów - Osiek	2014	Obwodnica Osieka - 052+276,00 - DK 79 Sandomierz	Brak informacji
		Warmińsko-mazurskie	DW650 Banie mazurskie - Boćwinka	2013	052+769,00 - 053+865,00 054+545,00 - 054+855,00 055+000,00 - 056+920,00 ok. 3 300 m	Stan nawierzchni dobry; brak pomiarów poziomu hałasu
			DW667 Nowa Wieś Elcka - Biała Piska	2013	000+000,00 - 000+400,00 004+297,00 - 004+660,00 006+600,00 - 007+400,00 009+270,00 - 009+700,00 020+900,00 - 021+180,00 022+420,00 - 023+100,00 027+050,00 - 027+993,00 ok. 3 900 m	Stan nawierzchni dobry; pomiary poziomu hałasu nie wykazały przekroczeń wartości dopuszczalnych
			DW513	2014	000+743,00 - 003+498,00 003+859,00 - 035+128,00 ok. 34 000 m	Stan dobry, maksymalna głębokość kolein do 6 mm; pomiary poziomu hałasu wykazały ponadnormatywne wartości dla pory nocnej, jednak niższe niż przed Inwestycją; Nawierzchnię SMA 8 zastosowano na terenie zabudowanym.

cd. Tab. 5.1. Zastosowanie nawierzchni z SMA na drogach krajowych oraz wojewódzkich.

Zarządcy dróg	Rodzaj MMA	Województwo	Istniejące odcinki			
			Numer drogi, miejscowość	Rok budowy	Kilometraż/długość odcinka	Ocena stanu nawierzchni
Wojewódzkich (ZDW)	SMA 8	Warmińsko-mazurskie	DW521 Susz - Iława	2014	031+500,00 033+060,00 - 033+360,00 032+750,00 - 032+800,00 032+920,00 - 033+020,00 034+250,00 - 034+680,00 038+250,00 - 038+340,00 040+150,00 - 040+200,00 040+350,00 - 040+500,00 ok. 1 200 m	Stan dobry; brak pomiarów poziomu hałasu
			DW521	2015	027+133,00 - 027+782,00 028+850,00 - 028+950,00 ok. 750 m	Stan dobry; brak pomiarów poziomu hałasu; Nawierzchnię SMA 8 zastosowano na terenie zabudowanym
			DW544 Lidzbark-Działdowo	2015	029+690,00 - 056+360,00 ok. 26 700 m	Stan dobry; analiza porealizacyjna wykazała ponadnormatywne wartości wokół DW 544 (pierwsza linia budynków); Nawierzchnię SMA 8 zastosowano na terenie zabudowanym
	SMA 11	Dolnośląskie	Stosowane od kilku lat.		Obserwacje prowadzone jedynie w zakresie bieżącego utrzymania	
		Świętokrzyskie	DW765	2013 2014	000+670,00 - 053+200,50 ok. 52 500 m	Stan dobry; pomiary poziomu hałasu wykazały ponadnormatywne wartości dla pory nocnej



## Zadanie 2. Ocena rozwiązań materiałowo-technologicznych górnych warstw asfaltowych i zalecenia w zakresie ich hałaśliwości

cd. Tab. 5.1. Zastosowanie nawierzchni z SMA na drogach krajowych oraz wojewódzkich.

Zarządcy dróg	Rodzaj MMA	Województwo	Istniejące odcinki			
			Numer drogi, miejscowość	Rok budowy	Kilometraż/długość odcinka	Ocena stanu nawierzchni
Wojewódzkich (ZDW)	SMA 11	Warmińsko-mazurskie	DW513 Pasłęk-Orneta	2014	000+743,00 - 003+498,00 003+859,00 - 035+128,00 ok. 34 000 m	Stan dobry, maksymalna głębokość kolein do 6 mm; pomiary poziomu hałasu wykazały ponadnormatywne wartości dla pory nocnej, jednak niższe niż przed Inwestycją; Nawierzchnię SMA 11 zastosowano na terenie niezabudowanym.
			DW536 Iława-Samplawa	2014	003+870,00 - 013+101,00 ok. 9 200 m	Stan dobry; pomiary poziomu hałasu w 17 punktach wykazały ponadnormatywne wartości dla pory dziennej w 2 punktach oraz dla pory nocnej w 6 punktach
			DW544 Lidzbark-Działdowo	2015	029+690,00 - 056+360,00 ok. 26 700 m	Brak informacji

Tab. 5.2 Zastosowanie nawierzchni z SMA-LA na drogach krajowych oraz wojewódzkich.

Zarządcy dróg	Rodzaj MMA	Województwo	Istniejące odcinki			
			Numer drogi, miejscowość	Rok budowy	Kilometraż/długość odcinka	Ocena stanu nawierzchni
Krajowych (GDDKiA)	SMA-LA	Pomorskie	S6 Słupsk-Gdańsk oraz na odcinku Lębork-obwodnica Trójmiasta			Budowa nawierzchni w planach
		Wielkopolskie	DK5	2009	ul. Żeromskiego przejście przez Jarogniewice	Stan bardzo dobry
			DK32	2009	kilkaset metrów	Brak informacji
			Droga gminna Tarnowo Podgórne	2010	Fragment obwodnicy do Kaźmierza.	Brak informacji
			DK12 Pleszew	2010	Brak informacji	Stan bardzo dobry
			Poznań	2010	ul. Nowe Zawady ul. Przybyszewskiego	Stan bardzo dobry
			DK39 Krotoszyn	2011	Brak informacji	Brak informacji
			Poznań	2011 2012	ul. Bułgarska	Brak informacji
			DK11 Podanin	2014	208+160,00 - 210+775,50 ok. 2 600 m	Brak informacji
			DK11 Podgaje-Jastrowie	2014	142+400,00 - 149+100,00 ok. 6 700 m	Brak informacji
DK32 Wolsztyn	2014	107+251,00 - 110+450,00 ok. 3 200 m	Brak informacji			

## Zadanie 2. Ocena rozwiązań materiałowo-technologicznych górnych warstw asfaltowych i zalecenia w zakresie ich hałaśliwości

cd. Tab. 5.2. Zastosowanie nawierzchni z SMA-LA na drogach krajowych oraz wojewódzkich.

Zarządcy dróg	Rodzaj MMA	Województwo	Istniejące odcinki			
			Numer drogi, miejscowość	Rok budowy	Kilometraż/długość odcinka	Ocena stanu nawierzchni
Krajowych (GDDKiA)	<b>SMA-LA</b>	Wielkopolskie	DK72 Turek	2014	031+907,15 - 032+944,33 ul. Uniejowska ok. 1 000 m	Brak informacji
			DK92 Swadzim- Poznań	2014	166+500,00 - 170+163,00 ok. 3 700 m	Brak informacji
			S5 Żnin-Gniezno	2016 2017	006+600,00 - 007+700,00 ok. 1 100 m	Brak informacji
Wojewódzkich (ZDW)		Wielkopolskie	DW184 Pamiątkowo - Przeźmierowo	2011 - 2012	034+719,91 - 043+356,75 044+834,33 - 048+829,00 ok. 12 600 m	Brak kolein; pomiary poziomu hałasu wykazały przekroczenia o 0,9 i 1 dB w porze dziennej oraz 0,8 do 4 dB w porze nocnej. Nawierzchnię SMA-LA zastosowano na terenie zabudowanym.

### **5.1.2. BBTM - beton asfaltowy do bardzo cienkich warstw**

Beton asfaltowy do bardzo cienkich warstw stosowany jest w Polsce od 2014 roku w szczególności w województwie małopolskim (Tab. 5.3), gdzie przez 3 lata powstało ponad 100 km dróg o tego typu nawierzchni. Na wybudowanych odcinkach zaobserwowano spękania podłużne w rejonie studzienek kanalizacyjnych, wpustów ulicznych, ścieku przykrawężnikowego oraz przy krawędzi jezdni i zatoki autobusowej. Kolejną nieprawidłowością w ocenie nawierzchni było rozszczelnienie spoin technologicznych, które wystąpiło na badanych odcinkach, a także ubytki kruszywa na niektórych z nich. Na podstawie powstałych zniszczeń można przypuszczać, iż były one spowodowane zbyt niską wytrzymałością nawierzchni w stosunku do struktury ilościowej oraz rodzajowej ruchu występującego na tychże odcinkach. Uszkodzenia powstałe po tak krótkim czasie eksploatacji mogą świadczyć również o niskiej odporności na działanie mrozu, amplitud temperatury bądź też nieprawidłowym utrzymaniu zimowym nawierzchni.

Warstwę ścieralną z BBTM 8 zastosowano również przy budowie obwodnicy miasta Brodnicy w 2016 roku w województwie kujawsko-pomorskim, gdzie stan nawierzchni został określony jako dobry i po krótkim czasie eksploatacji, obejmującym również okres zimowy, nie stwierdzono uszkodzeń. W porównaniu do województwa małopolskiego, w tym przypadku także można doszukiwać się różnic klimatycznych obu województw, a co za tym idzie, odmiennych warunków temperaturowych, które mają istotny wpływ na trwałość nawierzchni drogi i mogły być przyczyną skrajnie różnych doświadczeń związanych z użytkowaniem takiego rozwiązania.

### **5.1.3. PA - asfalt porowaty**

Asfalt porowaty, prawdopodobnie ze względu na duże wymagania w zakresie utrzymania zimowego oraz bieżącego, jest najmniej rozpowszechnionym rozwiązaniem materiałowo-technologicznym stosowanym do budowy górnej warstwy nawierzchni. Na terenie całej Polski od roku 2010 powstało nieco ponad 5 km nawierzchni porowatej (Tab. 5.4) z czego jeden odcinek, znajdujący się w województwie opolskim, po okresie 5 lat użytkowania, został rozebrany. Stan pozostałych odcinków określono jako dobry oraz zwrócono uwagę na skuteczność zastosowanego rozwiązania.

Zaznaczono także, że nawierzchnia z asfaltu porowatego powoduje spore utrudnienia ze względu na konieczność dość częstego (maksymalnie co 2 lata) czyszczenia górnej warstwy nawierzchni wyspecjalizowanym do tego sprzętem, który do czyszczenia wykorzystuje wodę pod bardzo wysokim ciśnieniem i który jest trudno dostępny na terenie Polski. W zakresie utrzymania zimowego wymagane jest użycie do odśnieżania pługów z gumowym lemieszem a do odladzania drogi sól bądź solanka. Wszystkie zabiegi służą zapobieganiu zatykania się porów nawierzchni, które pochłaniają część dźwięku powstającego podczas toczenia opony i są istotą tego rozwiązania.

## Zadanie 2. Ocena rozwiązań materiałowo-technologicznych górnych warstw asfaltowych i zalecenia w zakresie ich hałaśliwości

Tab. 5.3 Zastosowanie nawierzchni z BBTM na drogach krajowych oraz wojewódzkich.

Zarządcy dróg	Rodzaj MMA	Województwo	Istniejące odcinki			
			Numer drogi, miejsowość	Rok budowy	Kilometraż/długość odcinka	Ocena stanu nawierzchni
Krajowych (GDDKiA)	<b>BBTM 8</b>	Kujawsko- pomorskie	DK15 Obwodnica Brodnicy	2016	298+462,20 - 299+944,00 ok. 1 500 m	Stan dobry; w związku z krótkim okresem eksploatacji nie zauważono żadnych uszkodzeń nawierzchni; brak pomiarów poziomu hałasu
Wojewódzkich (ZDW)		Małopolskie	DW773 Skała - Iwanowice	2014	091+300,00 - 092+300,00 111+988,00 - 113+427,00 ok. 2 400 m	Brak informacji
			DW774 Kryspinów	2014	033+837,00 - 040+330,00 ok. 6 500 m	2015 r.: spękania podłużne w rejonie studzienek kanalizacyjnych, rozszczelnienie spoin technologicznych 2016 r.: spękania warstwy ścieralnej, poprzeczne spękania siatkowe, rozszczelnienie szwu środkowego
			DW780 Libiąż - Chelmek	2014	300+000,00 - 330+970,00 ok. 31 000 m	Brak informacji
			DW781 Chrzanów	2014	020+125,00 - 021+625,00 ok. 1 500 m	Brak informacji
			DW783 Miechów	2014	291+463,00 - 310+183,00 ok. 18 700 m	Brak informacji
			DW946 Sucha Beskidzka	2014	050+886,00 - 052+649,00 060+028,00 - 060+300,00 ok. 2 000 m	Brak informacji

## Zadanie 2. Ocena rozwiązań materiałowo-technologicznych górnych warstw asfaltowych i zalecenia w zakresie ich hałaśliwości

cd. Tab. 5.3 Zastosowanie nawierzchni z BBTM na drogach krajowych oraz wojewódzkich.

Zarządcy dróg	Rodzaj MMA	Województwo	Istniejące odcinki			
			Numer drogi, miejsowość	Rok budowy	Kilometraż/długość odcinka	Ocena stanu nawierzchni
Wojewódzkich (ZDW)	<b>BBTM 8</b>	Małopolskie	DW948 Oświęcim-Kęty	2014	012+805,00 - 013+055,00 013+440,00 - 015+320,00 ok. 2 100 m	2015 r.: rozszczelnienie spoin technologicznych na zjazdach oraz skrzyżowaniach, spękania podłużne przy krawędzi jezdni 2016 r.: szczelina na połączeniu krawędzi jezdni ze zjazdami, spękania warstwy ścieralnej wokół wpustów ulicznych, wzdłuż ścieku przykra-wężnikowego oraz zatoki autobusowej, ubytki kruszywa w nawierzchni
			DW957 Nowy Targ	2014	191+770,00 - 192+910,00 ok. 1 100 m	Brak informacji
			DW964 Wieliczka- Zakrzów	2014	270+466,00 - 270+895,00 271+376,00 - 291+225,00 ok. 20 300 m	2015 r.: ubytki kruszywa w nawierzchni na powierzchni ok. 50 m <sup>2</sup>
			DW965 Młynne - Limanowa	2014	230+973,00 - 231+673,00 231+793,00 - 232+640,00 ok. 1 500 m	2016 r.: spękania poprzeczne oraz podłużne
			DW969 Łącko-Czerniec	2014	111+164,00 - 120+693,00 ok. 9 500 m	Brak informacji
			DW993 Gorlice	2014	010+300,00 - 010+820,00 011+250,00 - 011+730,00 ok. 1 000 m	Brak informacji

## Zadanie 2. Ocena rozwiązań materiałowo-technologicznych górnych warstw asfaltowych i zalecenia w zakresie ich hałaśliwości

cd. Tab. 5.3. Zastosowanie nawierzchni z BBTM na drogach krajowych oraz wojewódzkich.

Zarządcy dróg	Rodzaj MMA	Województwo	Istniejące odcinki			
			Numer drogi, miejscowość	Rok budowy	Kilometraż/długość odcinka	Ocena stanu nawierzchni
Wojewódzkich (ZDW)	<b>BBTM 8</b>	Małopolskie	DW773 Nowa Wieś	2015	092+300,00 - 101+058,00 ok. 8 800 m	Brak informacji
			DW948 Oświęcim	2015	010+130,00 - 011+700,00 ok. 1 600 m	2016 r.: szczelina na połączeniach technologicznych, pojedyncze pęknięcia w warstwie ścieralnej
			DW981 Krynica	2015	153+788,00 - 155+181,00 ok. 1 400 m	Brak informacji
			DW781 Andrychów	2016	220+033,00 - 221+915,00 ok. 1 900 m	Brak informacji

Tab. 5.4 Zastosowanie nawierzchni z PA na drogach krajowych oraz wojewódzkich.

Zarządcy dróg	Rodzaj MMA	Województwo	Istniejące odcinki			
			Numer drogi, miejscowość	Rok budowy	Kilometraż/długość odcinka	Ocena stanu nawierzchni
Krajowych (GDDKiA)	PA	Mazowieckie	DK50 Obwodnica Mszczonowa	2010	005+363,00 - 006+153,00 ok. 800 m	Stan dobry
Wojewódzkich (ZDW)		Opolskie	ul. Ozimska	2011	ul. Ozimska	Po 5 latach nawierzchnia uległa dużej degradacji w postaci ubytków kruszywa
		Podkarpackie	DW877	Brak informacji	002+900,00 - 004+100,00 004+400,00 - 005+220,00 005+500,00 - 005+850,00 007+000,00 - 007+953,00 008+217,00 - 008+700,00 010+400,00 - 010+720,00 010+920,00 - 011+040,00 014+250,00 - 014+760,00 ok. 4 800 m	Stan dobry; analizy porealizacyjne potwierdziły skuteczność zastosowanych rozwiązań; wymagania utrzymaniowe powodują spore utrudnienia (konieczność czyszczenia oraz odładzanie wyłącznie solanką lub samą solą)



#### 5.1.4. Nawierzchnia z dodatkiem gumy

Pomimo faktu, że nawierzchnia z dodatkiem gumy jest kosztownym rozwiązaniem mającym na celu obniżenie hałasu od ruchu pojazdów kołowych, od 2002 roku jest dość powszechnie stosowana, co może wynikać z potrzeby utylizacji zużytych opon oraz dbałości o środowisko naturalne. Ten rodzaj mieszanki mineralno-asfaltowej ma zastosowanie przede wszystkim w województwie wielkopolskim (Tab. 5.6). Z otrzymanych informacji wynika jednak, że kilka odcinków po bardzo krótkim czasie eksploatacji wynoszącym około 2-3 lata, zostało sfrezowanych ze względu na bardzo zły stan nawierzchni oraz poważne uszkodzenia, które powstawały szczególnie po okresie zimowym. Na temat pozostałych odcinków nie uzyskano informacji w zakresie oceny stanu nawierzchni.

Natomiast na terenie województwa mazowieckiego warstwa ścieralna nawierzchni powstałej w 2015 roku na ul. Wołoskiej w Warszawie jest w dobrym stanie. Tegoroczny przegląd techniczny wspomnianej ulicy nie wykazał żadnych usterek. Na podstawie posiadanych danych można stwierdzić, że pod względem trwałości lepszym rozwiązaniem materiałowo-technologicznym jest zastosowanie nawierzchni z betonu asfaltowego do bardzo cienkich warstw z dodatkiem gumy.

#### 5.1.5. Podsumowanie

Tab. 5.5 Zestawienie średniej łącznej długości odcinków poszczególnych rodzajów mieszanki mineralno-asfaltowej.

Rodzaj MMA	Średnia łączna długość odcinków
SMA	około 270 km
SMA-LA	około 33 km
BBTM	około 113 km
PA	około 6 km
MMA z gumą	około 90 km

W Tab. 5.5 przedstawiono średnią łączną długość wszystkich odcinków dróg realizowanych z zastosowaniem nawierzchni obniżających poziom hałasu, z której wynika, że najczęściej stosowaną mieszanką mineralno-asfaltową jest mastyks grysowy oraz beton asfaltowy do bardzo cienkich warstw. Najmniej odcinków powstało z asfaltu porowatego oraz mastyksu grysowego o zwiększonej zawartości wolnych przestrzeni. Przedstawiony stan może wynikać przede wszystkim z analizy kosztów realizacji inwestycji oraz utrzymania nawierzchni w czasie jej eksploatacji, co niestety najczęściej jest wiodącym kryterium wyboru rozwiązania materiałowo-technologicznego.

Tab. 5.6 Zastosowanie nawierzchni z dodatkiem gumy na drogach krajowych oraz wojewódzkich.

Zarządcy dróg	Rodzaj MMA	Województwo	Istniejące odcinki			
			Numer drogi, miejscowość	Rok budowy	Kilometraż/długość odcinka	Ocena stanu nawierzchni
Krajowych (GDDKiA)	<b>SMA 8 z gumą</b>	Wielkopolskie	Brak informacji			
	<b>SMA z gumą</b>	Lubuskie	S3 Sulechów-Zielona Góra	2017	Brak informacji	Budowa nawierzchni w planach
	<b>Typu GUFi</b>	Łódzkie	DK14 Łask-Kolumna	2005	Brak informacji	Badania wykazały bardzo dużą zawartość wolnych przestrzeni brak połączenia międzywarstwowego (nie-które próbki uległy rozwarstwieniu w trakcie wykonywania odwiertów), obniżoną wytrzymałość na ścinanie pomiędzy warstwami (0,8 MPa; wymagane - 1,3 MPa); Sfrezowano
		Wielkopolskie	DK11 Podgaje-Szczecinek	Brak informacji	Okolo 15 000 m.	Stan zły
	<b>MNU</b>	Wielkopolskie	DK12 Jaraczewo	2006	Brak informacji	Sfrezowano w 2008 r.
	<b>Z gumą</b>	Zachodniopomorskie	DK10 Kobylanka	2006	034+740,00 - 035+350,00 ok. 600 m	Brak informacji
	<b>Colsoft</b>	Wielkopolskie	Poznań	2002	ul. Poznańska	Brak informacji
			DK5 Komorniki	2004	Brak informacji	Brak informacji
Poznań			2004	ul. Główna	Brak informacji	

cd. Tab. 5.6 Zastosowanie nawierzchni z dodatkiem gumy na drogach krajowych oraz wojewódzkich.

Zarządcy dróg	Rodzaj MMA	Województwo	Istniejące odcinki			
			Numer drogi, miejscowość	Rok budowy	Kilometraż/długość odcinka	Ocena stanu nawierzchni
Krajowych (GDDKiA)	<b>Rugosoft</b>	Wielkopolskie	DK15 Gniezno	2005	Brak informacji	Brak informacji
			Poznań	2006	Al. Niepodległości ul. Strzeszyńska	Brak informacji
			DK36 Krotoszyn	2006	Brak informacji	Brak informacji
			DK32 Rakoniewice- Rostarzewo	2007	Brak informacji	Brak informacji
			Poznań	2007	ul. Grochowska ul. Szeligowskiego ul. Swobody ul. Serbska	Brak informacji
			Poznań	2008	ul. Głogowska ul. Szamarzewskiego ul. Murawa ul. Omańkowskiego ul. Warszawska ul. Św. Marcina	Brak informacji
			Poznań	2009	ul. Bułgarska ul. Szamarzewskiego ul. Winogrody	Brak informacji
			DK5	2009	Jarogniewice	Brak informacji
			DK32	2009	Granowo Rakoniewice-Rostarzewo	Brak informacji

cd. Tab. 5.6 Zastosowanie nawierzchni z dodatkiem gumy na drogach krajowych oraz wojewódzkich.

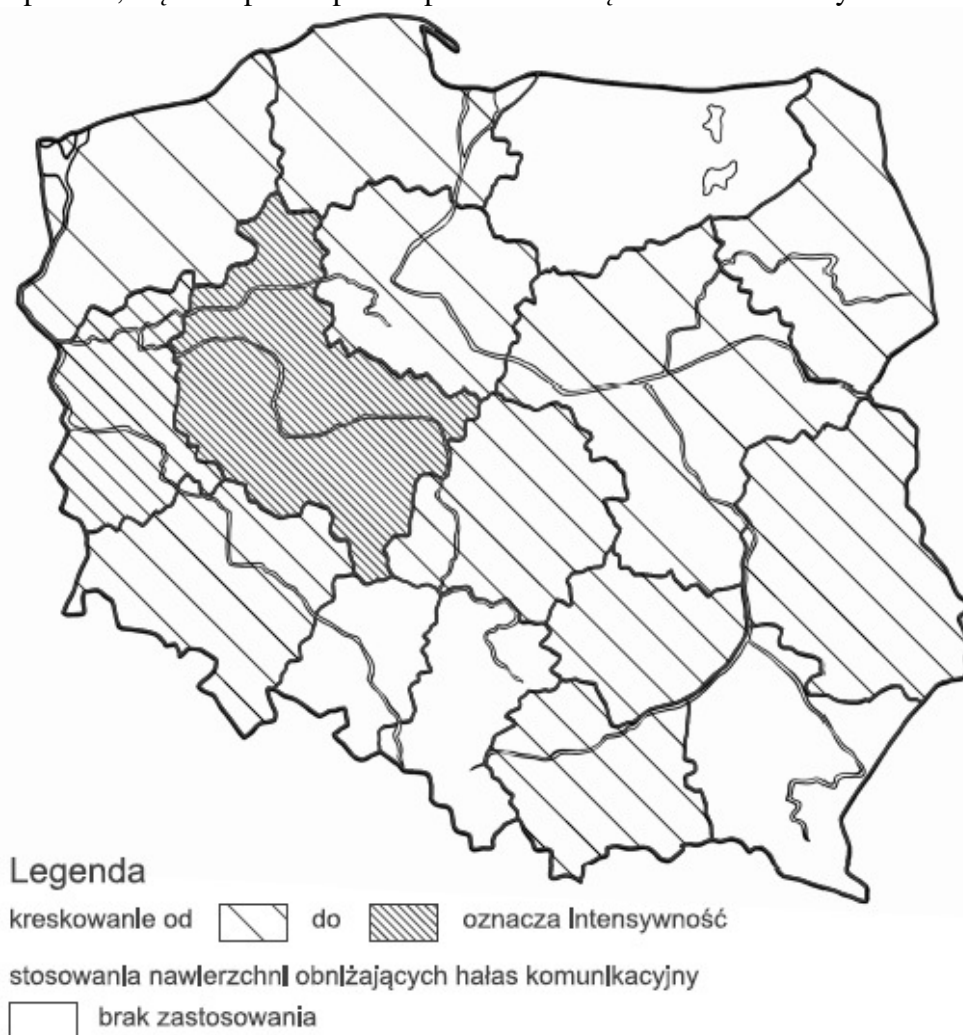
Zarządcy dróg	Rodzaj MMA	Województwo	Istniejące odcinki			
			Numer drogi, miejscowość	Rok budowy	Kilometraż/długość odcinka	Ocena stanu nawierzchni
Krajowych (GDDKiA)	<b>Rugosoft</b>	Wielkopolskie	DK11	2010	Suchy Las ul. Murawa	Brak informacji
			DK15 Września- Gniezno	2011	110+700,00 - 121+190,00 ok. 10 500 m	Brak informacji
		Dolnośląskie	Poznań	2012	ul. Bukowska	Brak informacji
			Wrocław	2008	ul. Bystrzycka ul. Małopanewska	Brak informacji
			Legnica	2009	ul. Wrocławska	Brak informacji
			Lubin	2011	ul. Piłsudskiego	Brak informacji
	<b>Nanosoft</b>	Wielkopolskie	Poznań	2007	ul. Serbska	Po kilku zimach poważne uszkodzenia, sfrezowano.
			S11 Kórnik	2009	Brak informacji	Po kilku zimach wymiana zdegradowanego pasa wolnego. W 2016 r. całkowita wymiana zdegradowanej warstwy ścieralnej
Wojewódzkich (ZDW)	<b>SMA 5 z gumą</b>	Podkarpackie	DW880	Brak informacji	000+000,00 - 005+400,00 005+800,00 - 006+630,00 009+900,00 - 010+970,00 011+360,00 - 013+400,00 013+900,00 - 015+450,00 ok. 10 900 m	Stan dobry; analizy porealizacyjne potwierdziły skuteczność zastosowanych rozwiązań; nawierzchnia na wymaga specjalnego utrzymania

cd. Tab. 5.6. Zastosowanie nawierzchni z dodatkiem gumy na drogach krajowych oraz wojewódzkich.

Zarządcy dróg	Rodzaj MMA	Województwo	Istniejące odcinki			
			Numer drogi, miejscowość	Rok budowy	Kilometraż/długość odcinka	Ocena stanu nawierzchni
Wojewódzkich (ZDW)/ZMID	<b>BBTM z gumą</b>	Mazowieckie	DW637	Brak informacji	024+495,00 - 035+674,45 ok. 11 200 m	Brak informacji
			ul. Wołoska ZMID	2015	Od ul. Raclawickiej do ul. Konstruktorskiej.	3 przeglądy techniczne wykazały brak odkształceń, kolein oraz ubytków, pęknięcie poprzeczne jezdni zachodniej w rejonie ul. Dąbrowskiego

## 5.2. Drogi krajowe

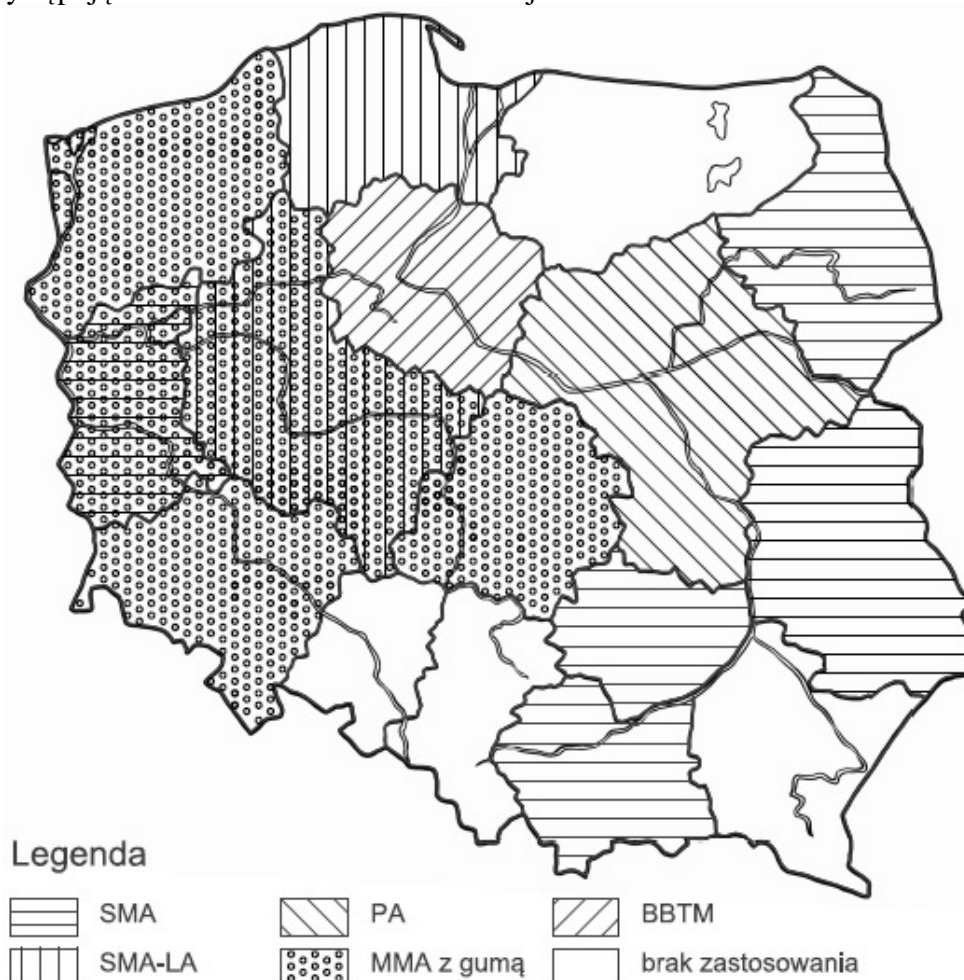
Mapa przedstawiona na Rys. 5.1 ukazuje intensywność stosowania rozwiązań obniżających poziom hałasu drogowego na odcinkach zarządzanych przez Generalną Dyрекcję Dróg Krajowych i Autostrad. Można zauważyć, że najczęściej „ciche” nawierzchnie stosuje się w województwie wielkopolskim, zaś nieco rzadziej na zachodzie kraju oraz w środkowej Polsce. Na północno-zachodnim obszarze Polski występuje niewiele odcinków, które mają na celu ochronę otoczenia dróg przed hałasem a województwa: warmińsko-mazurskie, opolskie, śląskie i podkarpackie pozbawione są doświadczeń w tym zakresie.



Rys. 5.1 Intensywność stosowania nawierzchni obniżających hałas na drogach krajowych.

Rys. 5.2 prezentuje faktyczny stan rodzajów rozwiązań stosowanych na terenie poszczególnych województw. Klasyczne rozwiązanie z użyciem mastyksu grysowego (SMA) ma zastosowanie w szczególności na wchodzie oraz południu kraju, natomiast użycie mieszanek mineralno-asfaltowych modyfikowanych gumą przeważa w zachodniej części Polski. Niewykluczone, że jest to spowodowane bardziej dynamicznym rozwojem zachodnich sąsiadów, których działania mogą motywować do pracy nad nowymi rozwiązaniami i udoskonalaniem ich oraz wpływać na częstsze zastosowanie tego typu środków ochrony

przed hałasem. Asfalt porowaty (PA) oraz beton asfaltowy do bardzo cienkich warstw (BBTM) występują na kilku odcinkach w środkowej Polsce.



Rys. 5.2 Rodzaje rozwiązań obniżających poziom hałasu na drogach krajowych w zależności od województw.

Rys. 5.4 pokazuje udział poszczególnych województw w zastosowaniu rozwiązań mających na celu obniżenie poziomu hałasu w otoczeniu dróg dla odcinków będących pod zarządem Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad (drogi krajowe). Wykres powstał w oparciu o przybliżoną liczbę odcinków powstałych z „cichej nawierzchni” zgodnie z Tab. 5.1- Tab. 5.6 i potwierdza stan z Rys. 5.1 Rys. 5.2, gdzie województwo wielkopolskie może pochwalić się największą liczbą inwestycji powstałych z zastosowaniem warstwy ściernistej obniżającej poziom hałasu drogowego, w tym wypadku SMA-LA oraz MMA z gumą (Rys. 5.2).

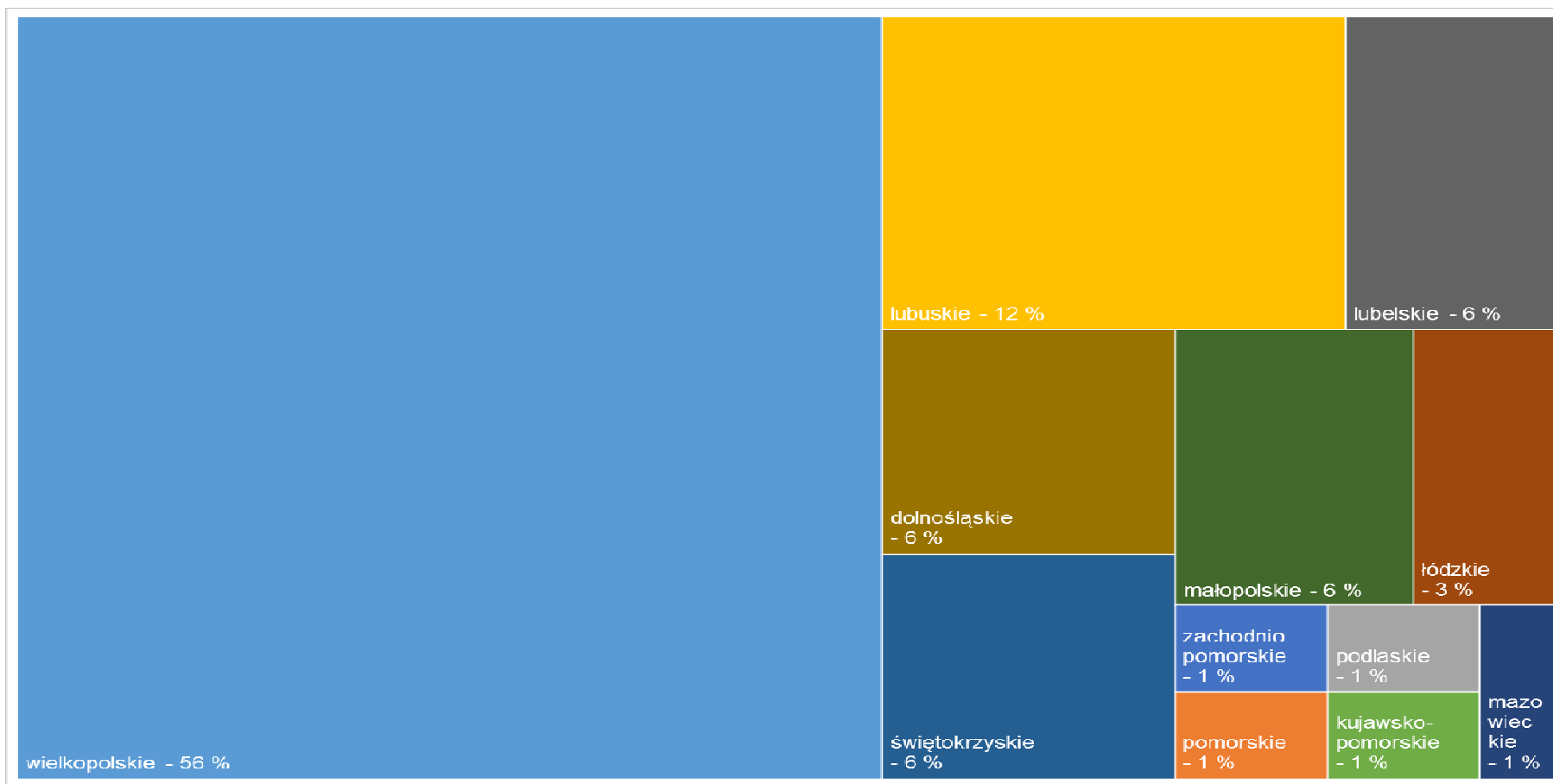
*Projekt RID - I/76 Ochrona przed hałasem drogowym*  
Zadanie 2. Ocena rozwiązań materiałowo-technologicznych górnych warstw asfaltowych i zalecenia w zakresie ich hałaśliwości

---



Rys. 5.3 Wykres liczby odcinków poszczególnych nawierzchni - drogi krajowe.

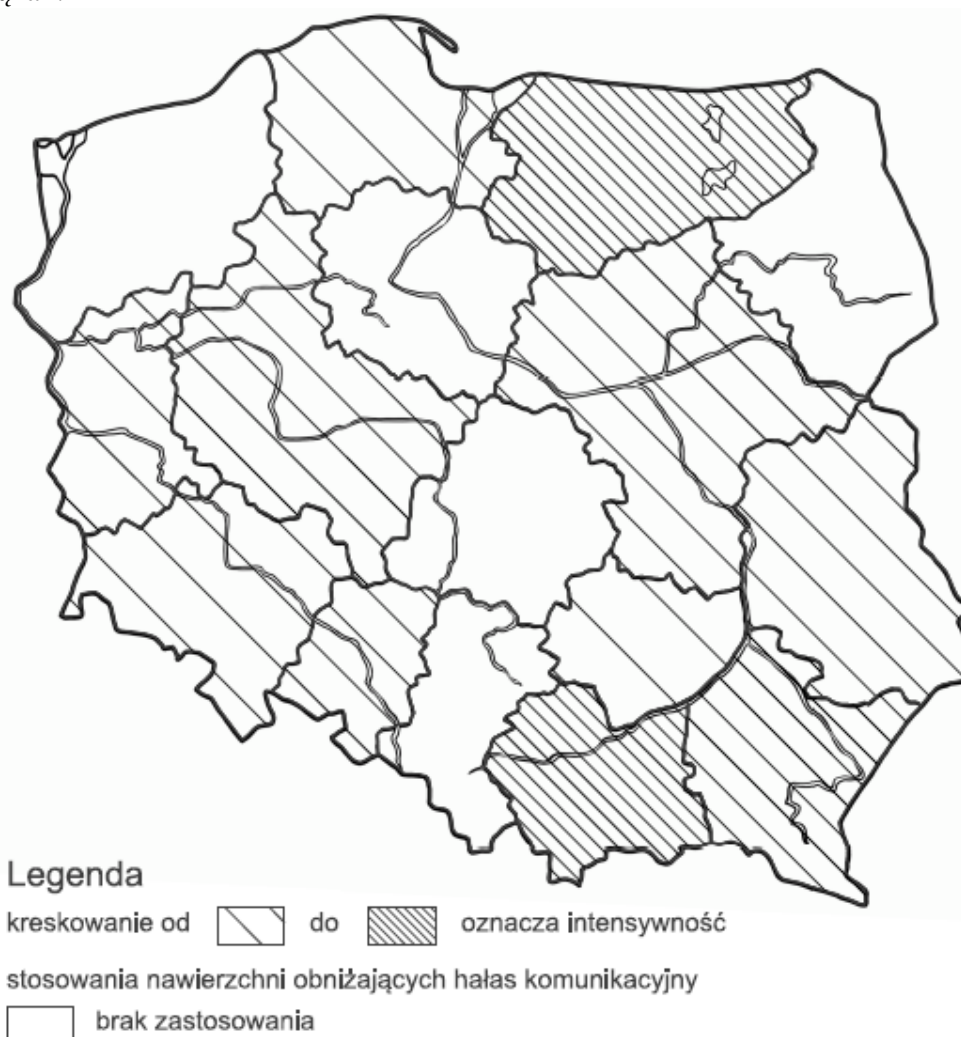




Rys. 5.4 Udział poszczególnych województw w zastosowaniu nawierzchni obniżających hałas drogowy - drogi krajowe.

## 5.1. Drogi wojewódzkie

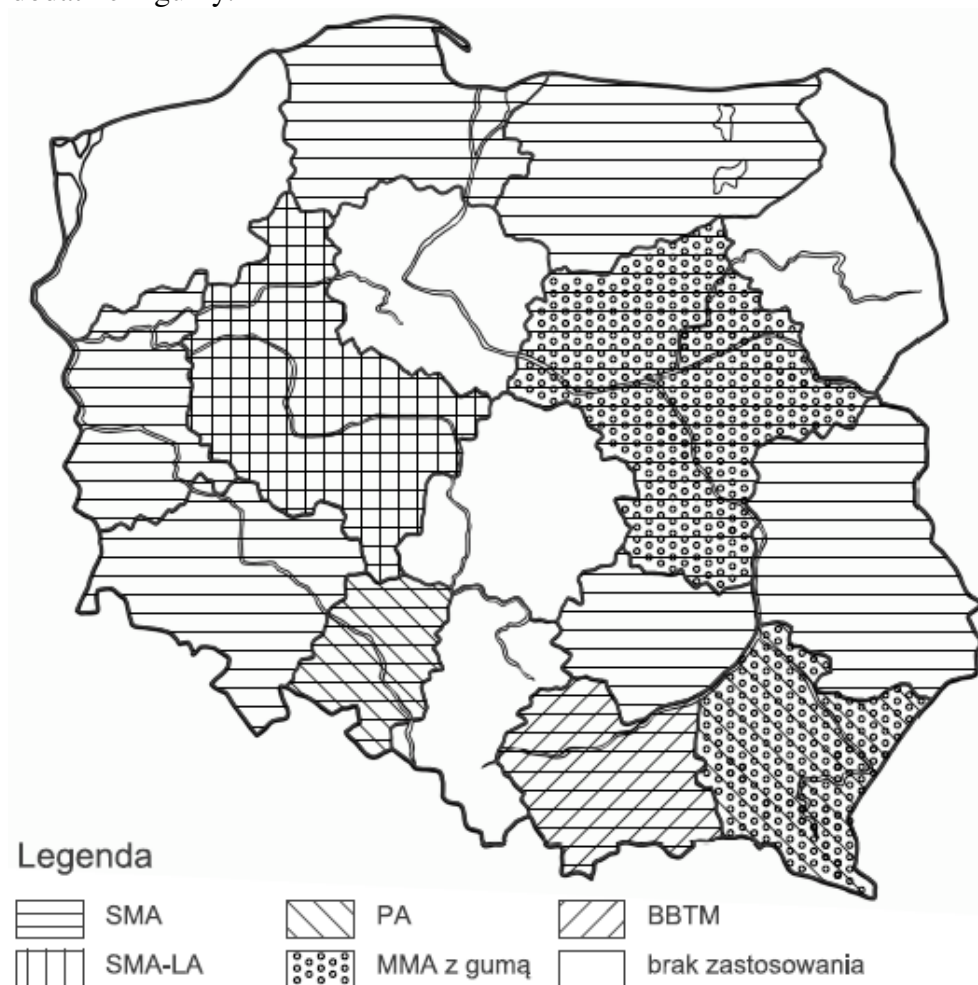
Mapa przedstawiona na Rys. 5.5 ukazuje intensywność stosowania rozwiązań obniżających poziom hałasu drogowego na odcinkach zarządzanych przez Zarządców Dróg Wojewódzkich. Można zauważyć, że najczęściej „ciche” nawierzchnie stosuje się w województwie warmińsko-mazurskim oraz małopolskim. Na terenie województw: zachodnio-pomorskiego, kujawsko-pomorskiego, podlaskiego, łódzkiego oraz śląskiego nie występują odcinki o warstwie ścieralnej nawierzchni powstałej z mieszanki obniżającej hałas, zaś na pozostałym obszarze Polski pojawia się pewien niewielki odsetek zastosowania tego typu rozwiązań.



Rys. 5.5 Intensywność stosowania nawierzchni obniżających hałas na drogach wojewódzkich.

Rys. 5.6 ilustruje faktyczny stan rodzajów rozwiązań stosowanych na terenie poszczególnych województw. Klasyczne rozwiązanie z użyciem mastyksu grysowego (SMA) pojawia się, oprócz podkarpacia, we wszystkich województwach, gdzie „ciche” nawierzchnie są obecne, co potwierdza popularność tej mieszanki. W województwie mazowieckim, w tym na drodze będącej we własności Zarządu Miejskich Inwestycji Drogowych w Warszawie,

powstały dwa odcinki o warstwie ścieralnej z betonu asfaltowego do bardzo cienkich warstw (BBTM) z dodatkiem gumy.



Rys. 5.6 Rodzaje rozwiązań obniżających poziom hałasu na drogach wojewódzkich w zależności od województw.

Rys. 5.8 pokazuje udział poszczególnych województw w zastosowaniu rozwiązań mających na celu obniżenie poziomu hałasu w otoczeniu dróg dla odcinków będących pod zarządem Zarządów Dróg Wojewódzkich (drogi wojewódzkie). Wykres powstał w oparciu o przybliżoną liczbę odcinków powstałych z „cichej nawierzchni” zgodnie z Tab. 5.1- Tab. 5.6

i potwierdza stan z Rys. 5.5, gdzie województwo warmińsko-mazurskie oraz małopolskie mogą pochwalić się największą liczbą inwestycji powstałych z zastosowaniem warstwy ścieralnej obniżającej poziom hałasu drogowego, w tym wypadku SMA oraz BBTM (Rys. 5.6).

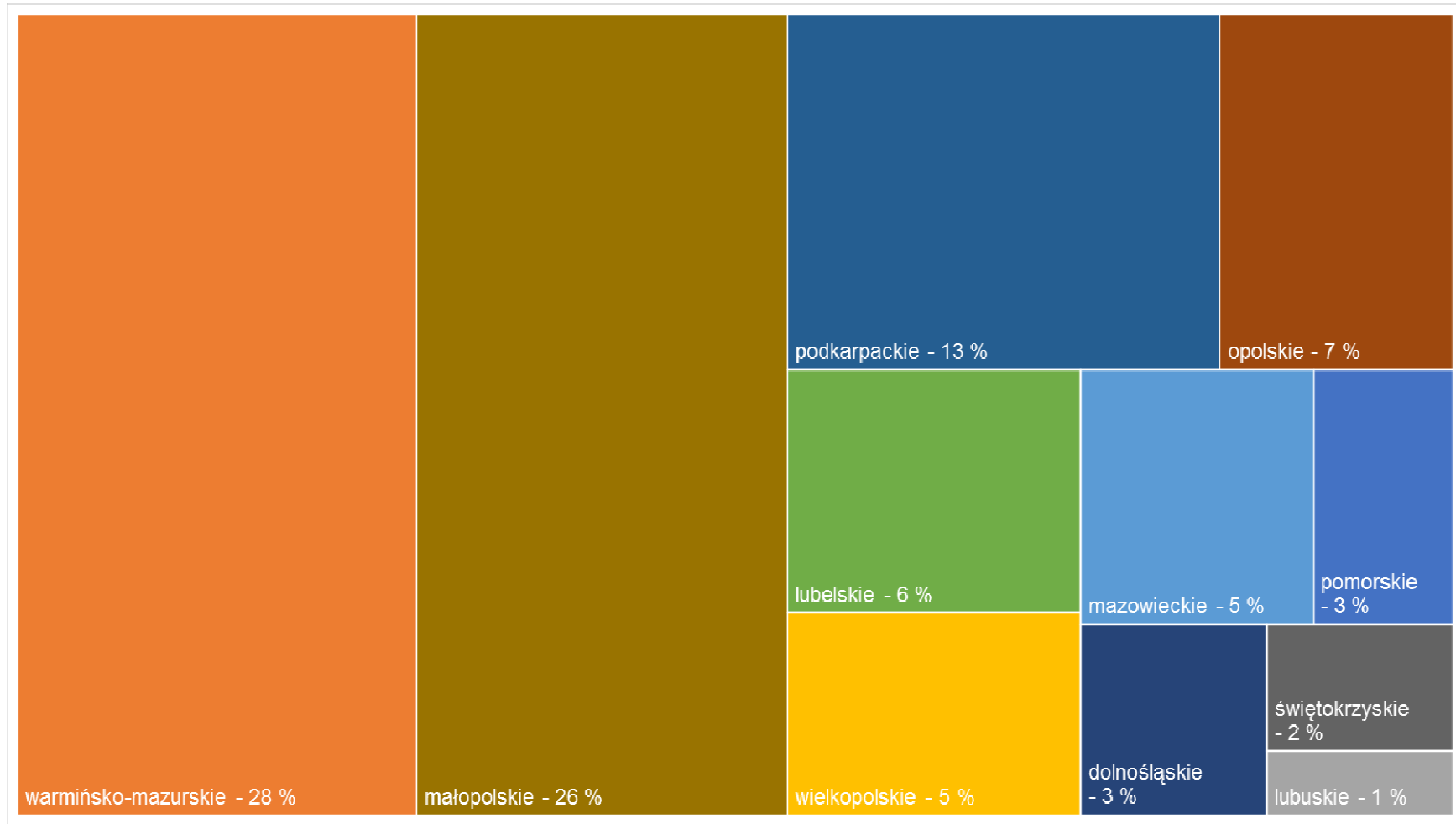
*Projekt RID - I/76 Ochrona przed hałasem drogowym*  
Zadanie 2. Ocena rozwiązań materiałowo-technologicznych górnych warstw asfaltowych i zalecenia w zakresie ich hałaśliwości

---



Rys. 5.7 Wykres liczby odcinków poszczególnych nawierzchni - drogi wojewódzkie.

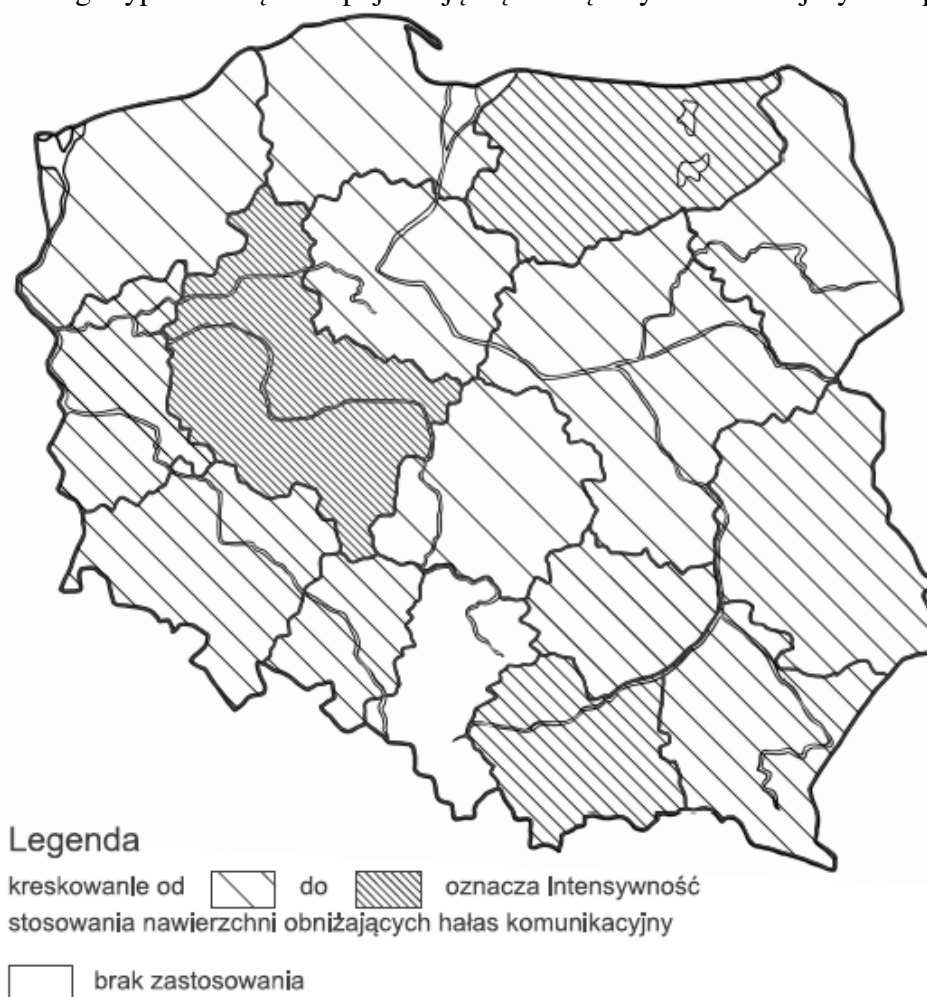
Zadanie 2. Ocena rozwiązań materiałowo-technologicznych górnych warstw asfaltowych i zalecenia w zakresie ich hałaśliwości



Rys. 5.8 Udział poszczególnych województw w zastosowaniu nawierzchni obniżających hałas drogowy - drogi wojewódzkie

## 5.2. Drogi w Polsce

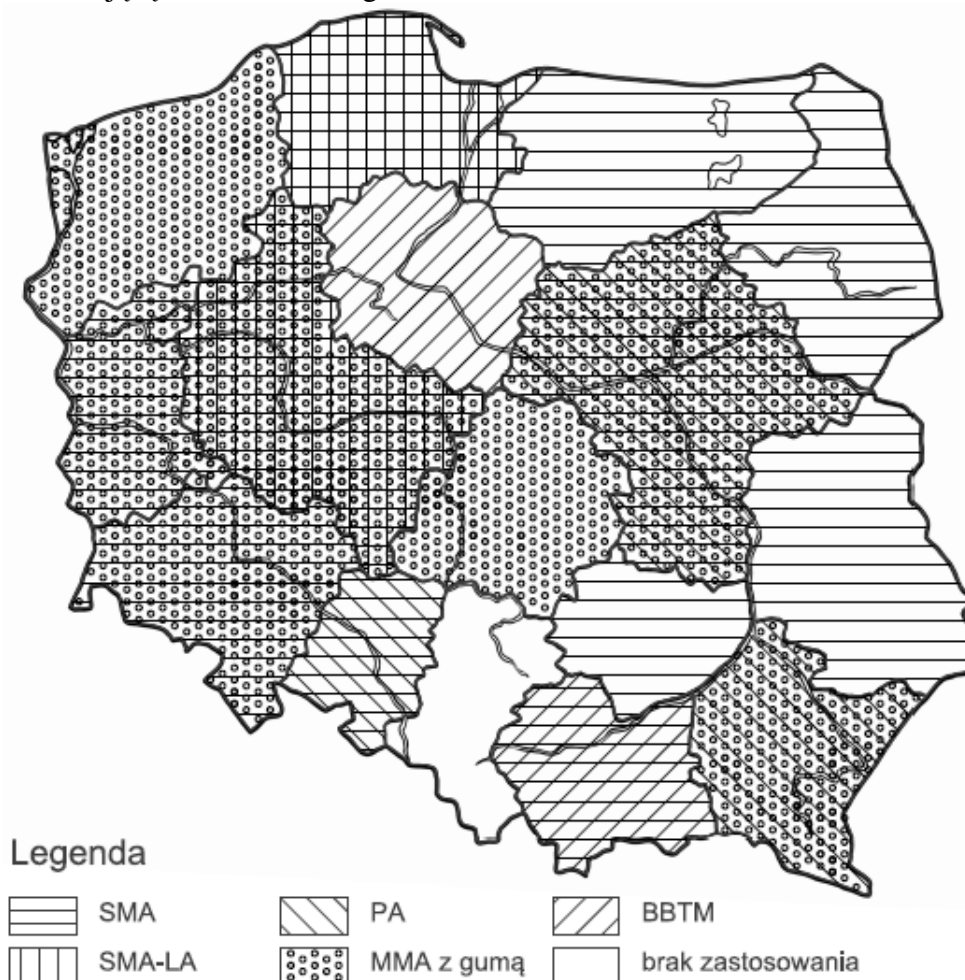
Mapa przedstawiona na Rys. 5.9 ukazuje intensywność stosowania rozwiązań obniżających poziom hałasu drogowego na odcinkach dróg na terenie całej Polski zarządzanych zarówno przez Generalną Dyрекcję Dróg Krajowych i Autostrad, jak i przez Zarządców Dróg Wojewódzkich. Można zauważyć, że najczęściej „ciche” nawierzchnie stosuje się w województwie wielkopolskim, trochę rzadziej w województwie warmińsko-mazurskim oraz małopolskim. Na terenie województwa śląskiego nie występują odcinki o warstwie ściernistej nawierzchni powstałej z mieszanki obniżającej hałas, zaś na pozostałym obszarze Polski tego typu rozwiązania pojawiają się w większym lub mniejszym stopniu.



Rys. 5.9 Intensywność stosowania nawierzchni obniżających hałas na drogach w Polsce.

Rys. 5.10 ilustruje faktyczny stan rodzajów rozwiązań stosowanych na terenie poszczególnych województw. Klasyczne rozwiązanie z użyciem mastyksu grysowego (SMA) występuje niemalże na terenie całego kraju, z czego można wnioskować o korzystnych właściwościach wbudowanej mieszanki mineralno-asfaltowej oraz pozytywnymi doświadczeniami związanymi z jej eksploatacją. Rozwiązania bardziej innowacyjne, takie jak mastyks grysowy o zwiększonej zawartości wolnych przestrzeni (SMA-LA), mieszanka

mineralno-asfaltowa z dodatkiem gumy (MMA z gumą) czy asfalt porowaty (PA) mają zastosowanie głównie na zachodzie Polski, z tendencją przesuwania się na wschód. Tego typu sytuację można zobrazować jako falę nowych rozwiązań, zbliżającą się od zachodnich sąsiadów i zmierzającą ku wschodnim granicom Polski.

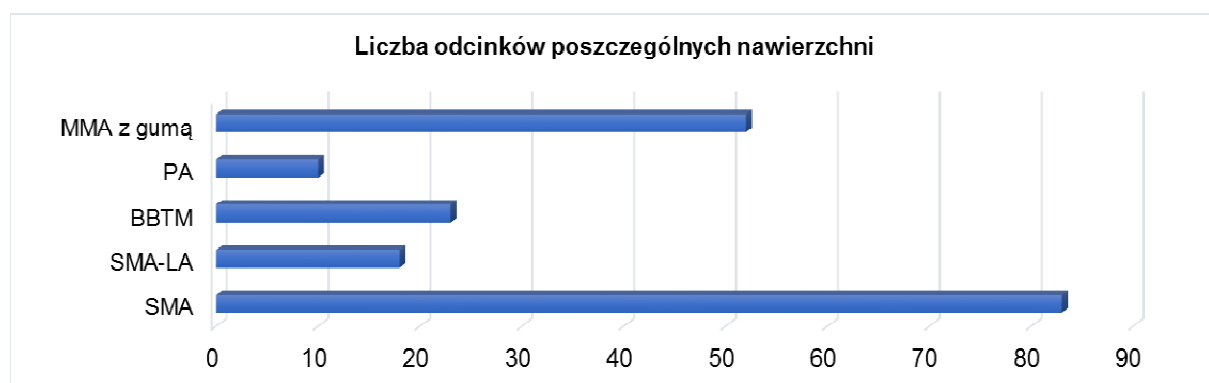


Rys. 5.10 Rodzaje rozwiązań obniżających poziom hałasu na drogach w Polsce w zależności od województw.

Rys. 5.12 pokazuje udział poszczególnych województw w zastosowaniu rozwiązań mających na celu obniżenie poziomu hałasu w otoczeniu dróg dla odcinków będących pod zarządem zarówno Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad, jak i Zarządców Dróg Wojewódzkich (drogi krajowe oraz wojewódzkie). Wykres powstał w oparciu o przybliżoną liczbę odcinków powstałych z „cichej nawierzchni” zgodnie z Tab. 5.1- Tab. 5.6 i potwierdza stan z Rys. 5.9 Rys. 5.10, gdzie województwo wielkopolskie, a zaraz za nim warmińsko-mazurskie oraz małopolskie mogą pochwalić się największą liczbą inwestycji powstałych z zastosowaniem warstwy ścieralnej obniżającej poziom hałasu drogowego, w tym wypadku SMA, SMA-LA oraz MMA z gumą (woj. wielkopolskie), SMA (woj. warmińsko-mazurskie) oraz SMA i PA (woj. małopolskie) (Rys. 5.10).

*Projekt RID - I/76 Ochrona przed hałasem drogowym*  
Zadanie 2. Ocena rozwiązań materiałowo-technologicznych górnych warstw asfaltowych i zalecenia w zakresie ich hałaśliwości

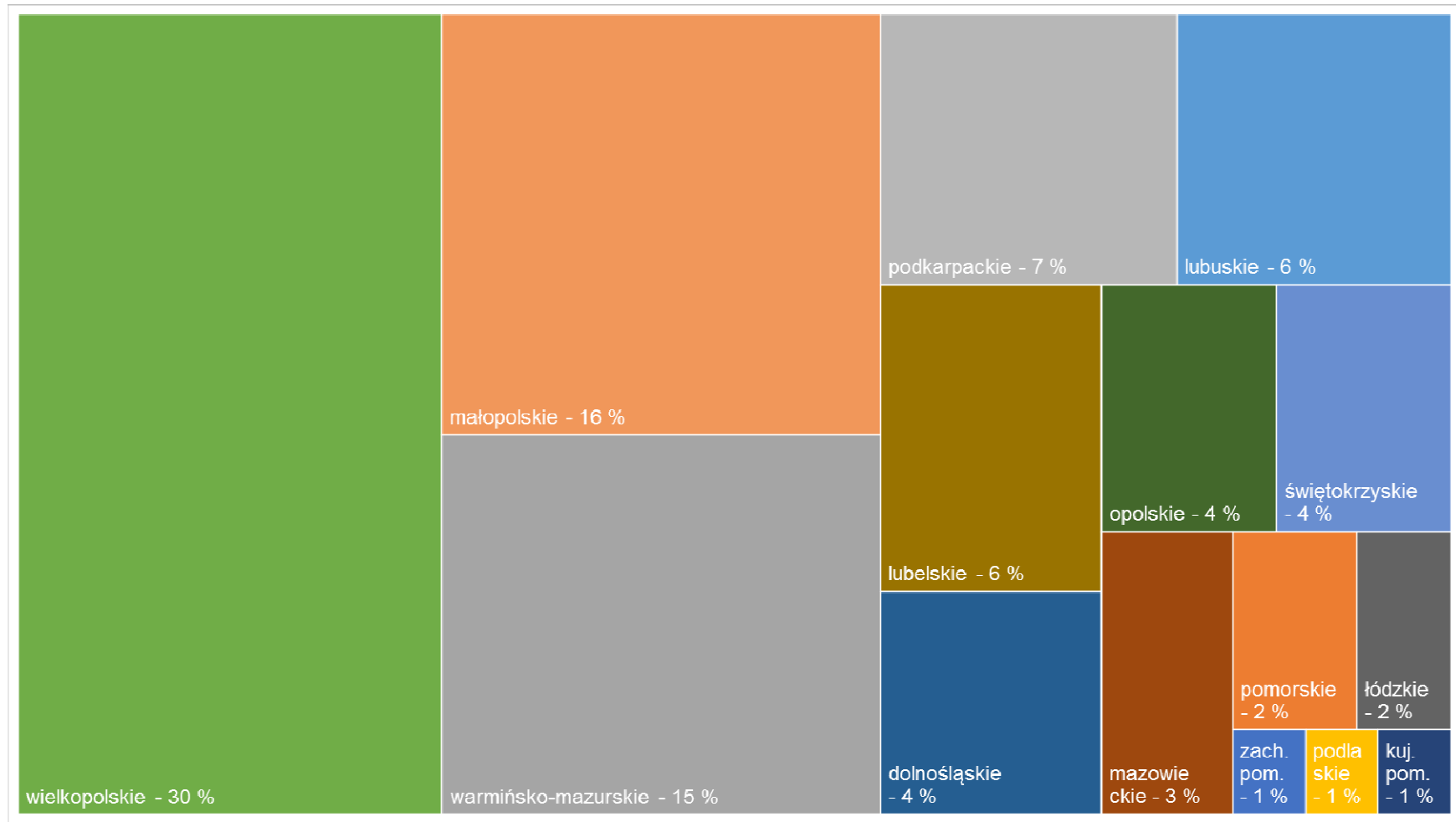
---



Rys. 5.11 Wykres liczby odcinków poszczególnych nawierzchni - drogi w Polsce.



Zadanie 2. Ocena rozwiązań materiałowo-technologicznych górnych warstw asfaltowych i zalecenia w zakresie ich hałaśliwości



Rys. 5.12 Udział poszczególnych województw w zastosowaniu nawierzchni obniżających hałas drogowy - drogi w Polsce.

### **5.3. Doświadczenia wykonawców - drogowych firm budowlanych**

W trakcie realizacji pracy skontaktowano się z działami technologii firm drogowych realizujących w ostatnich latach kontrakty w Polsce. Skontaktowano się również z firmą produkującą mieszankę mineralno-asfaltową i sprzedającą ją firmom drogowym.

Podczas kontaktu proszono o udostępnienie informacji w zakresie stosowania mieszanek mineralno-asfaltowych obniżających hałas drogowy: rodzajów stosowanych mieszanek obniżających hałas komunikacyjny, miejsca ich zastosowania oraz doświadczeń z tym związanych. W szczególności podkreślono, że istotne są informacje: lokalizacja i data wykonania odcinka drogowego, rodzaj i skład zastosowanej mieszanki mineralno-asfaltowej oraz obserwacje związane z eksploatacją nawierzchni (m. in. spękania, równość podłużna, głębokość kolein (równość poprzeczna), stan powierzchni, właściwości przeciwpoślizgowe, hałas). W kontakcie oficjalnym poproszono o ewentualne wskazanie, które z przekazanych informacji traktować należy jako takie, które nie powinny być przedstawiane publicznie.

Firmy, z którymi przeprowadzono rozmowy dotyczące doświadczeń w stosowaniu technologii mieszanek mineralno-asfaltowych redukujących hałas drogowy to: Budimex, Colas, Eurovia, Masfalt, Mostostal Warszawa S.A, Porr, Skanska, Strabag/TPA. Zaznaczyć należy, że każda z firm charakteryzuje się innym podejściem w zakresie kontaktów z uczelniami oraz koncepcją upowszechniania wyników swoich prac, w tym prac badawczo-wdrożeniowych. W związku z powyższym, ilość informacji uzyskanych od firm jest również znacząco różna: ograniczona ilość informacji nie musi oznaczać, że firma nie ma doświadczeń w tym zakresie, może również oznaczać, że firma nie chce upubliczniać informacji o swoich doświadczeniach.

Niektóre z firm posiadają lub posiadały w swojej ofercie mieszanki o zastrzeżonej nazwie dedykowane do stosowania w celu redukcji hałasu drogowego:

1. Firma w 2008 r. wykonała pomiary własne metodą CPX. W ramach doświadczeń własnych stwierdzono, że zanieczyszczenie wolnych przestrzeni jest poważną wadą mieszanek porowatych, ale jest wyzwaniem do rozwiązania. Stwierdzono, że konieczne jest ciśnieniowe mycie cichych nawierzchni. Doświadczenia zostały opisane m.in. w publikacji [36]. Firma udostępniła wykaz wykonanych robót i uzyskane wyniki pomiaru (bez dalszych informacji o metodzie pomiarowej).

Colsoft - mieszanka mineralno-asfaltowa z dodatkiem granulatu (pudru) kauczukowego; skład:

- uziarnienie 0/8 (nieciągłość 2/5) lub 0/11 (nieciągłość 2/8)
- granulatu kauczuku 0/1 z recyklingu opon (1-2%)
- lepszycze 80B

- grubość warstwy od 2,5 cm do 5,0

Zawartość wolnych przestrzeni ok. 11 %

Osiągnięcia akustyczne 3 dB(A) gwarantowane

Produkcja 2000-2005

Rugosoft; skład:

- uziarnienie 0/8
- lepszycze 80C wysokomodyfikowane
- grubość warstwy 2-3 cm

Zadanie 2. Ocena rozwiązań materiałowo-technologicznych górnych warstw asfaltowych i zalecenia w zakresie ich hałaśliwości

Zawartość wolnych przestrzeni > 10 %  
 Osiągnięcia akustyczne 3-5 dB(A)  
 Produkcja 2005-2016

Nnanosoft - najnowsza generacja; skład:  
 - granulacja 0/5 (1/2 + 2/5)  
 - lepszycze 80C wysokomodyfikowane  
 - grubość warstwy od 2,5 do 4 cm  
 Zawartość wolnych przestrzeni > 18%  
 Osiągnięcia akustyczne 7 - 10 dB(A)  
 Produkcja 2007-2009

Wykaz robót z Nanosoft:

Poznań - ul. Serbska - ulica w mieście ( rondo-skrzyżowanie) rok wykonania 2007  
 - 2008 86,2 dBA 6 m-cy po wykonaniu  
 - 2009 89,3 dBA 21 m-cy po wykonaniu

POZNAŃ - ul. Głogowska - ulica wylotowa z miasta ( DK 5) rok wykonania 2009  
 - 2009 85,4 dBA 3 m-ce po wykonaniu

Droga ekspresowa S- 11 obejście Kórnika rok wykonania 2009

- 2009 kierunek NW 85,7 dBA, kierunek SE 86,7 dBA 3 m-ce po wykonaniu  
 - 2010 kierunek NW 86,2 dBA kierunek SE 86,1 dBA 17 m-cy po wykonaniu

POZNAŃ -

-Aleja Solidarności - ulica w mieście ( rondo - skrzyżowanie) rok wykonania 2009

-2010 kierunek W 86,8 dBA kierunek E 87,1 dBZ 12 m-cy po wykonaniu

Wykaz robót z COLSOFT przedstawiono Tab. 5.7A robót z Rugosoft w Tab. 5.8

Tab. 5.7 Wykaz robót z Colsoft

Rok wykonania	Lokalizacja	Powierzchnia, tys. m <sup>2</sup>
1999	Ul. Grunwaldzka, Poznań	6
2000	Ul. Hetmańska, Poznań	9,5
2001	Ul. Garbary, Poznań	4
	Ul. Poznańska, Poznań	7,55
2002	DK 5 m. Komorniki	27,8
2004	Ul. Główna, Poznań	7,68

Tab. 5.8 Wykaz robót z Rugosoft

Rok wykonania	Lokalizacja	Powierzchnia, tys. m <sup>2</sup>
2005	Obwodnica Gniezna w ciągu DK nr 15	65
2006	m. Poznań Aleja Niepodległości	9
	m. Poznań ul. Strzeszyńska	11
	dr. krajowa nr 36 m. Krotoszyn	6
2007	dr. krajowa 32 Rakoniewice-Rostarzewo	12
	m. Poznań ul. Grochowska	5

*Projekt RID - I/76 Ochrona przed hałasem drogowym*  
**Zadanie 2. Ocena rozwiązań materiałowo-technologicznych górnych warstw asfaltowych i zalecenia w zakresie ich hałaśliwości**

	m. Poznań ul. Szeligowskiego	3
	m. Poznań ul. Swobody	5
	m. Poznań ul. Serbska	5
<b>2008</b>	m. Poznań ul. Głogowska (etap I w ciągu DK 5)	57
	m. Poznań ul. Szamarzewskiego	3
	m. Wrocław ul. Bystrzycka	3
	m. Wrocław ul. Małopanewska	4
	m. Poznań ul. Murawa	11
	m. Poznań ul. Omańkowskiej	5
	m. Poznań ul. Warszawska	6
	m. Poznań ul. Św. Marcin	2
<b>2009</b>	m. Poznań ul. Bułgarska	19
	m. Poznań ul. Szamarzewskiego	5
	m. Legnica ul. Wrocławska	5
	m. Poznań ul. Winogrody	15
	DK 32 m. Granowo	14
	DK 5 m. Jarogniewice	6
<b>2010</b>	D 11 m. Suchy Las	32
	DK 15 m. Września	43
	m. Poznań ul. Murawa	8
	m. Lubin ul. Piłsudskiego	23
<b>2011</b>	m. Poznań, ul. Bukowska	68
<b>2012</b>	S-11 ZOP	22
<b>2016</b>	m. Poznań, ul. Dąbrowskiego	5

2. Firma wykonała odcinki i dokonała monitoringu w zakresie właściwości akustycznych, Mieszanka mineralno-asfaltowa 0/8 o nazwie handlowej Viaphone obserwowana była przez 6 lat; sformułowana spostrzeżenia dotyczące nieskuteczności zabiegów czyszczenia nawierzchni porowatej, o ile zostaną przeprowadzone zbyt późno [37, 38, 39, 40]. W materiałach przedstawiono szczegóły w zakresie lokalizacji i zastosowanych materiałów.
3. Wykonano szeroki program badań na drodze nr 780 Kraków - Alwernia na odcinkach eksperymentalnych o obniżonej hałaśliwości oraz na odcinkach ze standardową nawierzchnią. Wykonawca odcinków udostępnił na potrzeby tego projektu RID-76 raporty z badań [41, 42, 43, 44]. W momencie realizacji projektu RID-76 część z odcinków prototypowych została sfrezowana w ramach zapisów umownych z zarządcą drogi.  
Materiały z raportów, jakkolwiek nie udostępniane szczegółowo w tym raporcie RID, stanowiły podstawę do sformułowania części zaleceń i wniosków badawczych. Należy wspomnieć, że część z obserwacji stanowiła podstawę do sformułowania programu badawczego opisanego szczegółowo w rozdziale 8.
4. W latach 2010-2015 Mostostal Warszawa S.A. w konsorcjum naukowo-badawczym z Politechniką Warszawską oraz Instytutem Badawczym Dróg i Mostów realizował grant badawczy „Innowacyjna technologia nawierzchni drogowych o obniżonej emisji hałasu”. Wykonano odcinki dostępne dla ruchu publicznego i zamknięte dla ruchu pojazdów. Testowano różne asfaltowe technologie redukujące hałas. Należy zaznaczyć, że część z wykonanych odcinków stanowi poligon doświadczalny w

ramach prac realizowanych w projekcie RID-76. Podsumowaniem projektu jest m.in. [45, 46, 47, 48, 49].

## **5.4. Podsumowanie**

W ostatnich kilkunastu latach świadomość społeczeństwa na temat hałasu w otoczeniu dróg zaczęła nabierać większego znaczenia. Doświadczenia zagraniczne dały początek nowemu spojrzeniu na sprawę oddziaływania hałasu na środowisko, w szczególności zdrowie ludzi oraz komfort ich życia codziennego. Polska jest krajem stosunkowo słabo rozwiniętym w porównaniu do krajów Europy zachodniej, jeśli chodzi o nowe typy rozwiązań stosowanych w drogownictwie w celu obniżenia poziomu hałasu w otoczeniu dróg. Projektanci oraz inwestorzy niejednokrotnie unikają kontaktu z nie do końca rozpoznanymi jak dotąd rozwiązaniami a taki stan rzeczy skutkuje ubogim doświadczeniem oraz brakiem możliwości pracy nad rozwiązaniami materiałowo-technologicznymi w celu ich ulepszenia oraz dostosowywania do warunków klimatycznych panujących w naszej strefie klimatycznej. Stwierdzić należy, że liczba prac badawczo-wdrożeniowych prowadzonych w tym zakresie jest również bardzo niska.

Nawierzchnie obniżające poziom hałasu drogowego są efektywnym rozwiązaniem w przypadku konieczności obniżenia poziomu hałasu w otoczeniu dróg, jednak ubogie doświadczenie w zakresie ich zastosowania w Polsce stanowi podstawowy czynnik braku rozwoju tego typu rozwiązań materiałowo-technologicznych. Najskuteczniejsze z nich, takie jak asfalt porowaty czy nawierzchnie poroelastyczne, nie zawsze sprawdzają się w każdych warunkach klimatycznych a ich utrzymanie niejednokrotnie przysparza kłopotów zarządom dróg ze względu na konieczność czyszczenia przy użyciu specjalistycznego sprzętu mniej dostępnego w Polsce oraz utrzymanie zimowe.

Nawierzchnie obniżające hałas w otoczeniu dróg są najczęściej przyczyną wzrostu kosztów wykonania nawierzchni, jednak biorąc pod uwagę analizę kosztów cyklu życia tego typu nawierzchni okazuje się, że w porównaniu do innych środków mających na celu ograniczanie emisji hałasu (np. ekranów akustycznych) mogą być porównywalnym pod względem finansowym rozwiązaniem - istotne są ponadto rozwiązania kompleksowo łączące zagadnienia nawierzchni, inżynierii ruchu oraz ekranów. Ważny element stanowi także świadomość inwestorów na temat kosztów związanych nie tylko z samą inwestycją ale również o istnieniu kosztów niematerialnych, które jest zmuszone ponosić społeczeństwo żyjące w obszarze oddziaływania hałasu.

Nawierzchnie z mastyksu grysowego oraz z dodatkiem gumy są najpopularniejszym rozwiązaniem stosowanym zarówno na drogach krajowych, jak i wojewódzkich w celu obniżenia poziomu hałasu emitowanego do otoczenia, które nie wymagają specjalnego utrzymania w czasie eksploatacji. Powstały również rozwiązania autorskie firm zajmujących się produkcją mieszanek mineralno-asfaltowych.

Dotychczas największą popularnością zastosowania celem obniżenia poziomu hałasu w otoczeniu dróg cieszyła się warstwa ściernalna z mastyksu grysowego (SMA), która nie sprawia kłopotów w utrzymaniu i prawidłowo spełnia swoją rolę. Możliwości rozwoju jest jednak wiele i wyraźnie widać wpływ postępu zachodnich sąsiadów Polski na zastosowanie innowacyjnych rozwiązań w naszym kraju.

## **6. OCENA RÓWNOWAŻNEGO POZIOMU HAŁASU W ŚRODOWISKU**

### **6.1. Badania hałasu środowiskowego**

#### **6.1.1. Informacje ogólne**

Badania hałasu środowiskowego dotyczyły poziomu dźwięku reprezentowanego przez równoważny poziom dźwięku  $L_{Aeq}$ , który wykorzystywany jest w analizach dotyczących oceny wpływu hałasu na środowisko oraz ludzi (w dalszej części nazywany hałasem środowiskowym).

Celem tych badań była próba określenia wpływu różnych rodzajów nawierzchni asfaltowych i betonowych na hałas pomierzony w otoczeniu odcinka drogi.

Do badań hałasu środowiskowego wytypowano 8 odcinków pomiarowych na nawierzchniach pomiarowych. Należały do nich odcinki:

- droga krajowa DK-50 - km początkowy 22,000 - nawierzchnia BA (punkt A),
- Korytów - km początkowy 0,000 - nawierzchnia PU (punkt D),
- droga krajowa DK-50 - km początkowy 72,800 - nawierzchnia BC (punkt E),
- droga krajowa DK-50 - km początkowy 41,500 - nawierzchnia SMA (punkt F),
- droga krajowa DK-50 - km początkowy 58,000 - nawierzchnia SMA (punkt G),
- droga krajowa DK-50C - km początkowy 2,000 - nawierzchnia SMA (punkt H),
- droga krajowa DK-50D - km początkowy 2,500 - nawierzchnia SMA (punkt I),
- droga krajowa DK-48 - km początkowy 55,000 - nawierzchnia SS (punkt J).

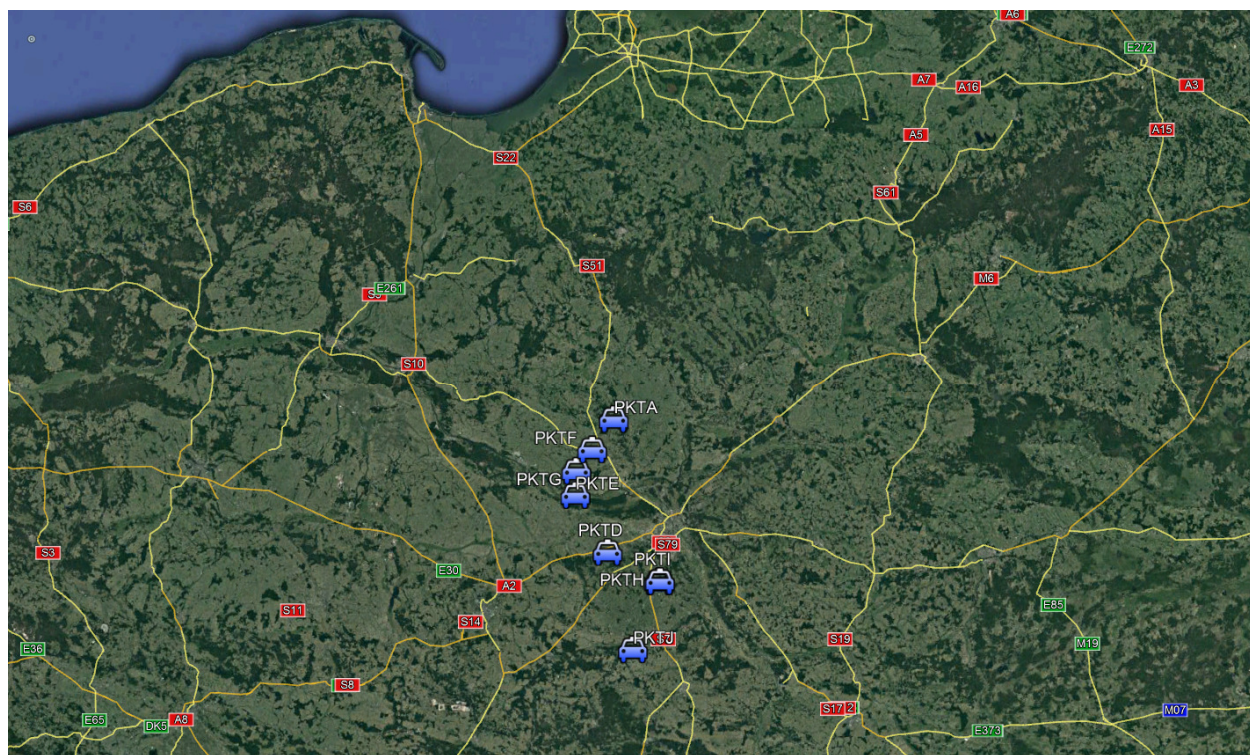
W powyższych oznaczeniach BA oznacza beton asfaltowy, BC - beton cementowy, SMA - mastyks grysowy, SS - mieszankę mineralno-emulsyjną (slurry seal) oraz PU - powierzchniowe utrwalenie.

Na Rys. 6.1. przedstawiono ogólną lokalizację odcinków pomiarowych na wybranych fragmentach dróg asfaltowych i betonowych (oznaczone jako PKTA, PKTD - PKTJ), a w Tab. 6.1 zestawienie informacji szczegółowych dotyczących wyników pomiarów hałasu środowiskowego na wybranych odcinkach dróg.

*Projekt RID - I/76 Ochrona przed hałasem drogowym*  
**Zadanie 2. Ocena rozwiązań materiałowo-technologicznych górnych warstw asfaltowych i zalecenia w zakresie ich hałaśliwości**

Tab. 6.1 Zestawienie informacji szczegółowych dotyczących wyników pomiarów hałasu środowiskowego na wybranych odcinkach dróg betonowych

Lp.	Punkt Pomiarowy	Nr drogi	Kilometraż	Lokalizacja szczegółowa	
				szerokość geograficzna	długość geograficzna
1	A	DK-50	km 22,000	52°42'49.25"N	20°29'55.83"E
2	D	Korytów (miejscowość)	km 0,000	52° 1'9.26"N	20°29'4.32"E
3	E	DK-50	km 72,800	52°18'27.32"N	20°11'22.22"E
4	F	DK-50	km 41,500	52°33'1.74"N	20°19'16.47"E
5	G	DK-50	km 58,000	52°26'10.72"N	20°11'36.23"E
6	H	DK-50C	km 2,000	51°52'28.49"N	20°55'36.25"E
7	I	DK-50D	km 2,500	51°52'34.06"N	20°56'6.75"E
8	J	DK-48	km 55,000	51°30'54.82"N	20°43'27.23"E



Rys. 6.1 Ogólna lokalizacja odcinków pomiarowych hałasu środowiskowego na wybranych fragmentach dróg asfaltowych i betonowych

Na Rys. 6.2 - Rys. 6.9 przedstawiono lokalizację punktów pomiarowych na poszczególnych odcinkach dróg asfaltowych i betonowych.

*Projekt RID - I/76 Ochrona przed hałasem drogowym*  
Zadanie 2. Ocena rozwiązań materiałowo-technologicznych górnych warstw asfaltowych i zalecenia w zakresie ich hałaśliwości

---



Rys. 6.2 Lokalizacja punktu pomiarowego w drogi krajowej DK-50 - km początkowy 22,000 - nawierzchnia BA (punkt A)



Rys. 6.3 Lokalizacja punktu pomiarowego w Korytów - km początkowy 0,000 - nawierzchnia PU (punkt D)



*Projekt RID - I/76 Ochrona przed hałasem drogowym*  
Zadanie 2. Ocena rozwiązań materiałowo-technologicznych górnych warstw asfaltowych i zalecenia w zakresie ich hałaśliwości

---



Rys. 6.4 Lokalizacja punktu pomiarowego w otoczeniu odcinka drogi krajowej DK-50 - km początkowy 72,800 - nawierzchnia BC (punkt E)



Rys. 6.5 Lokalizacja punktu pomiarowego w otoczeniu odcinka drogi krajowej DK-50 - km początkowy 41,500 - nawierzchnia SMA (punkt F)

*Projekt RID - I/76 Ochrona przed hałasem drogowym*  
Zadanie 2. Ocena rozwiązań materiałowo-technologicznych górnych warstw asfaltowych i  
zalecenia w zakresie ich hałaśliwości

---



Rys. 6.6 Lokalizacja punktu pomiarowego w otoczeniu odcinka drogi krajowej DK-50 - km początkowy 58,000 - nawierzchnia SMA (punkt G)



Rys. 6.7 Lokalizacja punktu pomiarowego w otoczeniu odcinka drogi krajowej DK-50C - km początkowy 2,000 - nawierzchnia SMA (punkt H)

*Projekt RID - I/76 Ochrona przed hałasem drogowym*  
Zadanie 2. Ocena rozwiązań materiałowo-technologicznych górnych warstw asfaltowych i zalecenia w zakresie ich hałaśliwości

---



Rys. 6.8 Lokalizacja punktu pomiarowego w otoczeniu odcinka drogi krajowej DK-50D - km początkowy 2,500 - nawierzchnia SMA (punkt I)



Rys. 6.9 Lokalizacja punktu pomiarowego w otoczeniu odcinka drogi krajowej DK-48 - km początkowy 55,000 - nawierzchnia SS (punkt J)

Poniżej na Rys. 6.10 - Rys. 6.17 przedstawiono widok na poddaną badaniu hałaśliwości nawierzchnię.



Rys. 6.10 Nawierzchnia na odcinku drogi krajowej DK-50 - km początkowy 22,000 - nawierzchnia BA (punkt A)



Rys. 6.11 Nawierzchnia na odcinku Korytów - km początkowy 0,000 - nawierzchnia PU (punkt D)

*Projekt RID - I/76 Ochrona przed hałasem drogowym*  
Zadanie 2. Ocena rozwiązań materiałowo-technologicznych górnych warstw asfaltowych i zalecenia w zakresie ich hałaśliwości

---



Rys. 6.12 Nawierzchnia na odcinku drogi krajowej DK-50 - km początkowy 72,800 - nawierzchnia BC (punkt E)



Rys. 6.13 Nawierzchnia na odcinku drogi krajowej DK-50 - km początkowy 41,500 - nawierzchnia SMA (punkt F)

*Projekt RID - I/76 Ochrona przed hałasem drogowym*  
Zadanie 2. Ocena rozwiązań materiałowo-technologicznych górnych warstw asfaltowych i zalecenia w zakresie ich hałaśliwości

---



Rys. 6.14 Nawierzchnia na odcinku drogi krajowej DK-50 - km początkowy 58,000 - nawierzchnia SMA (punkt G)



Rys. 6.15 Nawierzchnia na odcinku drogi krajowej DK-50C - km początkowy 2,000 - nawierzchnia SMA (punkt H)



Rys. 6.16 Nawierzchnia na odcinku drogi krajowej DK-50D - km początkowy 2,500 - nawierzchnia SMA (punkt I)



Rys. 6.17. Nawierzchnia na odcinku drogi krajowej DK-48 - km początkowy 55,000 - nawierzchnia SS (punkt J)

### **6.1.2. Opis metody pomiarowej**

Badania wykonano na ośmiu odcinkach dróg opisywanych powyżej z nawierzchnią wykonaną w technologii asfaltowej i betonowej. W pobliżu każdego z odcinków zlokalizowano punkty pomiarowe, w których mierzono równoważny poziom hałasu drogowego, natężenie ruchu drogowego i prędkości pojazdów. Badania zostały wykonane zgodnie z obowiązującymi przepisami i wytycznymi, tzn.:

- 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).
- Instrukcja o sposobie przeprowadzania generalnego pomiaru ruchu w roku 2015 GDDKiA.
- Wytyczne wykonywania pomiarów hałasu przy drogach krajowych prowadzonych w trakcie generalnego pomiaru ruchu, GDDKiA.

#### **Pomiar natężenia ruchu drogowego**

Pomiar natężenia ruchu odbywał się w określonych przekrojach poligonów badawczych. W trakcie przeprowadzonych badań, pomiary parametrów odbywały się manualnie, a obserwatorzy zliczali i odnotowywali pojazdy przejeżdżające przez przekrój zgodnie z instrukcją przeprowadzania generalnego pomiaru ruchu drogowego zgodnie z zaleceniami GDDKiA. Pomiar wykonywano w interwałach 15 minutowych z uwzględnieniem podziału na strukturę rodzajową ruchu. Zgodnie z wytycznymi GDDKiA rozróżnia się następujące kategorie pojazdów:

- rowery,
- motocykle, motorowery, quady,
- samochody osobowe,
- lekkie samochody ciężarowe (samochody dostawcze),
- samochody ciężarowe bez przyczep,
- samochody ciężarowe z przyczepami,
- autobusy, trolejbusy,
- ciągniki rolnicze, maszyny samobieżne.

Z uwagi na charakter pomiarów związany z hałasem drogowym pojazdy podzielono na dwie kategorie:

- lekkie;
  - samochody osobowe,
  - lekkie samochody ciężarowe (samochody dostawcze),
- ciężkie,
  - motocykle,
  - samochody ciężarowe bez przyczep,
  - samochody ciężarowe z przyczepami,
  - autobusy, trolejbusy,
  - ciągniki rolnicze, maszyny samobieżne

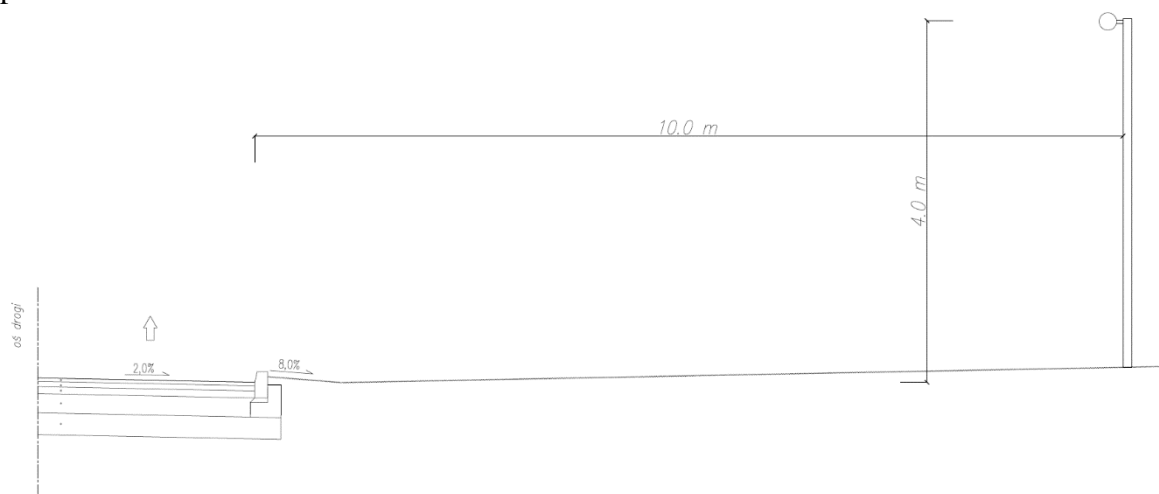
Równoległe z pomiarem natężenia ruchu drogowego wykonywano pomiar prędkości z podziałem na pojazdy lekkie i ciężkie. Do badań wykorzystano radarowy miernik prędkości.



### Pomiar równoważnego poziomu dźwięku

Pomiary poziomu dźwięku wykonywane były metodą bezpośrednią, zgodnie z rozporządzeniem 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). Wykonano je łącznie w 8 punktach pomiarowych (Rys. 6.2 - Rys. 6.9), zlokalizowanych w sąsiedztwie każdego analizowanego odcinka.

Pomiar hałasu drogowego odbywał się w tym samym przekroju co pomiar natężenia ruchu drogowego i prędkości pojazdów. Mikrofon umieszczony był w odległości 10 metrów od krawędzi drogi i na wysokości 4 metrów nad poziomem nawierzchni drogi. Na Rys. 6.18 przedstawiono ustawienie mierników.



Rys. 6.18 Typowa lokalizacja punktu referencyjnego i dodatkowego w przekroju pomiarowym, gdy droga przebiega w poziomie terenu

Pomiary zostały wykonane z zachowaniem poniższych zasad **Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania.:**

- pomiarów nie powinno wykonywać się:
  - w czasie, gdy mogą one zagrażać bezpieczeństwu uczestników ruchu i osobom wykonującym pomiar,
  - w trakcie, kiedy następują zakłócenia akustyczne nie związane z ruchem drogowym, które mogą mieć wpływ na wyniki,
  - w trakcie i po opadach atmosferycznych, kiedy nawierzchnia drogowa jest mokra, pokryta błotem, śniegiem lub lodem,
- warunki meteorologiczne podczas pomiarów:
  - prędkość wiatru 0-5 m/s określona na wysokości położenia najwyższego punktu lokalizacji,
  - brak silnej inwersji temperaturowej przy gruncie,
  - temperatura powyżej  $-5^{\circ}\text{C}$ ,
  - brak opadów atmosferycznych.

Badania wykonano przyrządami pierwszej klasy dokładności pomiaru - Rys. 6.19 i Rys. 6.20. Każdy z mierników przed rozpoczęciem pomiaru został skalibrowany. Urządzenia posiadają aktualne certyfikaty wzorcowania.



Rys. 6.19 Miernik SVAN 958



Rys. 6.20 Miernik SVAN 971

## 6.2. Wyniki

### 6.2.1. Wyniki badań - droga krajowa DK-50 (punkt A)

Badania natężenia ruchu oraz równoważnego poziomu hałasu generowanego na nawierzchni BA (beton asfaltowy) wykonano na drodze krajowej nr DK-50 (km początkowy

## Zadanie 2. Ocena rozwiązań materiałowo-technologicznych górnych warstw asfaltowych i zalecenia w zakresie ich hałaśliwości

22,000) w interwałach 15-minutowych. Pomiar prędkości wykonywano w trakcie całego pomiaru bez rozbijania ich na interwały 15-minutowe z uwagi na niezbędną liczebność próby pomiarowej - w większości przypadków interwałów pomiarowych zauważono, że pojazdy jadą w grupach i w takiej sytuacji możliwy jest pomiar prędkości liderów takich grup. Pomiar prędkości, podobnie jak natężenia ruchu, wykonano w rozbiu na jezdnie. W przypadku prędkości przyjęto wartości średnie prędkości z pomiarów. Badania wykonano 12.05.2017 r.

W Tab. 6.2 zestawiono wyniki pomiarów natężenia ruchu dla analizowanego przekroju pomiarowego z podziałem na jezdnie.

Tab. 6.2 Wyniki pomiaru natężenia ruchu drogowego na odcinku DK-50 (punkt A)

Natężenie ruchu drogowego:	Kierunek - Warszawa				Kierunek - Lublin			
	Natężenie ruchu (lekkie)	Natężenie ruchu (ciężkie)	Udział pojazdów ciężkich [%]	Suma	Natężenie ruchu (lekkie)	Natężenie ruchu (ciężkie)	Udział pojazdów ciężkich [%]	Suma
<b>16:10-16:25</b>	58	4	6,5	62	22	9	29,0	31
<b>16:25-16:40</b>	76	17	18,3	93	58	14	19,4	72
<b>16:40-16:55</b>	54	10	15,6	64	65	7	9,7	72
<b>16:55-17:10</b>	63	15	19,2	78	44	13	22,8	57
<b>17:10-17:25</b>	53	9	14,5	62	63	8	11,3	71
<b>17:25-17:40</b>	71	13	15,5	84	58	8	12,1	66
<b>17:40-17:55</b>	66	9	12,0	75	52	8	13,3	60
<b>17:55-18:10</b>	67	9	11,8	76	48	4	7,7	52

W Tab. 6.3 przedstawiono wyniki pomiarów równoważnego poziomu dźwięku, a w Tab. 6.4 pomierzone średnie prędkości dla pojazdów lekkich i ciężkich.

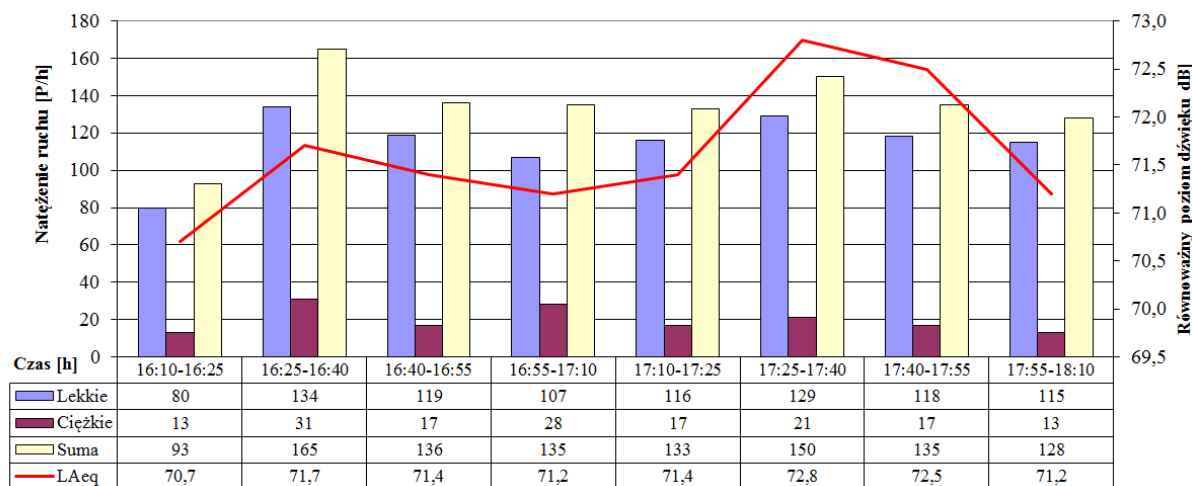
Tab. 6.3 Wyniki pomiaru równoważnego poziomu dźwięku na odcinku DK-50 (punkt A)

<b>Poziom dźwięku [dB]</b>	
<b>Godzina</b>	<b>PPH-1</b>
<b>16:10-16:25</b>	70,7
<b>16:25-16:40</b>	71,7
<b>16:40-16:55</b>	71,4
<b>16:55-17:10</b>	71,2
<b>17:10-17:25</b>	71,4
<b>17:25-17:40</b>	72,8
<b>17:40-17:55</b>	72,5
<b>17:55-18:10</b>	71,2

Tab. 6.4 Wyniki pomiarów średniej prędkości pojazdów lekkich i ciężkich na odcinku DK-50 (punkt A)

<b>Średnia prędkość [km/h]</b>	
<b>Pojazdy lekkie</b>	<b>Pojazdy ciężkie</b>
115,7	90,1

Zbiornicze wyniki z analizowanego punktu przedstawiono na Rys. 6.21 Otrzymane wyniki przedstawione jako funkcja trzech zmiennych: czas - natężenie - równoważny poziom dźwięku postaci funkcji: czas - natężenie - równoważny poziom dźwięku.



Rys. 6.21 Otrzymane wyniki przedstawione jako funkcja trzech zmiennych: czas - natężenie - równoważny poziom dźwięku

### 6.2.2. Wyniki badań - Korytów (punkt D)

Badania natężenia ruchu oraz równoważnego poziomu hałasu generowanego na nawierzchni PU (powierzchniowe utwardzenie) wykonano w miejscowości Korytów (km początkowy 0,000) w interwałach 15-minutowych. Pomiary prędkości wykonywano w trakcie całego pomiaru bez rozbijania ich na interwały 15-minutowe z uwagi na niezbędną liczebność próby pomiarowej - w większości przypadków interwałów pomiarowych zauważono, że pojazdy jadą w grupach i w takiej sytuacji możliwy jest pomiar prędkości liderów takich grup. Pomiary prędkości, podobnie jak natężenia ruchu, wykonano w rozbiciu na jezdnie. W przypadku prędkości przyjęto wartości średnie prędkości z pomiarów. Badania wykonano - 04.04.2017 r.

W Tab. 6.5 zestawiono wyniki pomiarów natężenia ruchu dla analizowanego przekroju pomiarowego z podziałem na jezdnie.

Tab. 6.5 Wyniki pomiaru natężenia ruchu drogowego w Korytów (punkt D)

Natężenie ruchu drogowego:	Kierunek: ul. Leśna - ul. Szkolna				Kierunek: ul. Szkolna -ul. Leśna			
	Natężenie ruchu (lekkie)	Natężenie ruchu (ciężkie)	Udział pojazdów ciężkich [%]	Suma	Natężenie ruchu (lekkie)	Natężenie ruchu (ciężkie)	Udział pojazdów ciężkich [%]	Suma
16:00-16:15	39	1	2,5	40	37	1	2,6	38
16:15-16:30	57	2	3,4	59	32	0	0,0	32
16:30-16:45	54	3	5,3	57	27	1	3,6	28
16:45-17:00	43	0	0,0	43	21	0	0,0	21
17:00-17:15	33	5	13,2	38	24	1	4,0	25
17:15-17:30	38	0	0,0	38	17	0	0,0	17
17:30-17:45	58	0	0,0	28	30	1	3,2	31

*Projekt RID - I/76 Ochrona przed hałasem drogowym*  
 Zadanie 2. Ocena rozwiązań materiałowo-technologicznych górnych warstw asfaltowych i zalecenia w zakresie ich hałaśliwości

<b>17:45-18:00</b>	55	3	5,2	58	21	0	0,0	21
--------------------	----	---	-----	----	----	---	-----	----

W Tab. 6.6 przedstawiono wyniki pomiarów równoważnego poziomu dźwięku, a w Tab. 6.7 pomierzone średnie prędkości dla pojazdów lekkich i ciężkich.

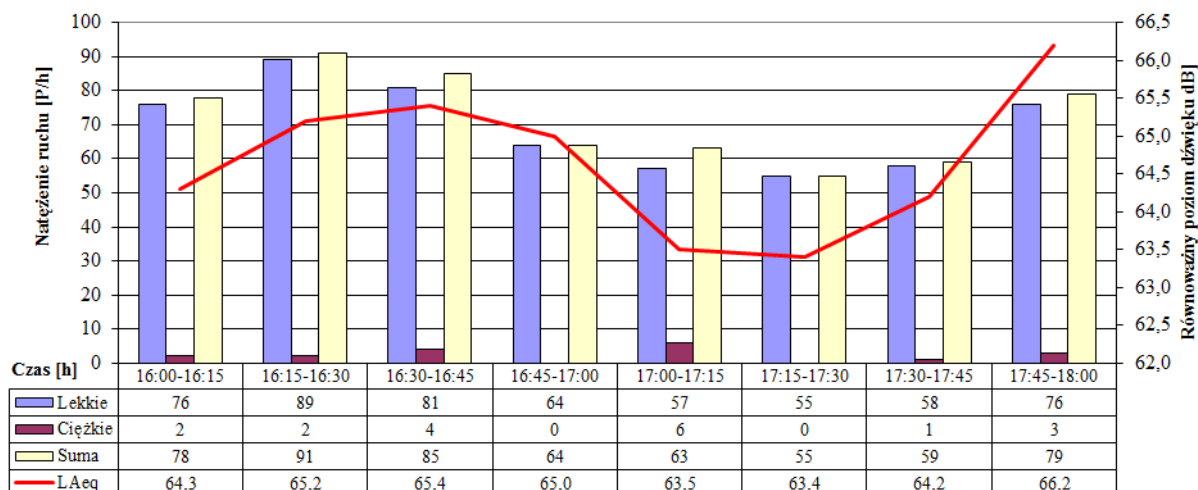
Tab. 6.6 Wyniki pomiaru równoważnego poziomu dźwięku w Korytów (punkt D)

<i>Poziom dźwięku [dB]</i>	
<i>Godzina</i>	PPH-2
<b>16:00-16:15</b>	64,3
<b>16:15-16:30</b>	65,2
<b>16:30-16:45</b>	65,4
<b>16:45-17:00</b>	65,0
<b>17:00-17:15</b>	63,5
<b>17:15-17:30</b>	63,4
<b>17:30-17:45</b>	64,2
<b>17:45-18:00</b>	66,2

Tab. 6.7 Wyniki pomiarów średniej prędkości pojazdów lekkich i ciężkich w Korytów (punkt D)

<i>Średnia prędkość [km/h]</i>	
Pojazdy lekkie	Pojazdy ciężkie
59,9	-

Zbiorcze wyniki z analizowanego punktu przedstawiono na Rys. 6.22 w postaci funkcji: czas - natężenie - równoważny poziom dźwięku.



Rys. 6.22 Otrzymane wyniki przedstawione jako funkcja trzech zmiennych: czas - natężenie - równoważny poziom dźwięku

### 6.2.3. Wyniki badań - droga krajowa DK-50 (punkt E)

Badania natężenia ruchu oraz równoważnego poziomu hałasu generowanego na nawierzchni BC (beton cementowy) wykonano na drodze krajowej nr DK-50 (km

## Zadanie 2. Ocena rozwiązań materiałowo-technologicznych górnych warstw asfaltowych i zalecenia w zakresie ich hałaśliwości

początkowy 72,800) w interwałach 15-minutowych. Pomiary prędkości wykonywano w trakcie całego pomiaru bez rozbijania ich na interwały 15-minutowe z uwagi na niezbędną liczebność próby pomiarowej - w większości przypadków interwałów pomiarowych zauważono, że pojazdy jadą w grupach i w takiej sytuacji możliwy jest pomiar prędkości liderów takich grup. Pomiary prędkości, podobnie jak natężenia ruchu, wykonano w rozbiciu na jezdnie. W przypadku prędkości przyjęto wartości średnie prędkości z pomiarów. Badania wykonano 12.05.2017 r.

W Tab. 6.8 zestawiono wyniki pomiarów natężenia ruchu dla analizowanego przekroju pomiarowego z podziałem na jezdnie.

Tab. 6.8 Wyniki pomiaru natężenia ruchu drogowego na odcinku DK-50 (punkt E)

Natężenie ruchu drogowego:	Kierunek: Sochocin - Lublin				Kierunek: Lublin - Sochocin			
	Natężenie ruchu (lekkie)	Natężenie ruchu (ciężkie)	Udział pojazdów ciężkich [%]	Suma	Natężenie ruchu (lekkie)	Natężenie ruchu (ciężkie)	Udział pojazdów ciężkich [%]	Suma
07:50-08:05	40	25	38,5	65	23	36	61,0	59
08:05-08:20	38	17	30,9	55	33	33	50,0	66
08:20-08:35	38	19	33,3	57	30	33	52,4	63
08:35-08:50	34	21	38,2	55	37	27	42,2	64
08:50-09:05	46	16	25,8	62	33	29	46,8	62
09:05-09:20	41	32	43,8	73	32	32	50,0	64
09:20-09:35	28	25	47,2	53	38	26	40,6	64
09:35-09:50	45	29	39,2	74	42	20	32,3	62

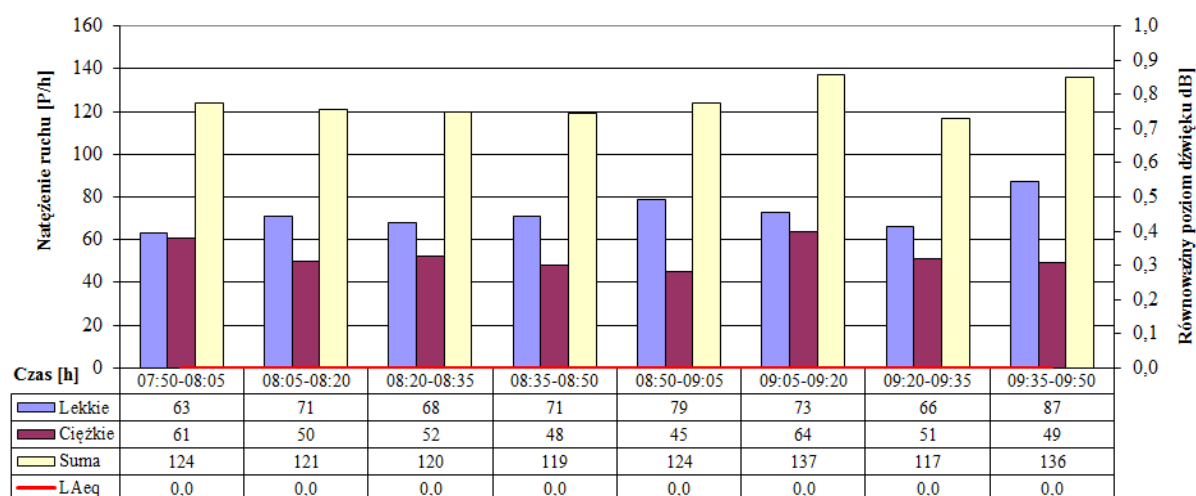
Po zakończonych pomiarach stwierdzono, iż wyniki równoważnego poziomu dźwięku nie zostały zapisane na pamięci wewnętrznej miernika (urządzenie nie zapisało zapisu przebiegu czasowego). W sytuacji tej nie możliwym jest weryfikacja oraz analiza wyników. W Tab. 6.9 przedstawiono pomierzone średnie prędkości dla pojazdów lekkich i ciężkich.

Tab. 6.9 Wyniki pomiarów średniej prędkości pojazdów lekkich i ciężkich na odcinku DK-50 (punkt E)

Średnia prędkość [km/h]	
Pojazdy lekkie	Pojazdy ciężkie
106,9	86,8

Zbiorcze wyniki z analizowanego punktu przedstawiono na Rys. 6.23 w postaci funkcji: czas - natężenie - równoważny poziom dźwięku.

Zadanie 2. Ocena rozwiązań materiałowo-technologicznych górnych warstw asfaltowych i zalecenia w zakresie ich hałaśliwości



Rys. 6.23 Otrzymane wyniki przedstawione jako funkcja trzech zmiennych: czas - natężenie - równoważny poziom dźwięku

#### 6.2.4. Wyniki badań - droga krajowa DK-50 (punkt F)

Badania natężenia ruchu oraz równoważnego poziomu hałasu generowanego na nawierzchni SMA (mastyks grysowy) wykonano na drodze krajowej nr DK-50 (km początkowy 41,500) w interwałach 15-minutowych. Pomiary prędkości wykonywano w trakcie całego pomiaru bez rozbijania ich na interwały 15-minutowe z uwagi na niezbędną liczebność próby pomiarowej - w większości przypadków interwałów pomiarowych zauważono, że pojazdy jadą w grupach i w takiej sytuacji możliwy jest pomiar prędkości liderów takich grup. Pomiary prędkości, podobnie jak natężenia ruchu, wykonano w rozbiu na jezdnie. W przypadku prędkości przyjęto wartości średnie prędkości z pomiarów. Badania wykonano 12.05.2017 r.

W Tab. 6.10 zestawiono wyniki pomiarów natężenia ruchu dla analizowanego przekroju pomiarowego z podziałem na jezdnie.

Tab. 6.10 Wyniki pomiaru natężenia ruchu drogowego na odcinku DK-50 (punkt F)

Natężenie ruchu drogowego:	Kierunek - Płońsk				Kierunek - Lublin			
	Natężenie ruchu (lekkie)	Natężenie ruchu (ciężkie)	Udział pojazdów ciężkich [%]	Suma	Natężenie ruchu (lekkie)	Natężenie ruchu (ciężkie)	Udział pojazdów ciężkich [%]	Suma
12:55-13:10	44	19	30,2	63	32	12	27,3	44
13:10-13:25	39	19	32,8	58	25	20	44,4	45
13:25-13:40	39	8	17,0	47	28	10	26,3	38
13:40-13:55	34	28	45,2	62	48	11	18,6	59
13:55-14:10	25	17	40,5	42	37	17	31,5	54
14:10-14:25	37	14	27,5	51	35	14	28,6	49
14:25-14:40	37	25	40,3	62	45	7	13,5	52
14:40-14:55	43	9	17,3	52	48	18	27,3	66

W Tab. 6.11 przedstawiono wyniki pomiarów równoważnego poziomu dźwięku, a w Tab. 6.12 pomierzone średnie prędkości dla pojazdów lekkich i ciężkich.

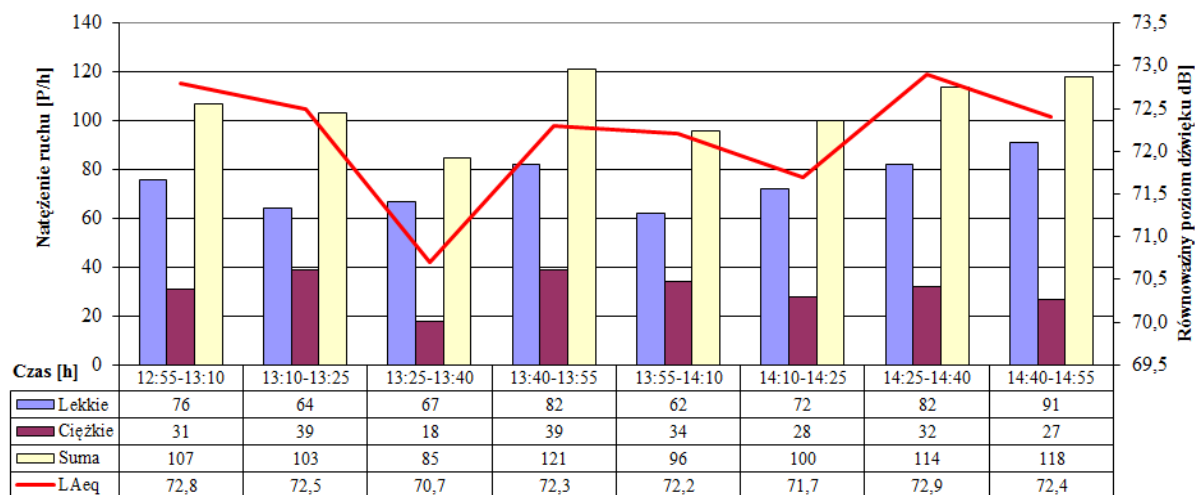
Tab. 6.11 Wyniki pomiaru równoważnego poziomu dźwięku na odcinku DK-50 (punkt F)

<i>Poziom dźwięku [dB]</i>	
<i>Godzina</i>	PPH-4
<i>12:55-13:10</i>	72,8
<i>13:10-13:25</i>	72,5
<i>13:25-13:40</i>	70,7
<i>13:40-13:55</i>	72,3
<i>13:55-14:10</i>	72,2
<i>14:10-14:25</i>	71,7
<i>14:25-14:40</i>	72,9
<i>14:40-14:55</i>	72,4

Tab. 6.12 Wyniki pomiarów średniej prędkości pojazdów lekkich i ciężkich na odcinku DK-50 (punkt F)

<i>Średnia prędkość [km/h]</i>	
Pojazdy lekkie	Pojazdy ciężkie
79,6	72,1

Zbiorcze wyniki z analizowanego punktu przedstawiono na Rys. 6.24 w postaci funkcji: czas - natężenie - równoważny poziom dźwięku.



Rys. 6.24 Otrzymane wyniki przedstawione jako funkcja trzech zmiennych: czas - natężenie - równoważny poziom dźwięku

### 6.2.5. Wyniki badań - droga krajowa DK-50 (punkt G)

Badania natężenia ruchu oraz równoważnego poziomu hałasu generowanego na nawierzchni SMA (mastyks grysowy) wykonano na drodze krajowej nr DK-50 (km początkowy 58,000) w interwałach 15-minutowych. Pomiary prędkości wykonywano w trakcie całego pomiaru bez rozbijania ich na interwały 15-minutowe z uwagi na niezbędną



Zadanie 2. Ocena rozwiązań materiałowo-technologicznych górnych warstw asfaltowych i zalecenia w zakresie ich hałaśliwości

liczebność próby pomiarowej - w większości przypadków interwałów pomiarowych zauważono, że pojazdy jadą w grupach i w takiej sytuacji możliwy jest pomiar prędkości liderów takich grup. Pomiary prędkości, podobnie jak natężenia ruchu, wykonano w rozbiu na jezdnie. W przypadku prędkości przyjęto wartości średnie prędkości z pomiarów. Badania wykonano 12.05.2017 r.

W Tab. 6.13 zestawiono wyniki pomiarów natężenia ruchu dla analizowanego przekroju pomiarowego z podziałem na jezdnie.

Tab. 6.13 Wyniki pomiaru natężenia ruchu drogowego na odcinku DK-50 (punkt G)

Natężenie ruchu drogowego:	Kierunek - Płońsk				Kierunek - Lublin			
	Natężenie ruchu (lekkie)	Natężenie ruchu (ciężkie)	Udział pojazdów ciężkich [%]	Suma	Natężenie ruchu (lekkie)	Natężenie ruchu (ciężkie)	Udział pojazdów ciężkich [%]	Suma
10:30-10:45	27	25	48,1	52	25	16	39,0	41
10:45-11:00	30	13	30,2	43	24	10	29,4	34
11:00-11:15	30	16	34,8	46	26	16	38,1	42
11:15-11:30	33	16	32,7	49	10	12	54,6	22
11:30-11:45	33	17	34,0	50	16	17	51,5	33
11:45-12:00	27	13	32,5	40	23	14	37,8	37
12:00-12:15	36	15	29,4	51	30	17	36,2	47
12:15-12:30	29	8	21,6	37	20	12	37,5	32

W Tab. 6.14 przedstawiono wyniki pomiarów równoważnego poziomu dźwięku, a w Tab. 6.15 pomierzone średnie prędkości dla pojazdów lekkich i ciężkich.

Tab. 6.14 Wyniki pomiaru równoważnego poziomu dźwięku na odcinku DK-50 (punkt G)

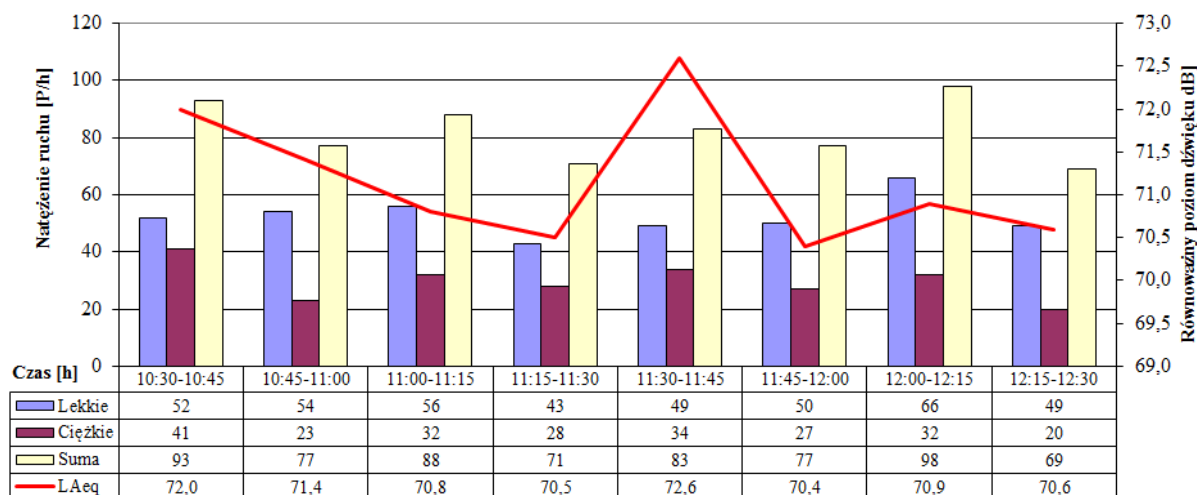
Poziom dźwięku [dB]	
Godzina	PPH-5
10:30-10:45	72,0
10:45-11:00	71,4
11:00-11:15	70,8
11:15-11:30	70,5
11:30-11:45	72,6
11:45-12:00	70,4
12:00-12:15	70,9
12:15-12:30	70,6

Tab. 6.15 Wyniki pomiarów średniej prędkości pojazdów lekkich i ciężkich na odcinku DK-50 (punkt G)

Średnia prędkość [km/h]	
Pojazdy lekkie	Pojazdy ciężkie
75,5	72,4

Zbiórce wyniki z analizowanego punktu przedstawiono na Rys. 6.25 w postaci funkcji: czas - natężenie - równoważny poziom dźwięku.

*Projekt RID - I/76 Ochrona przed hałasem drogowym*  
Zadanie 2. Ocena rozwiązań materiałowo-technologicznych górnych warstw asfaltowych i zalecenia w zakresie ich hałaśliwości



Rys. 6.25 Otrzymane wyniki przedstawione jako funkcja trzech zmiennych: czas - natężenie - równoważny poziom dźwięku

### 6.2.6. Wyniki badań - droga krajowa DK-50C (punkt H)

Badania natężenia ruchu oraz równoważnego poziomu hałasu generowanego na nawierzchni SMA (mastyks grysowy) wykonano na drodze krajowej nr DK-50C (km początkowy 2,000) w interwałach 15-minutowych. Pomiary prędkości wykonywano w trakcie całego pomiaru bez rozbijania ich na interwały 15-minutowe z uwagi na niezbędną liczebność próby pomiarowej - w większości przypadków interwałów pomiarowych zauważono, że pojazdy jadą w grupach i w takiej sytuacji możliwy jest pomiar prędkości liderów takich grup. Pomiary prędkości, podobnie jak natężenia ruchu, wykonano w rozbiciu na jezdnie. W przypadku prędkości przyjęto wartości średnie prędkości z pomiarów. Badania wykonano 04.04.2017 r.

W Tab. 6.16 zestawiono wyniki pomiarów natężenia ruchu dla analizowanego przekroju pomiarowego z podziałem na jezdnie.

Tab. 6.16 Wyniki pomiaru natężenia ruchu drogowego na odcinku DK-50C (punkt H)

Natężenie ruchu drogowego:	Kierunek - z Grójec				Kierunek - do Grójec			
	Natężenie ruchu (lekkie)	Natężenie ruchu (ciężkie)	Udział pojazdów ciężkich [%]	Suma	Natężenie ruchu (lekkie)	Natężenie ruchu (ciężkie)	Udział pojazdów ciężkich [%]	Suma
12:15-12:30	47	35	42,7	82	42	51	54,8	93
12:30-12:45	31	32	50,8	63	39	50	56,2	89
12:45-13:00	43	31	41,9	74	45	45	50,0	90
13:00-13:15	56	40	41,7	96	52	47	47,5	99
13:15-13:30	46	37	44,6	83	52	55	51,4	107
13:30-13:45	48	35	42,2	83	67	39	36,8	106
13:45-14:00	39	33	45,8	72	55	48	46,6	103
14:00-14:15	56	36	39,1	92	61	41	40,2	102

*Projekt RID - I/76 Ochrona przed hałasem drogowym*  
**Zadanie 2. Ocena rozwiązań materiałowo-technologicznych górnych warstw asfaltowych i zalecenia w zakresie ich hałaśliwości**

W Tab. 6.17 przedstawiono wyniki pomiarów równoważnego poziomu dźwięku, a w Tab. 6.18 pomierzone średnie prędkości dla pojazdów lekkich i ciężkich.

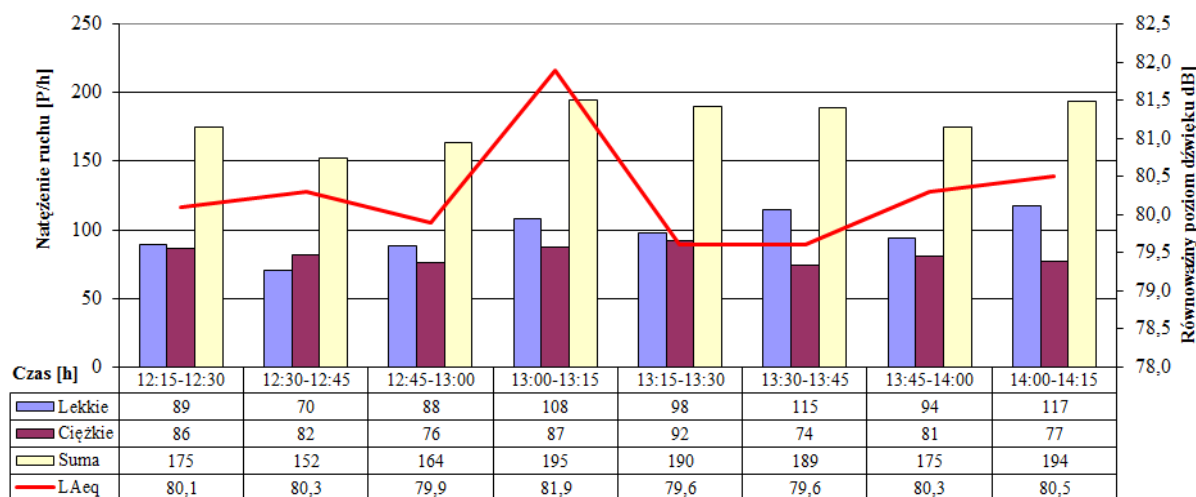
Tab. 6.17 Wyniki pomiaru równoważnego poziomu dźwięku na odcinku DK-50C (punkt H)

<i>Poziom dźwięku [dB]</i>	
<i>Godzina</i>	PPH-6
<i>12:15-12:30</i>	80,1
<i>12:30-12:45</i>	80,3
<i>12:45-13:00</i>	79,9
<i>13:00-13:15</i>	81,9
<i>13:15-13:30</i>	79,6
<i>13:30-13:45</i>	79,6
<i>13:45-14:00</i>	80,3
<i>14:00-14:15</i>	80,5

Tab. 6.18 Wyniki pomiarów średniej prędkości pojazdów lekkich i ciężkich na odcinku DK-50C (punkt H)

<i>Średnia prędkość [km/h]</i>	
Pojazdy lekkie	Pojazdy ciężkie
84,0	77,3

Zbiorcze wyniki z analizowanego punktu przedstawiono na Rys. 6.26 w postaci funkcji: czas - natężenie - równoważny poziom dźwięku.



Rys. 6.26 Otrzymane wyniki przedstawione jako funkcja trzech zmiennych: czas - natężenie - równoważny poziom dźwięku

### 6.2.7. Wyniki badań - droga krajowa DK-50D (punkt I)

Badania natężenia ruchu oraz równoważnego poziomu hałasu generowanego na nawierzchni SMA (mastyks grysowy) wykonano na drodze krajowej nr DK-50D (km początkowy 2,500) w interwałach 15-minutowych. Pomiary prędkości wykonywano w trakcie całego pomiaru bez rozbijania ich na interwały 15-minutowe z uwagi na niezbędną liczebność próby pomiarowej - w większości przypadków interwałów pomiarowych zauważono, że

*Projekt RID - I/76 Ochrona przed hałasem drogowym*  
 Zadanie 2. Ocena rozwiązań materiałowo-technologicznych górnych warstw asfaltowych i zalecenia w zakresie ich hałaśliwości

pojazdy jadą w grupach i w takiej sytuacji możliwy jest pomiar prędkości liderów takich grup. Pomiar prędkości, podobnie jak natężenia ruchu, wykonano w rozbiu na jezdnie. W przypadku prędkości przyjęto wartości średnie prędkości z pomiarów. Badania wykonano 04.04.2017 r.

W Tab. 6.19 zestawiono wyniki pomiarów natężenia ruchu dla analizowanego przekroju pomiarowego z podziałem na jezdnie.

Tab. 6.19 Wyniki pomiaru natężenia ruchu drogowego na odcinku DK-50C (punkt I)

Natężenie ruchu drogowego:	Kierunek - z Grójec				Kierunek - do Grójec			
	Natężenie ruchu (lekkie)	Natężenie ruchu (ciężkie)	Udział pojazdów ciężkich [%]	Suma	Natężenie ruchu (lekkie)	Natężenie ruchu (ciężkie)	Udział pojazdów ciężkich [%]	Suma
12:15-12:30	47	35	42,7	82	42	51	54,8	93
12:30-12:45	31	32	50,8	63	39	50	56,2	89
12:45-13:00	43	31	41,9	74	45	45	50,0	90
13:00-13:15	56	40	41,7	96	52	47	47,5	99
13:15-13:30	46	37	44,6	83	52	55	51,4	107
13:30-13:45	48	35	42,2	83	67	39	36,8	106
13:45-14:00	39	33	45,8	72	55	48	46,6	103
14:00-14:15	56	36	39,1	92	61	41	40,2	102

W Tab. 6.20 przedstawiono wyniki pomiarów równoważnego poziomu dźwięku, a w Tab. 6.21 pomierzone średnie prędkości dla pojazdów lekkich i ciężkich.

Tab. 6.20 Wyniki pomiaru równoważnego poziomu dźwięku na odcinku DK-50D (punkt I)

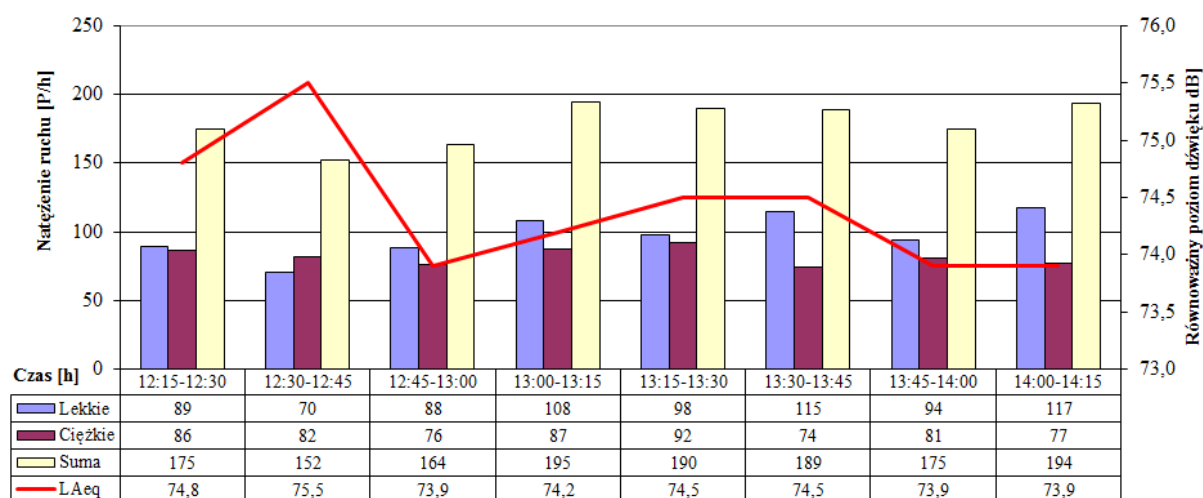
<i>Poziom dźwięku [dB]</i>	
<i>Godzina</i>	<i>PPH-7</i>
12:15-12:30	74,8
12:30-12:45	75,5
12:45-13:00	73,9
13:00-13:15	74,2
13:15-13:30	74,5
13:30-13:45	74,5
13:45-14:00	73,9
14:00-14:15	73,9

Tab. 6.21 Wyniki pomiarów średniej prędkości pojazdów lekkich i ciężkich na odcinku DK-50D (punkt I)

<i>Średnia prędkość [km/h]</i>	
<i>Pojazdy lekkie</i>	<i>Pojazdy ciężkie</i>
84,0	77,3

Zbiórce wyniki z analizowanego punktu przedstawiono na Rys. 6.27 w postaci funkcji: czas - natężenie - równoważny poziom dźwięku.

## Zadanie 2. Ocena rozwiązań materiałowo-technologicznych górnych warstw asfaltowych i zalecenia w zakresie ich hałaśliwości



Rys. 6.27 Otrzymane wyniki przedstawione jako funkcja trzech zmiennych: czas - natężenie - równoważny poziom dźwięku

**6.2.8. Wyniki badań - droga krajowa DK-48 (punkt J)**

Badania natężenia ruchu oraz równoważnego poziomu hałasu generowanego na nawierzchni SS (mieszanka mineralno-emulsyjna) wykonano na drodze krajowej nr DK-48 (km początkowy 55,000) w interwałach 15-minutowych. Pomiary prędkości wykonywano w trakcie całego pomiaru bez rozbijania ich na interwały 15-minutowe z uwagi na niezbędną liczebność próby pomiarowej - w większości przypadków interwałów pomiarowych zauważono, że pojazdy jadą w grupach i w takiej sytuacji możliwy jest pomiar prędkości liderów takich grup. Pomiary prędkości, podobnie jak natężenia ruchu, wykonano w rozbiciu na jezdnie. W przypadku prędkości przyjęto wartości średnie prędkości z pomiarów. Badania wykonano 04.04.2017 r.

W Tab. 6.22 zestawiono wyniki pomiarów natężenia ruchu dla analizowanego przekroju pomiarowego z podziałem na jezdnie.

Tab. 6.22 Wyniki pomiaru natężenia ruchu drogowego na odcinku DK-48 (punkt J)

Natężenie ruchu drogowego:	Kierunek: Potworów - Grójec				Kierunek: Grójec - Potworów			
	Natężenie ruchu (lekkie)	Natężenie ruchu (ciężkie)	Udział pojazdów ciężkich [%]	Suma	Natężenie ruchu (lekkie)	Natężenie ruchu (ciężkie)	Udział pojazdów ciężkich [%]	Suma
8:30-8:45	10	0	0,0	10	34	3	8,1	37
8:45-9:00	16	3	15,8	19	18	0	0,0	18
9:00-9:15	11	1	8,3	12	17	2	10,5	19
9:15-9:30	10	3	23,1	13	16	2	11,1	18
9:30-9:45	9	2	18,2	11	15	5	25,0	20
9:45-10:00	14	3	17,7	17	13	1	7,1	14
10:00-10:15	17	1	5,6	18	15	2	11,8	17
10:15-10:30	23	4	14,8	27	15	3	16,7	18

*Projekt RID - I/76 Ochrona przed hałasem drogowym*  
 Zadanie 2. Ocena rozwiązań materiałowo-technologicznych górnych warstw asfaltowych i zalecenia w zakresie ich hałaśliwości

W Tab. 6.23 przedstawiono wyniki pomiarów równoważnego poziomu dźwięku, a w Tab. 6.24 pomierzone średnie prędkości dla pojazdów lekkich i ciężkich.

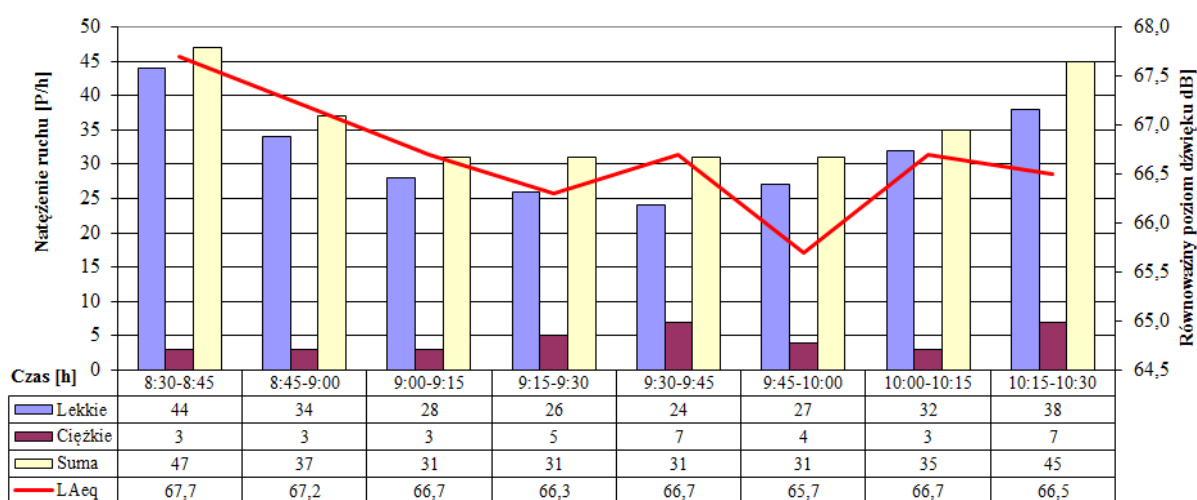
Tab. 6.23 Wyniki pomiaru równoważnego poziomu dźwięku na odcinku DK-48 (punkt J)

<i>Poziom dźwięku [dB]</i>	
<i>Godzina</i>	PPH-8
8:30-8:45	67,7
8:45-9:00	67,2
9:00-9:15	66,7
9:15-9:30	66,3
9:30-9:45	66,7
9:45-10:00	65,7
10:00-10:15	66,7
10:15-10:30	66,5

Tab. 6.24 Wyniki pomiarów średniej prędkości pojazdów lekkich i ciężkich na odcinku DK-48 (punkt J)

<i>Średnia prędkość [km/h]</i>	
Pojazdy lekkie	Pojazdy ciężkie
89,3	64,1

Zbiorcze wyniki z analizowanego punktu przedstawiono na Rys. 6.28 w postaci funkcji: czas - natężenie - równoważny poziom dźwięku.

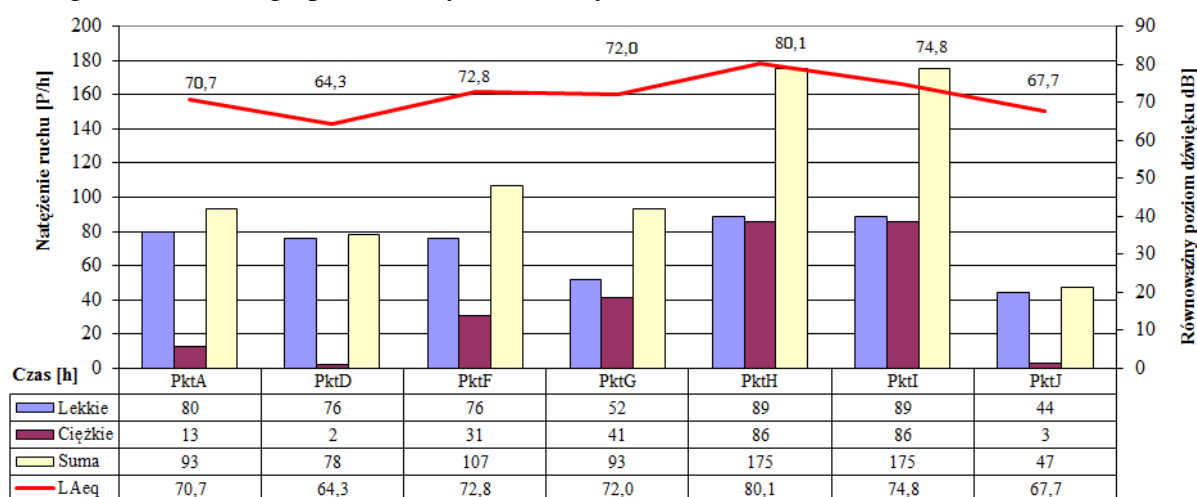


Rys. 6.28 Otrzymane wyniki przedstawione jako funkcja trzech zmiennych: czas - natężenie - równoważny poziom dźwięku

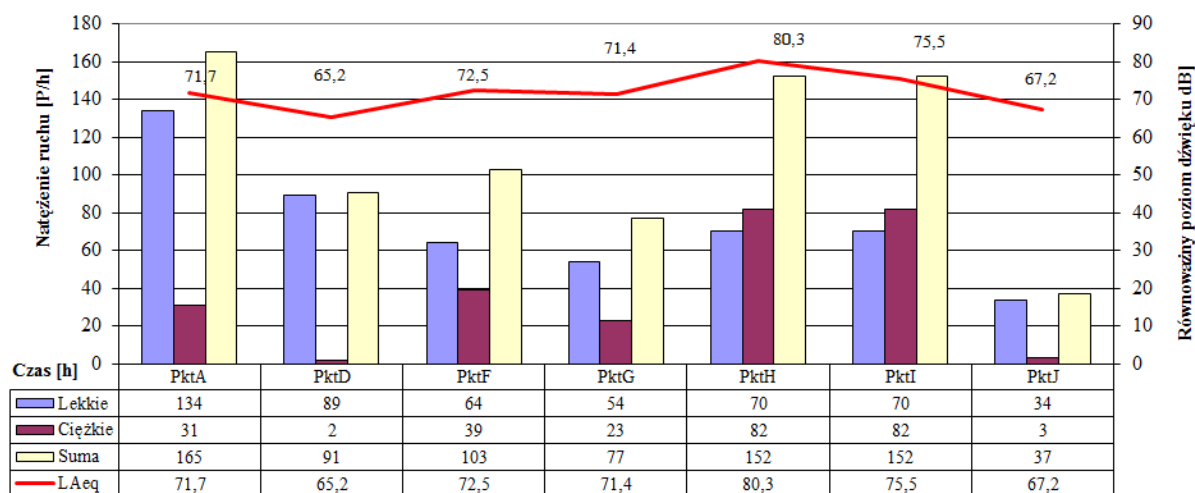
***Pomiary wykonane w ramach projektu badawczego we wszystkich punktach były prowadzone według tych samych zasad.***

### 6.3. Analiza wyników

W tej części zadania zweryfikowano przebadane rodzaje nawierzchni pod kątem ich hałaśliwości. Należy zwrócić uwagę na bardzo ważny czynnik, powodujący wzrost bądź spadek poziomu hałasu w obrębie analizowanej nawierzchni - natężenie ruchu, a co za tym związane, udział pojazdów ciężkich w potoku ruchu. Poniżej zweryfikowano otrzymane wartości równoważnego poziomu dźwięku dla każdego piętnastominutowego pomiaru odnosząc go do natężenia pojazdów lekkich i ciężkich w danym przekroju pomiarowym dla każdego analizowanego punktu - Rys. 6.29 - Rys. 6.36.

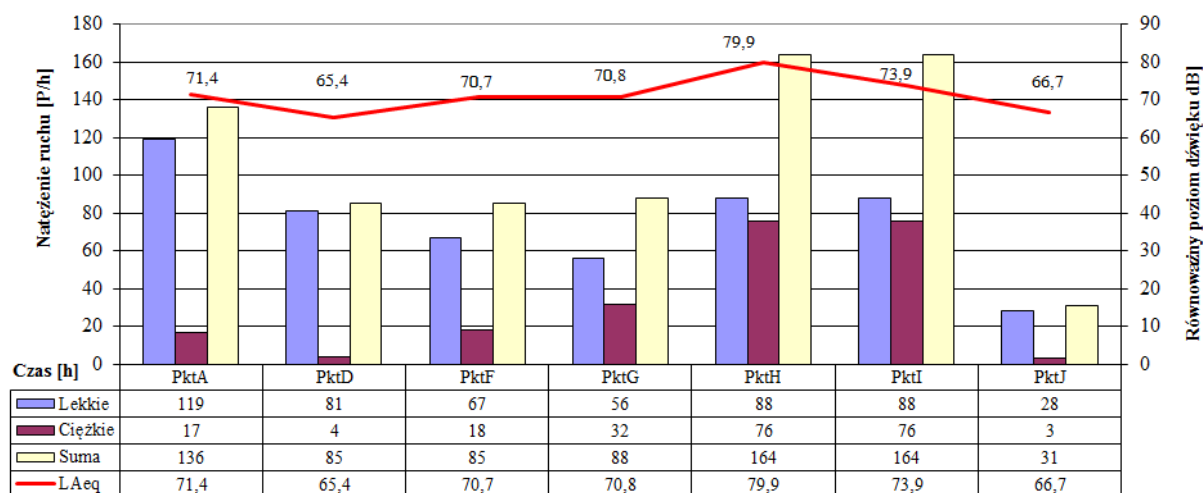


Rys. 6.29 Porównanie wartości równoważnego poziomu dźwięku w punktach pomiarowych w zależności od struktury rodzajowej ruchu - pierwszy interwał pomiarowy

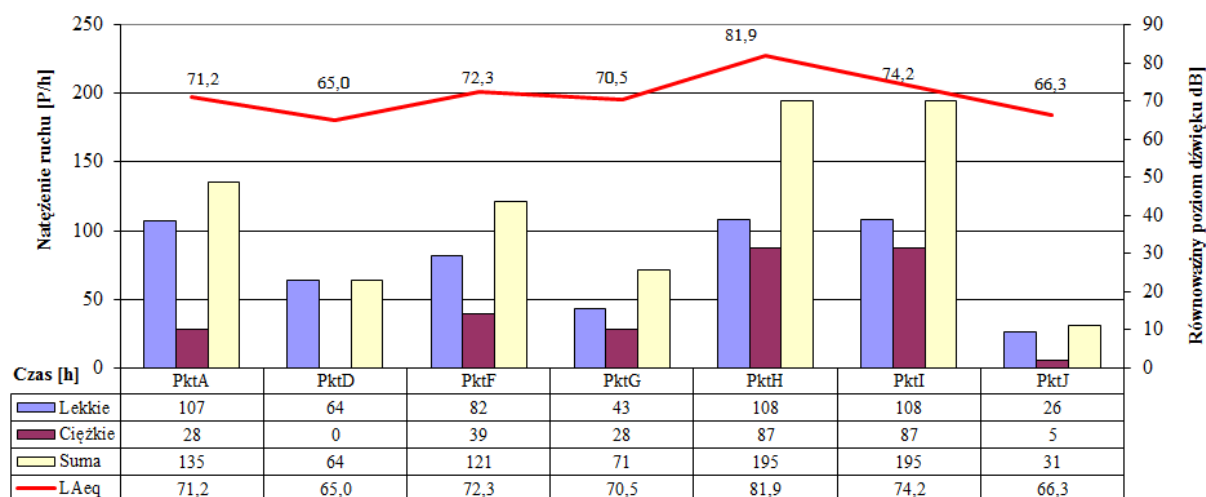


Rys. 6.30 Porównanie wartości równoważnego poziomu dźwięku w punktach pomiarowych w zależności od struktury rodzajowej ruchu - drugi interwał pomiarowy

*Projekt RID - I/76 Ochrona przed hałasem drogowym*  
 Zadanie 2. Ocena rozwiązań materiałowo-technologicznych górnych warstw asfaltowych i zalecenia w zakresie ich hałaśliwości



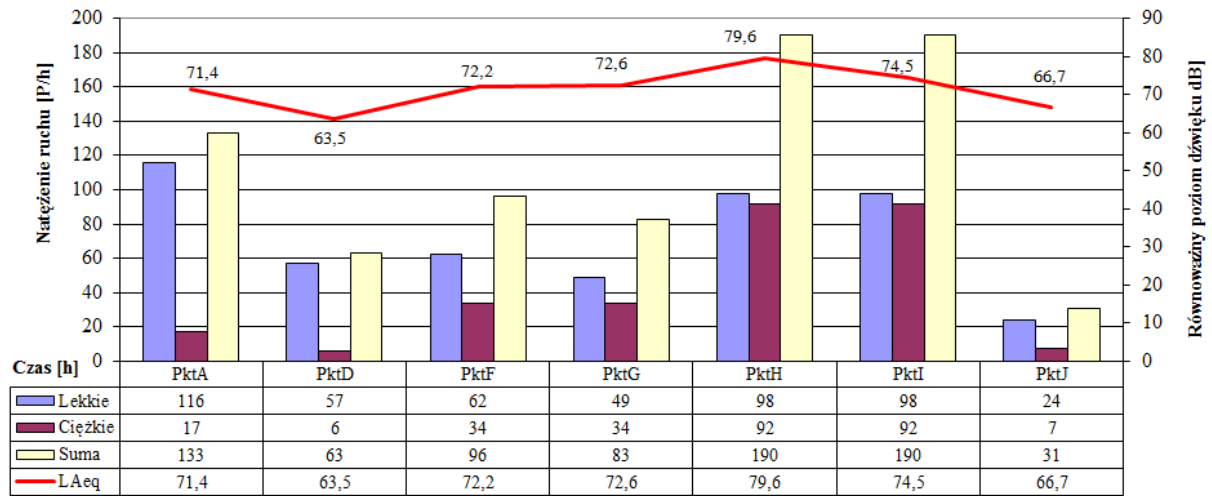
Rys. 6.31 Porównanie wartości równoważnego poziomu dźwięku w punktach pomiarowych w zależności od struktury rodzajowej ruchu - trzeci interwał pomiarowy



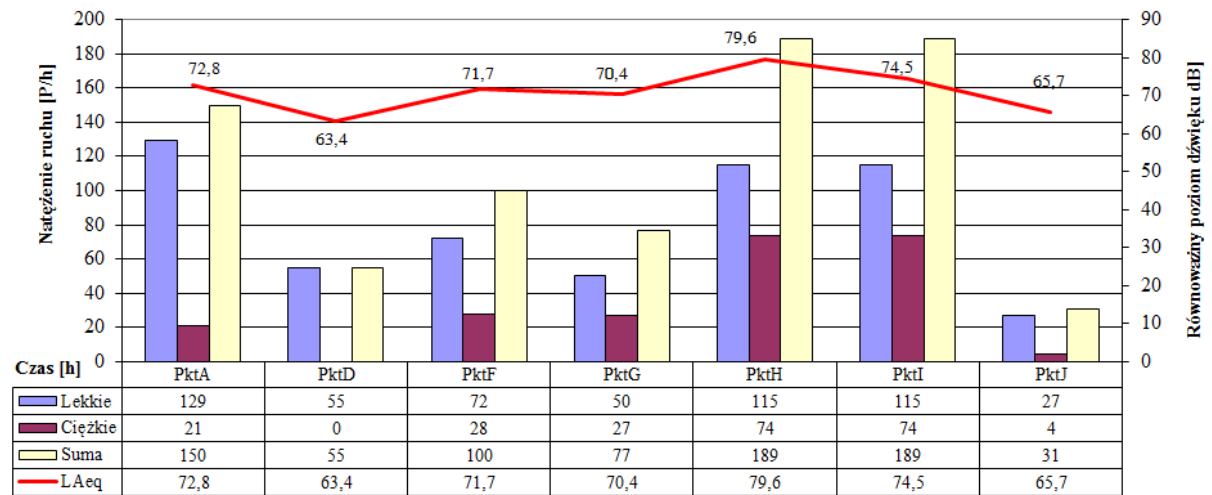
Rys. 6.32 Porównanie wartości równoważnego poziomu dźwięku w punktach pomiarowych w zależności od struktury rodzajowej ruchu - czwarty interwał pomiarowy



Zadanie 2. Ocena rozwiązań materiałowo-technologicznych górnych warstw asfaltowych i zalecenia w zakresie ich hałaśliwości

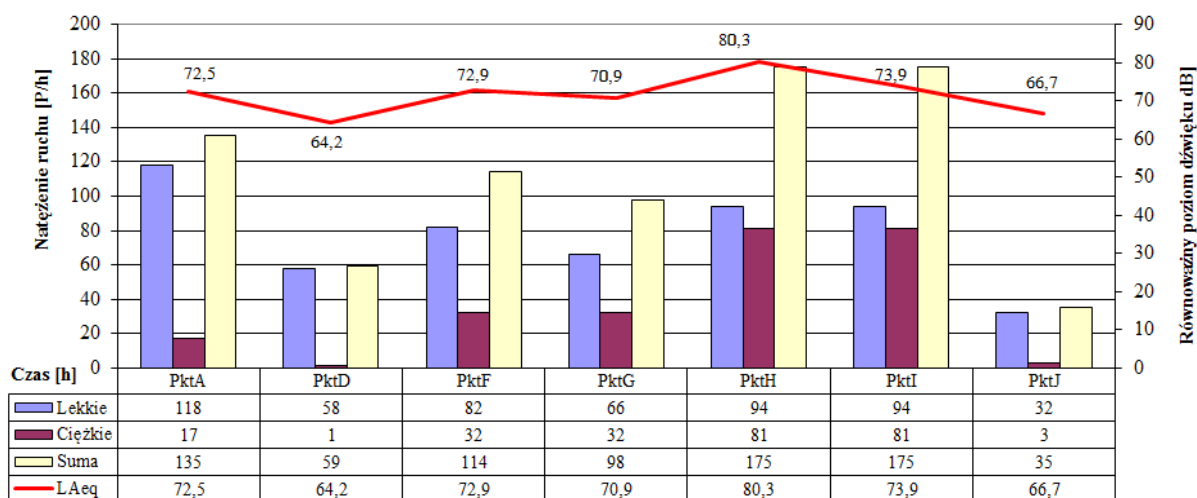


Rys. 6.33 Porównanie wartości równoważnego poziomu dźwięku w punktach pomiarowych w zależności od struktury rodzajowej ruchu - piąty interwał pomiarowy

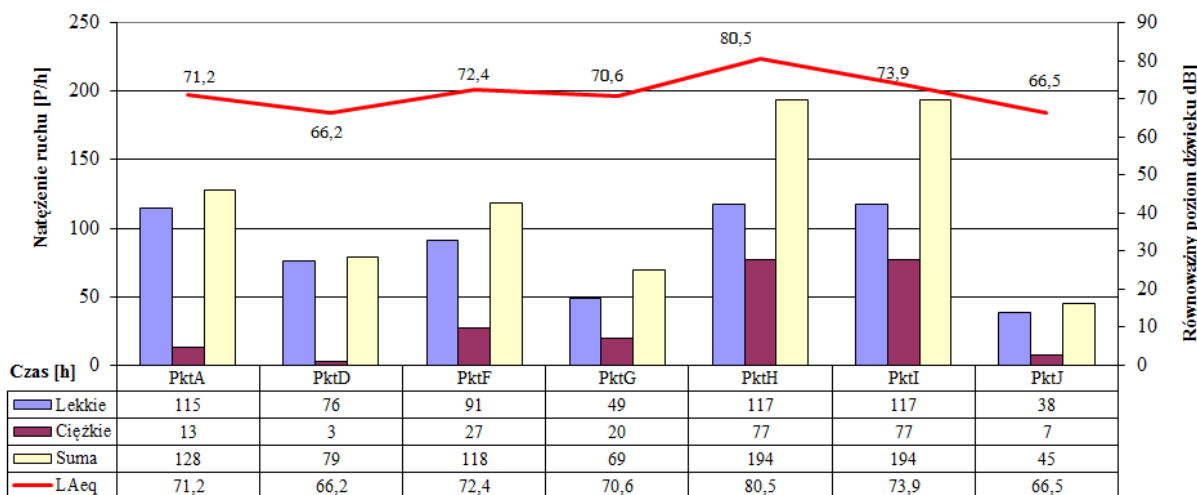


Rys. 6.34 Porównanie wartości równoważnego poziomu dźwięku w punktach pomiarowych w zależności od struktury rodzajowej ruchu - szósty interwał pomiarowy

*Projekt RID - I/76 Ochrona przed hałasem drogowym*  
 Zadanie 2. Ocena rozwiązań materiałowo-technologicznych górnych warstw asfaltowych i zalecenia w zakresie ich hałaśliwości



Rys. 6.35 Porównanie wartości równoważnego poziomu dźwięku w punktach pomiarowych w zależności od struktury rodzajowej ruchu - siódmy interwał pomiarowy



Rys. 6.36 Porównanie wartości równoważnego poziomu dźwięku w punktach pomiarowych w zależności od struktury rodzajowej ruchu - ósmy interwał pomiarowy

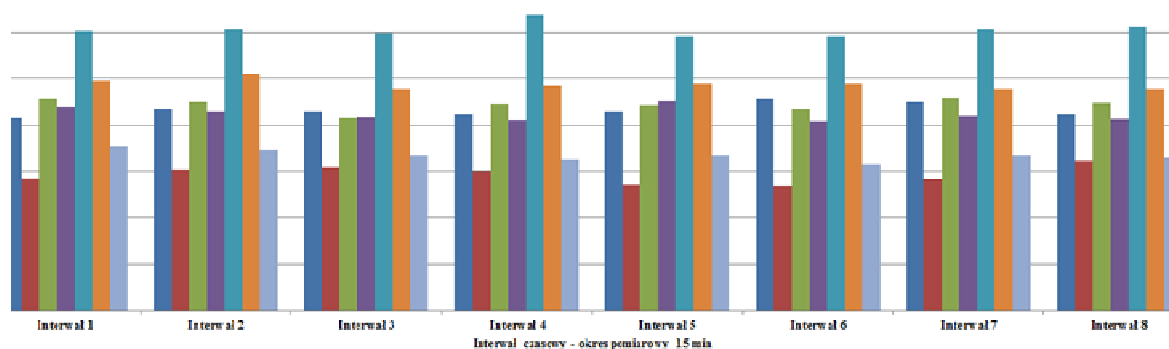
Poniżej w Tab. 6.25 przyporządkowano rodzaj nawierzchni do każdego analizowanego punktu pomiarowego.

Tab. 6.25 Rodzaje nawierzchni dla poszczególnych punktów pomiarowych

<i>Punkt</i>	Typ nawierzchni
<i>A</i>	BA
<i>D</i>	PU
<i>F</i>	BC
<i>G</i>	SMA
<i>H</i>	SMA
<i>I</i>	SMA
<i>J</i>	SS

Oznaczenia: BA - beton asfaltowy, BC - beton cementowy, SMA - mastyks grysowy, SS - mieszanka mineralno-emulsyjna (slurry seal), PU - powierzchniowe utwalenie

Poniżej na Rys. 6.37 przedstawiono zbiorcze zestawienie wartości równoważnego poziomu dźwięku w poszczególnych punktach pomiarowych w zależności od mierzonego interwału czasowego.



Rys. 6.37 Zbiorcze zestawienie wartości równoważnego poziomu dźwięku w poszczególnych punktach pomiarowych w zależności od mierzonego interwału czasowego

## 6.4. Wnioski

Analizując pierwszy interwał czasowy (rys. 1.29) można dostrzec podobne wartości dot. pojazdów lekkich i wartości zsumowanych natężenia ruchu dla punktów A, D, F i G. Różnią się jednak znacząco wartości udziału pojazdów ciężkich co wpływa na wartość równoważnego poziomu dźwięku. W przypadku nawierzchni SMA (pkt G) oraz BC (punkt F) w analizowanym interwale czasowym, przy zbliżonych natężeniach ruchu, nawierzchnia SMA wykazuje korzystniejsze parametry akustyczne. Punkty H i I zlokalizowane były wzdłuż tej samej drogi, a pomiary wykonywane były jednocześnie dla obu punktów, tzn. przy takich samych warunkach ruchu. Z punktu widzenia udziału pojazdów ciężkich można byłoby porównać punkt D (nawierzchnia PU) z punktem J (nawierzchnia SS). W tym przypadku nawierzchnia z mieszanki mineralno-emulsyjnej jest głośniejsza o około 3,4 dB. Sytuacja wygląda bardzo podobnie w drugim, czwartym, szóstym, siódmym i ósmym interwale czasowym, tzn. potoki ruchów są zbliżone do siebie (odnosząc się do opisu jak powyżej dla pierwszego interwału) oraz wartości równoważnego poziomu dźwięku dla badanych nawierzchni oscylują w tych samych granicach. Występuje podobna tendencja, tzn. w przypadku nawierzchni SMA i BC, nawierzchnia SMA jest cichsza, a w przypadku nawierzchni SS i PU, nawierzchnia SS jest głośniejsza. Jedynie w trzecim i piątym interwale czasowym na podstawie wykonanych badań można stwierdzić, iż nawierzchnia z betonu cementowego jest nieznacznie cichsza w stosunku do nawierzchni z SMA (różnica 0,1 dB i 0,4 dB).

Konkludując, należy stwierdzić, iż na wartość poziomu hałasu w środowisku, oprócz rodzaju nawierzchni, wpływ ma również natężenie pojazdów (w tym udział pojazdów ciężkich). Na podstawie wykonanych badań można wnioskować, iż nawierzchnia SMA wykazuje dobre parametry akustyczne. Przy zbliżonych wartościach natężenia ruchu w porównaniu do nawierzchni z betonu cementowego oraz betonu asfaltowego, SMA jest cichsza. Porównując nawierzchnię z mieszanki mineralno-emulsyjnej do nawierzchni powierzchniowo utrwalonej, można zauważyć gorsze parametry akustyczne.

## **7. ZALEŻNOŚCI POMIĘDZY ROZWIĄZANIAMI MATERIAŁOWO-TECHNOLOGICZNYMI GÓRNYCH WARSTW NAWIERZCHNI DROGOWYCH A TRWAŁOŚCIĄ I HAŁASEM DROGOWYM**

W zadaniu dokonano jednolitej oceny właściwości mieszanek mineralno-asfaltowych wg badań terenowych i laboratoryjnych. Wybrano odcinki doświadczalne i pozyskano recepty mma użytych do wykonania odcinków.

### **7.1. Charakterystyka rozwiązań materiałowo-technologicznych**

Badaniom poddane zostały mieszanki mineralno-asfaltowe powszechnie stosowane na drogach wyższych klas technicznych do wykonywania warstw ścieralnych nawierzchni (badania laboratoryjne) oraz konstrukcje nawierzchni drogowych (badania polowe) oraz mieszanki mineralno-asfaltowe umożliwiające obniżenie hałasu drogowego.

Poddane badaniom zostały następujące mieszanki i nawierzchnie:

- Beton asfaltowy do warstwy ścieralnej AC 8 S
- Beton asfaltowy do warstwy ścieralnej AC 11 S
- Mastyks grysowy SMA 8 S
- Mastyks grysowy SMA 11 S
- Asfalt porowaty PA 8
- Mieszanka BBTM 8

### **7.2. Badania laboratoryjne**

Celem badań było porównanie trwałości technologicznej i konstrukcyjnej powszechnie stosowanych mieszanek mineralno-asfaltowych.

Zaktualizowane zostały recepty mieszanek mineralno-asfaltowych, które wbudowane zostały na wybranych odcinkach dróg w Polsce. Dokonana została weryfikacja recept z uwzględnieniem właściwości i charakterystyk dostępnych obecnie kruszyw i lepiszczy.

W celu wyeliminowania dodatkowych zmiennych niezależnych, w planowaniu eksperymentu postanowiono ograniczyć rodzaj stosowanych materiałów. Do mieszanek mineralno-asfaltowych zastosowano następujące materiały:

- Kruszywa:
  - Mączka wapienna,
  - Piasek łamany dolomitowy 0/2,
  - Grysy bazaltowe 2/5, 5/8, 8/11,
  - Grysy gabra 2/5, 4/8, 8/11
- Lepiszczka:
  - PMB 45/80-55 (Orlen),
- Stabilizator: Viatop Premium]

- Środek adhezyjny: Wetfix BE

### 7.2.1. Projektowanie recept

Recepty mieszanek mineralno-asfaltowych zaprojektowane zostały z użyciem materiałów, które zastosowano w warstwach ścieralnych na wybranych odcinkach dróg krajowych. Na podstawie wykonanych analiz sitowych skorygowano krzywe uziarnienia. Weryfikacja poprawności recept mieszanek mineralno-asfaltowych dokonana została na podstawie otrzymanych parametrów objętościowych mieszanek. Dla wszystkich mieszanek mineralno-asfaltowych wykonane zostały następujące badania:

- Gęstość mieszanki mineralno-asfaltowej wg PN-EN 12697-5,
- Gęstość objętościowa mieszanki mineralno-asfaltowej wg PN-EN 12697-6, met. B,
- Zawartość wolnej przestrzeni w próbkach Marshalla wg PN-EN 12697-8, na podstawie gęstości w wodzie,

Tab. 7.1 przedstawia wyniki pomiarów gęstości mma i gęstości objętościowej mma. Obliczona i porównana z wymaganiami technicznymi GDDKiA WT-2 2014 została wolna przestrzeń w mieszankach mineralno-asfaltowych.

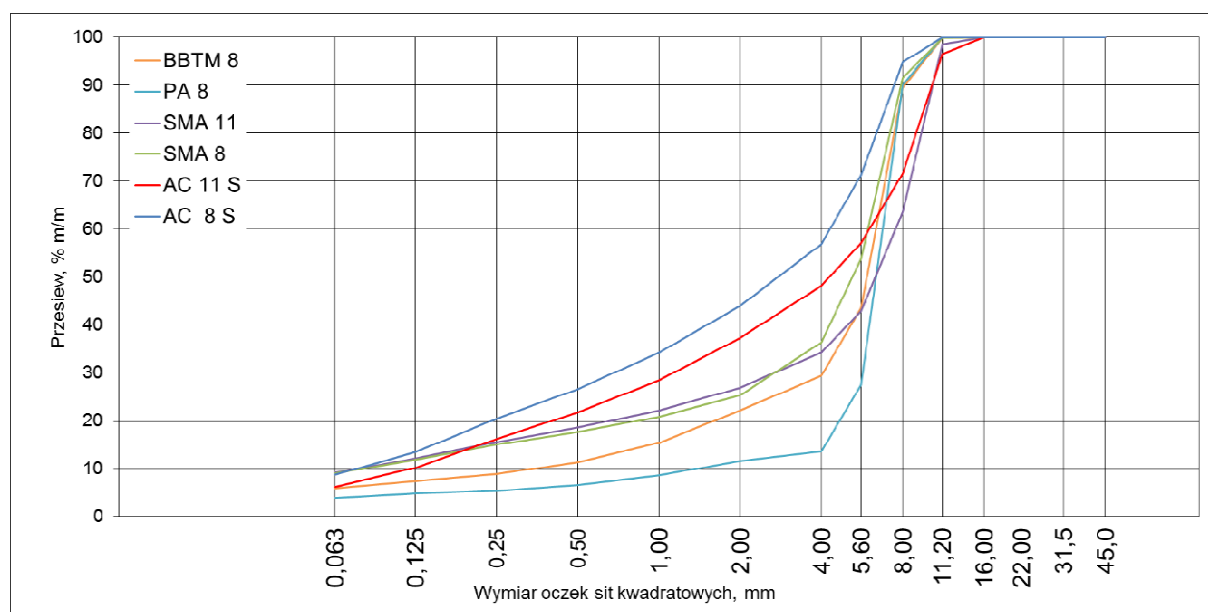
Tab. 7.1 Parametry objętościowe mieszanek mineralno-asfaltowych

Typ mieszanki	Gęstość mieszanki mma [kg/m <sup>3</sup> ]	Gęstość objętościowa mieszanki mma [kg/m <sup>3</sup> ]	Zawartość wolnej przestrzeni [%]	Wymagania WT-2 2014
AC 8 S	2672	2574	3,7%	2,0-4,0 %
AC 11 S	2650	2583	2,5%	2,0-4,0 %
SMA 8	2626	2543	3,2%	2,0-3,5 %
SMA 11	2645	2593	2,0%	2,0-3,5 %
PA 8	2742	2085	24,0%	18,0-24,0 %
BBTM 8	2681	2328	13,2%	12,0-19,0 %

Do wszystkich mieszanek mma zastosowany został asfalt modyfikowany PmB 45/80-55. W Tab. 7.2 przedstawiono podstawowe właściwości stosowanego lepiszcza. Na Rys. 7.1 przedstawione zostały krzywe uziarnienia zaprojektowanych mieszanek mineralno-asfaltowych.

Tab. 7.2 Podstawowe właściwości lepiszcza PmB 45/80-55

	PmB 45/80-55
Penetracja PEN [0,1*mm]	59
Temperatura mięknięcia [°C]	60
Temperatura łamliwości wg Fraassa [°C]	-17
Nawrót sprężysty [%]	85



Rys. 7.1 Krzywe uziarnienia mieszank mineralno-asfaltowych

### 7.2.2. Metody pomiarowe

Dla wszystkich mieszank mineralno-asfaltowych wykonane zostały następujące badania:

- Moduł sztywności na próbkach Marshalla w 10°C wg PN-EN 12697-26, w badaniu rozciągania pośredniego na próbce cylindrycznej met. IT-CY,
- Odporność na deformacje trwałe na próbkach Marshalla w 40°C wg PN-EN 12697-25, w badaniu cyklicznego jednoosiowego ściskania.
- Wrażliwość na działanie wody wg PN-EN 12697-12 oraz Załącznika 1 do Wymagań Technicznych GDDKiA WT-2 z 2014 roku,
- Odporność na spękania niskotemperaturowe wg PN-EN 12697-46 Pękanie niskotemperaturowe i właściwości w badaniach osiowego rozciągania

W celu zbadania wpływu starzenia mieszank mineralno-asfaltowych na ich właściwości wykonane zostały dodatkowe serie wszystkich typów mieszank mineralno-asfaltowych, które poddane zostały symulacji procesów starzeniowych (zachodzących w warunkach eksploatacji nawierzchni) wg autorsko zmodyfikowanej (aktualizacja PW) procedury starzenie długoterminowego LTOA (long term oven aging). Proces starzenia polegał na przechowywaniu luźnej masy mieszanki mineralno-asfaltowej rozłożonej na blachach laboratoryjnych w warstwach o grubości 6 cm w suszarce z wymuszonym obiegiem powietrza w temperaturze 85°C przez czas 72 godzin.

### 7.2.3. Odporność mieszank mineralno-asfaltowych na działanie czynników mechanicznych i środowiskowych

W celu porównania mieszank mineralno-asfaltowych określono ich właściwości przed i po starzeniu.

**7.2.3.1. Sztywność**

W celu określenia sztywności mieszanki mineralno-asfaltowej wykonano badania modułu sztywności w 10°C metodą rozciągania pośredniego (IT-CY) na próbkach cylindrycznych o średnicy 100 mm i wysokości  $63,5 \pm 5$  mm. Próbki do badań zagęszczano ubijakiem Marshalla. W Tab. 7.3 przedstawione zostały wyniki pomiarów sztywności dla poszczególnych próbek oraz wyniki średnie. Poddane zostały sztywności w dwóch prostopadłych płaszczyznach ( $S_{xx}$ ,  $S_{yy}$ ) oraz sztywność średnia ( $S$ ). W celu określenia wpływu starzenia na zmianę sztywności obliczony został indeks zmiany sztywności, który zdefiniowano wzorem:

$$IS = \frac{SL_{TOA}}{S} \quad [\%] \quad (7.1)$$

gdzie:

$SL_{TOA}$  - sztywność mieszanki mma poddanej starzeniu LTOA

$S$  - sztywność mieszanki mma nie poddanej starzeniu LTOA

Tab. 7.3 Wyniki badań sztywności metodą IT-CY

oznaczenie próbki	rodzaj mieszanki mma	sztywność $S_{xx}$ [MPa]	sztywność $S_{yy}$ [MPa]	średnia sztywność $S$ [MPa]
1	<b>AC 8 S</b>	7631	6899	7265
2		6974	7046	7010
3		7790	7625	7708
średnia				<b>7328</b>
oznaczenie próbki	rodzaj mieszanki mma	sztywność $S_{xx}$ [MPa]	sztywność $S_{yy}$ [MPa]	średnia sztywność $S$ [MPa]
1	<b>AC 8 S LTOA</b>	8182	8084	8133
2		7059	6850	6955
3		7570	6659	7115
średnia				<b>7401</b>
<i>Indeks zmiany sztywności</i>				<b>1,01</b>
oznaczenie próbki	rodzaj mieszanki mma	sztywność $S_{xx}$ [MPa]	sztywność $S_{yy}$ [MPa]	średnia sztywność $S$ [MPa]
1	<b>AC 11 S</b>	8004	8312	8158
2		8312	8037	8175
3		7276	6661	6969
średnia				<b>7767</b>
oznaczenie próbki	rodzaj mieszanki mma	sztywność $S_{xx}$ [MPa]	sztywność $S_{yy}$ [MPa]	średnia sztywność $S$ [MPa]
1	<b>AC 11 S LTOA</b>	9655	9303	9479

## Zadanie 2. Ocena rozwiązań materiałowo-technologicznych górnych warstw asfaltowych i zalecenia w zakresie ich hałaśliwości

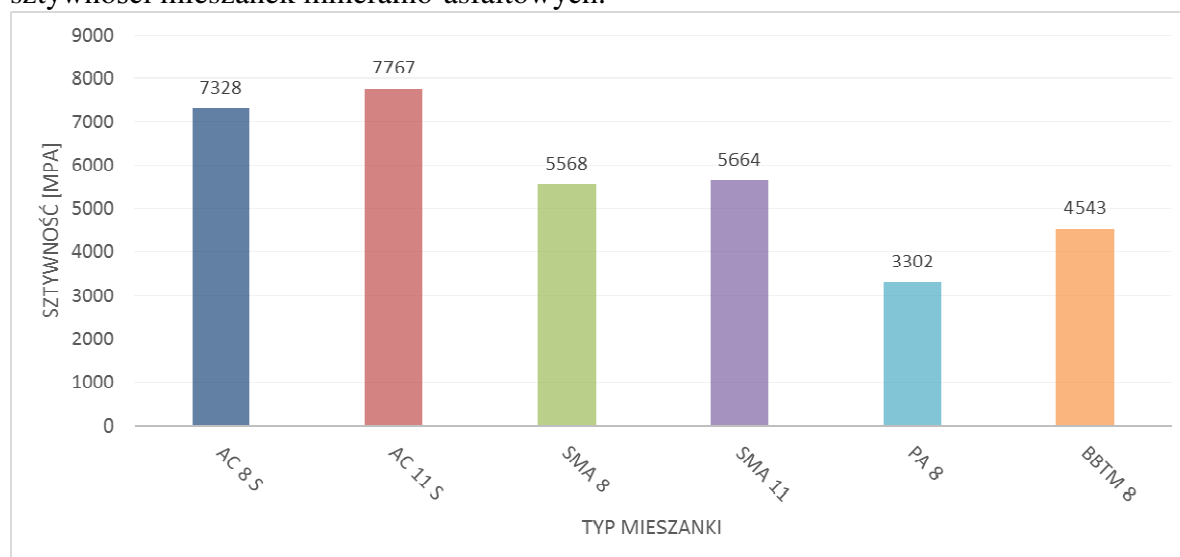
2		7936	7704	7820
3		8962	7245	8104
średnia				<b>8468</b>
<i>Indeks zmiany sztywności</i>				<b>1,09</b>
oznaczenie próbki	rodzaj mieszanki mma	sztywność Sxx [MPa]	sztywność Syy [MPa]	średnia sztywność S [MPa]
1	<b>SMA 8</b>	5914	5815	5865
2		4682	4241	4462
3		6478	6279	6379
średnia				<b>5568</b>
oznaczenie próbki	rodzaj mieszanki mma	sztywność Sxx [MPa]	sztywność Syy [MPa]	średnia sztywność S [MPa]
1	<b>SMA 8 LTOA</b>	7533	6921	7227
2		7054	7083	7069
3		7960	7224	7592
średnia				<b>7296</b>
<i>Indeks zmiany sztywności</i>				<b>1,31</b>
oznaczenie próbki	rodzaj mieszanki mma	sztywność Sxx [MPa]	sztywność Syy [MPa]	średnia sztywność S [MPa]
1	<b>SMA 11</b>	5953	5438	5696
2		5896	5234	5565
3		5679	5783	5731
średnia				<b>5664</b>
oznaczenie próbki	rodzaj mieszanki mma	sztywność Sxx [MPa]	sztywność Syy [MPa]	średnia sztywność S [MPa]
1	<b>SMA 11 LTOA</b>	5591	5551	5571
2		5651	5165	5408
3		5599	5413	5506
średnia				<b>5495</b>
<i>Indeks zmiany sztywności</i>				<b>0,97</b>
oznaczenie próbki	rodzaj mieszanki mma	sztywność Sxx [MPa]	sztywność Syy [MPa]	średnia sztywność S [MPa]
1	<b>PA 8</b>	2907	3220	3064
2		3391	3454	3423
3		3470	3368	3419
średnia				<b>3302</b>
oznaczenie próbki	rodzaj mieszanki mma	sztywność Sxx [MPa]	sztywność Syy [MPa]	średnia sztywność S [MPa]



Zadanie 2. Ocena rozwiązań materiałowo-technologicznych górnych warstw asfaltowych i zalecenia w zakresie ich hałaśliwości

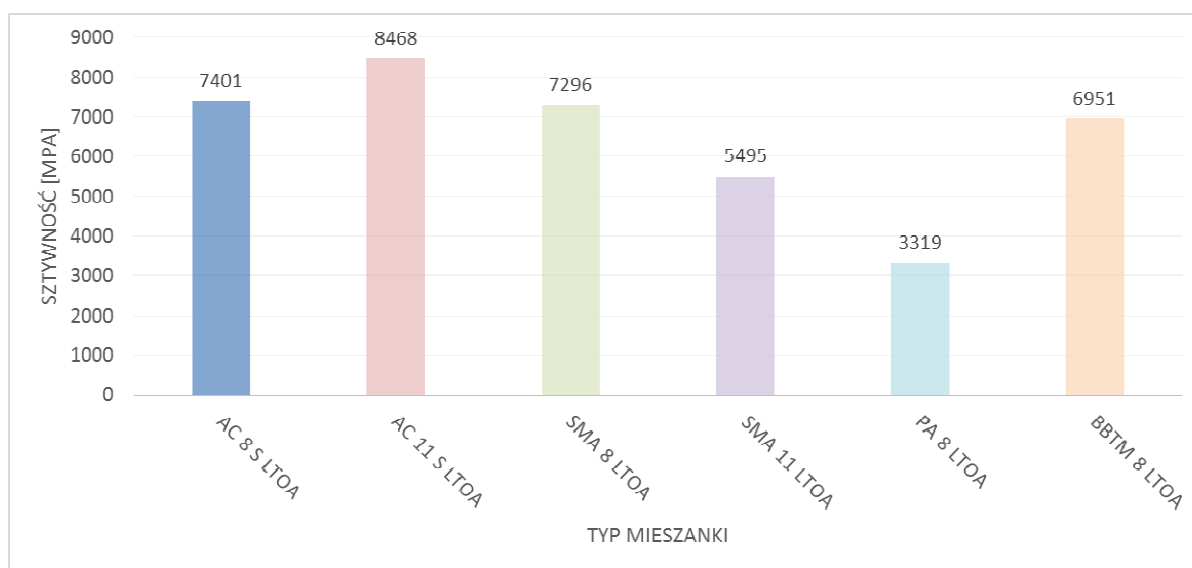
1	<b>PA 8 LTOA</b>	2908	2770	2839
2		4080	3909	3995
3		3020	3229	3125
średnia				<b>3319</b>
<i>Indeks zmiany sztywności</i>				<b>1,01</b>
<b>oznaczenie próbki</b>	<b>rodzaj mieszanki mma</b>	<b>sztywność Sxx [MPa]</b>	<b>sztywność Syy [MPa]</b>	<b>średnia sztywność S [MPa]</b>
1	<b>BBTM 8</b>	4738	5270	5004
2		4199	4250	4225
3		4331	4469	4400
średnia				<b>4543</b>
<b>oznaczenie próbki</b>	<b>rodzaj mieszanki mma</b>	<b>sztywność Sxx [MPa]</b>	<b>sztywność Syy [MPa]</b>	<b>średnia sztywność S [MPa]</b>
1	<b>BBTM 8 LTOA</b>	6662	6801	6732
2		6592	6688	6640
3		7513	7452	7483
średnia				<b>6951</b>
<i>Indeks zmiany sztywności</i>				<b>1,53</b>

Na Rys. 7.2 -Rys. 7.4 przedstawione zostały średnie sztywności dla mieszanek przed i po procesie starzenia eksploatacyjnego. Na Rys. 7.5 przedstawiono indeksy zmiany sztywności mieszanek mineralno-asfaltowych.

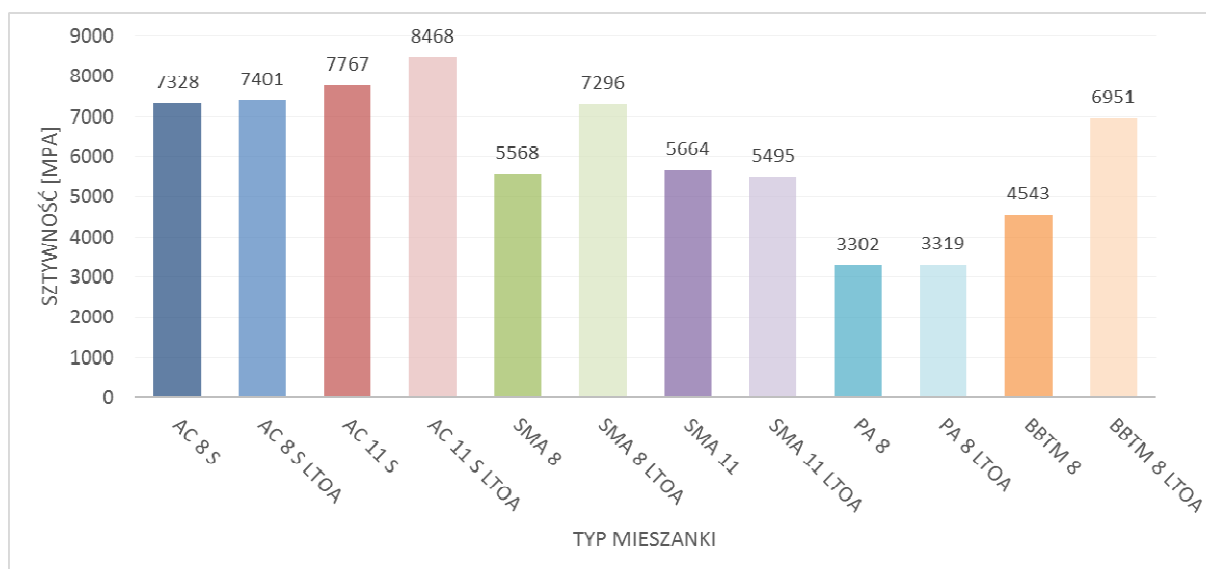


Rys. 7.2 Sztywność mieszanek mineralno-asfaltowych nie poddanych procesowi starzenia LTOA

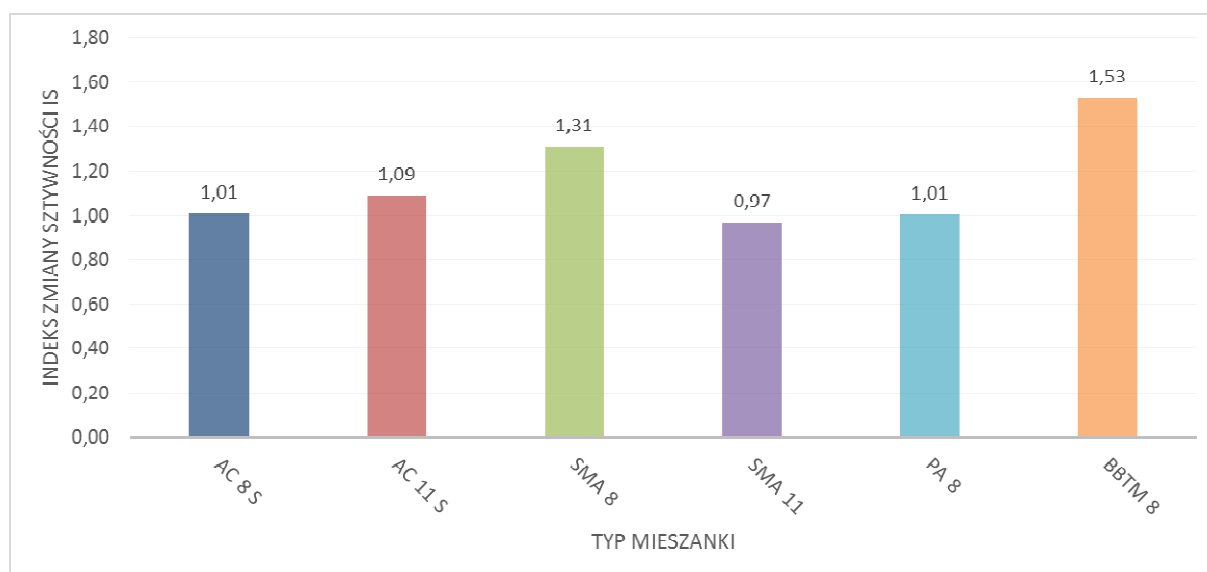
Projekt RID - I/76 Ochrona przed hałasem drogowym  
Zadanie 2. Ocena rozwiązań materiałowo-technologicznych górnych warstw asfaltowych i zalecenia w zakresie ich hałaśliwości



Rys. 7.3 Sztywność mieszanek mineralno-asfaltowych poddanych procesowi starzenia LTOA



Rys. 7.4 Zestawienie sztywność mieszanek mineralno-asfaltowych nie poddanych i poddanych procesowi starzenia LTOA



Rys. 7.5 Wskaźnik zmiany sztywności IS

Analizując otrzymane wyniki sztywności należy stwierdzić, że poszczególne mieszanki mineralno-asfaltowe różnią się między sobą sztywnością. Największą sztywność wykazały mieszanki typu beton asfaltowy: AC 8 i AC 11, kolejną mieszanki typu SMA 8, SMA 11 oraz BBTM 8. Zdecydowanie najniższa sztywność cechuje mieszankę typu PA 8. Najbardziej nieodporne (największa zmiana) na proces starzenia długoterminowego LTOA okazały się mieszanki typu SMA 8 i BBTM8 z indeksem zmiany modułu sztywności odpowiednio 1,31 i 1,53; nadmierne przesztywnienie mieszanki skutkować może jej podwyższoną podatnością na spękania.

### 7.2.3.2. Odporność na deformacje trwałe

Badanie odporności mieszanek mineralno-asfaltowych na deformacje trwałe przeprowadzone zostało metodą cyklicznego jednoosiowego ściskania. Badanie polega na wielokrotnym powtarzalnym oddziaływaniu na próbkę naprężeniem o tej samej wartości. Badanie przeprowadzane jest w temperaturze 40<sup>0</sup>C i trwa ono 3600 cykli. Wynikiem badania jest końcowe odkształcenie próbki. W Tab. 7.4 przedstawione zostały wyniki badania odporności na deformacje trwałe metodą jednoosiowego cyklicznie ściskania dla poszczególnych próbek oraz wyniki średnie. Obliczony został indeks zmiany odporności na powstawanie deformacji trwałych, który zdefiniowano wzorem:

$$I_{\epsilon} = \epsilon / \epsilon_{LTOA} \quad [\%] \quad (7.2)$$

gdzie:

$\epsilon$  - sztywność mieszanki mma nie poddanej starzeniu LTOA

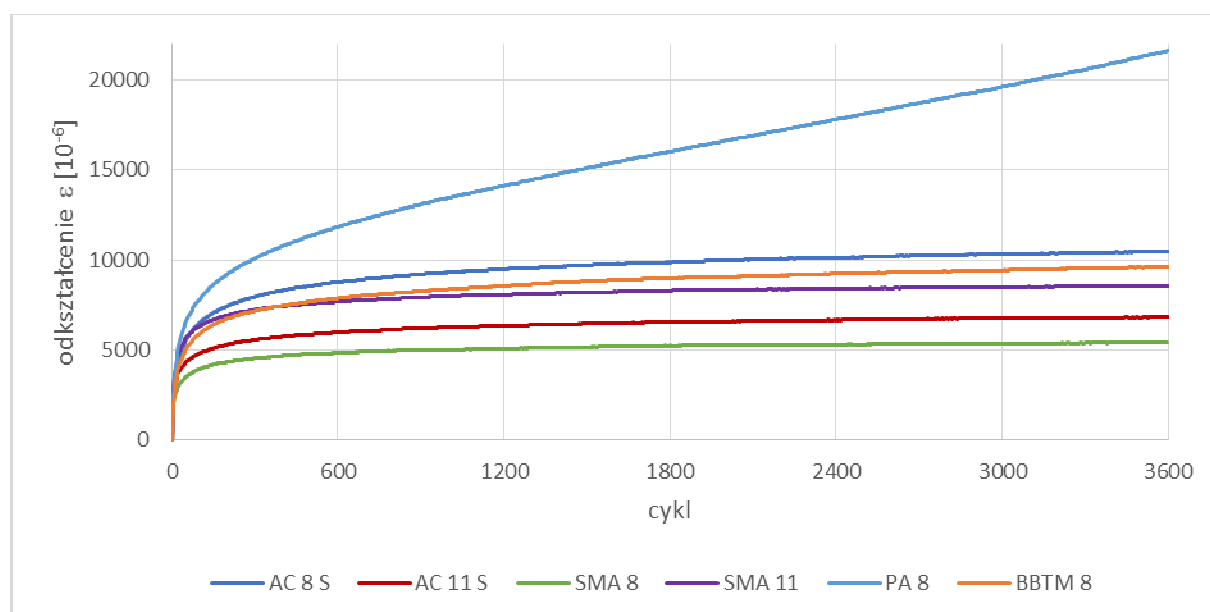
$\epsilon_{LTOA}$  - sztywność mieszanki mma poddanej starzeniu LTOA

*Projekt RID - I/76 Ochrona przed hałasem drogowym*  
 Zadanie 2. Ocena rozwiązań materiałowo-technologicznych górnych warstw asfaltowych i  
 zalecenia w zakresie ich hałaśliwości

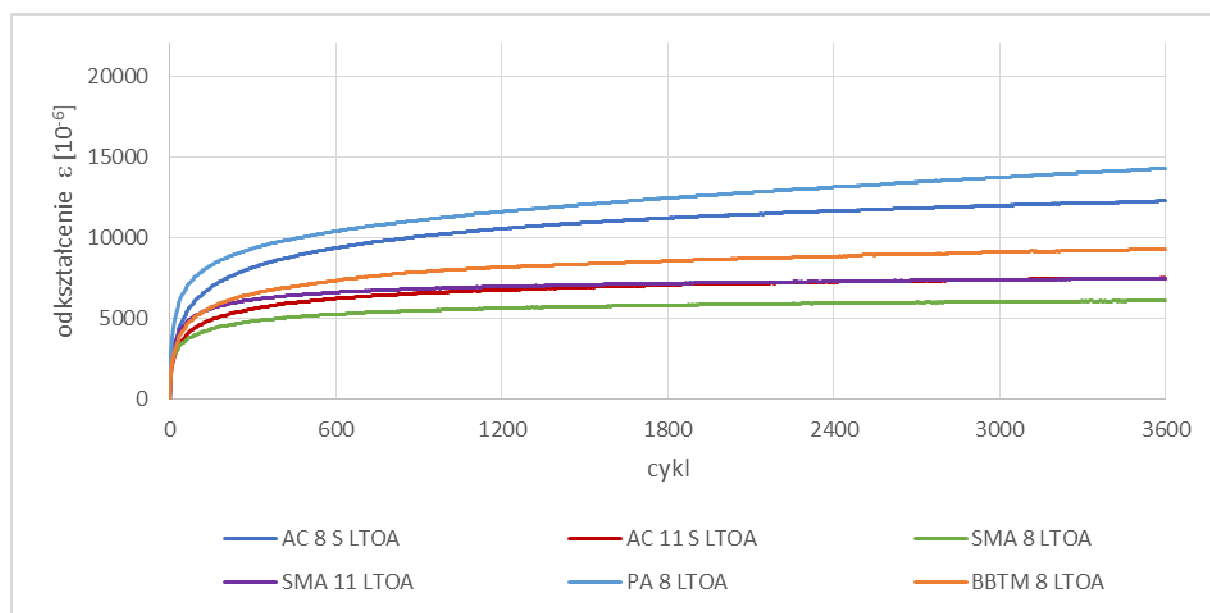
Tab. 7.4 Wyniki badań odporności na deformacje trwałe metodą cyklicznego jednoosiowego ściskania (pełzanie)

oznaczenie próbki	rodzaj mieszanki mma	odkształcenie końcowe $\epsilon$ [ $10^{-6}$ ]	typ mieszanki mma	odkształcenie końcowe $\epsilon$ [ $10^{-6}$ ]	Indeks zmiany odporności na deformacje trwałe I <sub>e</sub>
1	AC 8 S	10421	AC 8 S LTOA	11405	90%
2		10487		11463	
3		9114		10597	
średnia		10007		11155	
1	AC 11 S	6664	AC 11 S LTOA	7205	85%
2		6363		6965	
3		6364		8643	
średnia		6464		7604	
1	SMA 8	5244	SMA 8 LTOA	6027	103%
2		7391		5064	
3		6277		7310	
średnia		6304		6134	
1	SMA 11	8346	SMA 11 LTOA	8629	102%
2		8623		6995	
3		8705		9623	
średnia		8558		8416	
1	PA 8	16247	PA 8 LTOA	16873	99%
2		14266		15482	
3		15573		14086	
średnia		15362		15480	
1	BBTM 8	9847	BBTM 8 LTOA	8370	113%
2		9541		8101	
3		9192		8883	
średnia		9527		8451	

Na Rys. 7.6, Rys. 7.7 przedstawione zostały wykresy odkształcenia dla mieszanek przed i po procesie starzenia eksploatacyjnego.



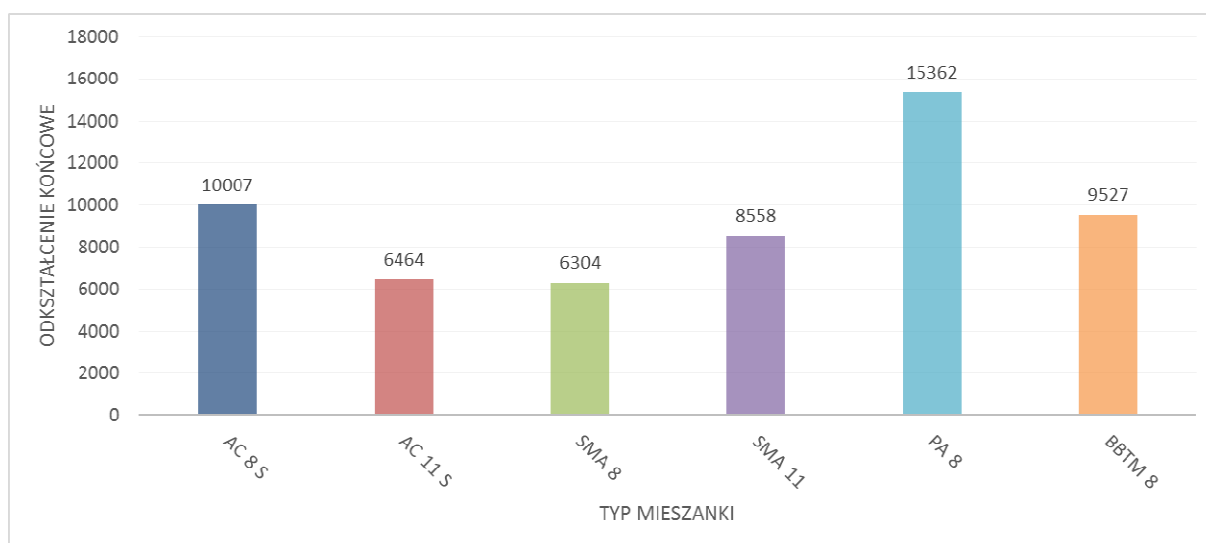
Rys. 7.6 Wykres odkształceń zarejestrowanych podczas badania odporności na deformacje trwałe mieszank mineralno-asfaltowych nie poddanych procesowi starzenia LTOA



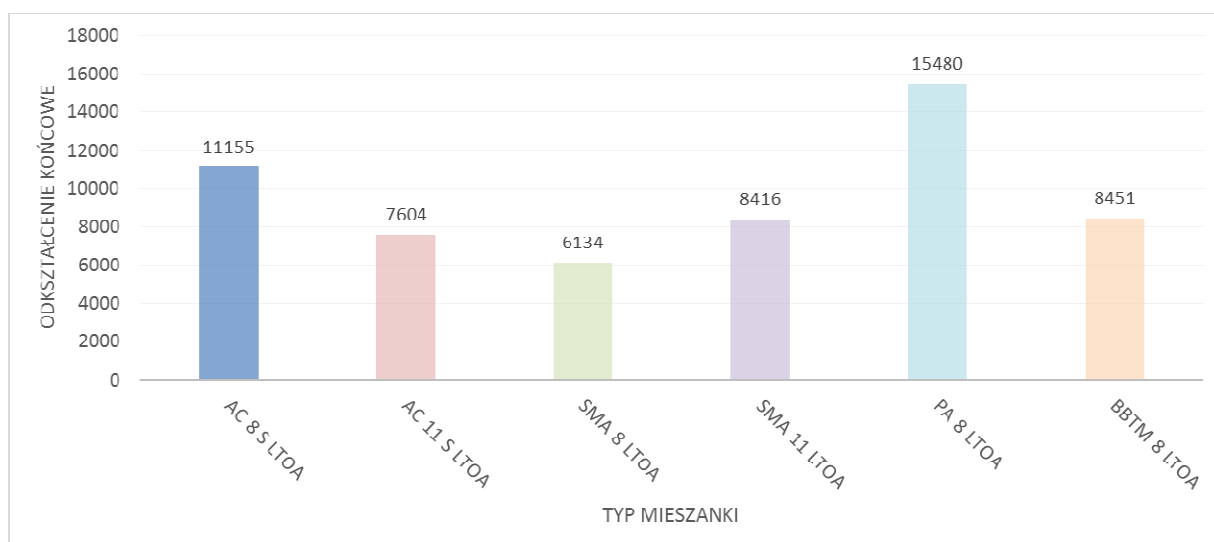
Rys. 7.7 Wykres odkształceń zarejestrowanych podczas badania odporności na deformacje trwałe mieszank mineralno-asfaltowych poddanych procesowi starzenia LTOA

Na Rys. 7.8 - Rys. 7.10 przedstawione zostały odkształcenia końcowe uzyskane w badaniu jednoosiowego cyklicznego ściskania dla mieszank przed i po procesie starzenia eksploatacyjnego. Na Rys. 7.11 przedstawiono indeks zmiany odporności na powstawanie deformacji trwałych.

Projekt RID - I/76 Ochrona przed hałasem drogowym  
Zadanie 2. Ocena rozwiązań materiałowo-technologicznych górnych warstw asfaltowych i zalecenia w zakresie ich hałaśliwości

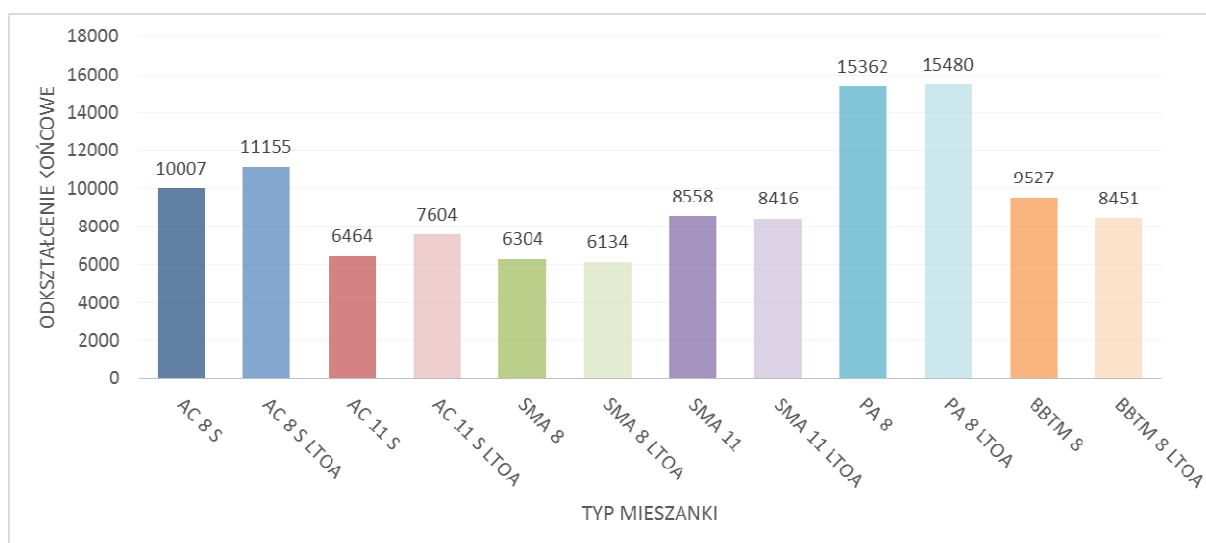


Rys. 7.8 Odkształcenie całkowite mieszank mineralno-asfaltowych nie poddanych procesowi starzenia LTOA

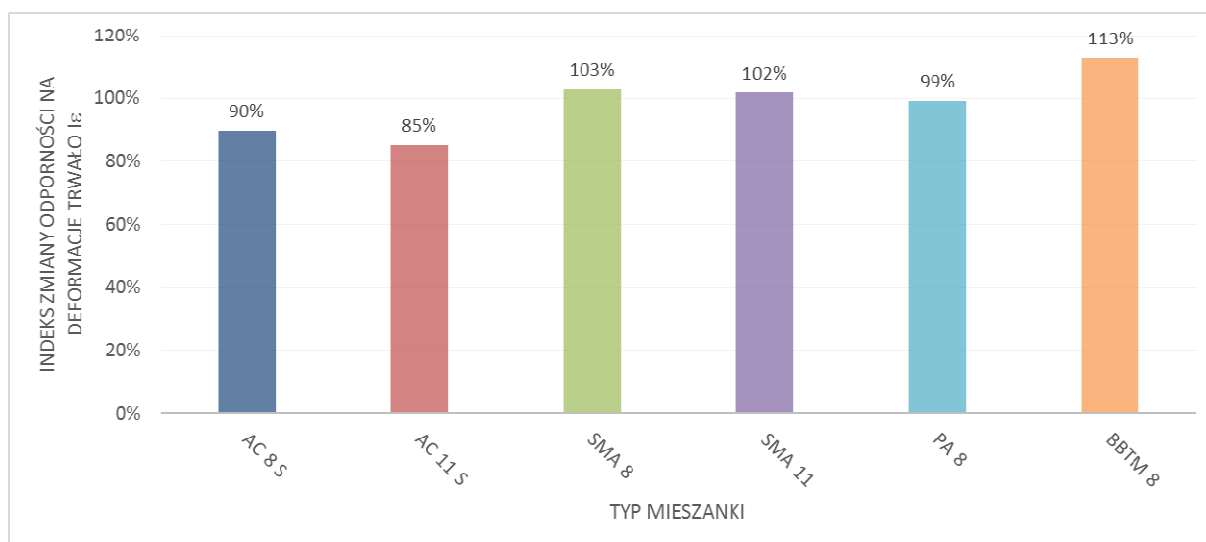


Rys. 7.9 Odkształcenie całkowite mieszank mineralno-asfaltowych poddanych procesowi starzenia LTOA

*Projekt RID - I/76 Ochrona przed hałasem drogowym*  
**Zadanie 2. Ocena rozwiązań materiałowo-technologicznych górnych warstw asfaltowych i zalecenia w zakresie ich hałaśliwości**



Rys. 7.10 Wykres zbiorczy odkształceń całkowitych mieszanek mineralno-asfaltowych nie poddanych i poddanych procesowi starzenia LTOA



Rys. 7.11 Indeks zmiany odporności mieszanek mma na powstawanie deformacji trwałych

Analizując otrzymane wyniki odporności na deformacje trwałe należy stwierdzić, że poszczególne mieszanki mineralno-asfaltowe różnią się między sobą. Najmniejszą odporność na powstawanie deformacji trwałych wykazała mieszanka typu asfalt porowaty PA8. Zdecydowanie najwyższą odporność na powstawanie deformacji trwałych wykazała mieszanka SMA 11. W wyniku procesu starzenia eksploatacyjnego największą poprawę w zakresie odporności na deformacje trwałe uzyskała mieszanka typu BBTM 8 (indeks zmiany I<sub>e</sub> 113%), pogorszenie tego parametru uzyskano dla mieszanek typu AC 8 , AC 11 , indeks zmiany I<sub>e</sub> wyniósł odpowiednio 90% i 85%. Pogorszenie odporności na powstanie deformacji trwałych po starzeniu eksploatacyjnym w przypadku betonów asfaltowych jest spowodowane przez zmiany właściwości lepiscza (polimeroasfaltu) przy jednoczesnym braku szkieletu grysowego dla mieszanek tego typu.

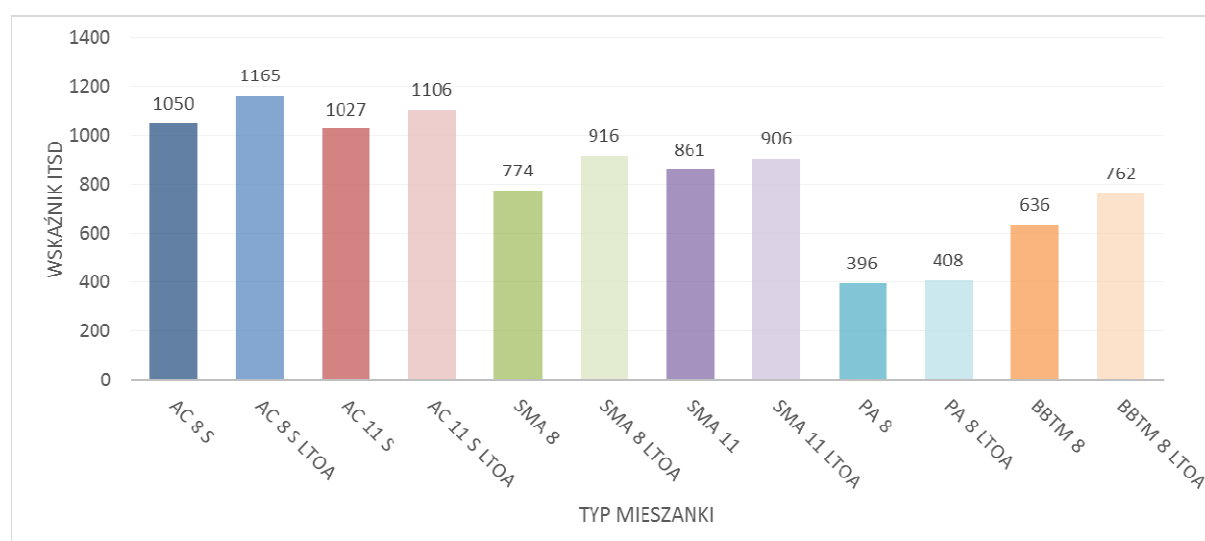
### 7.2.3.3. Cykliczne oddziaływanie wody i mrozu

Wrażliwość na działanie wody określana wskaźnikiem ITSR. Badania wykonano na próbkach o średnicy 100 mm zagęszczonych w laboratorium. Próbki MMA do badań zagęszczano ubijakiem Marshalla stosując 2x35 uderzeń w temperaturze 145±5 °C. W Tab. 7.5 przedstawione zostały wyniki badania odporności na działanie wody i mrozu dla mieszanek mineralno-asfaltowych.

Tab. 7.5 Wyniki badań odporności na działanie wody i mrozu metodą ITSR

Rodzaj mieszanki mma	ITSd [kPa]	ITSw [kPa]	ITSR [%]
<b>AC 8 S</b>	1050	1059	<b>101</b>
<b>AC 8 S LTOA</b>	1165	1185	<b>102</b>
<b>AC 11 S</b>	1027	1076	<b>105</b>
<b>AC 8 S LTOA</b>	1106	1063	<b>96</b>
<b>SMA 8</b>	774	763	<b>99</b>
<b>SMA 8 LTOA</b>	916	912	<b>100</b>
<b>SMA 11</b>	861	814	<b>95</b>
<b>SMA 11 LTOA</b>	906	883	<b>97</b>
<b>PA 8</b>	396	346	<b>87</b>
<b>PA 8 LTOA</b>	408	433	<b>106</b>
<b>BBTM 8</b>	636	592	<b>93</b>
<b>BBTM 8 LTOA</b>	762	690	<b>91</b>

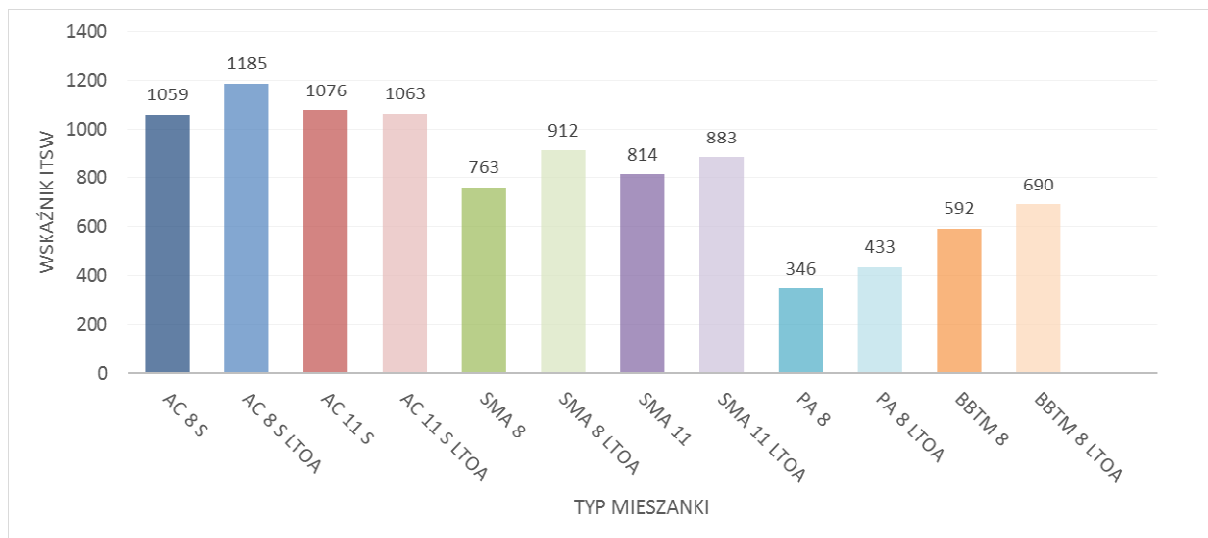
Na Rys. 7.12 - Rys. 7.14 przedstawione zostały wyniki odporności na działanie wody i mrozu dla mieszanek przed i po procesie starzenia eksploatacyjnego.



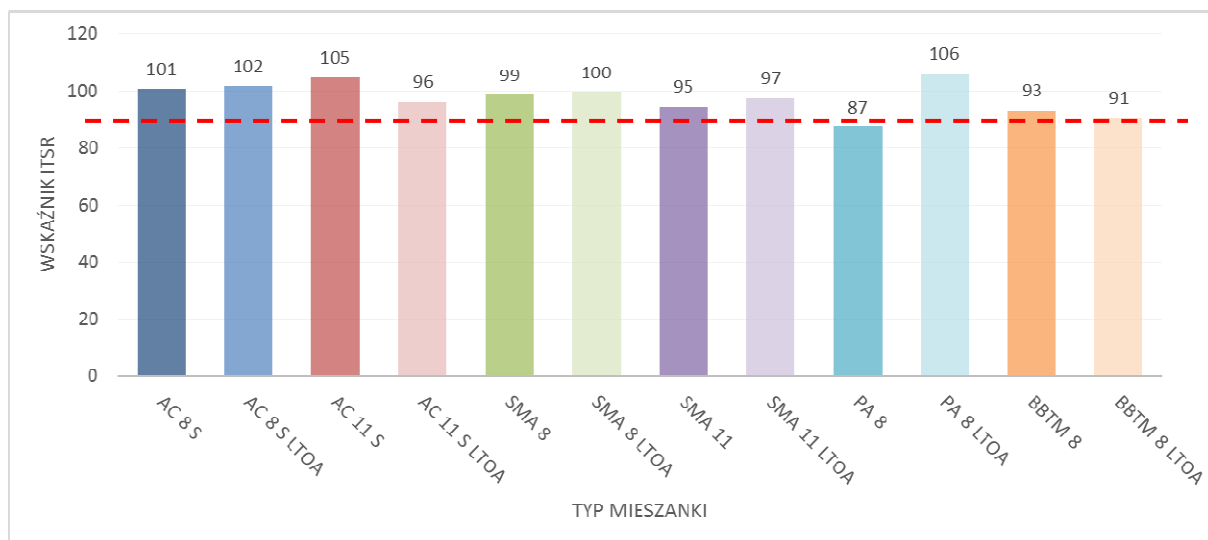
Rys. 7.12 Wskaźnik ITSd dla próbek w zestawach nie poddanych oddziaływaniu wody i mrozu



*Projekt RID - I/76 Ochrona przed hałasem drogowym*  
**Zadanie 2. Ocena rozwiązań materiałowo-technologicznych górnych warstw asfaltowych i zalecenia w zakresie ich hałaśliwości**



Rys. 7.13 Wskaźnik ITSr dla próbek w zestawach poddanych oddziaływaniu wody i mrozu



Rys. 7.14 Wskaźnik ITSr dla próbek nie poddanych i poddanych starzeniu eksploatacyjnemu LTOA

Badanie przeprowadzono według restrykcyjnej procedury kondycjonowania zawartej w wymagania technicznych GDDKiA WT-2:2014. Analizując otrzymane wyniki odporności na działania wody i mrozu należy stwierdzić, że wszystkie mieszanki, poza nie poddaną starzeniu eksploatacyjnemu PA 8, spełniają wymagania w zakresie odporności na działanie wody i mrozu dla warstw ścieralnych (min. 90% wg WT-2 2014). W skutek symulacji starzenia eksploatacyjnego dla mieszanki PA 8 następuje znaczne poprawienie parametru

ITSR, co związane jest ze wzrostem jej sztywności i otwartą strukturą; następuje spełnienie wymagań również przez mieszankę PA.

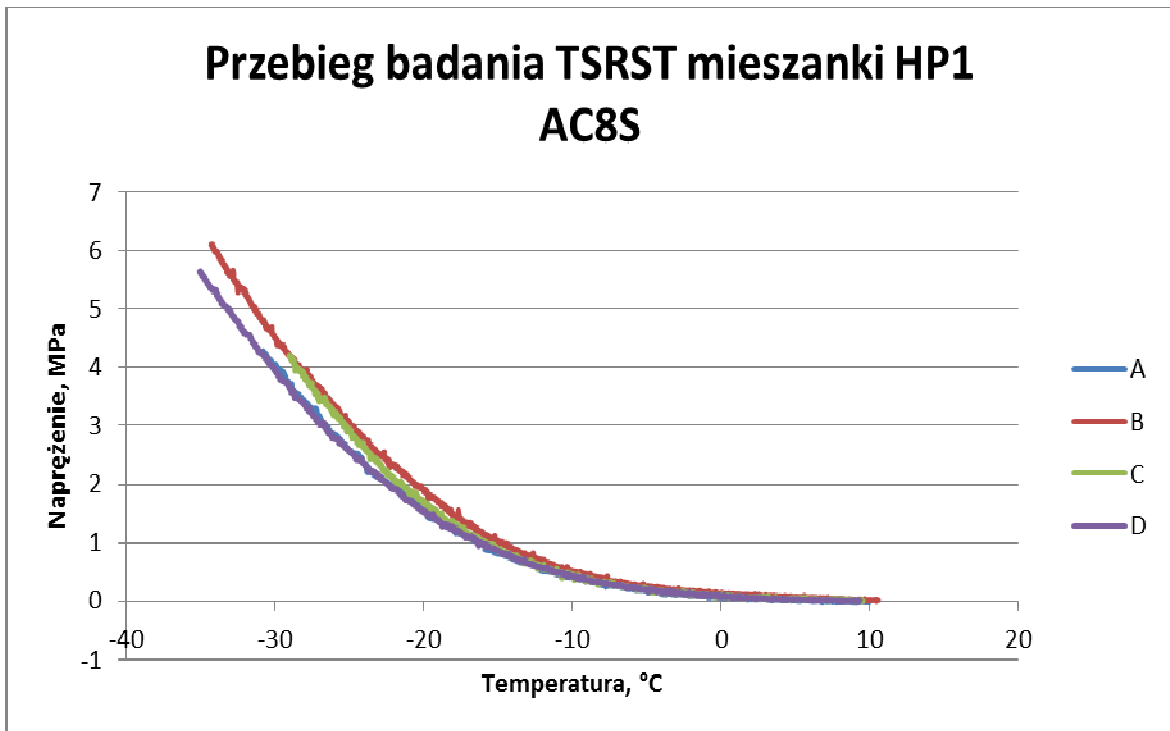
#### **7.2.3.4. Oddziaływanie niskiej temperatury**

Metodyka badania odporności na spękania niskotemperaturowe (TSRST) została opracowana na podstawie normy PN-EN 12697-46. Badania przeprowadzane są na stanowisku pomiarowym MTS. Próbki do badań mają kształt prostokątny o wymiarach 40 x 40 x 250 mm. Do górnej i dolnej podstawy próbki przykleja się stalowe krążki, które umożliwiają zamocowanie w ramie wytrzymałościowej. Następnie mocowane są ekstensometry do pomiaru odkształceń wzdłużnych próbki. Całość zamykana jest w komorze termicznej. Temperatura początkowa badania wynosi 10°C, a następnie jest obniżana z prędkością 10°C/h. Zadaniem ramy wytrzymałościowej jest niedopuszczenie do odkształcenia (skurczu) próbki. W takich warunkach w próbce indukowane są termiczne naprężenia rozciągające. Podczas badania rejestrowana jest temperatura, siła rozciągająca oraz odkształcenie. Koniec badania następuje w momencie pęknięcia próbki. Wynikiem badania jest naprężenie przy zniszczeniu oraz temperatura pęknięcia.

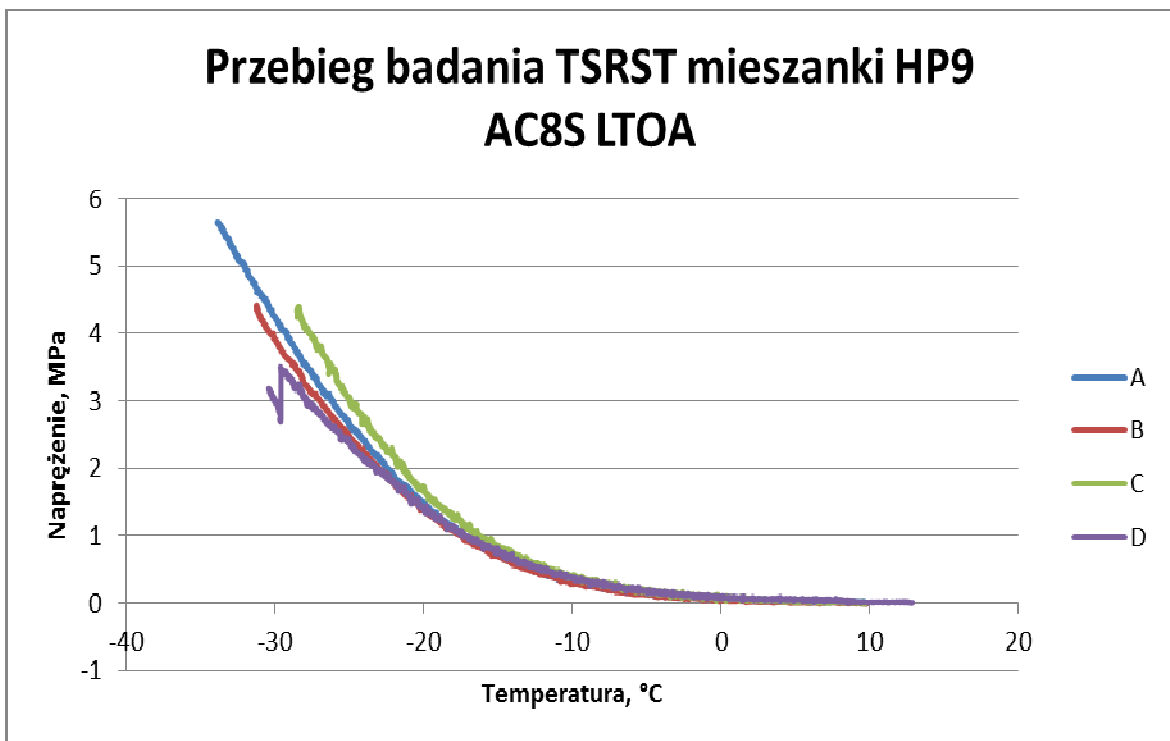
W Tab. 7.6 - Tab. 7.11 przedstawiono wyniki badań poszczególnych mieszanek, razem zestawiono wyniki z próbek starzonych oraz nie poddanych starzeniu. Na rysunkach Rys. 6.15 - Rys. 6.26 przedstawiono przebieg badania, uwidaczniając przyrost naprężenia rozciągającego wraz ze spadkiem temperatury.

Tab. 7.6 Wyniki badań odporności na spękania niskotemperaturowe (TSRST) mieszanki AC8 S (HP1 i HP9)

<b>Mieszanka</b>	<b>Naprężenia niszczące [MPa]</b>	<b>Temperatura pęknięcia [°C]</b>
HP1AC8 S	4,3	-30,8
	6,1	-34,3
	4,2	-29,0
	5,7	-35,1
Średnia	<b>5,1</b>	<b>-32,3</b>
HP9 AC8 S LTOA	5,7	-33,9
	4,4	-31,2
	4,4	-28,5
	3,5	-29,7
Średnia	<b>4,5</b>	<b>-30,8</b>



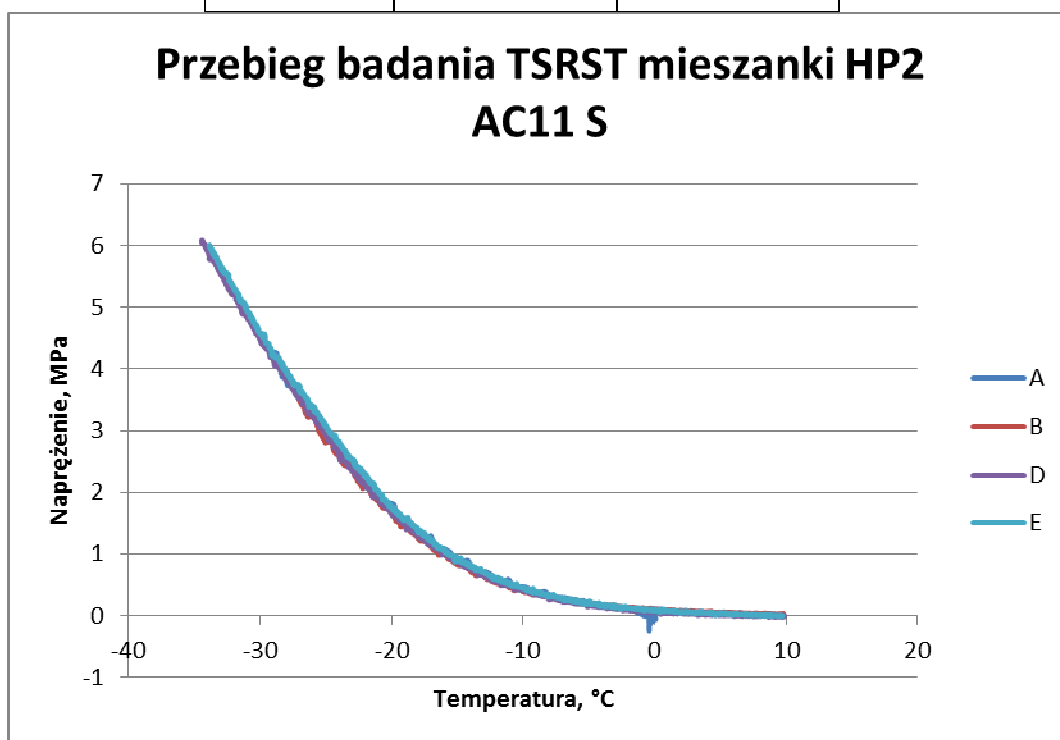
Rys. 7.15 Przebieg badania TSRST mieszanki HP1 [AC8 S]



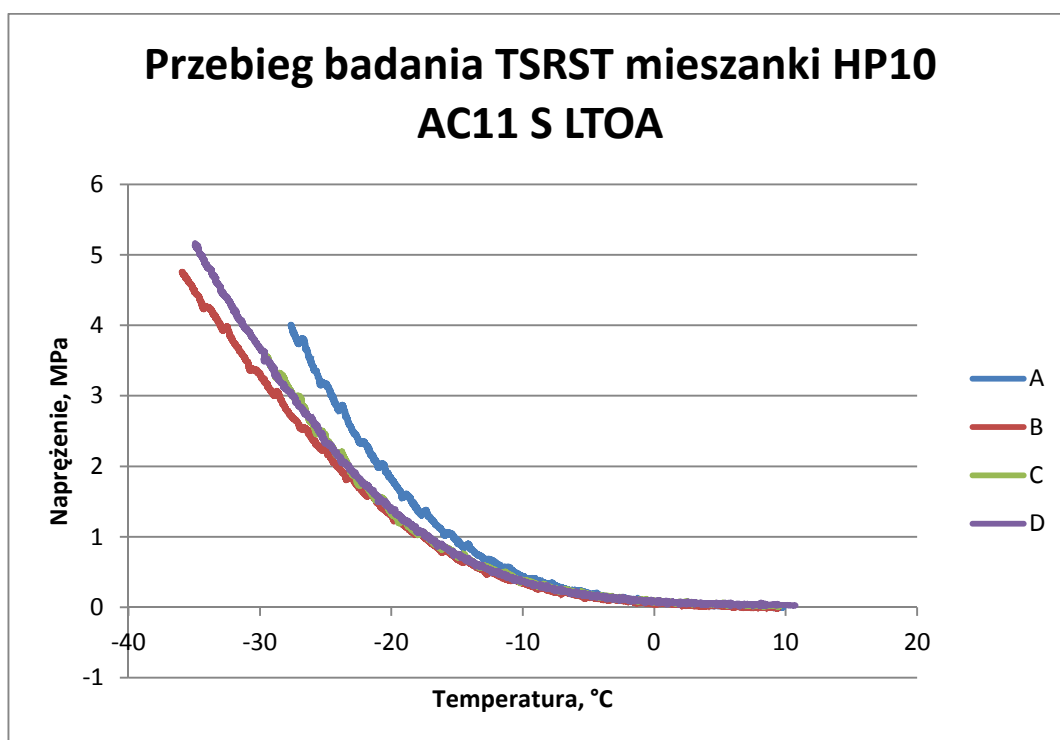
Rys. 7.16 Przebieg badania TSRST mieszanki HP9 [AC8 S LTOA]

Tab. 7.7 Wyniki badań odporności na spękania niskotemperaturowe (TSRST) mieszanki AC11 S (HP2 i HP10)

Mieszanka	Naprężenia niszczące [MPa]	Temperatura pęknięcia [°C]
HP2	4,3	-28,9
	3,5	-27,0
AC11 S	6,1	-34,4
	6,0	-33,9
Średnia	<b>5,0</b>	<b>-31,0</b>
HP10 AC11 S LTOA	4,0	-27,7
	4,8	-35,9
	3,6	-29,4
	5,2	-34,9
Średnia	<b>4,4</b>	<b>-32,0</b>



Rys. 7.17 Przebieg badania TSRST mieszanki HP2 [AC11 S]

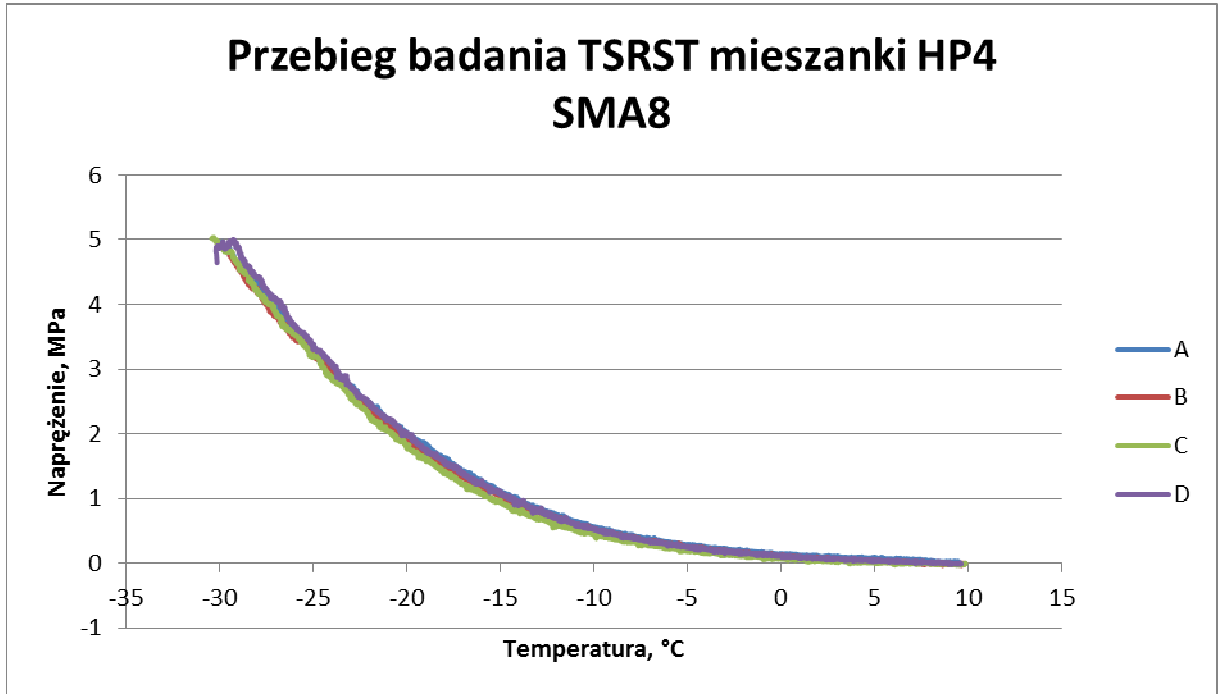


Rys. 7.18 Przebieg badania TSRST mieszanki HP10 [AC11 S LTOA]

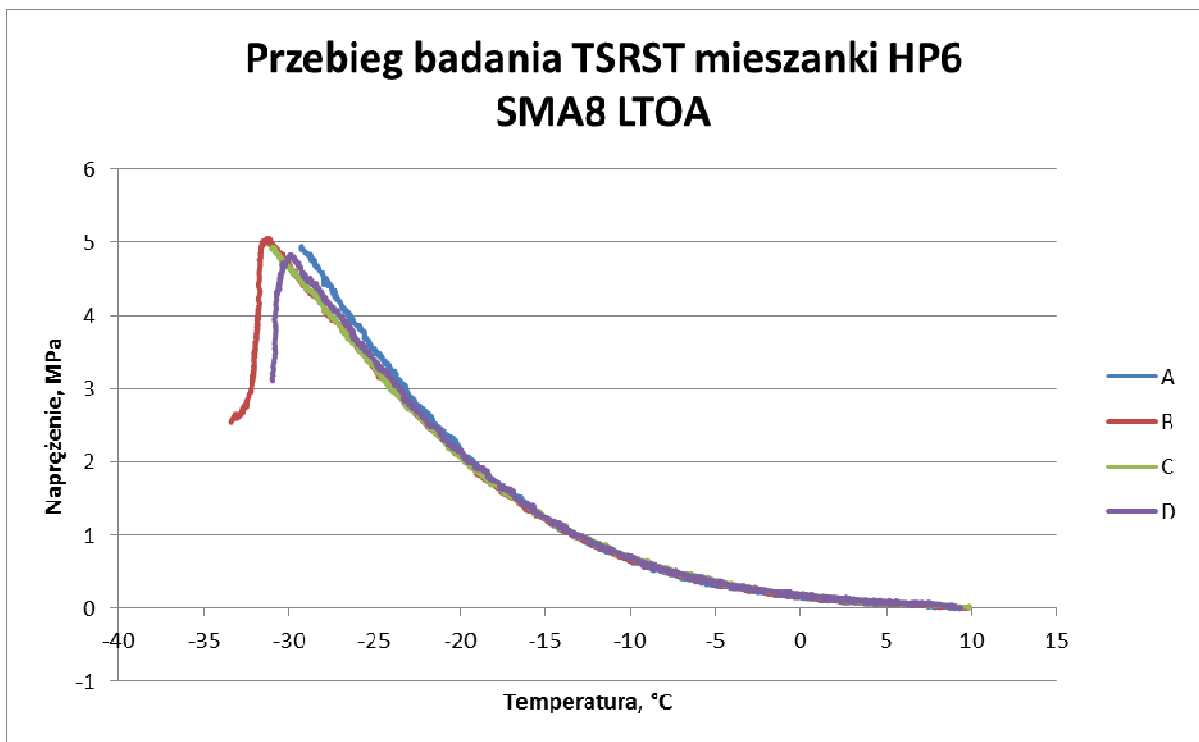
Tab. 7.8 Wyniki badań odporności na spękania niskotemperaturowe (TSRST) mieszanki SMA8 (HP4 i HP6)

Mieszanka	Napężenia niszczące [MPa]	Temperatura pęknięcia [°C]
HP4 SMA8	5,0	-29,9
	4,8	-29,4
	5,0	-30,3
	5,0	-29,3
Średnia	<b>4,9</b>	<b>-29,7</b>
HP6 SMA8 LTOA	4,9	-29,2
	5,1	-31,2
	4,9	-30,9
	4,8	-29,9

Średnia	4,9	-30,3
---------	-----	-------



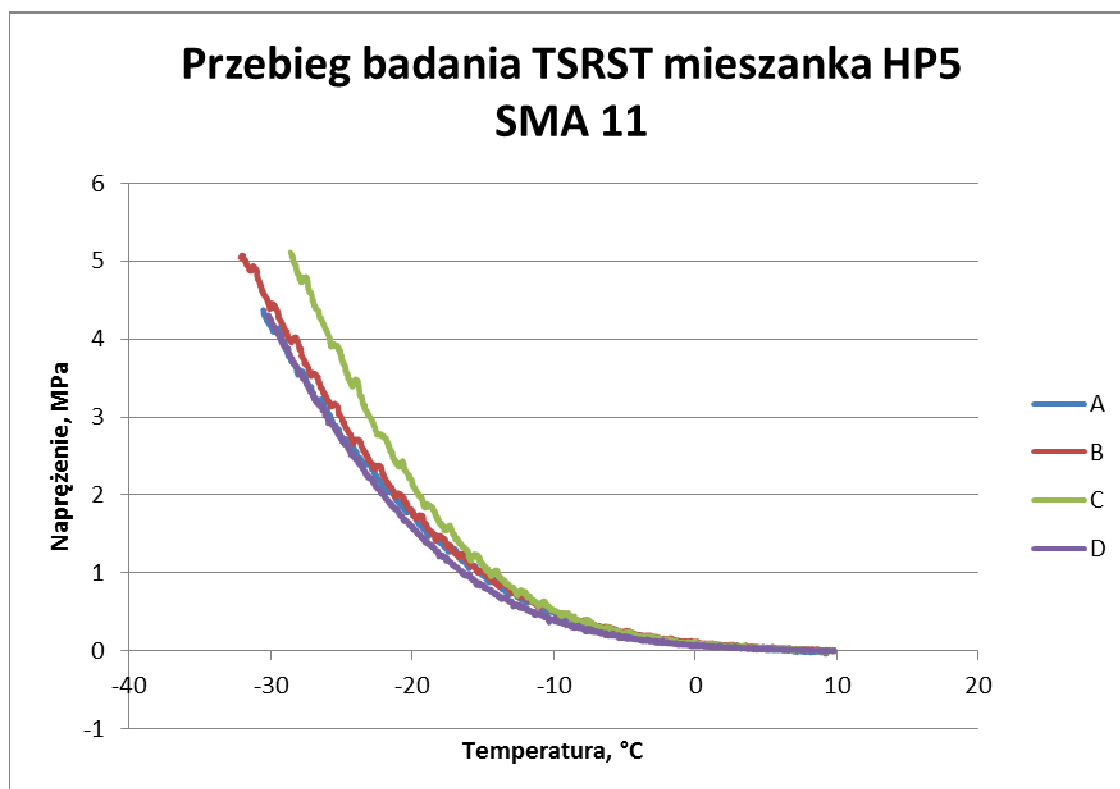
Rys. 7.19 Przebieg badania TSRST mieszanki HP4 [SMA8]



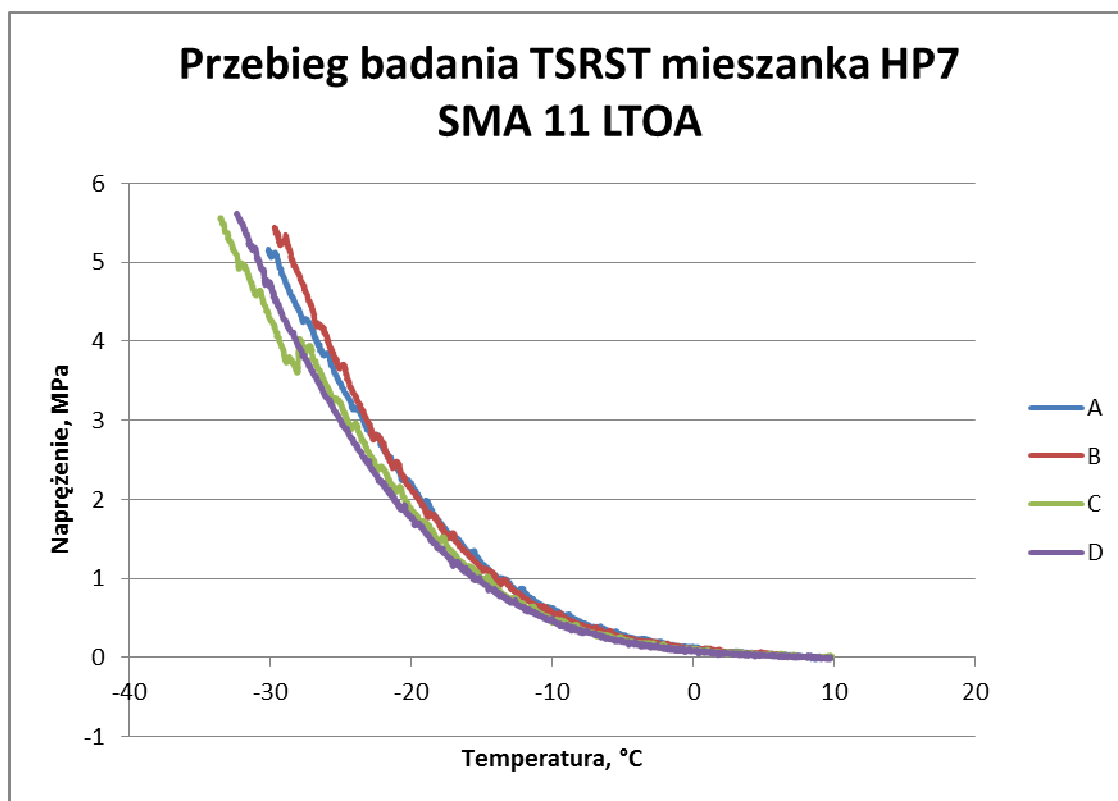
Rys. 7.20 Przebieg badania TSRST mieszanki HP6 [SMA8 LTOA]

Tab. 7.9 Wyniki badań odporności na spękania niskotemperaturowe (TSRST) mieszanki SMA11 (HP5 i HP7)

Mieszanka	Naprężenia niszczące [MPa]	Temperatura pęknięcia [°C]
HP5	4,4	-30,6
	5,1	-32,0
SMA11	5,1	-28,6
	4,3	-30,2
Średnia	<b>4,7</b>	<b>-30,4</b>
HP7	5,2	-30,2
	5,4	-29,8
SMA11 LTOA	5,6	-33,6
	5,6	-32,4
Średnia	<b>5,5</b>	<b>-31,5</b>



Rys. 7.21 Przebieg badania TSRST mieszanki HP5 [SMA11]



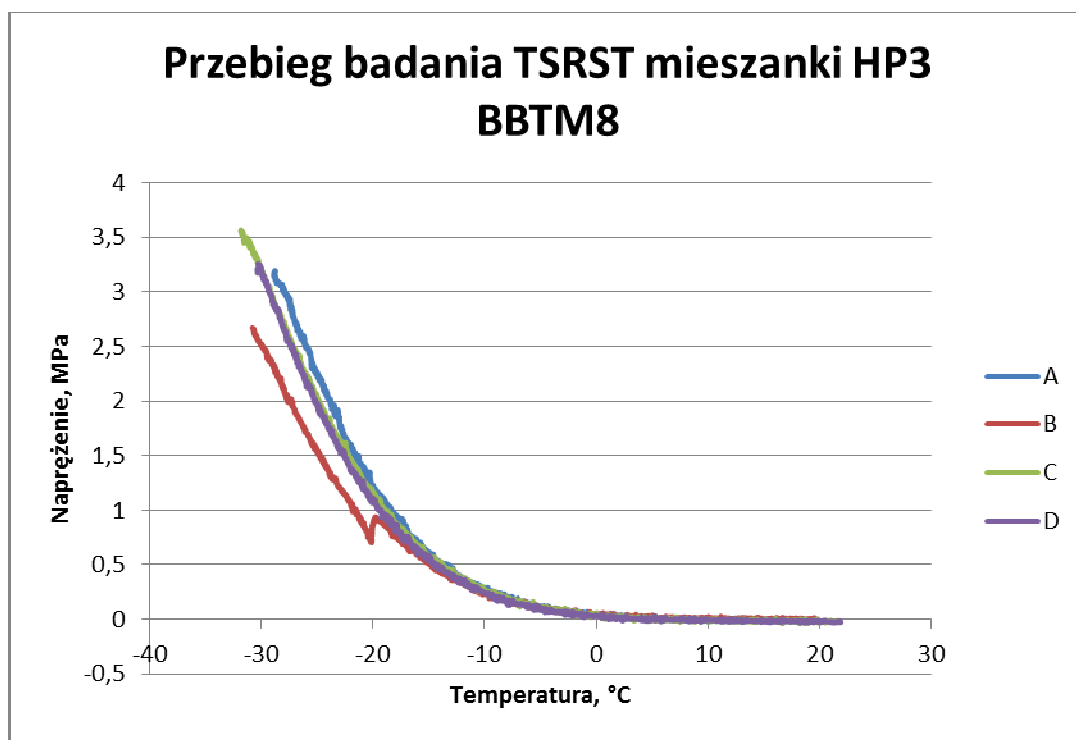
Rys. 7.22 Przebieg badania TSRST mieszanki HP7 [SMA11 LTOA]

Tab. 7.10 Wyniki badań odporności na spękania niskotemperaturowe (TSRST) mieszanki BBTM 8 (HP3 i HP8)

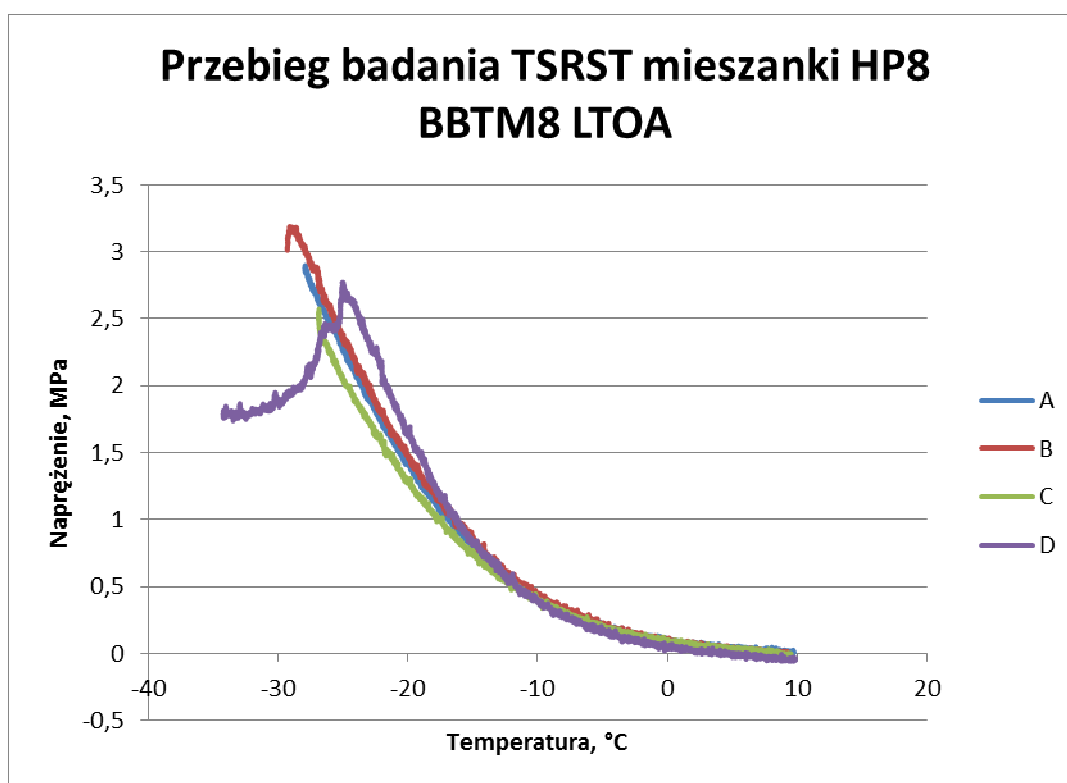
Mieszanka	Napężenia niszczące [MPa]	Temperatura pęknięcia [°C]
BBTM8	3,2	-28,8
	2,7	-30,8
	3,6	-31,8
	3,3	-30,3
Średnia	<b>3,2</b>	<b>-30,5</b>
BBTM8 LTOA	2,9	-27,9
	3,2	-29,1
	2,6	-26,9



	2,8	-25,1
Średnia	<b>2,9</b>	<b>-27,2</b>



Rys. 7.23 Przebieg badania TSRST mieszanki HP3 [BBTM8]

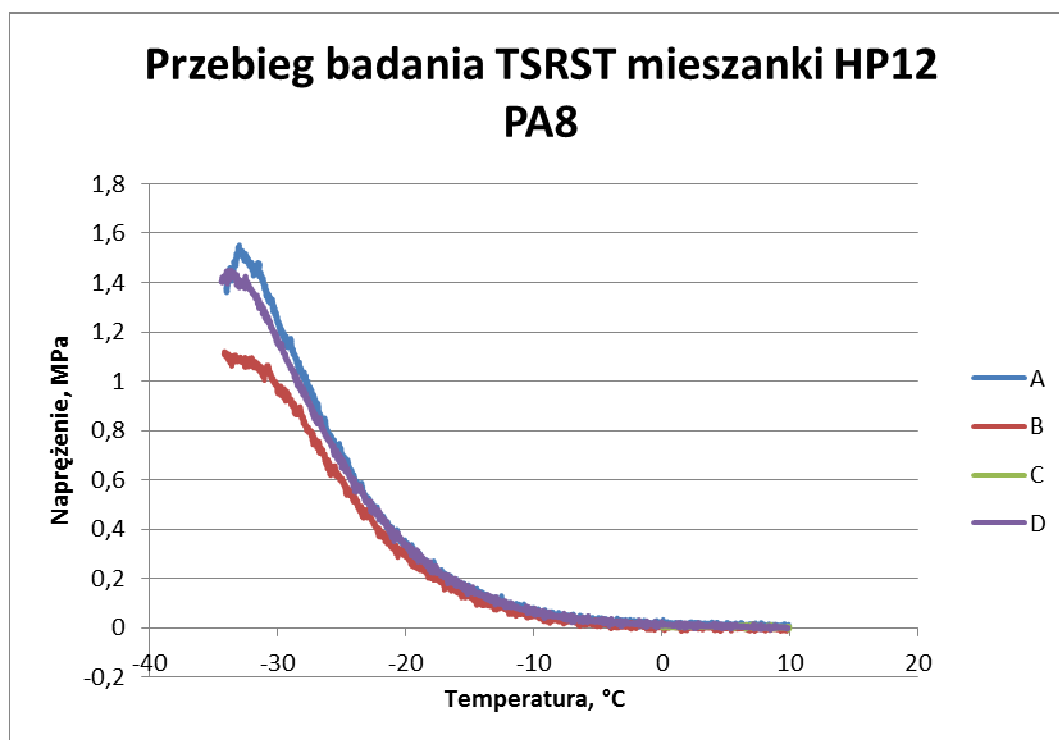


Rys. 7.24 Przebieg badania TSRST mieszanki HP8 [BBTM8 LTOA]

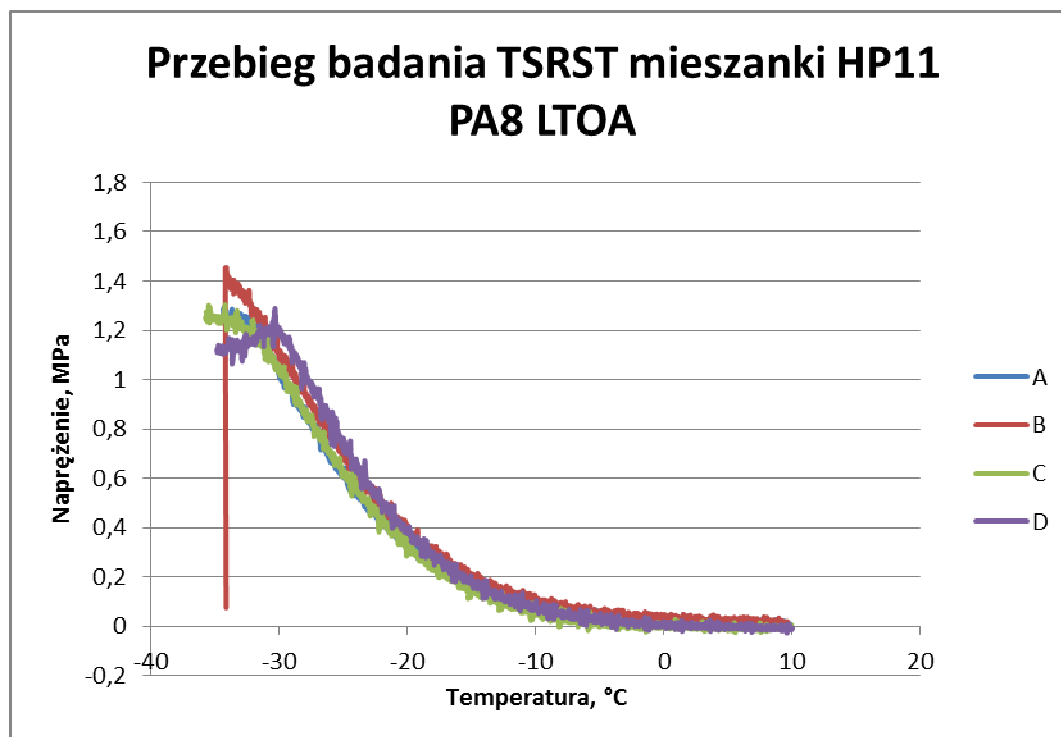
Tab. 7.11 Wyniki badań odporności na spękania niskotemperaturowe (TSRST) mieszanki PA8 (HP12 i HP11)

Mieszanka	Naprężenia niszczące [MPa]	Temperatura pęknięcia [°C]
HP12	1,6	-33,0
	1,1	-34,2
PA8	0,0*	7,0*
	1,5	-33,7
Średnia	<b>1,4</b>	<b>-33,6</b>
HP11	1,3	-34,3
	1,5	-34,1
PA8 LTOA	1,3	-34,2
	1,3	-30,3
Średnia	<b>1,3</b>	<b>-33,3</b>

- \* Nie wliczono do średniej



Rys. 7.25 Przebieg badania TSRST mieszanki HP12 [PA8]



Rys. 7.26 Przebieg badania TSRST mieszanki HP11 [PA8 LTOA]

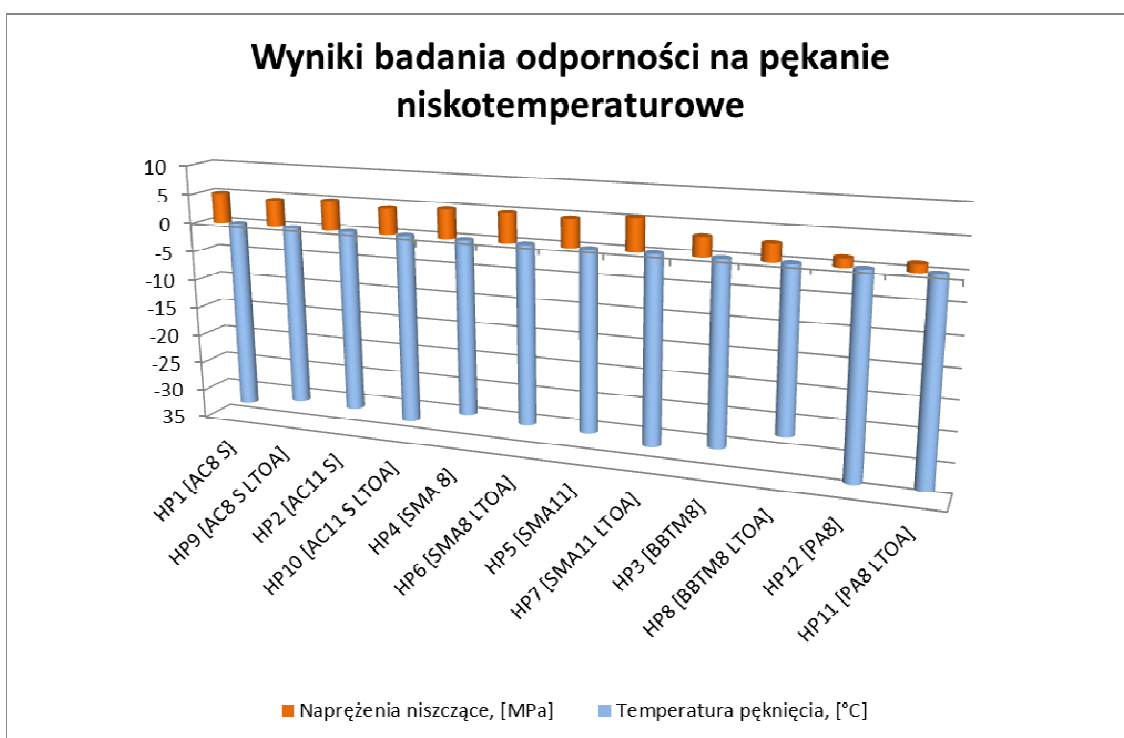
*Projekt RID - I/76 Ochrona przed hałasem drogowym*  
Zadanie 2. Ocena rozwiązań materiałowo-technologicznych górnych warstw asfaltowych i zalecenia w zakresie ich hałaśliwości

---

W Tab. 7.12 i Rys. 7.27 zestawiono wyniki badania TSRST wszystkich dostarczonych mieszanek. Na kolejnych Rys. 7.28, Rys. 7.29 oraz w Tab. 7.13 i Tab. 7.14 przedstawiono wyniki mieszanek nie starzonych oraz po procedurze LTOA.

Tab. 7.12 Wyniki badań odporności na spękania niskotemperaturowe (TSRST)

<b>Mieszanka</b>	<b>Naprężenia niszczące [MPa]</b>	<b>Temperatura pęknięcia [°C]</b>
HP1 [AC8 S]	5,1	-32,3
HP9 [AC8 S LTOA]	4,5	-30,8
HP2 [AC11 S]	5,0	-31,0
HP10 [AC11 LTOA]	4,4	-32,0
HP4 [SMA 8]	4,9	-29,7
HP6 [SMA8 LTOA]	4,9	-30,3
HP5 [SMA11]	4,7	-30,4
HP7 [SMA11 LTOA]	5,5	-31,5
HP3 [BBTM8]	3,2	-30,5
HP8 [BBTM8 LTOA]	2,9	-27,2
HP12 [PA8]	1,4	-33,6
HP11 [PA8 LTOA]	1,3	-33,3

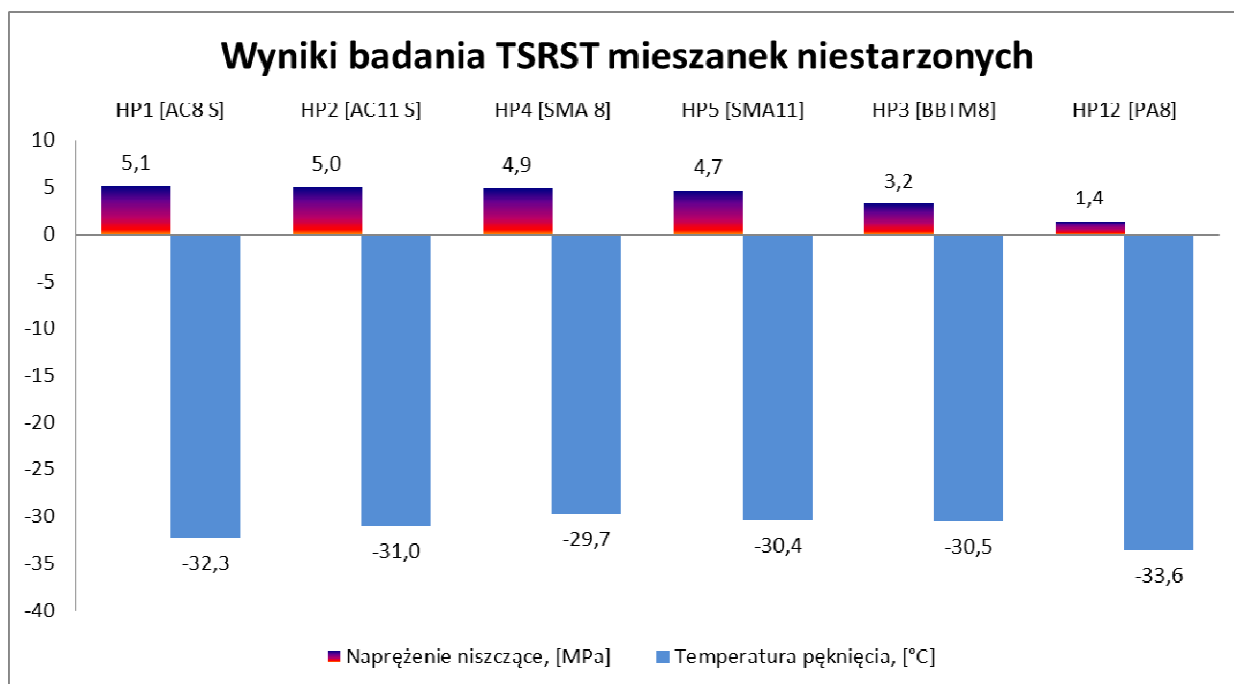


Rys. 7.27 Graficzna prezentacja wyników badań TSRST wszystkich mieszanek

Tab. 7.13 Wyniki badań odporności na spękania niskotemperaturowe (TSRST) mieszanek niestarych

Mieszanka	Napreżenia niszczące [MPa]	Temperatura pęknięcia [°C]
HP1 [AC8 S]	5,1	-32,3
HP2 [AC11 S]	5,0	-31,0
HP4 [SMA 8]	4,9	-29,7
HP5 [SMA11]	4,7	-30,4
HP3 [BBTM8]	3,2	-30,5
HP12 [PA8]	1,4	-33,6

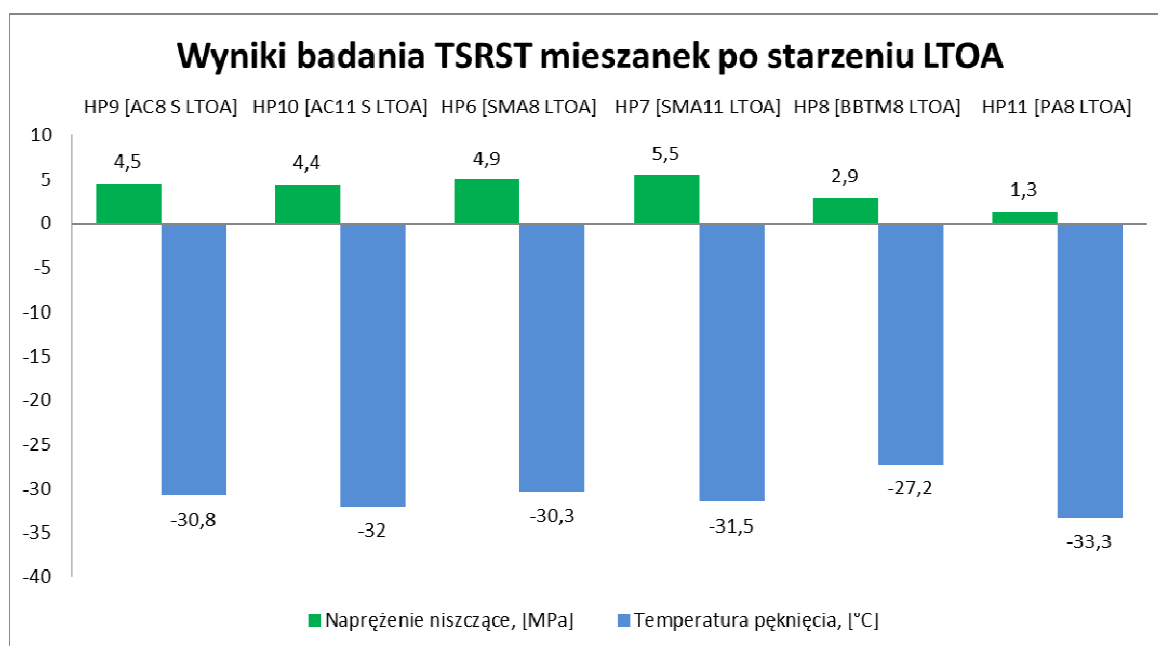
*Projekt RID - I/76 Ochrona przed hałasem drogowym*  
**Zadanie 2. Ocena rozwiązań materiałowo-technologicznych górnych warstw asfaltowych i zalecenia w zakresie ich hałaśliwości**



Rys. 7.28 Graficzna prezentacja wyników badań TSRST mieszanek niestarczonych

Tab. 7.14 Wyniki badań odporności na spękania niskotemperaturowe (TSRST)

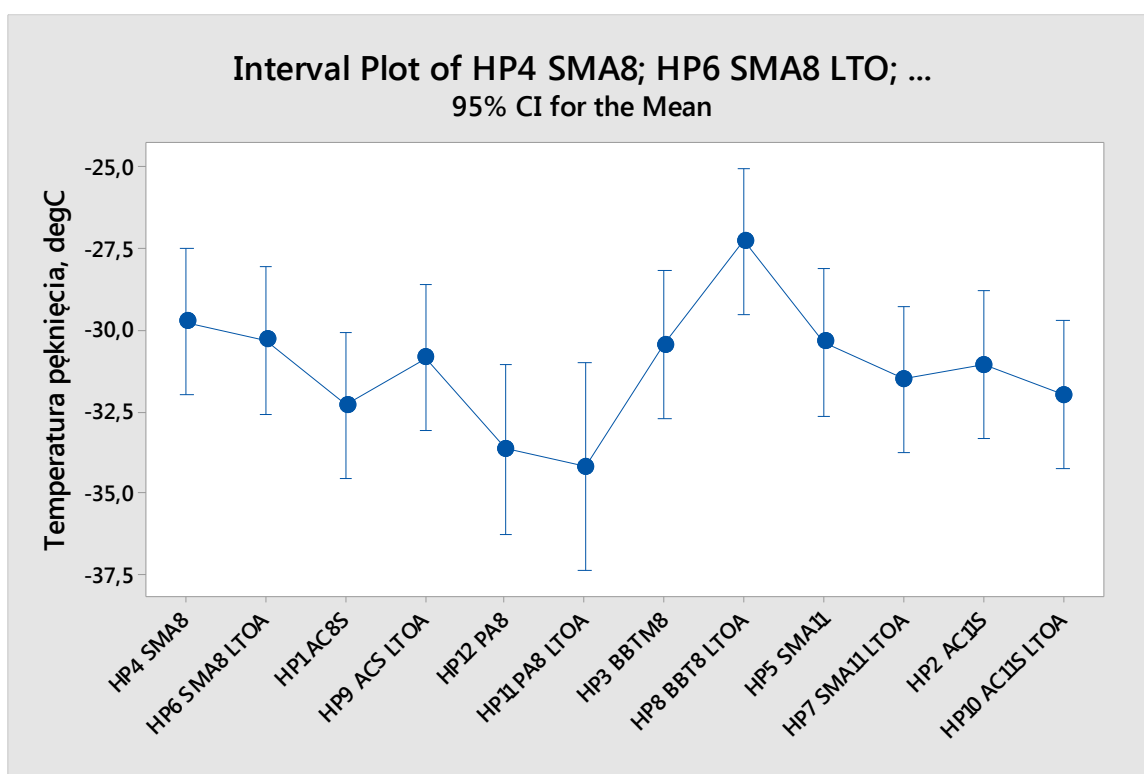
Mieszanka	Napężenia niszczące [MPa]	Temperatura pęknięcia [°C]
HP9 [AC8 S LTOA]	4,5	-30,8
HP10 [AC11 S LTOA]	4,4	-32,0
HP7 [SMA11 LTOA]	5,5	-31,5
HP6 [SMA8 LTOA]	4,9	-30,3
HP8 [BBTM8 LTOA]	2,9	-27,2
HP11 [PA8 LTOA]	1,3	-33,3



Rys. 7.29 Graficzna prezentacja wyników badań TSRST mieszanek starzonych LTOA

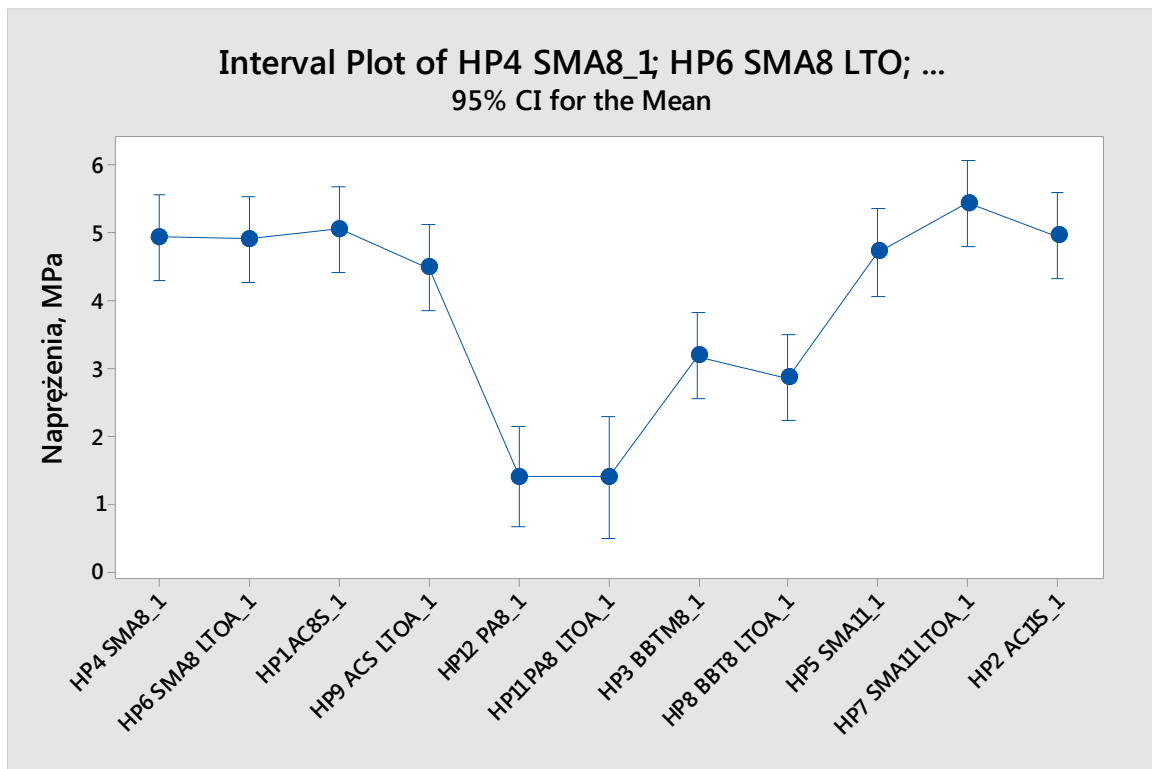
Na podstawie analizy wyników można stwierdzić, że przebadane mieszanki charakteryzują się dobrą odpornością na oddziaływanie niskiej temperatury, za wyjątkiem mieszanek HP8 [BBTM8 LTOA] oraz HP4 [SMA8 S] uzyskano temperatury poniżej  $-30^{\circ}\text{C}$ . Biorąc pod uwagę rozrzut wyników uzyskany na próbkach z jednej mieszanki mineralno-asfaltowej, starzonej i niestarzonej, można stwierdzić, że nie zaobserwowano wpływu tego procesu na temperaturę pęknięcia. Różnica temperatur jedynie w przypadku mieszanki BBTM8 wyniosła ponad  $3^{\circ}\text{C}$  ( $+3,3^{\circ}\text{C}$ ), w pozostałych przypadkach nie przekroczyła  $1,5^{\circ}\text{C}$ , wartości te miały znak zarówno „+” jak i „-” nie można zatem mówić o stałej zależności. Najniższe temperatury pęknięcia uzyskała mieszanka mineralno-asfaltowa typu PA8 ( $-33,6^{\circ}\text{C}$  i  $-33,3^{\circ}\text{C}$ ), przy najniższych naprężeniach niszczących wynoszących  $1,3$ - $1,4$  MPa. Najwyższą charakteryzuje się mieszanka BBTM8 LTOA  $-27,5^{\circ}\text{C}$  przy średnim poziomie naprężania wynoszących  $2,9$  MPa./Naprężenia niszczące w odniesieniu do mieszanek: AC oraz SMA kształtowały się poziomie zbliżonym do  $5$  MPa, niższe wartości zaobserwowano w badaniu BBTM ok.  $3$  MPa. Najniższymi charakteryzował się mieszanka PA, uzyskane naprężenia niszczące wyniosły  $1,4$  MPa. Niższe naprężenia niszczące, rekompensowane były jednakże przez niższy współczynnik rozszerzalności, co prowadziło do pęknięcia próbek w podobnej temperaturze do mieszanek o wyższej wytrzymałości na rozciąganie. Średnia temperatura zniszczenia próbek z mieszanek o uziarnieniu do  $8$  mm wyniosła  $-31,0^{\circ}\text{C}$  natomiast w odniesieniu do mieszanek o uziarnieniu do  $11$  mm odpowiednio  $-31,2$  nie można zatem zauważyć istotnych różnic. Zauważalny brak istotnych różnic w wynikach badania TSRST różnych typów mieszanek mineralno-asfaltowych, w różnych stanach (starzone i nie starzone) potwierdza, że decydującym czynnikiem o odporności nawierzchni na spękanie niskotemperaturowe jest zastosowane lepiszcze. We wszystkich próbkach zastosowano ten sam polimeroasfalt, 45/80-55 i to on zadecydował o zbieżności uzyskanych wynikach, pozostałe zmienne nie miały istotnego wpływu.

Przeprowadzono również analizę statystyczną uzyskanych wyników. Na Rys. 7.30 i Rys. 7.31 przedstawiono zbiorcze wyniki średnie temperatury pęknięcia oraz naprężenia przy pęknięciu z zaznaczeniem przedziału ufności 95% uwzględniając wszystkie wyniki badań. Przeprowadzono test równości średnich za pomocą analizy jednoczynnikowej Anova. W zakresie temperatury pęknięcia należy odrzucić hipotezę o równości średnich ( $p=3,9\%$ ). Dalsze analizy wykazały, że wynikiem odbiegającym od pozostałych jest wyniki mieszanki HP8 BBTM8 LTOA. Powtórna analiza Anova z pominięciem tej mieszanki pozwoliła przyjąć hipotezę o równości średnich ( $p=34,2\%$ ) dla analizowanego zbioru wyników. W grupie mieszanek po starzeniu krótkoterminowym wyniki średniej temperatury pęknięcia nie różnią się pod względem statystycznym ( $p=21,1\%$ ), podobnie jak w grupie wyników po starzeniu LTOA ( $p=45,8\%$ ). W tej ostatniej grupie pominięto jednak mieszankę HP8. W zakresie naprężeń przy pęknięciu dla grupy wszystkich wyników na podstawie testu Anova należy jednoznacznie odrzucić hipotezę o równości średnich ( $p=0\%$ ). Dalsze analizy doprowadziły do podziału wyników na trzy grupy, w których hipoteza o równości średnich została przyjęta. Pierwsza grupa to mieszanki AC i SMA ( $p=68\%$ ). Kolejne dwie grupy to grupa mieszanek PA i BBTM, które jak widać są na różnym poziomie i różnią się istotnie statystycznie ( $p=0\%$ ).

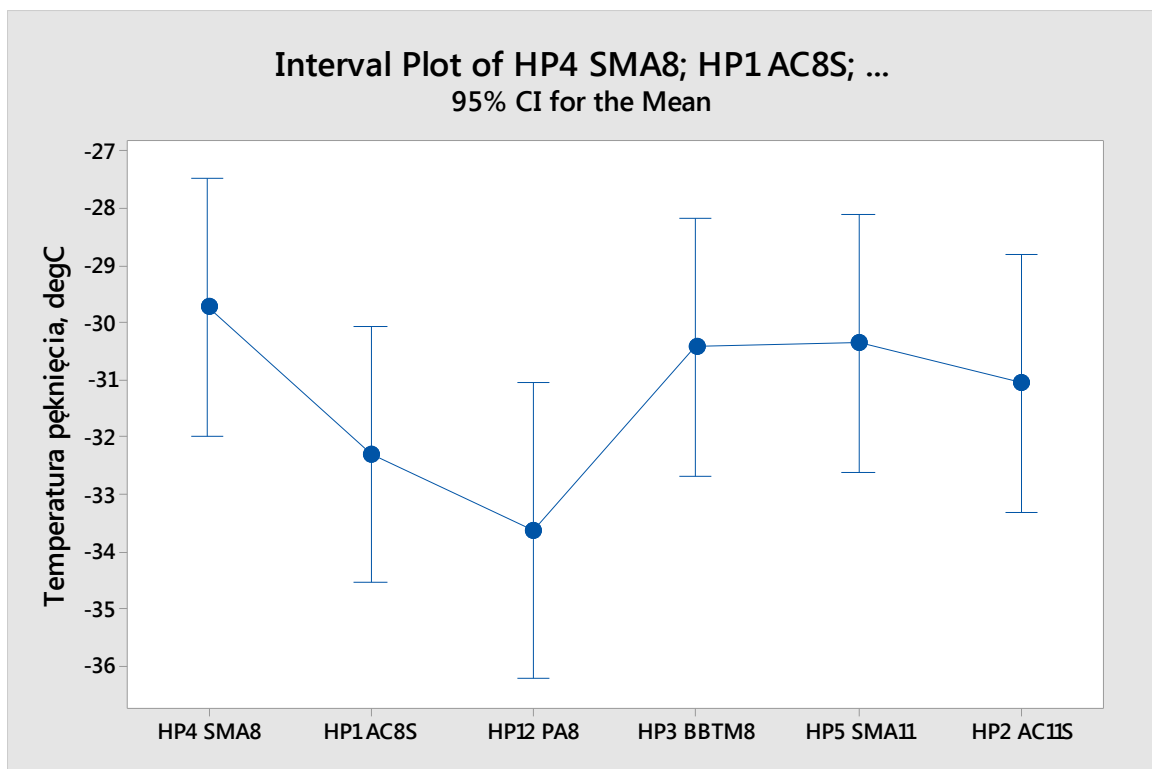


Rys. 7.30 Średnia temperatura pęknięcia i przedział ufności 95%

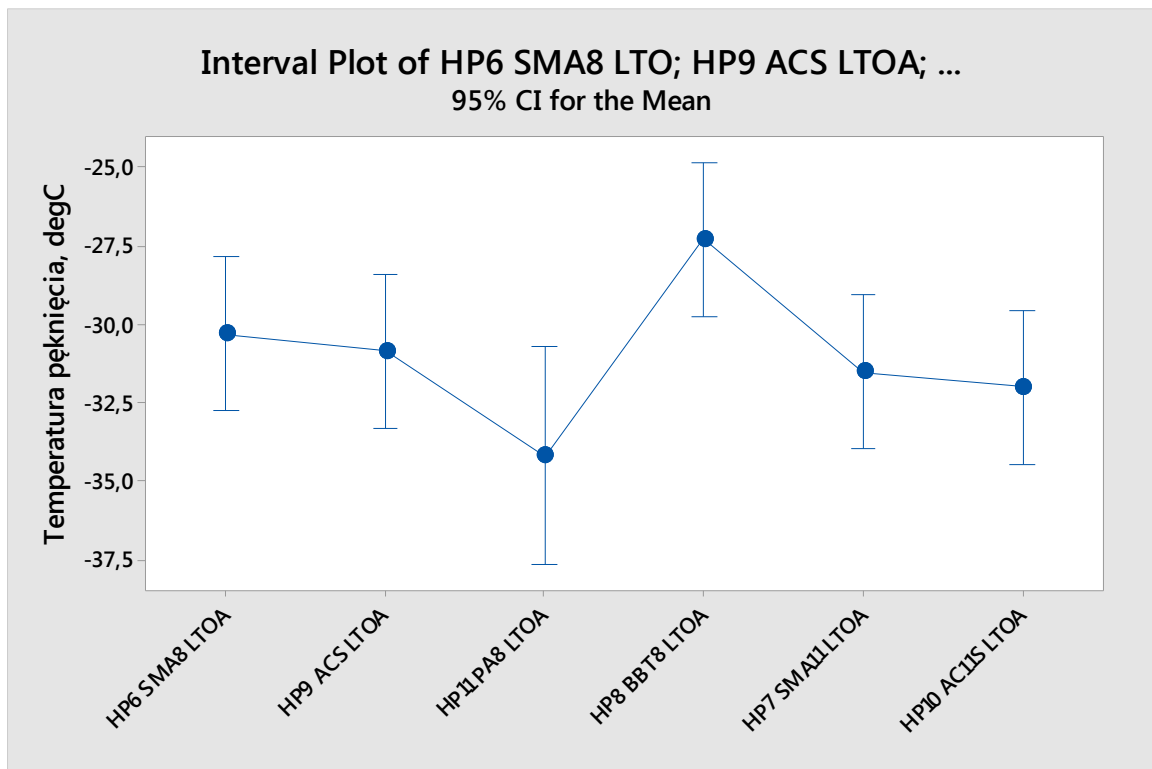




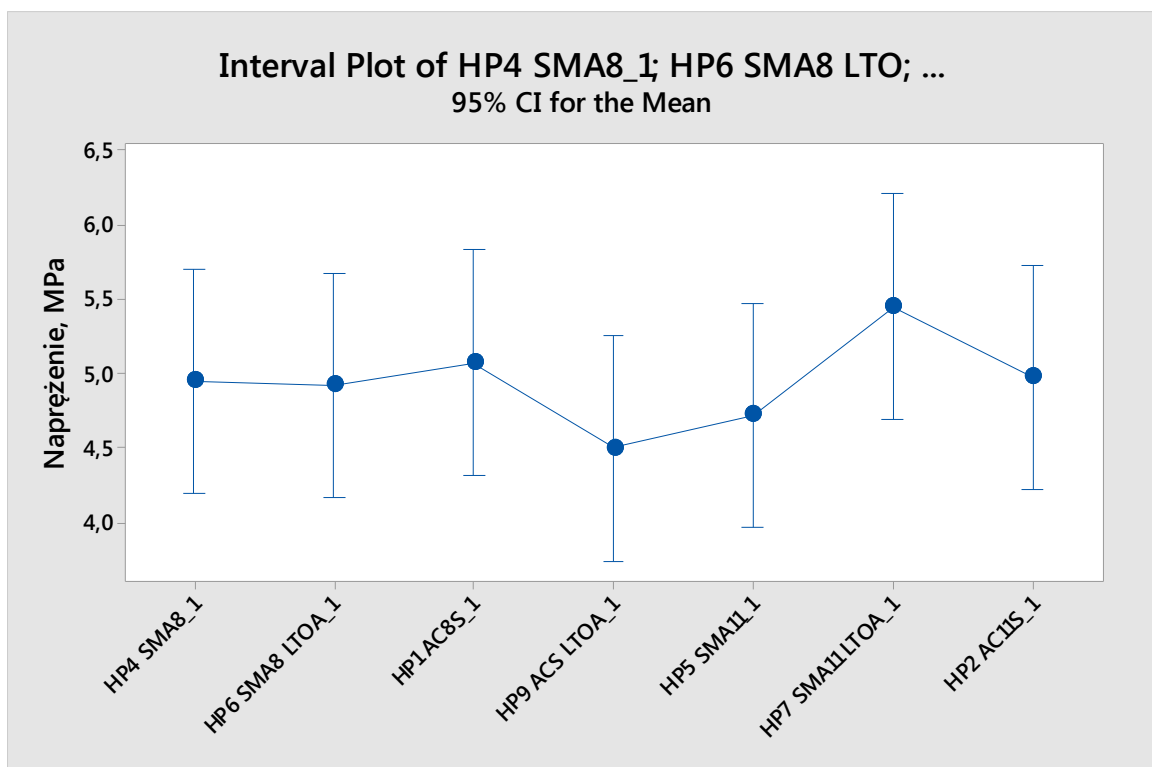
Rys. 7.31 Średnia Naprężenie przy pęknięciu i przedział ufności 95%



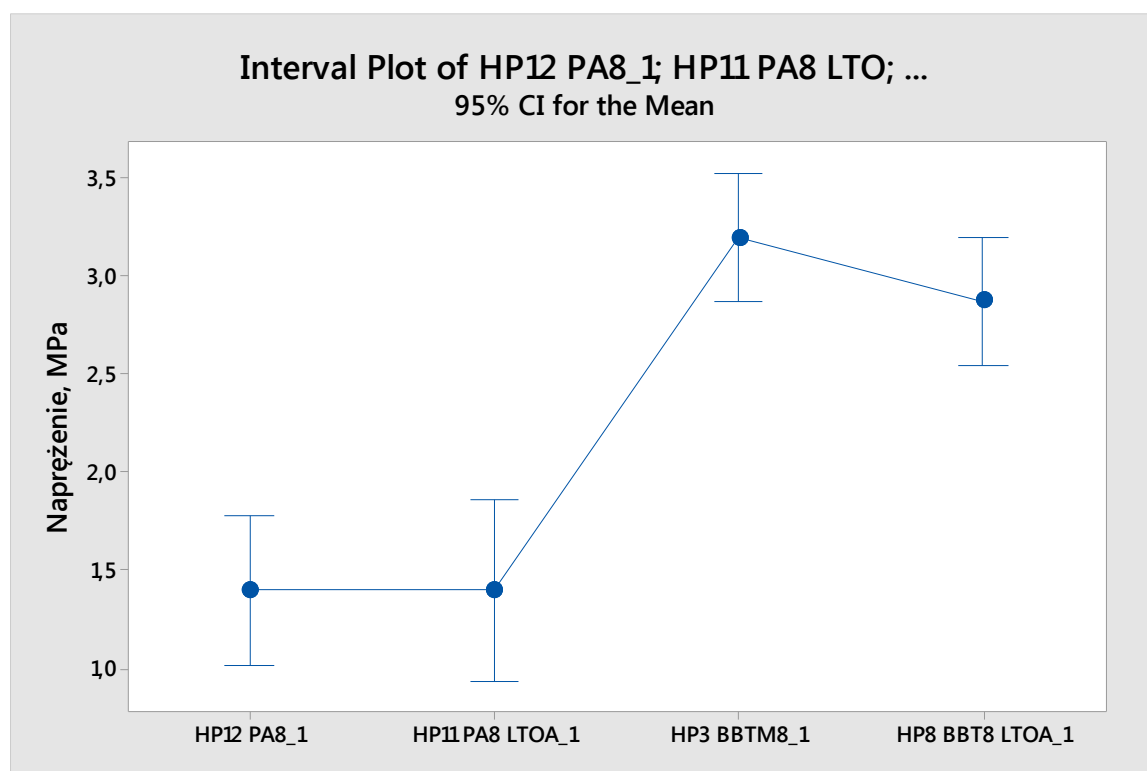
Rys. 7.32 Średnia temperatura pęknięcia mieszanek po starzeniu krótkoterminowym



Rys. 7.33 Średnia temperatura pęknięcia mieszank po starzeniu długoterminowym



Rys. 7.34 Średnie napężenie przy pęknięciu w grupie mieszank SMA i AC poziomie ufności 95%



Rys. 7.35 Średnie naprężenie przy pęknięciu mieszanek PA i BBTM przy poziomie ufności 95%

#### 7.2.4. Podsumowanie

Warstwa ścieralna jest najbardziej narażoną na czynniki zewnętrznej warstwą konstrukcyjną nawierzchni. Oddziałuje na nią wiele czynników środowiskowych (woda, niska i wysoka temperatura, promieniowanie UV). Największe naprężenia od kół poruszających się pojazdów powstają w tej właśnie warstwie. W celu zachowania trwałości konstrukcji nawierzchni warstwa ścieralna powinna wykazywać odporność m.in. na deformacje trwałe na powstawanie spękań niskotemperaturowych i oddziaływania wody i mrozu. Badaniom laboratoryjnym poddane zostało różne typy mieszanek mineralno-asfaltowych: AC 8, AC 11, SMA 8, SMA 11, PA 8, BBTM 8. Wszystkie mieszanki mineralno-asfaltowe zaprojektowane zostały z tym samym rodzajem lepiszcza PmB 45/80-55. Pod względem odporności na deformacje trwałe największą odporność wykazały mieszanka SMA, a zdecydowanie najmniejszą mieszanka PA. Wszystkie przebadane mieszanki mineralno-asfaltowych wykazały wymaganą wartość odporności na działanie wody i mrozu dla warstw ścieralnych wg metody ITSr. W zakresie odporności na ujemne temperatury, badaną metodyką TSRST, wyniki temperatury pęknięcia nie różnią się statystycznie, za wyjątkiem mieszanki BBTM8 LTOA. Statystycznie rodzaj mieszanki i stopień starzenia nie miały wpływu na uzyskane wyniki. Natomiast w zakresie naprężenia przy pęknięciu można stwierdzić statystycznie istotne różnice między mieszankami, które można podzielić na trzy grupy: AC/SMA, BBTM i PA. Największe naprężenia występowały w mieszankach AC i SMA, a najmniejsze w asfalcie porowatym. W poszczególnych grupach wyniki były statystycznie równe, nie decydował ani rodzaj mieszanki ani stan starzenia.

### 7.3. Badania polowe

W badaniach polowych prezentowanych w raporcie z zad. 2 i raporcie z zad. 5 przeanalizowano stan odcinków wykonanych z mieszanek wykonanych wg recept prezentowanych w rozdz. 7.1. Wykonano pomiary stanu powierzchniowego, oceny wizualnej, współczynnika tarcia oraz hałaśliwości metodą OBSI.

#### 7.3.1. Wybór odcinków drogowych

Na podstawie analizy rozwoju sieci drogowej w kraju, kontaktu z zarządcami dróg oraz wykonawcami nawierzchni wybrano 10 lokalizacji. Szczegółowa lokalizacja odcinków wraz informacją w zakresie technologii przedstawiona jest w Tab. 7.15. Badane odcinki charakteryzowały się zbliżonym okresem 3-4 letnim eksploatacji i były wykonane w latach 2013-2014. Odcinki SMA-LA były starsze i zostały wykonane w latach 2010-2012.

Tab. 7.15 Lokalizacja odcinków drogowych

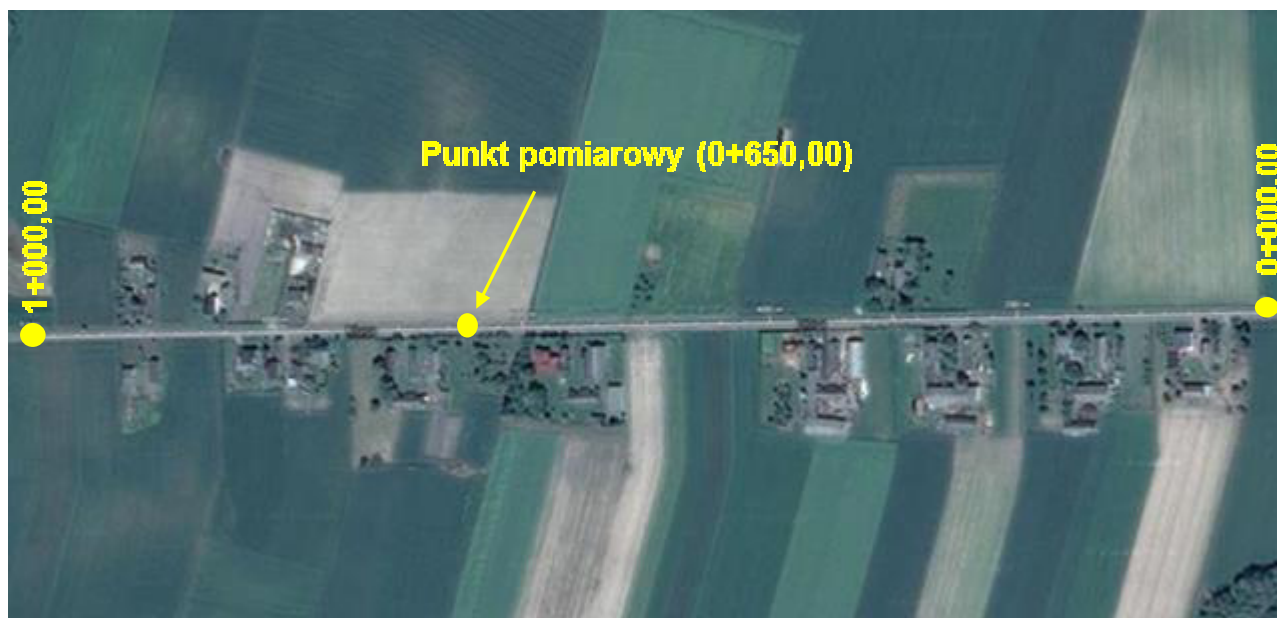
technologia	Kod	Rodzaj mma	lokalizacja
standardowe	1	AC8S	Ul. Robotnicza, Pruszków, odc. od ul. Kaletniczej do ul. Południowej o dł. 600m
	2	AC11S	DW 580 Leszno, od skrzyżowania w Lesznie koło kościoła i ciągnie się aż do Kampinosu, około 6-8 km. Badać należy pierwsze 5 km. Rozbudowa DW 580 Warszawa-Leszno-Kampinos-Żelazowa Wola-Sochaczew na odc. 27+375 do 32+200
	3	SMA8	ul. Gierdziejewskiego, Warszawa, odcinek od skrzyżowania z ul. Połczyńską w stronę Ursusa, 1410 mb, 200 m w estakadzie; bez estakady.
	4	SMA11	Kopytów gm. Błonie na starej DK-92, Warszawa-Poznań, 453+180 do 453+640, po Ożarowie, przed Błoniem (koniec kopytowa), po fotoradarze, pełna szerokość, w prawo jest zjazd do firmy Industrial
Redukujące hałas	5	PA8 Uścięcice	wg info poniżej
	6	BBTM 8 Uścięcice	wg info poniżej
	7	BBTM 8B Wołoska	wg info poniżej
	8	SMA-LA- Hlonda	Wielkopolska, ul. Hlonda, Poznań, wykonanie 2010
	9	SMA-LA- Bułgarska	Wielkopolska ul. Bułgarska, Poznań, wykonanie 2011-2012

	10	SMA-LA-Pleszew	Wielkopolska DK12 przez Pleszew, wykonanie 2010
--	----	----------------	--

**Odcinek 5 i odcinek 6** (wykonane w ramach grantu CiDRO, poligon badawczy PW i IBDiM)

Odcinek pomiarowy wykonany w ramach projektu CiDro zlokalizowany jest w ciągu ulicy Długiej w miejscowości Uścięcice gmina Opalenica, powiat Nowotomyski, województwo Wielkopolskie. Długość odcinka prototypowego wynosi 1000 m. Punkt pomiarowy na ww. odcinku zlokalizowany jest w km 0+650,00 (pikietaż liczony od wschodniego końca odcinka prototypowego - granicy nawierzchni odcinka prototypowego), współrzędne: 52°17'25.1"N 16°29'49.7"E . Warstwa ścieralna na odcinku prototypowym wykonana została z dwóch rodzajów mieszanek mineralno-asfaltowych na każdej z połówek jezdni. Na północnej połowie jezdni ułożona jest warstwa ścieralna z mieszanki PA 8 natomiast na połowie południowej ułożona jest warstwa ścieralna z mieszanki BBTM 8.

Lokalizacja punktu pomiarowego na ulicy Długiej w Uścięcicach przedstawiona jest na Rys. 7.36



Rys. 7.36 Lokalizacja odcinka PA8 i BBTM8-Uścięcice.

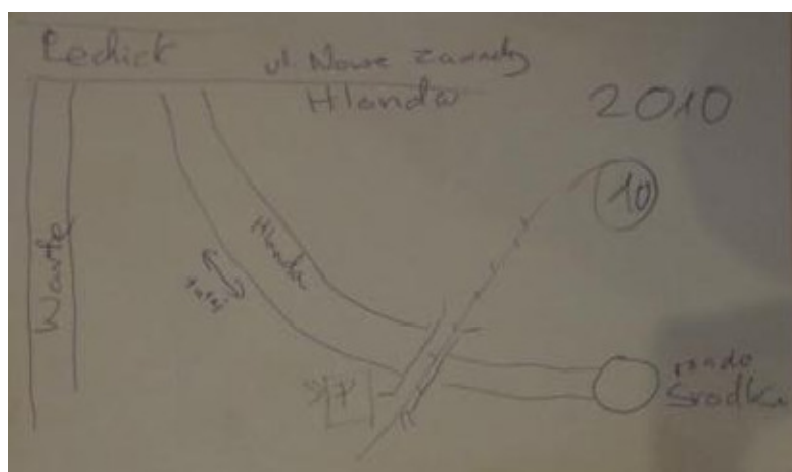
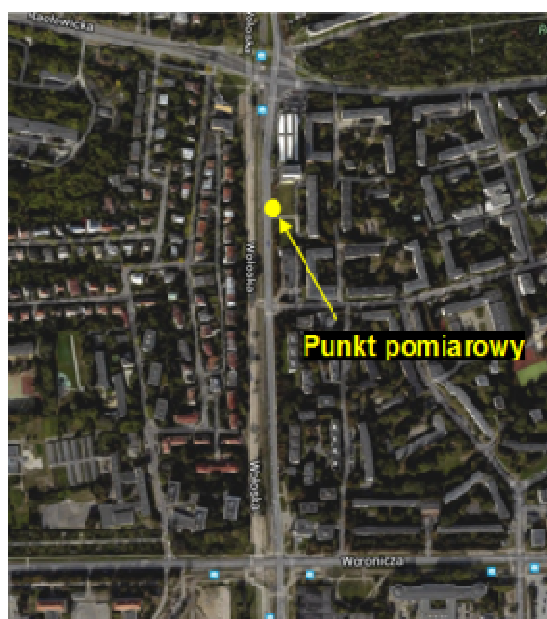
**Odcinek 7** (poligon badawczy PW)

Odcinek pomiarowy wykonany w ramach przebudowy ulicy Wołoskiej w Warszawie z mieszanki BBTM8B zlokalizowany jest w km 0+400 (pikietaż jezdni wschodniej ulicy Wołoskiej wg dokumentacji projektowej) - na wysokości parkingu przed budynkiem Wołoska 54, współrzędne: 52°11'37.0"N 21°00'07.1"E

Lokalizacja punktu pomiarowego na ulicy Wołoskiej w Warszawie przedstawiona jest na Rys. 7.37

Projekt RID - I/76 Ochrona przed hałasem drogowym  
Zadanie 2. Ocena rozwiązań materiałowo-technologicznych górnych warstw asfaltowych i  
zalecenia w zakresie ich hałaśliwości

---



Rys. 7.37 Lokalizacja odcinka 7

Lokalizacja odcinka 8 przedstawiona jest na Rys. 7.38.

Rys. 7.38 Lokalizacja odcinka 8

Badania przeprowadzono wg informacji przedstawionych na Rys. 7.39 zgodnie z trasą czerwoną i niebieską.

*Projekt RID - I/76 Ochrona przed hałasem drogowym*  
Zadanie 2. Ocena rozwiązań materiałowo-technologicznych górnych warstw asfaltowych i zalecenia w zakresie ich hałaśliwości

---



Rys. 7.39 Szczegóły związane z badaniami na odcinku 8

*Projekt RID - I/76 Ochrona przed hałasem drogowym*  
Zadanie 2. Ocena rozwiązań materiałowo-technologicznych górnych warstw asfaltowych i zalecenia w zakresie ich hałaśliwości

---



Rys. 7.40 Szczegóły związane z badaniami na odcinku 8



Rys. 7.41 Szczegóły związane z badaniami na odcinku 8



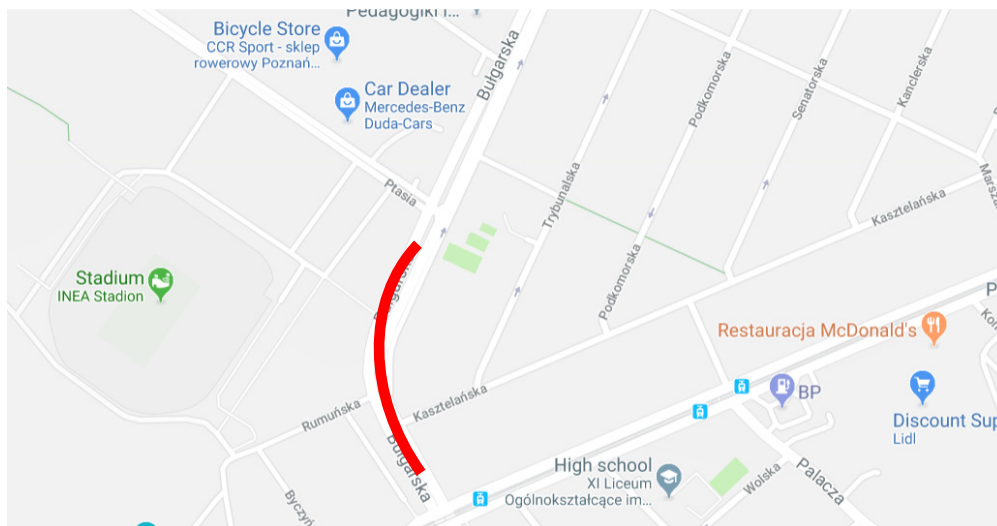
Projekt RID - I/76 Ochrona przed hałasem drogowym  
Zadanie 2. Ocena rozwiązań materiałowo-technologicznych górnych warstw asfaltowych i zalecenia w zakresie ich hałaśliwości



Rys. 7.42 Szczegóły związane z badaniami na odcinku 8

#### Odcinek 9 (Bułgarska)

Odcinki pomiarowe wyznaczono tak, aby odcinki miały równą długość oraz aby możliwe było uniknięcie oznakowania poziomego i wpływu sygnalizacji świetlnej w trakcie badań (zatrzymania). Lokalizacja odcinka przedstawiona jest na Rys. 7.43. Badania przeprowadzono wg informacji przedstawionych na Rys. 7.44.



Rys. 7.43 Lokalizacja odcinka 9

Projekt RID - I/76 Ochrona przed hałasem drogowym  
Zadanie 2. Ocena rozwiązań materiałowo-technologicznych górnych warstw asfaltowych i zalecenia w zakresie ich hałaśliwości



Rys. 7.44 Szczegóły związane z badaniami na odcinku 9



Rys. 7.45 Szczegóły związane z badaniami na odcinku 9

*Projekt RID - I/76 Ochrona przed hałasem drogowym*  
Zadanie 2. Ocena rozwiązań materiałowo-technologicznych górnych warstw asfaltowych i zalecenia w zakresie ich hałaśliwości

---



Rys. 7.46 Szczegóły związane z badaniami na odcinku 9



Rys. 7.47 Szczegóły związane z badaniami na odcinku 9

#### Odcinek 10 (Pleszew)

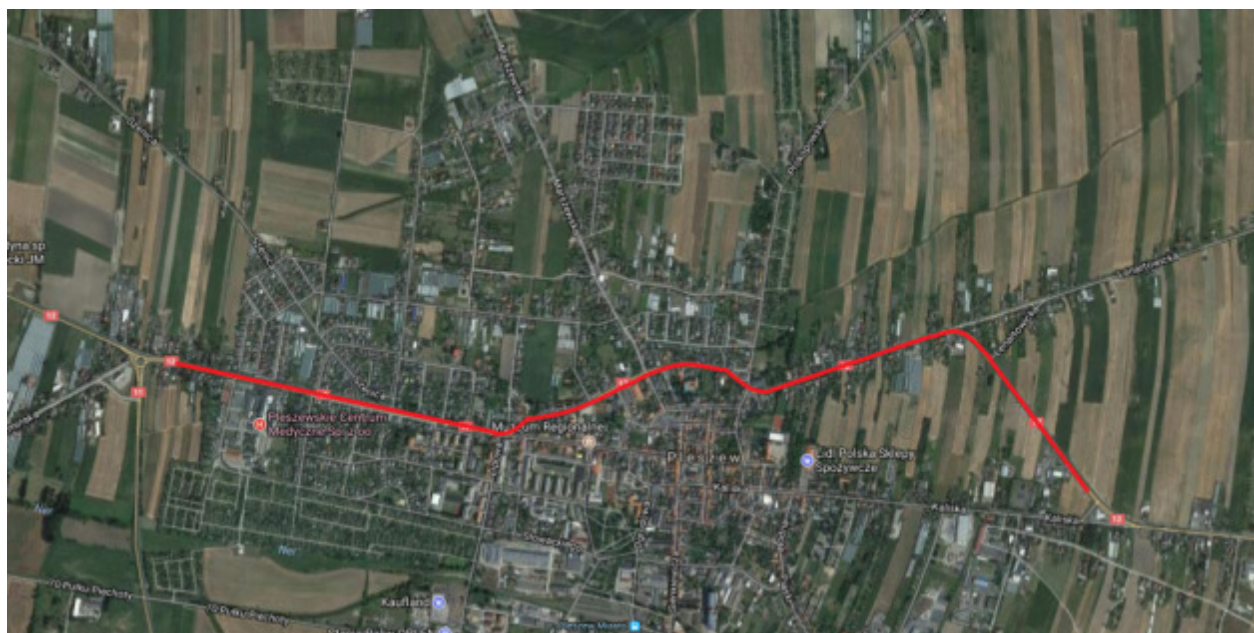
Lokalizacja odcinka w ciągu DK12 w okolicach miejscowości Pleszew przedstawiona jest na Rys. 7.49. Badania przeprowadzono wg informacji przedstawionych na Rys. 7.48; długość odcinka to ok. 3,5 km.

*Projekt RID - I/76 Ochrona przed hałasem drogowym*  
Zadanie 2. Ocena rozwiązań materiałowo-technologicznych górnych warstw asfaltowych i zalecenia w zakresie ich hałaśliwości

---



Rys. 7.48 Lokalizacja odcinka 10



Rys. 7.49 Szczegóły związane z badaniami na odcinku 10



Rys. 7.50 Szczegóły związane z badaniami na odcinku 10



Rys. 7.51 Szczegóły związane z badaniami na odcinku 10

### 7.3.2. Metody pomiarowe określenia stanu nawierzchni

IBDiM wykonał pomiary stanu powierzchniowego (IRI, MPD i ETD), współczynnika tarcia (SRT-3) oraz hałaśliwości (metoda OBSI) 10 odcinków nawierzchni. Szczegóły dotyczące metodyki znajdują się w raportach z zadań 1 oraz 4.

Dokonano oceny wizualnej nawierzchni 1-10 w zakresie następujących kryteriów:

- koleiny
- wypadanie ziaren
- ubytki mieszanki
- niejednorodność/plamy
- pęknięte ziarna
- brak otoczenia ziaren lepiszczem
- spękania podłużne
- spękania poprzeczne
- inne zniszczenia
- ogólna ocena/uwagi

### 7.3.3. Ocena właściwości technicznych nawierzchni drogowych

Szczegółowe zestawienie wyników pomiarów współczynnika tarcia przedstawione jest w Zał. 3. SRT-3. Wyniki pomiarów stanu powierzchniowego oraz hałaśliwości stanowią element raportu z zad. 5.

W Tab. 7.16 przedstawiono skorygowane wartości współczynnika tarcia dla 10 badanych odcinków. Na podstawie analizy wyników pomiaru współczynnika tarcia stwierdzić należy, że badane odcinki charakteryzują się dobrym lub bardzo dobrym współczynnikiem tarcia. Najwyższa wartość występuje dla odcinka 6 (BBTM8) a najniższa dla odcinka 8 (SMA-LA). Zaznaczyć jednak należy, że odcinki znajdują się na drogach różnym natężeniu i charakterystyce ruchu.

Tab. 7.16 Skorygowane średnie wartości współczynnika tarcia.

technologia	Kod	Rodzaj mma	Wartość współczynnika tarcia
standardowe	1	AC8S	0,385/0,450
	2	AC11S	0,378/0,409
	3	SMA8	0,359/0,374
	4	SMA11	0,347/0,351
Redukujące hałas	5	PA8 Uścięcice	0,469
	6	BBTM 8 Uścięcice	0,541
	7	BBTM 8B Wołoska	0,417/0,432
	8	SMA-LA- Hlonda	0,314/0,311/0,316/0,302
	9	SMA-LA- Bułgarska	0,345/0,375/0,349/0,319
	10	SMA-LA- Pleszew	0,382/0,406

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

W zakresie oceny wizualnej 10 badanych odcinków stwierdzić należy, że nie zidentyfikowano przyspieszonej degradacji nawierzchni w zakresie:

- kolein,
- wypadania ziaren,
- ubytków mieszanki,
- pękniętych ziaren,
- spękania podłużne,
- spękania poprzeczne,
- innych zniszczeń.

Ogólna ocena analizowanych nawierzchni jest bardzo wysoka.

#### **7.3.4. Podsumowanie**

Dokonano oceny stanu nawierzchni 10 odcinków wykonanych w różnych technologiach. Zbadano współczynnik tarcia oraz dokonano oceny wizualnej w zakresie oceny ewentualnej przyspieszonej degradacji nawierzchni. Na podstawie przeprowadzonych analiz stwierdzono, że w przypadku prowadzenia właściwych zabiegów utrzymaniowych każda z ocenianych technologii spełnia wymagania w zakresie zachowania właściwości eksploatacyjnych w ocenianym okresie eksploatacji.

#### **7.4. Porównanie i zalecenia w zakresie rozwiązań materiałowo-technologicznych**

Konstrukcja podatna i półsztywna przeznaczona na drogi o wysokich klasach technicznych charakteryzuje się warstwą ścierną wykonaną w taki sposób, że warstwy konstrukcyjne niżej położone są chronione przed wpływem wilgoci a obciążenia od pojazdów samochodowych są przekazywane na niższą warstwę o zwiększonej powierzchni obciążenia (redukcja ciśnienia). Stwierdzono, że istnieje możliwość wykonania trwałych warstw asfaltowych z mieszanek mineralno-asfaltowych innych niż popularnie stosowane AC i SMA. Asfaltowe mieszanki alternatywne w stosunku do AC i SMA umożliwiają redukcję hałasu drogowego przy jednoczesnym zapewnieniu bezpieczeństwa ruchu pojazdów (zachowana wysoka szorstkość).

Badania terenowe i laboratoryjne wykazały, że postępująca w czasie degradacja nawierzchni (starzenie) nie eliminuje możliwości zastosowania żadnej z badanych mieszanek (AC, SMA, BBTM i PA).

W zakresie laboratoryjnego programu badawczego i sformułowanych wytycznych (zał. 1 i zał. 2 do raportu z zadania 2) nie ujęto mieszanek mineralno-asfaltowych typu SMA-LA. Mieszanki takie są od lat z powodzeniem stosowane głównie w Wielkopolsce, nie są jednak ujęte w WT-2. W ramach realizacji przyszłych programów badawczych postuluje się objęcie tych mieszanek szczegółowymi badaniami, również w celu ich wprowadzenia do WT-2.

## **8. SZCZEGÓLNE ROZWIĄZANIA MATERIAŁOWO-TECHNOLOGICZNE NAWIERZCHNI REDUKUJĄCYCH HAŁAS DROGOWY**

### **8.1. Wprowadzenie**

Badaniom zostały podane trzy rodzaje mieszanek mineralno-asfaltowych (MMA) zawierających w swym składzie lepiszcze gumowo-asfaltowe. Technologia asfaltów modyfikowanych gumą wywodząca się ze Stanów Zjednoczonych, tak jak to deklaruje producent, przeznaczona jest do większości warstw nawierzchni, a w szczególności do warstw ścieralnych o strukturze otwartej. Lepiszczka te cechują się dobrymi właściwościami eksploatacyjnymi w szerokim zakresie temperatury oraz dużą zdolnością do relaksacji naprężeń co jest bardzo pożądaną właściwością w nawierzchniach drogowych, które są poddawane różnego rodzaju naprężeniom i odkształceniom w trakcie eksploatacji.

Do badań wybrane zostały:

- BBTM 8 A S AMG<sup>1</sup>,
- BBTM 8 B S AMG,
- PA 8 S AMG.

Wymienione wyżej MMA o nieciągłym uziarnieniu BBTM, przeznaczone są do cienkich warstw ścieralnych w konstrukcji nawierzchni, w których kruszywo stanowi połączenie „ziarno-ziarno”. Dzięki takiej strukturze zapewnia się uzyskanie rozwiniętej makrotekstry powierzchni warstwy oraz wysoką odporność na odkształcenia lepkoplastyczne (jak w przypadku mieszanek typu SMA).

Asfalt porowaty (PA) natomiast stanowi MMA o bardzo dużej zawartości połączonych wolnych przestrzeni umożliwiających przepływ wody i powietrza w sposób zapewniający właściwości drenażowe oraz zmniejszający poziom hałasu komunikacyjnego.

Asfalt modyfikowany gumą (AMG) to asfalt drogowy poddany modyfikacji rozdrobioną gumą pochodzącą z opon samochodów osobowych i ciężarowych. Zawartość dodatku gumowego stanowi co najmniej 15% masy całości lepiszcza i pęcznieje w trakcie reakcji z gorącym asfaltem. W metodzie „na mokro” czas dojrzewania mieszaniny rozdrobionej gumy i rozgrzanego asfaltu wynosi min. 45 minut, co umożliwia odpowiednie spęcznienie cząstek gumowych.

Na podstawie doświadczeń podczas produkcji w skali makro wytypowano wcześniej stosowane z powodzeniem badania typu mieszanek mineralno-asfaltowych z użyciem asfaltu modyfikowanego gumą. Trzy wyżej wymienione mieszanki mineralno-asfaltowe zostały

---

<sup>1</sup> Asfalt modyfikowany gumą (AMG) w procesie „na mokro” to mieszanina asfaltu drogowego z rozdrobioną gumą z opon samochodowych.



wykonane i zbadane pod względem parametrów objętościowych, powiązanych funkcjonalnie oraz funkcjonalnych.

Celem badań jest weryfikacja wpływu zastosowania asfaltu modyfikowanego gumą w tego rodzaju mieszankach mineralno-asfaltowych na właściwości funkcjonalne oraz powiązane funkcjonalnie, w szczególności określenia ich trwałości zmęczeniowej, odporności na działanie wody, odporności na pękanie w niskiej temperaturze, odporności na deformacje trwałe oraz wyznaczenie ich krzywych wiodących dynamicznego modułu sztywności w różnych temperaturach oraz częstotliwości eksploatacyjnych.

Wyniki zostały opracowane w formie sprawozdania z oceny trwałości mieszanek mineralno-asfaltowych o zwiększonej zawartości wolnych przestrzeni z dodatkiem lepiszczy gumowo-asfaltowych, a otrzymane wyniki zostały przedstawione w formie graficznej oraz w tabelach.

## 8.2. Metodyka badawcza

Z uwagi na to, iż wszystkie mieszanki mineralno-asfaltowe (BBTM i PA) różnią się zasadniczo od siebie, plan badań został ułożony indywidualnie dla każdego z rodzajów MMA. Mieszanka mineralno-asfaltowa BBTM 8 B S AMG została przygotowana w Wytwórni Mieszanek Asfaltowych, a pozostałe MMA (BBTM 8 A S AMG oraz PA 8 S AMG) wykonano w laboratorium. Próbkę przeznaczoną do badań funkcjonalnych oraz powiązanych funkcjonalnie nie pochodzącą z Wytwórni Mieszanek Asfaltowych wykonywane w laboratorium zostały poddane procesowi kondycjonowania krótkoterminowego zgodnie z procedurą AASHTO R30, IB/001/10 oraz załącznikiem 2 do wymagań technicznych GDDKiA WT-2 nawierzchnie asfaltowe na drogach krajowych 2014 - część I Mieszanki mineralno-asfaltowe, Wymagania Techniczne.

W celu oznaczenia zespolonego modułu sztywności dynamicznej w uniwersalnej maszynie wytrzymałościowej UTM-30 oraz krzywych wiodących dla modułów badanych mieszanek mineralno-asfaltowych, badanie modułu dynamicznego wykonano zgodnie z amerykańskimi wytycznymi opracowanymi w ramach projektu NCHRP 9-29. W celu właściwego określenia parametrów mieszanek zawierających asfalt modyfikowany gumą, badania próbek wykonano w szerokim zakresie temperaturowym w oparciu o normę AASHTO TP62. Badanie zostało przeprowadzone na próbkach walcowych o wysokości 150mm i średnicy 100mm. Próbkę przygotowano w prasie żyratorowej. Próbkę zagęszczano do wysokości 180mm i średnicy 150mm. Z tak zagęszczonych próbek przy pomocy wiertnicy wycinano z centralnej części próbki o średnicy 100mm, a następnie przy pomocy piły odcinano górną i dolną płaszczyznę w celu uzyskania próbki o wysokości 150mm i równoległych płaszczyznach. W celu określenia naważki odpowiadającej poprawnemu zagęszczeniu rdzenia próbki uzyskiwanemu w prasie żyratorowej przeprowadzono próbne zagęszczenie trzech serii próbek po trzy sztuki dla każdej z MMA.

Po obliczeniu skalibrowanej naważki, wykonywano w prasie żyratorowej po 10 próbek każdego rodzaju MMA. Następnie do badania wybrano sześć próbek w których zawartość wolnej przestrzeni nie odbiegała od zawartości wolnej przestrzeni uzyskanej na etapie wykonywania badań typu o więcej niż  $\pm 0,5\%$ . Moduł dynamiczny mieszanki mineralno-asfaltowej określa się przez osiowe obciążanie siłą pionową o przebiegu haversinusoidalnym

o zadanych częstotliwościach. Dokonuje się pomiaru odkształceń. Pomiar wykonywany jest za pomocą trzech czujników przemieszczenia LVDT zamontowanych na boku próbki walcowej w rozstawie co 120°. W badaniu wyznaczany jest moduł sztywności oraz kąt przesunięcia fazowego. Częstotliwości obciążenia, które były zadawane to: 25 Hz, 10 Hz, 5 Hz, 1 Hz, 0,5 Hz, 0,1 Hz oraz 0,01 Hz. Badania zostały wykonane w pięciu temperaturach: -10°C, 4°C, 20°C, 40°C, 55°C. Zgodnie z wytycznymi badanie w częstotliwości 0,01 Hz wykonano tylko dla najwyższej zadanej temperatury. W celu dokładniejszego odwzorowania pracy nawierzchni próbki poddano skrępowaniu bocznemu o wartości 138 kPa.

Do wyznaczenia równania krzywej wiodącej dla dynamicznego modułu sztywności został wykorzystany wzór:

$$\log |E^*| = \delta + \frac{\alpha}{1 + e^{\beta + \gamma(\log \omega_r)}} \quad (8.1)$$

gdzie:

- IE\*I** - dynamiczny moduł sztywności, psi;
- $\omega_r$**  - zredukowana częstotliwość, Hz;
- $\delta$**  - minimalna wartość IE\*I;
- $\alpha + \delta$**  - maksymalna wartość IE\*I;
- $\beta, \gamma$**  - parametry opisujące kształt funkcji sigmoidy.

Do wyznaczenia zredukowanej częstotliwości wykorzystano wzór Arrheniusa o postaci:

$$\log f_r = \log f + \frac{\Delta E_a}{19.14714} \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T_r} \right) \quad (8.2)$$

gdzie:

- $f_r = \omega_r$**  - zredukowana częstotliwość, Hz;
- f** - częstotliwość obciążenia, Hz;
- T** - temperatura badania, K;
- $T_r$**  - temperatura referencyjna, K;
- $\Delta E_a$**  - energia aktywacji (traktowana jako element dopasowania krzywej).

W przypadku badań Texas Overlay Test (TOT) przeprowadzonych wg dokumentu technicznego Tex-248-F wprowadzonym do stosowania w lutym 2014r. stosuje się trójkątny kształt fali w trybie stałej deformacji, naprzemiennie rozciągając i ściskając wyciętą zgodnie z wymaganiami próbkę MMA tak, aby zasymulować ruch pękniętego, sztywnego obiektu/warstwy znajdującego się pod badaną warstwą. Badanie wykonywane jest przez 1000 cykli lub tak długo aż nastąpi 93% redukcja maksymalnego obciążenia uzyskiwanego w pierwszym cyklu. Metoda badania TOT zdobywa coraz większe uznanie wśród badaczy uzupełniając tym samym pewnego rodzaju lukę w metodach projektowania MMA, w których nacisk kładziony jest głównie na odporność na deformacje, pośrednio powodując czasem, że MMA projektowane są z najniższą możliwą zawartością asfaltu, przez co stają się często podatne na spękania. Metoda ta zapewnia także możliwości oceny różnych rodzajów

lepiszczy (niemodyfikowanych oraz modyfikowanych różnymi metodami) poprzez odporność na postępowanie propagacji spękań podczas badania Texas Overlay Test. TOT jest wykonywany na próbkach o standardowej wielkości, długości 6 cali (150 mm), szerokości 3 cali (75 mm) i wysokości od 0,5 do 1,5 cala (12 mm do 38 mm). Próbki te można wycinać z próbek rdzeniowych pobranych z nawierzchni metodą wiercenia lub z zagęszczonych próbek laboratoryjnych przygotowanych za pomocą prasy żyratorowej. Probka jest precyzyjnie pozycjonowana, a następnie klejona do dwóch płyt bazowych za pomocą centrującej ramki zabezpieczającą próbkę przed przemieszczeniem podczas klejenia pod obciążeniem 5 lb. (2.25 kg). Do badań zostały przygotowane próbki MMA w prasie żyratorowej na podstawie parametrów objętościowych w sposób identyczny jak w przypadku próbek przygotowanych do badań wg AASHTO TP62. Do badań przygotowano cztery próbki dla BBTM 8 A AMG oraz po trzy próbki dla BBTM 8 B S AMG oraz PA 8 S AMG [50, 51].

### **8.2.1. Plan badań MMA BBTM 8 A S AMG oraz BBTM 8 B S AMG:**

1. Oznaczenie gęstości MMA wg PN-EN 12697-5:2010+AC:2012, postępowanie A, metoda objętościowa.
2. Oznaczenie gęstości objętościowej MMA wg PN-EN 12697-6:2012, metoda B.
3. Oznaczenie zawartości wolnej przestrzeni i wolnej przestrzeni w mieszance mineralnej wypełnionej lepiszczem wg PN-EN 12697-8:2005.
4. Oznaczenie spływności wg PN-EN 12697-18:2007, metoda Schellenberga, pkt. 5.
5. Oznaczenie odporności próbek asfaltowych na wodę, wg PN-EN 12697-12:2008, ITSR, metoda A.
6. Oznaczenie odporności na koleinowanie wg PN-EN 12697-22:2008 aparat mały, procedura B.
7. Oznaczenie w trzech temperaturach zespolonego modułu sztywności wg PN-EN 12697-26:2012, metoda 4PB-PR, załącznik B.
8. Oznaczenie trwałości zmęczeniowej MMA wg PN-EN 12697-24:2012, metoda 4PB-PR, załącznik D.
9. Oznaczenie odporności na spękania niskotemperaturowe MMA wg PN-EN 12697-46:2012.
10. Wyznaczenie parametrów krzywej wiodącej zespolonego modułu sztywności dynamicznej w szerokim zakresie temperaturowym wg AASHTO TP62.
11. Texas Overlay Test wg Tex-248-F.

### **8.2.2. Plan badań MMA PA 8 S AMG:**

1. Oznaczenie gęstości MMA wg PN-EN 12697-5:2010+AC:2012, postępowanie A, metoda objętościowa.
2. Oznaczenie gęstości objętościowej MMA wg PN-EN 12697-6:2012, metoda D.
3. Oznaczenie zawartości wolnej przestrzeni i wolnej przestrzeni w mieszance mineralnej wypełnionej lepiszczem wg PN-EN 12697-8:2005.
4. Oznaczenie spływności wg PN-EN 12697-18:2007, metoda Schellenberga, pkt. 5.
5. Oznaczenie odporności próbek asfaltowych na wodę, wg PN-EN 12697-12:2008, ITSR, metoda A.
6. Oznaczenie ubytku ziaren wg PN-EN 12697-17:2008,
7. Oznaczenie w trzech temperaturach zespolonego modułu sztywności wg PN-EN 12697-26:2012, metoda 4PB-PR, załącznik B.

8. Oznaczenie trwałości zmęczeniowej MMA wg PN-EN 12697-24:2012, metoda 4PB-PR, załącznik D.
9. Oznaczenie odporności na spękania niskotemperaturowe MMA wg PN-EN 12697-46:2012.
10. Wyznaczenie parametrów krzywej wiodącej zespolonego modułu sztywności dynamicznej w szerokim zakresie temperaturowym wg AASHTO TP62.
11. Texas Overlay Test wg Tex-248-F.

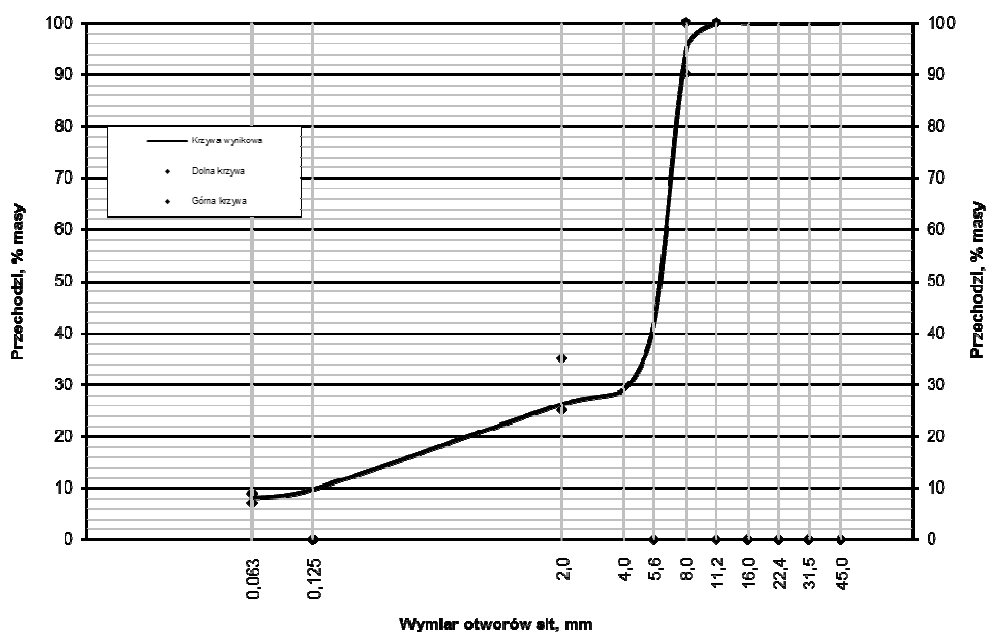
### **8.3. Wyniki badań**

Do badań przygotowano materiały składowe, które pozwoliły na wykonanie około 300kg MMA przeznaczonej do wykonania badań dla mieszanki BBTM 8 A S AMG. Podczas produkcji w Wytwórni Mieszank Asfaltowych pobrano i zmagazynowano około 400kg mieszanki BBTM 8 B S AMG. Zgromadzono i zmagazynowano około 300kg materiałów składowych w celu przygotowania PA 8 S AMG.

#### **8.3.1. BBTM 8 A S AMG**

Do wykonania BBTM 8 A S AMG zastosowano wypełniacz dodany Nordkalk Sławno, kruszywo drobne łamane oraz kruszywo grube melafirowe z Czarnego Boru. Zastosowano środek adhezyjny produkcji firmy AKZO NOBEL Surface Chemistry AB ze Szwecji. W celu wyznaczenia krzywej wiodącej wykorzystane zostały średnie dynamiczne moduły sztywności mieszanki mineralno-asfaltowej określonej w 5 temperaturach. Średnie wartości zespolonego modułu sztywności i kąta przesunięcia fazowego mieszanki BBTM 8 A S AMG przedstawiono w Tab. 8.3. Wartości parametrów sigmoidy oraz wykres krzywej wiodącej przedstawiono odpowiednio w Tab. 8.4 oraz na Rys. 8.2. Jako temperaturę referencyjną przyjęto 20°C.

*Projekt RID - I/76 Ochrona przed hałasem drogowym*  
 Zadanie 2. Ocena rozwiązań materiałowo-technologicznych górnych warstw asfaltowych i zalecenia w zakresie ich hałaśliwości



Rys. 8.1 Krzywa uziarnienia BBTM 8 A S AMG:

Tab. 8.1 Właściwości objętościowe BBTM 8 A S AMG:

Lp.	Właściwość	Norma badawcza	Liczba uderzeń	Wynik
1	Zawartość asfaltu całkowita B, % masy	-	-	6,7
2	Zawartość wolnych przestrzeni w mma Vm, % objętości	PN-EN 12697-8:2005	2x50	7,3
3	Wypełnienie wolnych przestrzeni asfaltem VFB, % objętości	PN-EN 12697-8:2005	2x50	66,1
4	Zawartość wolnych przestrzeni w mm VMA, % objętości	PN-EN 12697-8:2005	2x50	21,4

Do mieszanki mineralno-asfaltowej zadozowano 6,7% asfaltu modyfikowanego gumą, przy tak poprowadzonej krzywej przesiewu mieszanki mineralnej uzyskano zawartość wolnej przestrzeni w mieszance mineralno-asfaltowej 7,3 [%].

*Projekt RID - I/76 Ochrona przed hałasem drogowym*  
 Zadanie 2. Ocena rozwiązań materiałowo-technologicznych górnych warstw asfaltowych i  
 zalecenia w zakresie ich hałaśliwości

Tab. 8.2 Właściwości funkcjonalne oraz powiązane funkcjonalnie BBTM 8 A S AMG:

Lp.	Właściwość	Norma badawcza	Liczba uderzeń	Wynik
1	Wrażliwość na działanie wody ITSR (1 cykl zamrażania, temperatura badania 25°C), %	PN-EN 12697-12:2008	2x35 uderzeń	91
2	Średnie nachylenie wykresu koleinowania $WTS_{AIR}$ , mm/10 <sup>3</sup> cykli	PN-EN 12697-22:2008	P98 - P100	0,08
3	Średnia proporcjonalna głębokość koleiny $PRD_{AIR}$ , %	PN-EN 12697-22:2008	P98 - P100	5,9
4	Moduł zespolony $E^*$ w temp. 0°C, (Szttywność S, MPa)	PN-EN 12697-26:2012	P98 - P100	8339
5	Moduł zespolony $E^*$ w temp. 10°C, (Szttywność S, MPa)	PN-EN 12697-26:2012	P98 - P100	6552
6	Moduł zespolony $E^*$ w temp. 23°C, (Szttywność S, MPa)	PN-EN 12697-26:2012	P98 - P100	2828
7	Odporność na zmęczenie (wartość oszacowana) w temp. 10°C, $\epsilon_6$ , $\mu\text{m/m}$	PN-EN 12697-24:2012	P98 - P100	202
8	Splywność lepiscza D, %	PN-EN 12697-18:2007	-	0,1
9	Odporność na spękania niskotemperaturowe, metoda TSRST, temperatura pęknięcia $T_{failure}$ , °C	PN-EN 12697-46:2012	P98 - P100	-32,1
10	Odporność na spękania niskotemperaturowe, metoda TSRST, naprężenia niszczące $\sigma_{cry, failure}$ , MPa	PN-EN 12697-46:2013	P98 - P100	2,8

*Projekt RID - I/76 Ochrona przed hałasem drogowym*  
**Zadanie 2. Ocena rozwiązań materiałowo-technologicznych górnych warstw asfaltowych i zalecenia w zakresie ich hałaśliwości**

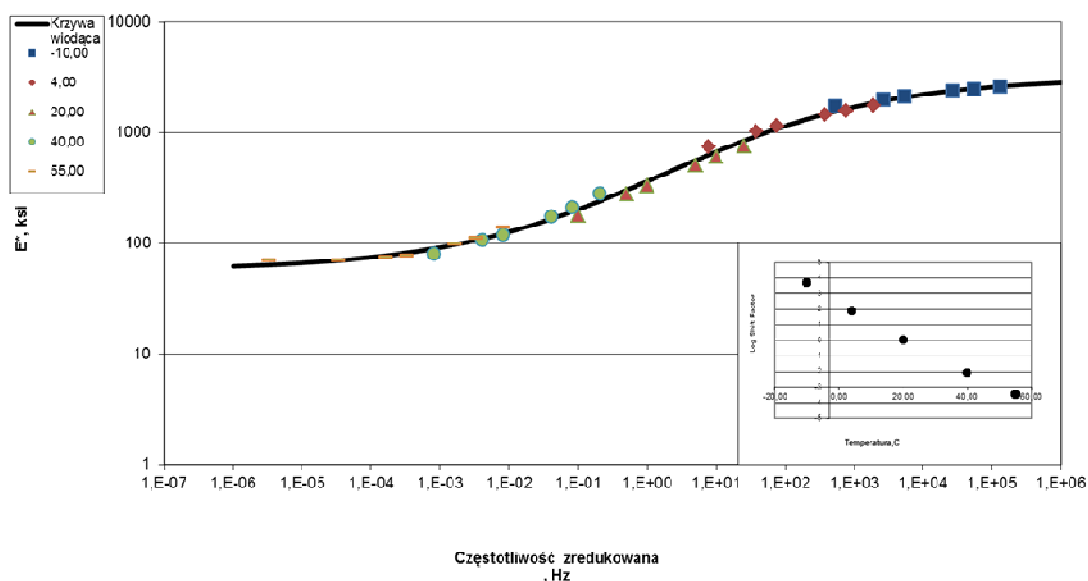
Tab. 8.3 Średnie wartości zespolonego modułu sztywności oraz kąta przesunięcia fazowego dla mieszanki BBTM 8 A S AMG KR3-6.

Temperatura badania, °C	Częstotliwość badania, Hz	Średnia wartość dynamicznego modułu sztywności E*, (ksi)	Średnia wartość kąta przesunięcia fazowego
-10	25	2599,99	5,19
-10	10	2473,16	5,60
-10	5	2369,80	6,03
-10	1	2118,11	7,21
-10	0,5	2001,01	7,82
-10	0,1	1720,46	9,37
4	25	1752,69	10,49
4	10	1578,88	11,63
4	5	1445,53	12,68
4	1	1143,62	15,43
4	0,5	1016,86	16,69
4	0,1	745,26	20,01
20	25	755,62	21,60
20	10	607,18	23,38
20	5	511,81	24,60
20	1	331,24	27,23
20	0,5	276,47	27,47
20	0,1	178,95	28,06
40	25	282,46	27,61
40	10	213,13	26,97
40	5	176,37	26,09
40	1	119,24	24,74
40	0,5	106,27	22,84
40	0,1	80,38	20,30
55	25	138,28	21,39
55	10	110,80	18,90
55	5	96,97	17,50
55	1	76,38	15,14
55	0,5	74,41	13,17
55	0,1	70,11	10,08
55	0,01	69,18	7,21

Tab. 8.4 Parametry krzywej wiodącej dla mieszanki BBTM 8 A S AMG KR3-6.

Właściwość	$\delta$	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\Delta E_a$
Wartość	1,76	1,74	0,16	-0,62	183520,75

*Projekt RID - I/76 Ochrona przed hałasem drogowym*  
 Zadanie 2. Ocena rozwiązań materiałowo-technologicznych górnych warstw asfaltowych i zalecenia w zakresie ich hałaśliwości



Rys. 8.2 Krzywa wiodąca dla mieszanki BBTM 8 A S AMG.

Tab. 8.5 Wyniki badań Texas Overlay Test dla mieszanki BBTM 8 A S AMG.

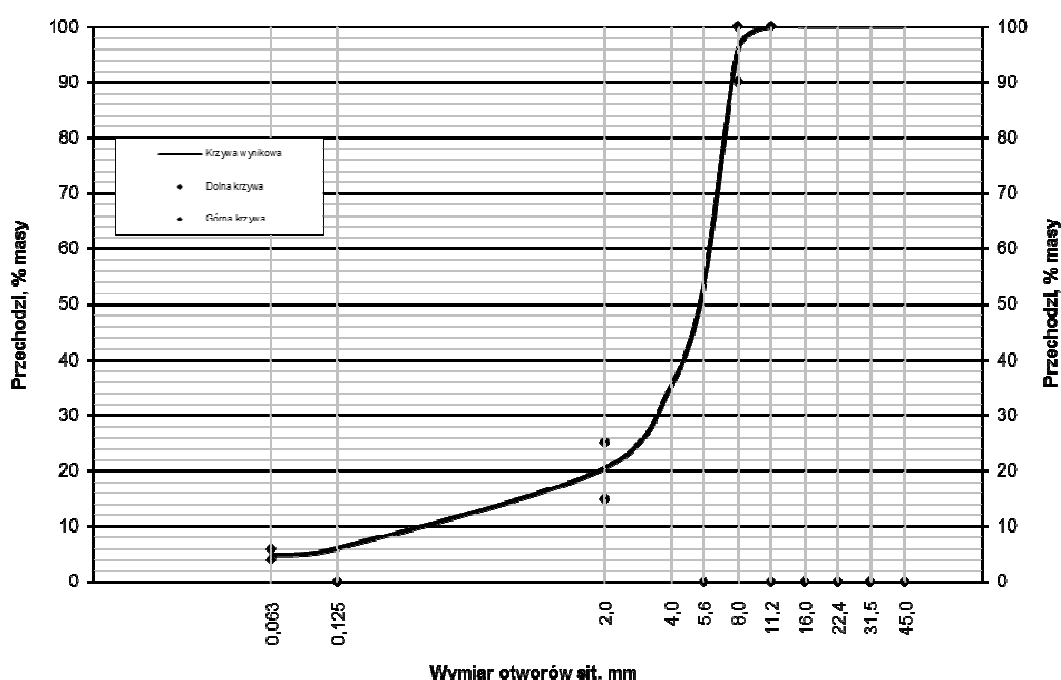
Lp.	Właściwość	Próbka nr 1	Próbka nr 2	Próbka nr 3	Próbka nr 4
1	Gęstość objętościowa [Mg/m <sup>3</sup> ]	2,183	2,223	2,192	2,241
2	Maksymalna siła w 1 cyklu [kN]	0,93201	2,35439	1,30268	1,72337
3	Maksymalna siła w 1000 cyklu [kN]	0,47224	0,4964	0,638275	0,572654
4	Redukcja siły po 1000 cykli[%]	49	73	51	67
5	<sup>2</sup> Przewidywana liczba cykli do osiągnięcia redukcji siły na poziomie 93%	544898636329	385382	59313090141422200	29029072
6	Zaobserwowana liczba rys	0	0	0	0

<sup>2</sup> Wartości estymowane - wartość przewidywanej liczby cykli do osiągnięcia redukcji siły do poziomemu 93 przez wykorzystanie regresji liniowej.



### 8.3.2. BBTM 8 B S AMG:

Do wykonania BBTM 8 B S AMG zastosowano tak jak w przypadku BBTM 8 A S AMG wypełniacz dodany pochodzący z Nordkalk Sławno, kruszywo drobne łamane oraz kruszywo grube melafirowe z Czarnego Boru. Zastosowano środek adhezyjny produkcji firmy AKZO NOBEL Surface Chemistry AB ze Szwecji. W celu wyznaczenia krzywej wiodącej wykorzystane zostały średnie dynamiczne moduły sztywności mieszanki mineralno-asfaltowej określonej w 5 temperaturach. Średnie wartości zespolonego modułu sztywności i kąta przesunięcia fazowego mieszanki BBTM 8 B S AMG przedstawiono w Tab. 8.8. Wartości parametrów sigmoidy oraz wykres krzywej wiodącej przedstawiono odpowiednio w Tab. 8.9 oraz na Rys. 8.4. Jako temperaturę referencyjną przyjęto 20°C.



Rys. 8.3 Krzywa uziarnienia BBTM 8 B S AMG:

Tab. 8.6 Właściwości objętościowe BBTM 8 B S AMG:

Lp.	Właściwość	Norma badawcza	Liczba uderzeń	Wynik
1	Zawartość asfaltu całkowita B, % masy	-	-	6,1
2	Zawartość wolnych przestrzeni w mma Vm, % objętości	PN-EN 12697-8:2005	2x50	10,6
3	Wypełnienie wolnych przestrzeni asfaltem VFB, % objętości	PN-EN 12697-8:2005	2x50	54,1
4	Zawartość wolnych przestrzeni w mm VMA, % objętości	PN-EN 12697-8:2005	2x50	23,1

*Projekt RID - I/76 Ochrona przed hałasem drogowym*  
 Zadanie 2. Ocena rozwiązań materiałowo-technologicznych górnych warstw asfaltowych i zalecenia w zakresie ich hałaśliwości

Do mieszanki mineralno-asfaltowej zadozowano 6,1% asfaltu modyfikowanego gumą, przy tak poprowadzonej krzywej przesiewu mieszanki mineralnej uzyskano zawartość wolnej przestrzeni w mieszance mineralno-asfaltowej 10,6 [%].

Tab. 8.7 Właściwości funkcjonalne oraz powiązane funkcjonalnie BBTM 8 B S AMG:

Lp.	Właściwość	Norma badawcza	Liczba uderzeń	Wynik
1	Wrażliwość na działanie wody ITSR (1 cykl zamrażania, temperatura badania 25°C), %	PN-EN 12697-12:2008	2x35 uderzeń	91
2	Średnie nachylenie wykresu koleinowania $WTS_{AIR}$ , mm/10 <sup>3</sup> cykli	PN-EN 12697-22:2008	P98 - P100	0,17
3	Średnia proporcjonalna głębokość koleiny $PRD_{AIR}$ , %	PN-EN 12697-22:2008	P98 - P100	8,7
4	Moduł zespolony $E^*$ w temp. 0°C, (Sztywność S, MPa)	PN-EN 12697-26:2012	P98 - P100	8148
5	Moduł zespolony $E^*$ w temp. 10°C, (Sztywność S, MPa)	PN-EN 12697-26:2012	P98 - P100	5898
6	Moduł zespolony $E^*$ w temp. 23°C, (Sztywność S, MPa)	PN-EN 12697-26:2012	P98 - P100	2413
7	Odporność na zmęczenie (wartość oszacowana) w temp. 10°C, $\epsilon_6$ , $\mu\text{m/m}$	PN-EN 12697-24:2012	P98 - P100	188
8	Splywność lepiszczca D, %	PN-EN 12697-18:2007	-	0,1
9	Odporność na spękania niskotemperaturowe, metoda TSRST, temperatura pęknięcia $T_{failure}$ , °C	PN-EN 12697-46:2012	P98 - P100	-31,7
10	Odporność na spękania niskotemperaturowe, metoda TSRST, naprężenia niszczące $\sigma_{cry, failure}$ , MPa	PN-EN 12697-46:2013	P98 - P100	3,5

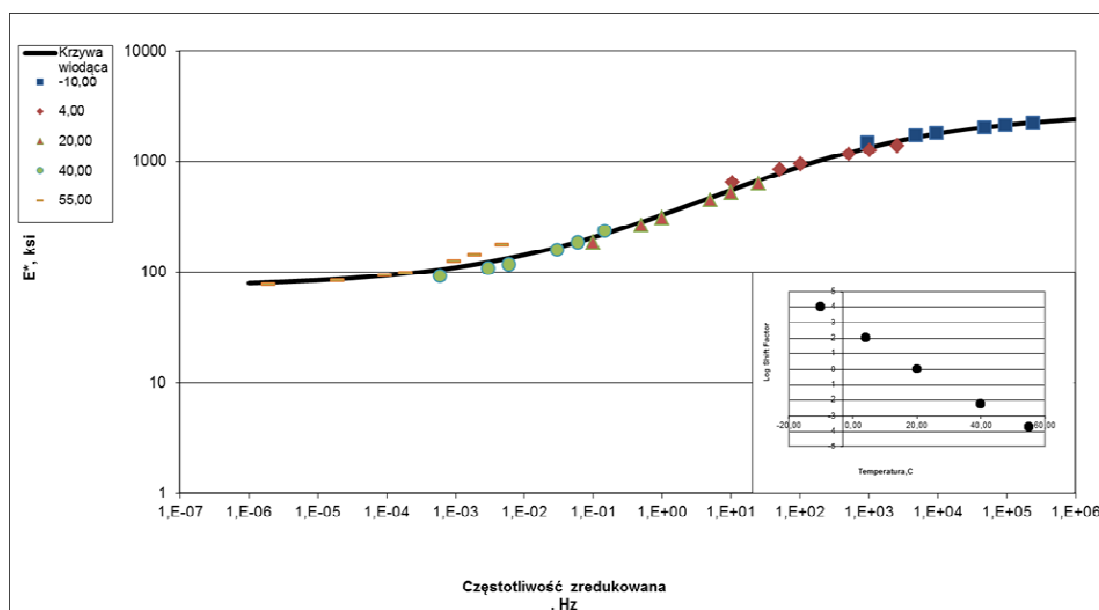
*Projekt RID - I/76 Ochrona przed hałasem drogowym*  
**Zadanie 2. Ocena rozwiązań materiałowo-technologicznych górnych warstw asfaltowych i zalecenia w zakresie ich hałaśliwości**

Tab. 8.8 Średnie wartości zespolonego modułu sztywności oraz kąta przesunięcia fazowego dla mieszanki BBTM 8 B S AMG KR3-6:

Temperatura badania, °C	Częstotliwość badania, Hz	Średnia wartość dynamicznego modułu sztywności E*, (ksi)	Średnia wartość kąta przesunięcia fazowego
-10	25	2222,82	5,21
-10	10	2118,15	5,54
-10	5	2032,53	5,90
-10	1	1822,54	6,94
-10	0,5	1724,28	7,51
-10	0,1	1486,68	9,09
4	25	1393,52	9,86
4	10	1265,16	10,77
4	5	1166,76	11,56
4	1	943,40	13,72
4	0,5	849,46	14,76
4	0,1	647,38	17,52
20	25	637,03	19,16
20	10	524,36	20,69
20	5	450,27	21,83
20	1	309,34	24,31
20	0,5	266,92	24,68
20	0,1	187,56	25,86
40	25	235,25	23,40
40	10	185,74	23,10
40	5	159,63	22,59
40	1	117,40	22,33
40	0,5	109,25	20,97
40	0,1	92,52	19,35
55	25	175,55	19,26
55	10	141,24	18,12
55	5	123,39	17,07
55	1	97,85	15,29
55	0,5	92,24	13,78
55	0,1	82,80	11,56
55	0,01	77,15	8,92

Tab. 8.9 Parametry krzywej wiodącej dla mieszanki BBTM 8 B S AMG KR3-6:

Właściwość	$\delta$	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\Delta E_a$
Wartość	1,86	1,59	0,36	-0,57	196084,31



Rys. 8.4 Krzywa wiodąca dla BBTM 8 B S AMG KR3-6:

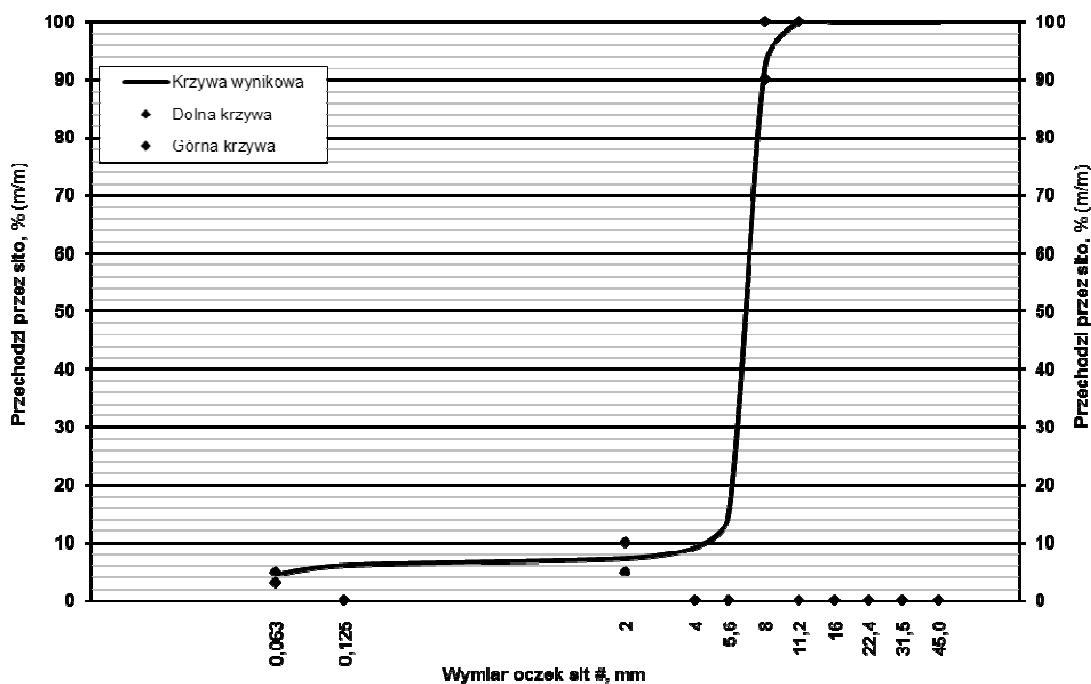
Tab. 8.10 Wyniki badań Texas Overlay Test dla mieszanki BBTM 8 B S AMG.

Lp.	Właściwość	Próbka nr 3	Próbka nr 5	Próbka nr 6
1	Gęstość objętościowa [Mg/m <sup>3</sup> ]	2,159	2,160	2,183
2	Maksymalna siła w 1 cyklu [kN]	2,32327	1,39732	1,85577
3	Maksymalna siła w 1000 cyklu [kN]	0,198684	0,52362	0,495588
4	Redukcja siły po 1000 cyklach [%]	91	63	73
5	Przewidywana liczba cykli do osiągnięcia redukcji siły na poziomie 93%	1507	690526938	3454430
6	Zaobserwowana liczba rys	0	0	0

### 8.3.3. PA 8 S AMG:

Do wykonania PA 8 S AMG zastosowano wypełniacz dodany Nordkalk Sławno, kruszywo grube gabro z kopalni w Braszowicach. Zastosowano środek adhezyjny produkcji firmy AKZO NOBEL Surface Chemistry AB ze Szwecji. W celu wyznaczenia krzywej wiodącej wykorzystane zostały średnie dynamiczne moduły sztywności mieszanki mineralno-asfaltowej określonej w 5 temperaturach. Średnie wartości zespolonego modułu sztywności i kąta przesunięcia fazowego mieszanki PA 8 S AMG przedstawiono w Tab. 8.13. Wartości parametrów sigmoidy oraz wykres krzywej wiodącej przedstawiono odpowiednio w Tab. 8.14 oraz na Rys. 8.6. Jako temperaturę referencyjną przyjęto 20°C.

*Projekt RID - I/76 Ochrona przed hałasem drogowym*  
 Zadanie 2. Ocena rozwiązań materiałowo-technologicznych górnych warstw asfaltowych i zalecenia w zakresie ich hałaśliwości



Rys. 8.5 Krzywa uziarnienia PA 8 S AMG:

Tab. 8.11 Właściwości objętościowe PA 8 S AMG:

Lp.	Właściwość	Norma badawcza	Liczba uderzeń	Wynik
1	Zawartość asfaltu całkowita B, % masy	-	-	6,9
2	Zawartość wolnych przestrzeni w mma Vm, % objętości	PN-EN 12697-8:2005	2x50	23,1
3	Wypełnienie wolnych przestrzeni asfaltem VFB, % objętości	PN-EN 12697-8:2005	2x50	35,9
4	Zawartość wolnych przestrzeni w mm VMA, % objętości	PN-EN 12697-8:2005	2x50	35,5

Do mieszanki mineralno-asfaltowej zadozowano 6,9% asfaltu modyfikowanego gumą, przy tak poprowadzonej krzywej przesiewu mieszanki mineralnej uzyskano zawartość wolnej przestrzeni w mieszance mineralno-asfaltowej 23,1 [%].

*Projekt RID - I/76 Ochrona przed hałasem drogowym*  
 Zadanie 2. Ocena rozwiązań materiałowo-technologicznych górnych warstw asfaltowych i  
 zalecenia w zakresie ich hałaśliwości

Tab. 8.12 Właściwości funkcjonalne oraz powiązane funkcjonalnie PA 8 S AMG:

Lp.	Właściwość	Norma badawcza	Liczba uderzeń	Wynik
1	Wrażliwość na działanie wody ITSr (1 cykl zamrażania, temperatura badania 25°C), %	PN-EN 12697-12:2008	2x35	90
2	Ubytek ziaren w próbkach asfaltu porowatego PL w 15°C, %	PN-EN 12697-17:2008	2x50	7,2
3	Moduł zespolony E* w temp. 0°C, (Szytywność S, MPa)	PN-EN 12697-26:2012	P98 - P100	3914
4	Moduł zespolony E* w temp. 10°C, (Szytywność S, MPa)	PN-EN 12697-26:2012	P98 - P100	2849
5	Moduł zespolony E* w temp. 23°C, (Szytywność S, MPa)	PN-EN 12697-26:2012	P98 - P100	1077
6	Odporność na zmęczenie (wartość oszacowana) w temp. 10°C, $\epsilon_6$ , $\mu\text{m}/\text{m}$	PN-EN 12697-24:2012	P98 - P100	169
7	Splywność lepiscza D, %	PN-EN 12697-18:2007	-	0,1
8	Odporność na spękania niskotemperaturowe, metoda TSRST, temperatura pęknięcia $T_{\text{failure}}$ , °C	PN-EN 12697-46:2012	P98 - P100	-34,8
9	Odporność na spękania niskotemperaturowe, metoda TSRST, naprężenia niszczące $\sigma_{\text{cry, failure}}$ , MPa	PN-EN 12697-46:2013	P98 - P100	1,2

*Projekt RID - I/76 Ochrona przed hałasem drogowym*  
**Zadanie 2. Ocena rozwiązań materiałowo-technologicznych górnych warstw asfaltowych i zalecenia w zakresie ich hałaśliwości**

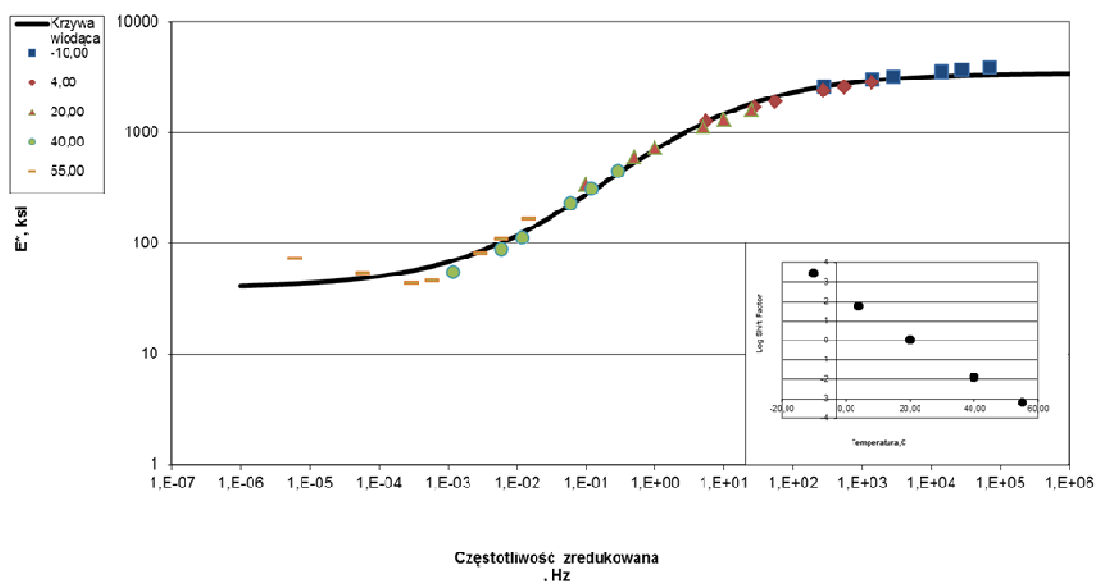
Tab. 8.13 Średnie wartości zespolonego modułu sztywności oraz kąta przesunięcia fazowego dla mieszanki PA 8 S AMG KR3-6:

Temperatura badania, °C	Częstotliwość badania, Hz	Średnia wartość dynamicznego modułu sztywności E*, (ksi)	Średnia wartość kąta przesunięcia fazowego
-10	25	1236,79	7,15
-10	10	1157,40	7,64
-10	5	1094,31	8,15
-10	1	945,36	9,53
-10	0,5	881,48	10,20
-10	0,1	739,14	11,90
4	25	924,38	10,18
4	10	838,32	10,93
4	5	772,76	11,68
4	1	626,16	13,63
4	0,5	567,07	14,48
4	0,1	440,48	16,76
20	25	425,48	18,49
20	10	353,05	19,49
20	5	306,78	20,48
20	1	219,73	23,00
20	0,5	196,06	23,07
20	0,1	147,45	24,35
40	25	240,04	20,66
40	10	196,53	20,90
40	5	172,51	20,95
40	1	119,42	23,11
40	0,5	113,18	21,80
40	0,1	97,52	20,57
55	25	180,14	15,72
55	10	149,76	15,32
55	5	133,64	14,82
55	1	108,88	14,18
55	0,5	106,15	12,74
55	0,1	98,99	11,31
55	0,01	93,49	9,63

Tab. 8.14 Parametry krzywej wiodącej dla mieszanki PA 8 S AMG KR3-6:

Właściwość	$\delta$	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\Delta E_a$
Wartość	1,96	1,2	0,52	-0,7	161913,10

*Projekt RID - I/76 Ochrona przed hałasem drogowym*  
 Zadanie 2. Ocena rozwiązań materiałowo-technologicznych górnych warstw asfaltowych i zalecenia w zakresie ich hałaśliwości



Rys. 8.6 Krzywa wiodąca dla PA 8 S AMG KR3-6:

Tabela 15. Wyniki badań Texas Overlay Test dla mieszanki PA 8 S AMG.

Lp.	Właściwość	Próbka nr 1	Próbka nr 2	Próbka nr 3
1	Maksymalna siła w 1 cyklu, [kN]	0,54932	0,42595	0,32558
2	Maksymalna siła w 1000 cyklu, [kN]	0,102769	0,257576	0,10185
3	Redukcja siły po 1000 cykli, [%]	81	39	68
4	<sup>3</sup> Przewidywana liczba cykli do osiągnięcia redukcji siły na poziomie 93%	92450	4,07E+22	31202885
5	Zaobserwowana liczba rys	0	0	0

<sup>3</sup> Wartości estymowane - wartość przewidywanej liczby cykli do osiągnięcia redukcji siły do poziomu 93 przez wykorzystanie regresji liniowej.



## 8.4. Podsumowanie

Przeprowadzono szereg badań laboratoryjnych w celu oznaczenia właściwości funkcjonalnych i powiązanych funkcjonalnie trzech MMA wykonanych z zastosowaniem asfaltu modyfikowanego gumą. Mieszanki te cechują się zwiększoną zawartością wolnej przestrzeni, co może świadczyć również o ich trwałości zmęczeniowej, odporności na działanie niskich temperatur oraz oddziaływanie czynników atmosferycznych. Zastosowanie asfaltu modyfikowanego gumą do tego rodzaju MMA ma zapewnić wysoką trwałość zmęczeniową MMA i odporność na pękanie w niskiej temperaturze, w celu utrzymania na odpowiednim poziomie wszystkich właściwości charakteryzujących mieszanki o zwiększonej zawartości wolnej przestrzeni. W żadnym z badań typu nie było konieczności stosowania stabilizatora. AMG zapewnił odpowiednią spływność każdej z MMA. Podczas przygotowywania MMA nie zaobserwowano negatywnych skutków niestosowania stabilizatora, nie odnotowano wyplamień, czy innego rodzaju skupisk mastyksowych w przygotowanych próbkach.

Pierwszą zbadaną MMA było BBTM 8 A S AMG o najniższej zawartości wolnej przestrzeni w odniesieniu do pozostałych dwóch zbadanych MMA. Zastosowanie asfaltu modyfikowanego gumą w tej MMA zapewniło najwyższą ze zbadanych trzech MMA trwałość zmęczeniową. Ponadto jego użycie potwierdziło wysoką odporność na pękanie w niskiej temperaturze, zapewni również odporność na deformacje trwałe w długim okresie eksploatacji oraz wysoką odporność na działanie czynników atmosferycznych. Drugą zbadaną MMA było BBTM 8 B S AMG. W przypadku tej mieszanki również potwierdzony został pozytywny wpływ użycia asfaltu modyfikowanego gumą zarówno na parametry funkcjonalne jak i powiązane funkcjonalnie. Trwałość zmęczeniowa znajduje się na nieco niższym poziomie niż w przypadku BBTM 8 A S AMG, ale jest to wyższa wartość niż wartości odnotowywane w literaturze w przypadku stosowania asfaltów drogowych.

W przypadku asfaltu porowatego, jego odporność na pękanie w niskiej temperaturze została określona nieco inaczej niż pozostałe mieszanki ponieważ jest to MMA najbardziej otwarta, posiada ponad 23% wolnej przestrzeni i objętościowo największą zawartość asfaltu co bezpośrednio stało się przyczyną, że próbki nie pękły w widoczny sposób podczas badania w niskiej temperaturze. Zaobserwowano natomiast maksymalny poziom naprężenia dla każdej z badanych próbek, po którym wraz ze spadkiem temperatury do  $-45^{\circ}\text{C}$  nastąpił spadek jego wartości o około 25%. W związku z tym, jako wynik przyjęto maksymalne naprężenie oraz temperaturę, która temu naprężeniu odpowiada i na tej podstawie został wyznaczony wynik odporności na pękanie w niskiej temperaturze. W przypadku badania trwałości zmęczeniowej asfaltu porowatego zachodzi najszybsza utrata wartości modułu zespolonego w stosunku do jego początkowej wartości i tym samym cechuje się on najniższą oszacowaną wartością trwałości zmęczeniowej. Badanie odporności próbek na działanie wody (ITSR) nawet w tak otwartej mieszance mineralno-asfaltowej jest na bardzo wysokim poziomie i spełnia wymagania polskich wytycznych technicznych zapewniając tym samym wysoką odporność na działanie czynników atmosferycznych. Test Cantabro (wykonywany w bębnie Los Angeles) w celu zapewnienia odpowiedniej spoistości mma i sprawdzeniu jej podatności na ewentualne ubytki ziaren w czasie eksploatacji, pokazał, że mieszanka ta jest bardzo odporna na uszkodzenia zewnętrzne. Otrzymana wartość wyniku dla PA 8 S AMG wykonanego z użyciem AMG wynosi zaledwie kilka procent, co w odniesieniu do PA

wykonanego przy użyciu asfaltu drogowego może być wartością nawet trzy razy niższą. W przypadku MMA przeznaczonych do nawierzchni wykonanych z asfaltu porowatego nie wykonuje się badania koleinowania. Uzyskiwane przez większość badaczy niekorzystne wyniki tego badania nie znajdują zwykle potwierdzenia w czasie eksploatacji odcinków drogowych wykonanych z tego rodzaju MMA.

Dla w/w MMA zostały również wyznaczone krzywe wiodące zespolonego dynamicznego modułu sztywności pokazując w ten sposób charakterystykę wpływu reologii AMG na właściwości zbadanych MMA w szerokim zakresie temperaturowym. MMA zostały także poddane badaniom TOT weryfikując tym samym ich podatność na powstawanie spękań odbitych. W badaniu TOT otrzymano istotne rozbieżności w wynikach. Powodem zaobserwowanych rozbieżności jest porowatość MMA, cecha powodująca powstawanie różnych powierzchni kontaktowych podczas klejenia próbek do ramy badawczej. Pomimo zaobserwowanych rozbieżności każda z MMA cechuje się bardzo wysoką odpornością na potencjalne spękania odbite. Każda z przebadanych próbek niezależnie od rodzaju MMA z ogromnym zapasem spełnia kryterium 1000 cykli. Wartość przewidywanej liczby cykli do osiągnięcia redukcji siły do poziomu 93% została estymowana poprzez wymaganą do jej osiągnięcia wartość cykli przez wykorzystanie regresji liniowej.

Asfalt modyfikowany gumą wpływa pozytywnie na parametry mieszanki mineralno-asfaltowej przeznaczonej do nawierzchni porowatych. Utrzymuje ich trwałość zmęczeniową na wysokim poziomie, zapewnia wysoką odporność na działanie niskich temperatur oraz odporność próbek na działanie wody.

## **9. EKONOMICZNE SKUTKI HAŁASU DROGOWEGO**

Hałas generowany przez transport negatywnie oddziałuje na środowisko naturalne i jest jednym z czynników które uwzględnia się w rachunku kosztów ogólnych transportu. Szacuje się, że w Polsce koszty negatywnego oddziaływania na środowisko stanowią szacunkowo około 29% kosztów zewnętrznych transportu, w tym koszty hałasu wynoszą 11% tych kosztów [52]. Według Strategii Rozwoju Transportu do 2020 Roku z perspektywą do 2030 roku opracowanej przez Ministerstwo Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej w 2013 r. szacuje się, że koszty zewnętrzne stanowią ekwiwalent 6% PKB i powszechnie nie są one uwzględniane w rachunkowości. Według rządowej Strategii [52] wdrażanie innowacyjnych technologii w budownictwie drogowym powinno przyczynić się do minimalizacji presji transportu na środowisko. Jednym ze środków wskazanych w opracowanej Strategii jest „*stosowanie innowacyjnych nawierzchni drogowych pochłaniających hałas, o wzmocnionej wytrzymałości, mniej podatnych na ścieranie*”.

### **9.1. Analiza kosztów i korzyści a analiza opłacalności**

Oparte na doświadczeniu oraz skuteczne prawo wymagające obniżenia poziomu hałasu egzekwuje podejmowanie decyzji inwestycyjnych w sposób obiektywny i z zastosowaniem sprawdzonych metod a hałas drogowy stanowi główne wyzwanie dla wszystkich administratorów dróg. Dla osób podejmujących decyzje istotną kwestią jest, by zoptymalizować koszty przy użyciu najskuteczniejszego rozwiązania. Analiza dotycząca kosztów i korzyści (CBA - ang. cost-benefit analysis) oraz analiza opłacalności (CEA - ang. cost-effectiveness analysis) mogą dostarczyć odpowiedzi na tego typu pytania [53].

Analiza kosztów i korzyści uwzględnia bardziej holistyczne podejście niż analiza efektywności kosztowej poprzez rozszerzenie zakresu analizy do wszelkich skutków działania lub projektu. Celem CBA jest osiągnięcie najlepszych ogólnych wyników w kategoriach pieniężnych, w porównaniu z kosztem środków lub projektu. Podejście CBA jest bardziej wymagające niż CEA, ponieważ wszystkie istotne elementy muszą mieć przypisaną wartość pieniężną. Gdy takie czynniki są dostępne, wtedy można obliczyć efektywność kosztową redukcji poziomu hałasu. Metoda CEA najlepiej nadaje się do nadawania priorytetu interwencjom, na przykład można wyróżnić priorytety pomiędzy różnymi dzielnicami mieszkalnymi, w których istnieje potrzeba zmniejszenia hałasu lub oceny, jaki środek redukujący hałas jest najbardziej opłacalny na danym obszarze. Gdy korzyści są trudne do oszacowania lub gdy wymagane informacje są trudne do określenia, lub w każdym innym przypadku, gdy próbuje się dokonać dokładnej wyceny pieniężnej, analiza efektywności kosztowej może pomóc w zapewnieniu efektywności wykorzystania zasobów inwestycyjnych.

Analiza efektywności kosztowej jest prostym, ale skutecznym narzędziem do oceny i ustalania priorytetów projektowania, na przykład dla krajowych organów regulacyjnych pożądane może być, aby działania przeciwko hałasowi drogowemu były priorytetowe aby osiągnąć najlepszy stosunek jakości do ceny. Analiza efektywności kosztowej ma na celu zidentyfikowanie i umieszczenie wartości pieniężnej kosztów programu lub projektu. CEA jest najbardziej użyteczna, gdy znany jest pożądany efekt (na przykład redukcja szumów), główny cel projektu, a także określenie, które z zestawu alternatywnych rozwiązań osiąga

największe obniżenie poziomu hałasu (na przykład stosowanie barier akustycznych w porównaniu do nawierzchni redukującej hałas).

## 9.2. Metody spieniężenia społecznych kosztów hałasu

Przy wykorzystaniu analizy kosztów i korzyści, korzyści powinny być przeliczane na pieniądze w porównaniu do kosztów. Korzyści obliczane są jako różnica pomiędzy kosztami społecznymi związanymi ze scenariuszem odniesienia, odzwierciedlającym obecną sytuację w odniesieniu do natężenia ruchu, prędkości, technologii pojazdów itd.

Koszty społeczne obejmują głównie efekt zyrutowania oraz rozproszenia uwagi, których doświadczają osoby narażone na skutki oddziaływania hałasu a także szkody zdrowotne, takie jak nadciśnienie tętnicze czy zawał mięśnia sercowego (rozdz. 1.2.). Wszystkie negatywne skutki hałasu generują różnorakie typy kosztów, do których można zaliczyć koszty opieki medycznej oraz koszty związane z utratą wydajności lub zwiększoną śmiertelnością.

Istnieje wiele metod wyceny umożliwiających bilansowanie kosztów i korzyści społecznych. Tab. 9.1 pokazuje najczęściej stosowane metody wyceny stosowane przy wyborze najlepszej opcji.

Tab. 9.1 Wybrane metody wyceny stosowane w analizie kosztów i korzyści.

Metoda	Nadaje się do...	Warunki
Wycena warunkowa	- prawie każdej polityki publicznej lub programu, - niezwykle elastyczna.	Metoda przy użyciu kwestionariuszy, których projektowanie oraz administracja są trudne, możliwe są liczne przesunięcia, które można ograniczyć poprzez staranną konstrukcję i wstępną ocenę instrumentu ankietowego.
Hedoniczna wycena	- tylko w przypadku zmian jakości środowiska lub życia w mieście.	Uważa się, że poszczególne osoby doskonale zdają sobie sprawę z jakości środowiska i życia w mieście. Rynek musi być klarowny. Należy przestrzegać wystarczających transakcji w celu oszacowania regresji hedonicznej i musi istnieć wystarczająca zmienność w zakresie jakości środowiska lub jakości miejskiej, aby zidentyfikować ich skutki. Trudno oddzielić wpływ tych zmiennych od innych czynników, które mogą mieć wpływ na ceny mieszkań.
Przekreślenie wydatków	- wpływ na zdrowie człowieka lub inne skutki (uszkodzenie materiałów), przed którymi ludzie mogą się chronić.	Możliwe, gdy jednostki mogą dokumentować działania i wydatki poniesione w celu zmniejszenia ryzyka. W niektórych przypadkach można podejmować działania, które zmniejszają ryzyko lub poziom zyrutowania (np. jeśli hałas drogowy wzrasta, gospodarstwa domowe mogą zdecydować się na izolację fasad lub alternatywnie zdecydować się na przeprowadzkę) ale nie jest łatwo określić wartość pieniężną tych działań, ponieważ nie uda się uchwycić kosztów dyskomfortu związanego z zachorowaniem.

Koszty choroby	- wpływ na zdrowie człowieka.	Stosunkowo łatwe do wykonania ale nie uchwyci wartości dyskomfortu związanego z zachorowaniem.
----------------	-------------------------------	--

źródło: opracowanie własne na podstawie [53]

Metody wyceny odnoszą się do następujących odmiennych podejść:

- Ujawnione podejście preferencji (RP) lub podejście pośrednie,
- Podane podejście preferencji (SP) lub bezpośrednie podejście.

W obu przypadkach ocena oddziaływań pod względem wartości pieniężnej opiera się na założeniu, że zmiany dobrobytu jednostek są interpretowane jako zmiany w użyteczności. Takie zmiany mogą być wyrażone jako gotowość do zapłacenia (WTP - ang. willingness to pay) lub chęć zaakceptowania (WTA - ang. willingness to accept). WTP jest maksymalną kwotą, jaką człowiek jest w stanie zapłacić, aby skorzystać z danego dobra (na przykład obniżenie poziomu hałasu), podczas gdy WTA to minimalna kwota, jaką osoba jest w stanie zaakceptować jako rekompensatę za zakłócenia hałasu.

Obie koncepcje, WTP i WTA, powinny być teoretycznie zbieżne, jednak znaczące różnice zostały podkreślone w wyniku dochodzeń empirycznych. W szczególności stwierdzono, że WTA była większa niż WTP, prawdopodobnie ze względu na różne wartości powszechnie przypisywane ekonomicznemu odszkodowaniu za dalsze zamieszkiwanie w hałaśliwym otoczeniu i chęć zapłaty za poprawę jakości życia. Korzyści wynikające ze zmian jakości środowiska, wyrażone przez WTP i WTA, są szacowane przy użyciu dwóch metod, z których uzyskuje się cenę (a nie rzeczywistą cenę rynkową).

Ujawnione podejście (RP) lub podejście pośrednie - podejście to opiera się na założeniu, że na cenę towarów i usług wpływa charakterystyka środowiska, na przykład hałas może obniżyć cenę rynkową domów położonych w obszarze zanieczyszczonym hałasem. Dlatego też chęć zapłaty lub akceptacji szacuje się porównując zachowanie konsumentów związane z obszarami rynkowymi o różnych cechach środowiskowych. Metoda cen hedonicznych należy do tego podejścia i może być wykorzystana do oceny kosztu hałasu pod względem cen wynajmu lub sprzedaży domów.

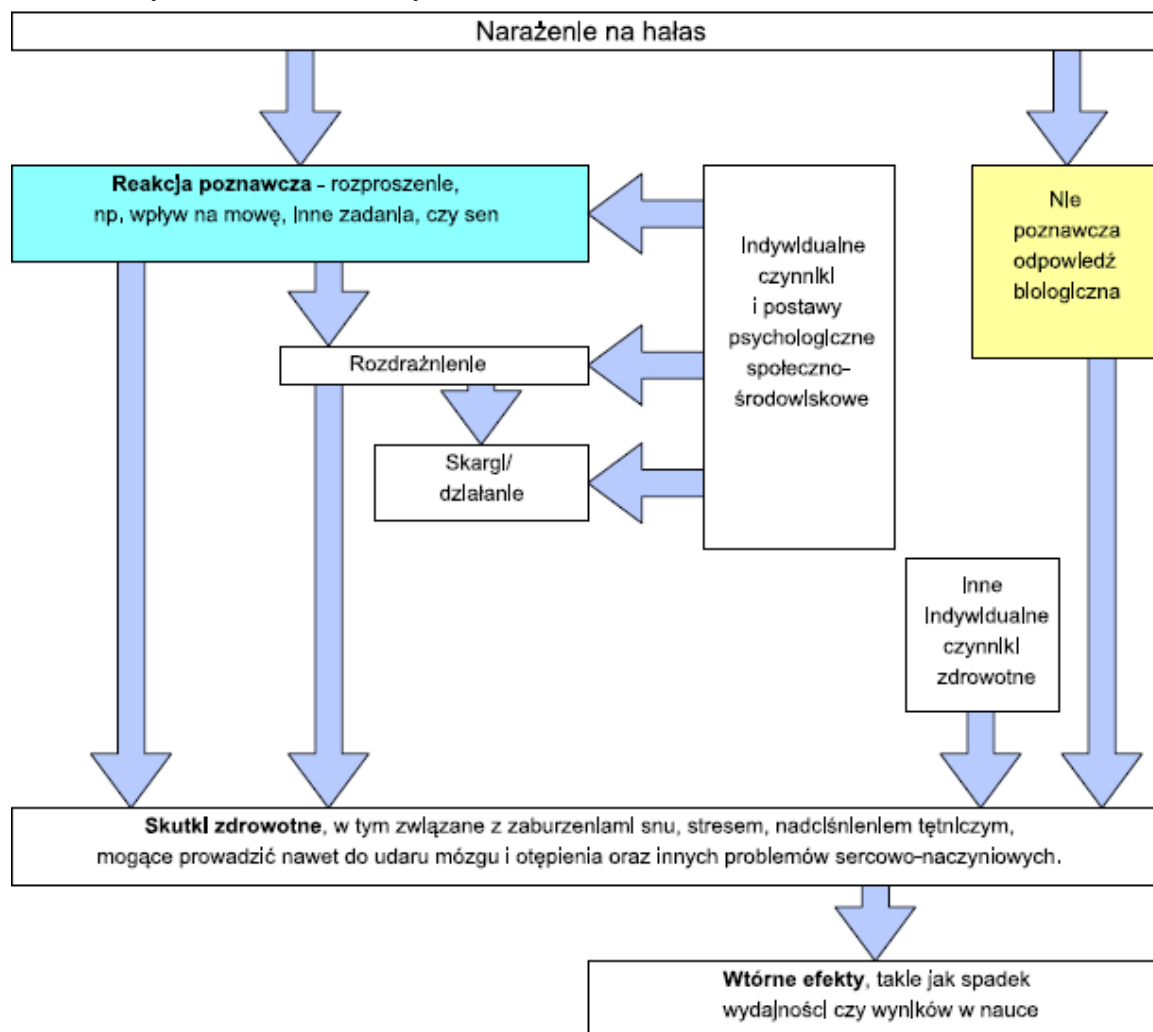
Podejście określonego podejścia (SP) lub bezpośrednie podejście - osoby wyrażają bezpośrednio chęć zapłaty za lepsze środowisko lub są w stanie zaakceptować status w ujęciu pieniężnym, preferencje są hipotetyczne. Do takiego dochodzenia zazwyczaj stosowany jest kwestionariusz. Metoda wyceny warunkowej należy do tej kategorii. Polega na pytaniu bezpośrednio zainteresowanych osób za pomocą kwestionariusza, jak bardzo będą chętni płacić, aby żyć w spokojniejszym otoczeniu. Dalszy rozwój podejścia bezpośredniego jest metodą wyboru eksperymentu, w której respondenci są zobowiązani do wyboru preferowanej alternatywy z zestawu możliwych wyborów.

### 9.3. Wycena wartości

Hałas jest określony jako niepożądany dźwięk i chociaż niektóre hałasy są nieuniknione, narażenie na hałas może mieć szkodliwy wpływ na zdrowie, wygodę oraz wydajność, a także na środowisko naturalne. Rys. 9.1ilustruje niektóre z kluczowych skutków oddziaływania hałasu na zdrowie oraz funkcjonowanie człowieka.

Literatura wyceny hałasu jest zdominowana przez badania Hedonic Price (HP) (większość z nich jest nieaktualna), które analizują rynek mieszkaniowy w celu zbadania, w jakim

stopniu różnice cen nieruchomości odzwierciedlają gotowość do płacenia osób (WTP) w celu obniżenia poziomu hałasu. Wynikające z tego wartości wydają się być problematyczne w odzwierciedleniu, zarówno teoretycznie, jak i w praktyce. Liczba badań nad preferencjami dotyczącymi hałasu w ruchu drogowym stale rośnie ale tylko kilka obecnych WTP w przeliczeniu na "euro za zirytowaną osobę rocznie" za różne poziomy złości (trochę zirytowane, zirytowane i bardzo zirytowane).

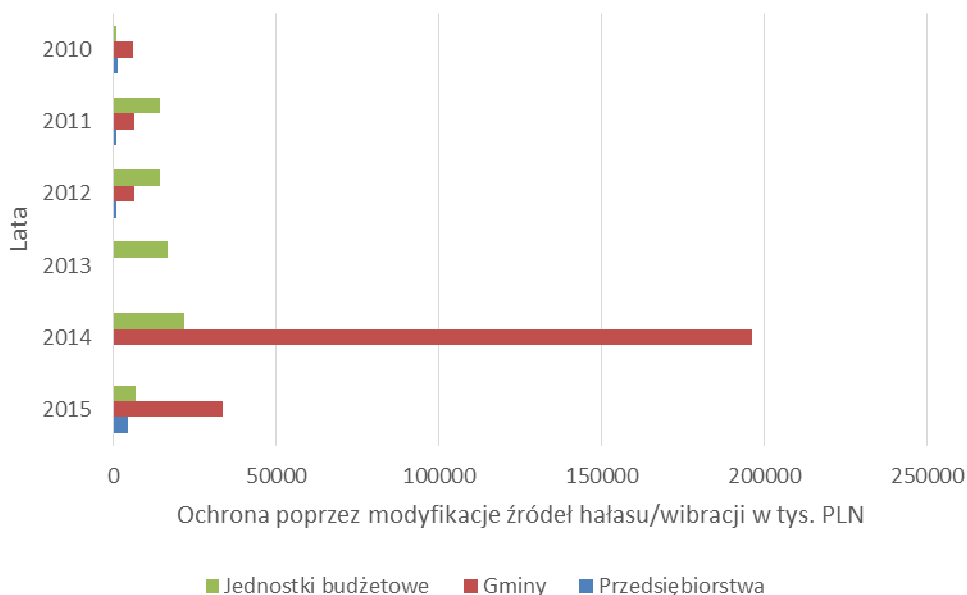


Rys. 9.1 Kluczowy wpływ hałasu na zdrowie i funkcjonowanie ludzi.

źródło: opracowanie własne na podstawie [53]

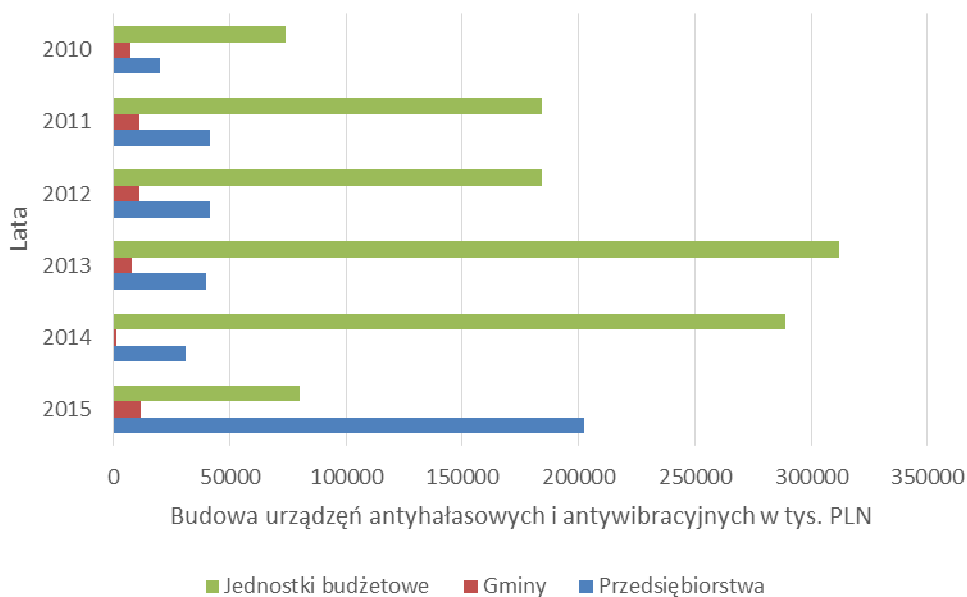
## 9.4. Nakłady na ochronę środowiska w aspekcie hałasu

Według raportów Głównego Urzędu Statystycznego pt. Transport drogowy w Polsce, dane z lat 2011 -2015 [54, 54, 55] w Polsce przeznaczają się środki finansowe na ochronę środowiska w zakresie budżetów centralnych i gminnych oraz coraz częściej po stronie przedsiębiorstw przemysłowych. Na Rys. 9.2 i Rys. 9.3 przedstawiono zestawienie nakładów na ochronę środowiska w zakresie ochrony przed hałasem i wibracjami. Rozpatrując okres lat 2010-2015 można stwierdzić, że nakłady na ochronę przed hałasem i wibracjami sukcesywnie rosną. Należy podkreślić, że wzrost ten ma bezpośredni związek z inwestycjami infrastrukturalnymi w latach 2010 - 2013 które równocześnie zwiększają liczbę punktów w których emitowany jest hałas. Analizując średnią wielkość nakładów finansowych w sektorze publicznym przeznaczanych na ochronę środowiska przed hałasem i drganiami w latach 2010-2015 można zauważyć, że nakłady na budowę urządzeń przeciwhałasowych są ponad trzy i pół (3,63) krotnie większe niż nakłady na walkę z hałasem u źródła poprzez jego modyfikację.



Rys. 9.2 Nakłady na środki trwałe w transporcie drogowym służące ochronie środowiska, działania ochronne poprzez modyfikację źródła hałasu/wibracji [54, 54, 55].

Projekt RID - I/76 Ochrona przed hałasem drogowym  
Zadanie 2. Ocena rozwiązań materiałowo-technologicznych górnych warstw asfaltowych i zalecenia w zakresie ich hałaśliwości

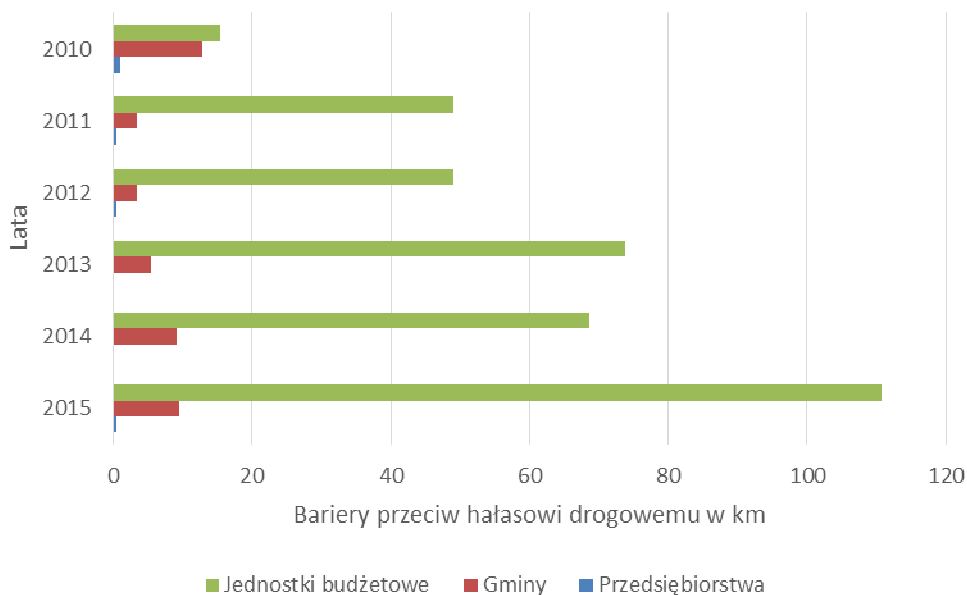


Rys. 9.3 Nakłady na środki trwałe w transporcie drogowym służące ochronie środowiska, działania poprzez budowę barier i urządzeń ochronnych [opracowanie na podstawie [54, 54, 55]].

Dane Głównego Urzędu Statystycznego pokazują ponadto efekty rzeczowe w kilometrach długości ekranu które zostały oddane do użytkowania w poszczególnych latach (

Rys. 9.4). Można zauważyć, że rokrocznie długość oddawanych do użytku barier przeciwhałasowych w przypadku gmin, w Polsce jest stała i wynosi średnio 7 km barier / rok. W przypadku Jednostek budżetowych (dotyczy głównie dróg krajowych, wojewódzkich i powiatowych) zauważalny jest sukcesywny wzrost długości ekranów w poszczególnych latach. Na przestrzeni lat 2010 - 2015 oddano do użytkowania średnio 61 km barier przeciwhałasowych, przy czym w roku 2010 było to 15,5 km a w roku 2015 długość nowych ekranów wyniosła 110,8 km. Średnie nakłady na budowę urządzeń przeciwhałasowych i antywibracyjnych (w miejscu ich zastosowania) w latach 2010-2014 w przeliczeniu na km w miejscu ich zastosowania wyniosły 4 000 000 PLN/km.





Rys. 9.4 Efekty rzeczowe oddanych do użytku inwestycji ochrony środowiska dotyczące zmniejszenia hałasu i wibracji na drogach [54, 54, 55].

## 9.5. Obliczanie kosztów wpływu nadmiernego hałasu na środowisko

W projektach transportowych będących przedmiotem dofinansowania z budżetu Unii Europejskiej wykonuje się na etapie studialnym analizy społeczno-ekonomiczne oddziaływania inwestycji. Głównym unijnym podręcznikiem opracowany na zlecenie Komisji Europejskiej. W Polsce na zlecenie Instytucji Zarządzającej, inicjatywa JASPERS przygotowała podręcznik przeznaczony dla projektów drogowych „Niebieska Księga, 2015” [56]. Dodatkowo Centrum Unijnych Projektów Transportowych (CUPT) wydało w 2016 roku podręcznik dotyczący analizy kosztów i korzyści tzw. „Vademecum beneficjenta” [57].

W nawiązaniu do unijnych wytycznych oraz krajowych dokumentów aplikacyjnych analizy społeczno-ekonomiczne wykonuje się z perspektywy dobrobytu społecznego, a nie samego beneficjenta. Biorąc pod uwagę oddziaływanie inwestycji transportowej z analizy wyłącza się przychody beneficjenta natomiast uwzględnia się jego oszczędności które wystąpią wskutek realizacji projektu. Metodyka [58] zakłada, że do analizy włączamy efekty które bezpośrednio wynikają z analizowanego przypadku bez powiązania z efektami rozproszonymi w całej gospodarce. Jednakże w obliczeniach uwzględniamy zgeneralizowane koszty transportu które daje się zmonetaryzować.

Według podręcznika [57] podstawowy katalog kosztów i korzyści w analizach ekonomicznych obejmuje:

- zgeneralizowane koszty transportu, w tym koszty eksploatacji pojazdów oraz koszty czasu;
- koszty wypadków;

- koszty społeczne emisji gazów cieplarnianych (w przeliczeniu na CO<sub>2</sub> oraz lokalne skutki zanieczyszczenia powietrza);
- koszty społeczne emisji hałasu (na terenach zurbanizowanych, w strefach oddziaływania).

Wpływ nadmiernego hałasu i związane z tym koszty analizuje się dwoma metodami [56]:

- Metoda 1: w odniesieniu do obszarów miejskich lub do obszarów o wysokiej gęstości zaludnienia osób potencjalnie narażonych na hałas
- Metoda 2: w odniesieniu do obszaru gdzie oddziaływanie uznaje się za istotne.

### 9.5.1. Metoda I

W metodzie pierwszej stosuje się tak zwane krańcowe koszty wpływu hałasu. Koszty te jednostkowo są silnie zależne od ruchu, lokalnych warunków tj. czy droga przebiega przez obszar miejski czy zamiejski oraz od pory dnia. Wskaźniki dotyczące krańcowych kosztów wpływu hałasu podane w Niebieskiej Księdze 2015 uwzględniają wartości na 2014 rok wg zaktualizowanej instrukcji europejskiej [59]. Są to wartości średnie z całej Unii Europejskiej i wg przyjętej metodyki uogólnia się je na wszystkie elementy sieci drogowej w Europie [56].

W zależności od przyjętej w całej analizie kosztów i korzyści formuły obliczeniowej wyrażone końcowo w PLN/poj-km, w obliczeniach należy stosować następujące wzory:

$$K_H = 365 \cdot L \cdot \sum_{j=1}^5 K_{h,j}(Z) \cdot SDR_j \quad (9.1)$$

lub

$$K_H = 365 \cdot \sum_{j=1}^5 K_{h,j}(Z) \cdot W_j^{km} \quad (9.2)$$

gdzie:

- $K_H$  - roczne koszty hałasu emitowanego przez pojazdy samochodowe, w PLN,
- $j$  - liczba kategorii pojazdów,
- $K_{h,j}(Z)$  - jednostkowe koszty hałasu wg kategorii pojazdów samochodowych  $j$ , w obszarze  $Z$  (miejski/zamiejski), w PLN/poj-km,
- $SDR_j$  - średnioroczne dobowe natężenie ruchu dla kategorii pojazdów  $j$ , w poj./dobę,
- $L$  - długość odcinka drogowego, w km,
- $W_j^{km}$  - praca przewozowa pojazdów kategorii  $j$  w zależności od długości odcinka drogi, w poj-km/dobę

Według inicjatywy JASPERS [56] oraz CUPT [57] jednostkowe koszty ekonomiczne hałasu na obszarze Polski [EUR/poj-km] według cen na 2010 rok przedstawiono w Tab. 9.2. Jak podaje CUPT dane pochodzą z kalkulatora "Update of the Handbook on External Costs of Transport" [59]. W obliczeniach można przyjmować średnią ważoną wartości kosztów pory dziennej i pory nocnej przyjmując kolejno wagi 85% (pora dnia) oraz 15% (pora nocna). W przypadku posiadania szczegółowych danych rozkładu natężenia hałasu podczas doby, należy takie dane wykorzystać przyjmując inne wagi pór dnia.

*Projekt RID - I/76 Ochrona przed hałasem drogowym*  
 Zadanie 2. Ocena rozwiązań materiałowo-technologicznych górnych warstw asfaltowych i zalecenia w zakresie ich hałaśliwości

Tab. 9.2 Jednostkowe koszty ekonomiczne hałasu [EUR/1000 poj-km] według cen na 2010, wg [56, 57, 59]

Pojazd	Pora dnia	Natężeni e ruchu	Teren miejski	Teren podmiejski	Teren zamiejski
Samochód osobowy	Dzień	Wysokie	5,51	0,31	0,06
		Niskie	13,40	0,86	0,12
	Noc	Wysokie	10,10	0,55	0,06
		Niskie	24,42	1,59	0,24
Motocykl	Dzień	Wysokie	11,08	0,67	0,06
		Niskie	26,81	1,71	0,24
	Noc	Wysokie	20,13	1,16	0,12
		Niskie	48,84	3,18	0,37
Autobus	Dzień	Wysokie	27,60	1,53	0,24
		Niskie	67,08	4,28	0,49
	Noc	Wysokie	50,37	2,82	0,43
		Niskie	122,09	7,96	0,92
Samochód dostawczy	Dzień	Wysokie	27,60	1,53	0,24
		Niskie	67,08	4,28	0,49
	Noc	Wysokie	50,37	2,82	0,43
		Niskie	122,09	7,96	0,92
Pojazd ciężarowy	Dzień	Wysokie	50,80	2,82	0,43
		Niskie	123,26	7,96	0,92
	Noc	Wysokie	92,66	5,20	0,80
		Niskie	224,60	14,50	1,65

Jednostkowe koszty podane w Tab. 9.2 należy poddać translacji walutowej wg średniego kursu rocznego EUR/PLN EBC który w 2010 r. wynosił 1 EUR = 3,9947 PLN. Dane przedstawione w Tab. 9.2 stanowią punkt wyjścia do translacji walutowej oraz indeksacji o inflację i indeksacji w czasie.

W Tab. 9.3 podano krańcowe koszty zewnętrzne hałasu w PLN na 1 poj-km w obszarze miejskim, w Tab. 9.4 w obszarze podmiejskim, a w Tab. 9.5 w obszarze zamiejskim. W Tab. 9.3, Tab. 9.4, Tab. 9.5 podano wartości poddane translacji walutowej, indeksacji o inflację w Polsce (wg HICP, Eurostat) oraz indeksacji o 0,865 dynamiki PKB per capita w Polsce (wg GUS).

*Projekt RID - I/76 Ochrona przed hałasem drogowym*  
**Zadanie 2. Ocena rozwiązań materiałowo-technologicznych górnych warstw asfaltowych i zalecenia w zakresie ich hałaśliwości**

Tab. 9.3 Krańcowe koszty zewnętrzne hałasu w PLN na 1 poj-km w obszarze miejskim, obszar Polski - PLN, indeksacja w czasie do 2045 r.

ROK	Samochód osobowy		Motocykl		Autobus		Samochód dostawczy		Pojazd ciężarowy	
	Dzień	Noc	Dzień	Noc	Dzień	Noc	Dzień	Noc	Dzień	Noc
2017	0,049034	0,089499	0,098227	0,178839	0,245487	0,447177	0,245487	0,447177	0,451303	0,822628
2018	0,050663	0,092472	0,101489	0,184779	0,253641	0,462031	0,253641	0,462031	0,466293	0,849953
2019	0,052308	0,095475	0,104786	0,190782	0,26188	0,477039	0,26188	0,477039	0,48144	0,877562
2020	0,05397	0,098508	0,108115	0,196842	0,270199	0,492193	0,270199	0,492193	0,496734	0,905439
2021	0,055647	0,101569	0,111474	0,202958	0,278595	0,507485	0,278595	0,507485	0,512168	0,933571
2022	0,057293	0,104574	0,114772	0,208963	0,286838	0,522501	0,286838	0,522501	0,527322	0,961195
2023	0,058904	0,107515	0,117999	0,214839	0,294903	0,537193	0,294903	0,537193	0,542149	0,988221
2024	0,060475	0,110381	0,121145	0,220566	0,302765	0,551514	0,302765	0,551514	0,556602	1,014566
2025	0,062047	0,113252	0,124296	0,226302	0,310639	0,565856	0,310639	0,565856	0,571077	1,04095
2026	0,06367	0,116214	0,127547	0,232221	0,318763	0,580656	0,318763	0,580656	0,586013	1,068176
2027	0,065345	0,119271	0,130902	0,23833	0,327148	0,59593	0,327148	0,59593	0,601428	1,096275
2028	0,067074	0,122426	0,134365	0,244635	0,335803	0,611695	0,335803	0,611695	0,617339	1,125276
2029	0,06875	0,125486	0,137723	0,250749	0,344196	0,626985	0,344196	0,626985	0,632769	1,153403
2030	0,070478	0,12864	0,141185	0,257052	0,352848	0,642745	0,352848	0,642745	0,648675	1,182395
2031	0,072261	0,131894	0,144756	0,263554	0,361773	0,659003	0,361773	0,659003	0,665083	1,212304
2032	0,074042	0,135144	0,148323	0,270049	0,370688	0,675242	0,370688	0,675242	0,681472	1,242176
2033	0,075876	0,138493	0,151998	0,27674	0,379873	0,691973	0,379873	0,691973	0,698358	1,272956
2034	0,077705	0,141831	0,155662	0,28341	0,389029	0,708651	0,389029	0,708651	0,715189	1,303636
2035	0,079524	0,145151	0,159305	0,290044	0,398135	0,725239	0,398135	0,725239	0,73193	1,334151
2036	0,08133	0,148448	0,162924	0,296632	0,407178	0,741711	0,407178	0,741711	0,748555	1,364454
2037	0,083185	0,151833	0,16664	0,303398	0,416465	0,758629	0,416465	0,758629	0,765628	1,395576
2038	0,08509	0,155309	0,170455	0,310343	0,425999	0,775996	0,425999	0,775996	0,783156	1,427524
2039	0,086975	0,158751	0,174232	0,31722	0,435439	0,793191	0,435439	0,793191	0,800509	1,459156
2040	0,088908	0,162279	0,178104	0,32427	0,445116	0,810818	0,445116	0,810818	0,818299	1,491583
2041	0,090817	0,165763	0,181927	0,331231	0,454672	0,828225	0,454672	0,828225	0,835867	1,523606
2042	0,092698	0,169196	0,185696	0,338093	0,46409	0,845381	0,46409	0,845381	0,853181	1,555166
2043	0,094547	0,172572	0,189401	0,344838	0,473349	0,862248	0,473349	0,862248	0,870204	1,586194
2044	0,096438	0,176022	0,193188	0,351733	0,482813	0,879488	0,482813	0,879488	0,887602	1,617908
2045	0,098292	0,179407	0,196902	0,358496	0,492097	0,896398	0,492097	0,896398	0,904669	1,649017

*Projekt RID - I/76 Ochrona przed hałasem drogowym*  
**Zadanie 2. Ocena rozwiązań materiałowo-technologicznych górnych warstw asfaltowych i zalecenia w zakresie ich hałaśliwości**

Tab. 9.4 Krańcowe koszty zewnętrzne hałasu w PLN na 1 poj-km w obszarze podmiejskim, obszar Polski - PLN, indeksacja w czasie do 2045 r.

ROK	Samochód osobowy		Motocykl		Autobus		Samochód dostawczy		Pojazd ciężarowy	
	Dzień	Noc	Dzień	Noc	Dzień	Noc	Dzień	Noc	Dzień	Noc
2017	0,003015	0,005554	0,006189	0,011267	0,015075	0,027929	0,015075	0,027929	0,027929	0,051097
2018	0,003115	0,005738	0,006394	0,011641	0,015576	0,028856	0,015576	0,028856	0,028856	0,052794
2019	0,003216	0,005925	0,006602	0,012019	0,016082	0,029794	0,016082	0,029794	0,029794	0,054509
2020	0,003319	0,006113	0,006812	0,012401	0,016593	0,03074	0,016593	0,03074	0,03074	0,056241
2021	0,003422	0,006303	0,007023	0,012786	0,017108	0,031695	0,017108	0,031695	0,031695	0,057988
2022	0,003523	0,00649	0,007231	0,013165	0,017614	0,032633	0,017614	0,032633	0,032633	0,059704
2023	0,003622	0,006672	0,007435	0,013535	0,01811	0,033551	0,01811	0,033551	0,033551	0,061383
2024	0,003719	0,00685	0,007633	0,013895	0,018593	0,034445	0,018593	0,034445	0,034445	0,063019
2025	0,003815	0,007028	0,007831	0,014257	0,019076	0,035341	0,019076	0,035341	0,035341	0,064658
2026	0,003915	0,007212	0,008036	0,01463	0,019575	0,036265	0,019575	0,036265	0,036265	0,066349
2027	0,004018	0,007402	0,008247	0,015015	0,02009	0,037219	0,02009	0,037219	0,037219	0,068094
2028	0,004124	0,007597	0,008466	0,015412	0,020621	0,038204	0,020621	0,038204	0,038204	0,069896
2029	0,004227	0,007787	0,008677	0,015797	0,021137	0,039159	0,021137	0,039159	0,039159	0,071643
2030	0,004334	0,007983	0,008895	0,016194	0,021668	0,040143	0,021668	0,040143	0,040143	0,073444
2031	0,004443	0,008185	0,00912	0,016604	0,022216	0,041158	0,022216	0,041158	0,041158	0,075301
2032	0,004553	0,008387	0,009345	0,017013	0,022764	0,042173	0,022764	0,042173	0,042173	0,077157
2033	0,004666	0,008594	0,009577	0,017434	0,023328	0,043218	0,023328	0,043218	0,043218	0,079069
2034	0,004778	0,008802	0,009807	0,017855	0,02389	0,044259	0,02389	0,044259	0,044259	0,080974
2035	0,00489	0,009008	0,010037	0,018273	0,024449	0,045295	0,024449	0,045295	0,045295	0,08287
2036	0,005001	0,009212	0,010265	0,018688	0,025004	0,046324	0,025004	0,046324	0,046324	0,084752
2037	0,005115	0,009422	0,010499	0,019114	0,025575	0,047381	0,025575	0,047381	0,047381	0,086685
2038	0,005232	0,009638	0,010739	0,019551	0,02616	0,048465	0,02616	0,048465	0,048465	0,08867
2039	0,005348	0,009852	0,010977	0,019985	0,02674	0,049539	0,02674	0,049539	0,049539	0,090634
2040	0,005467	0,01007	0,011221	0,020429	0,027334	0,05064	0,027334	0,05064	0,05064	0,092648
2041	0,005584	0,010287	0,011462	0,020867	0,027921	0,051727	0,027921	0,051727	0,051727	0,094638
2042	0,0057	0,0105	0,0117	0,0213	0,028499	0,052799	0,028499	0,052799	0,052799	0,096598
2043	0,005814	0,010709	0,011933	0,021724	0,029068	0,053852	0,029068	0,053852	0,053852	0,098525
2044	0,00593	0,010923	0,012172	0,022159	0,029649	0,054929	0,029649	0,054929	0,054929	0,100495
2045	0,006044	0,011133	0,012406	0,022585	0,030219	0,055985	0,030219	0,055985	0,055985	0,102427

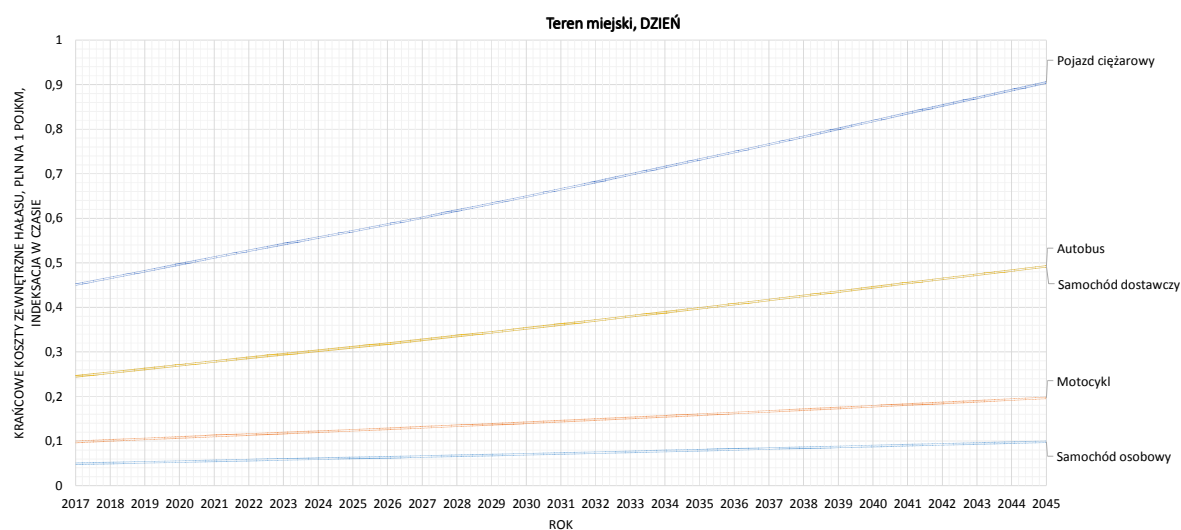
*Projekt RID - I/76 Ochrona przed hałasem drogowym*  
**Zadanie 2. Ocena rozwiązań materiałowo-technologicznych górnych warstw asfaltowych i zalecenia w zakresie ich hałaśliwości**

Tab. 9.5 Krańcowe koszty zewnętrzne hałasu w PLN na 1 poj-km w obszarze zamiejskim, obszar Polski - PLN, indeksacja w czasie do 2045 r.

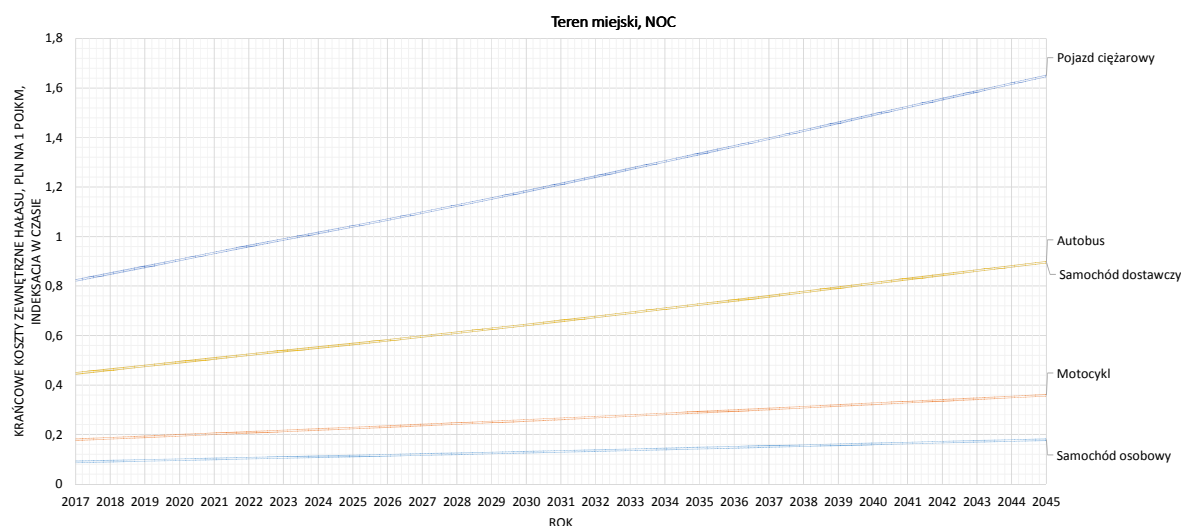
ROK	Samochód osobowy		Motocykl		Autobus		Samochód dostawczy		Pojazd ciężarowy	
	Dzień	Noc	Dzień	Noc	Dzień	Noc	Dzień	Noc	Dzień	Noc
2017	0,000476	0,000793	0,000793	0,001269	0,001904	0,003491	0,001904	0,003491	0,003491	0,006347
2018	0,000492	0,000820	0,000820	0,001312	0,001967	0,003607	0,001967	0,003607	0,003607	0,006558
2019	0,000508	0,000846	0,000846	0,001354	0,002031	0,003724	0,002031	0,003724	0,003724	0,006771
2020	0,000524	0,000873	0,000873	0,001397	0,002096	0,003843	0,002096	0,003843	0,003843	0,006986
2021	0,000540	0,000900	0,000900	0,001441	0,002161	0,003962	0,002161	0,003962	0,003962	0,007203
2022	0,000556	0,000927	0,000927	0,001483	0,002225	0,004079	0,002225	0,004079	0,004079	0,007417
2023	0,000572	0,000953	0,000953	0,001525	0,002288	0,004194	0,002288	0,004194	0,004194	0,007625
2024	0,000587	0,000979	0,000979	0,001566	0,002349	0,004306	0,002349	0,004306	0,004306	0,007828
2025	0,000602	0,001004	0,001004	0,001606	0,002410	0,004418	0,002410	0,004418	0,004418	0,008032
2026	0,000618	0,001030	0,001030	0,001648	0,002473	0,004533	0,002473	0,004533	0,004533	0,008242
2027	0,000634	0,001057	0,001057	0,001692	0,002538	0,004652	0,002538	0,004652	0,004652	0,008459
2028	0,000651	0,001085	0,001085	0,001737	0,002605	0,004775	0,002605	0,004775	0,004775	0,008683
2029	0,000667	0,001112	0,001112	0,001780	0,002670	0,004895	0,002670	0,004895	0,004895	0,008900
2030	0,000684	0,001140	0,001140	0,001825	0,002737	0,005018	0,002737	0,005018	0,005018	0,009123
2031	0,000702	0,001169	0,001169	0,001871	0,002806	0,005145	0,002806	0,005145	0,005145	0,009354
2032	0,000719	0,001198	0,001198	0,001917	0,002875	0,005272	0,002875	0,005272	0,005272	0,009585
2033	0,000737	0,001228	0,001228	0,001964	0,002947	0,005402	0,002947	0,005402	0,005402	0,009822
2034	0,000754	0,001257	0,001257	0,002012	0,003018	0,005532	0,003018	0,005532	0,005532	0,010059
2035	0,000772	0,001287	0,001287	0,002059	0,003088	0,005662	0,003088	0,005662	0,005662	0,010294
2036	0,000790	0,001316	0,001316	0,002106	0,003158	0,005791	0,003158	0,005791	0,005791	0,010528
2037	0,000808	0,001346	0,001346	0,002154	0,003230	0,005923	0,003230	0,005923	0,005923	0,010768
2038	0,000826	0,001377	0,001377	0,002203	0,003304	0,006058	0,003304	0,006058	0,006058	0,011015
2039	0,000844	0,001407	0,001407	0,002252	0,003378	0,006192	0,003378	0,006192	0,006192	0,011259
2040	0,000863	0,001439	0,001439	0,002302	0,003453	0,006330	0,003453	0,006330	0,006330	0,011509
2041	0,000882	0,001470	0,001470	0,002351	0,003527	0,006466	0,003527	0,006466	0,006466	0,011756
2042	0,000900	0,001500	0,001500	0,002400	0,003600	0,006600	0,003600	0,006600	0,006600	0,012000
2043	0,000918	0,001530	0,001530	0,002448	0,003672	0,006732	0,003672	0,006732	0,006732	0,012239
2044	0,000936	0,001560	0,001560	0,002497	0,003745	0,006866	0,003745	0,006866	0,006866	0,012484
2045	0,000954	0,001590	0,001590	0,002545	0,003817	0,006998	0,003817	0,006998	0,006998	0,012724

Na wykresach Rys. 9.5 - Rys. 9.10 przedstawiono dynamikę zmian krańcowych kosztów zewnętrznych hałasu w PLN na 1 poj-km. Koszty przedstawione na wykresach Rys. 9.5 - Rys. 9.10 są wartościami poddanyymi translacji walutowej, indeksacji o inflację w Polsce (wg HICP, Eurostat) oraz indeksacji o 0,865 dynamiki PKB per capita w Polsce (wg GUS).

Projekt RID - I/76 Ochrona przed hałasem drogowym  
Zadanie 2. Ocena rozwiązań materiałowo-technologicznych górnych warstw asfaltowych i zalecenia w zakresie ich hałaśliwości

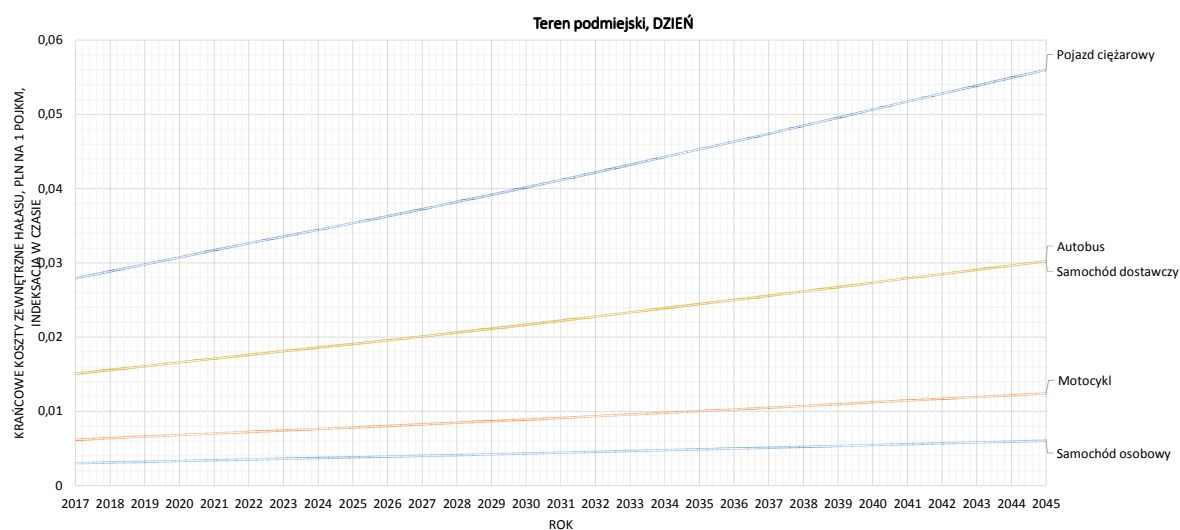


Rys. 9.5 Dynamika zmian krańcowych kosztów zewnętrznych hałasu w PLN na 1 poj-km w obszarze miejskim w porze dziennej.

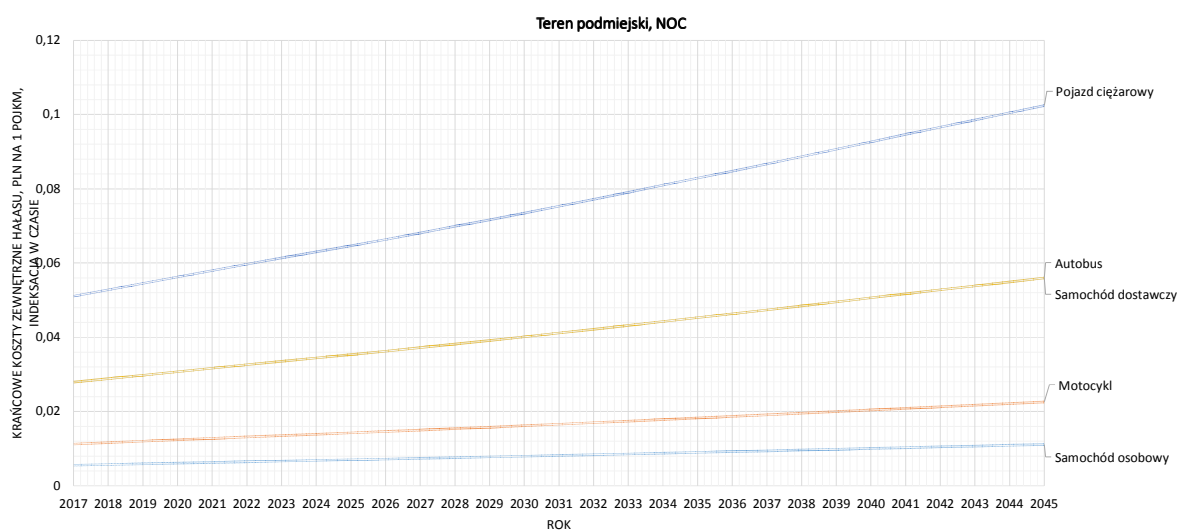


Rys. 9.6 Dynamika zmian krańcowych kosztów zewnętrznych hałasu w PLN na 1 poj-km w obszarze miejskim w porze nocnej.

Projekt RID - I/76 Ochrona przed hałasem drogowym  
Zadanie 2. Ocena rozwiązań materiałowo-technologicznych górnych warstw asfaltowych i zalecenia w zakresie ich hałaśliwości



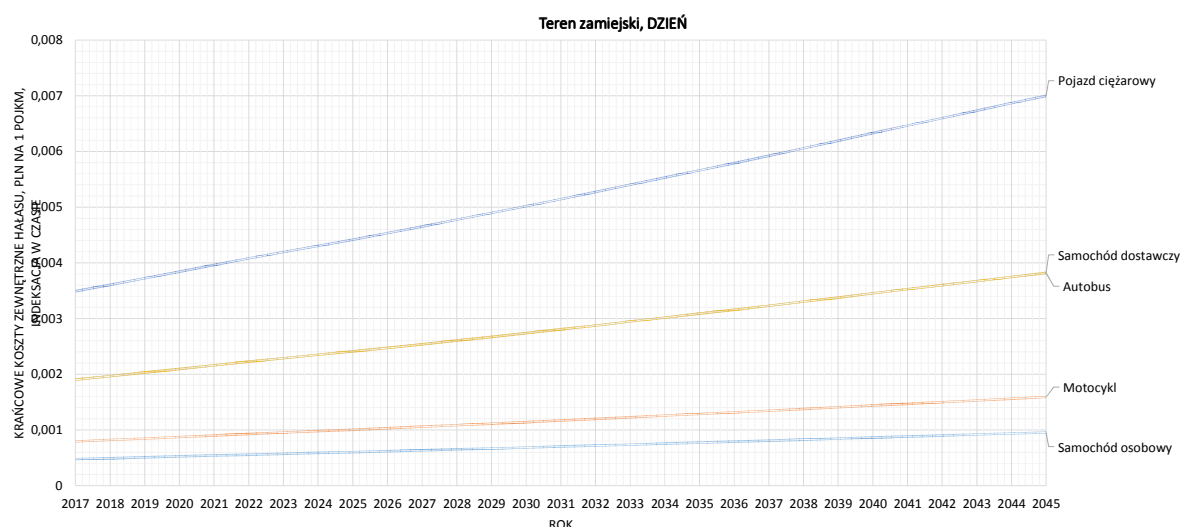
Rys. 9.7 Dynamika zmian krańcowych kosztów zewnętrznych hałasu w PLN na 1 poj-km w obszarze podmiejskim w porze dziennej.



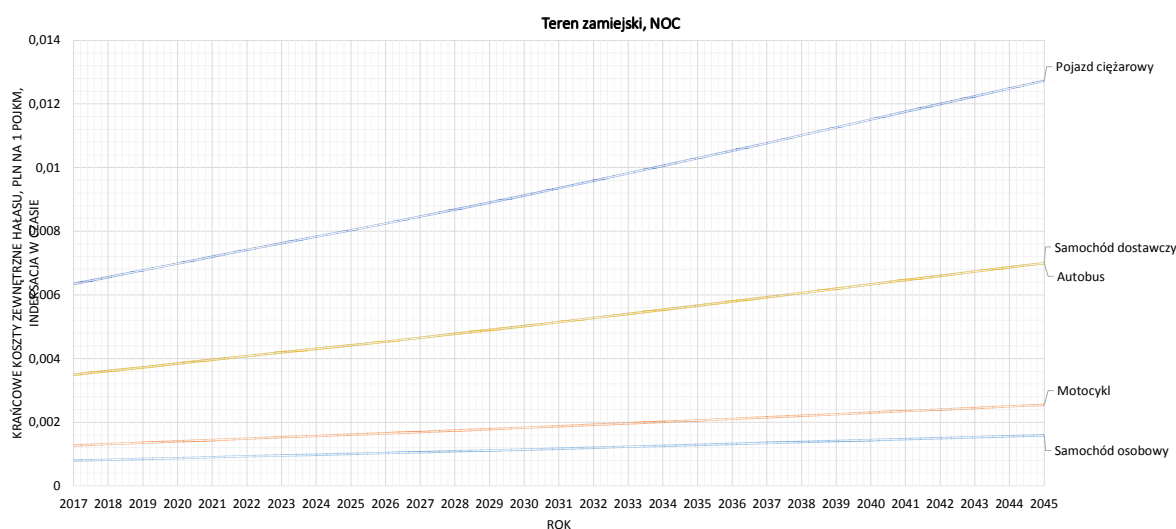
Rys. 9.8 Dynamika zmian krańcowych kosztów zewnętrznych hałasu w PLN na 1 poj-km w obszarze podmiejskim w porze nocnej.



*Projekt RID - I/76 Ochrona przed hałasem drogowym*  
Zadanie 2. Ocena rozwiązań materiałowo-technologicznych górnych warstw asfaltowych i zalecenia w zakresie ich hałaśliwości



Rys. 9.9 Dynamika zmian krańcowych kosztów zewnętrznych hałasu w PLN na 1 poj-km w obszarze zamiejskim w porze dziennej.



Rys. 9.10 Dynamika zmian krańcowych kosztów zewnętrznych hałasu w PLN na 1 poj-km w obszarze zamiejskim w porze nocnej.

## 9.5.2. Metoda II

W drugiej metodzie stosuje się tak zwane średnie koszty hałasu. Metoda zakłada dwuetapowość obliczeń kosztów.

W pierwszym etapie szacuje się liczbę osób narażonych na hałas ponadnormatywny z rozbiciu na poszczególne grupy pojazdów. Zaleca się wykorzystanie do tego celu map hałasu opracowanych dla wariantu bezinwestycyjnego (stan zero) oraz wariantu (-ów) inwestycyjnych. Obliczenia w oparciu o mapy akustyczne przeprowadza się wg prognozy pierwszego roku po oddaniu projektu do użytkowania. W wariantach bezinwestycyjnych (stan zero) należy uwzględnić przewidywane zmiany demograficzne oraz dostępne prognozy lub mapy przyszłych oddziaływań hałasu. Liczbę osób narażonych na oddziaływanie hałasu szacuje się w odniesieniu do zasięgu izofon w przedziałach 55-59 dB(A), 60-64 dB(A), 65-69 dB(A), 70-74 dB(A) oraz powyżej 75 dB(A), przy czym na obszarach poniżej 55 dB(A)

zakłada się brak negatywnych efektów i zerowe koszty skutków hałasu. Następnie w odniesieniu do liczby osób będących w zasięgu negatywnego oddziaływania przekroczeń hałasu ustala się liczbę osób faktycznie zagrożonych hałasem przyjmując odsetek osób dorosłych narażonych na dokuczliwość hałasu w odniesieniu do osób narażonych (Tab. 9.6).

W drugim etapie obliczeń całkowitych kosztów oddziaływania hałasu przemnaża się ustaloną, w etapie pierwszym, liczbę osób narażonych na hałas (wynikający z przekroczeń) przez odpowiadające poszczególnym przedziałom hałasu koszty jednostkowe przedstawione w

Tab. 9.7

Jednostkowe koszty podane w

Tab. 9.7 w należy poddać translacji walutowej wg średniego kursu rocznego EUR/PLN EBC który w 2008 r. wynosił 1 EUR = 3,5121 PLN. Dane przedstawione w

Tab. 9.7 stanowią punkt wyjścia do translacji walutowej oraz indeksacji o inflację i indeksacji w czasie.

Tab. 9.6 Wskaźnik negatywnego wpływu hałasu jako odsetek osób dorosłych narażonych na dokuczliwość hałasu w odniesieniu do osób narażonych na nadmierny hałas [56]

$L(A)_{eq}$	Odsetek osób narażonych na dokuczliwość hałasu (%)
55-57	5,6
58-60	7,5
61-63	9,9
64-66	13,0
67-69	16,8
70-72	21,5
73-75	27,3
76-78	34,2
78-81	42,4

Tab. 9.7 Jednostkowe koszty hałasu według cen na 2008 r. z podziałem na poziomy w dB (A), wg CUPT [57]

Poziom hałasu w dB (A)	Jednostkowe koszty hałasu (EUR/osobę/rok)	Jednostkowe koszty hałasu (PLN/osobę/rok)
55-59	38	133
60-64	65	228
65-69	92	323
70-74	143	502
75-79	190	667

W Tab. 9.8 podano koszt średni na osobę na którą hałas oddziałuje znacząco. W Tab. 9.8 podano wartości poddane translacji walutowej, indeksacji o inflację w Polsce (wg HICP, Eurostat) oraz indeksacji o 0,865 dynamiki PKB per capita w Polsce (wg GUS).

Tab. 9.8 Koszt średni na osobę, na którą hałas oddziałuje znacząco, obszar Polski - PLN, indeksacja w czasie do 2045 r.

*Projekt RID - I/76 Ochrona przed hałasem drogowym*  
**Zadanie 2. Ocena rozwiązań materiałowo-technologicznych górnych warstw asfaltowych i zalecenia w zakresie ich hałaśliwości**

przedział dB(A) rok	55-59	60-64	65-69	70-74	75-79
2017	194,19	332,16	470,13	730,75	970,93
2018	200,64	343,19	485,75	755,03	1003,18
2019	207,15	354,34	501,53	779,55	1035,77
2020	213,73	365,60	517,46	804,32	1068,67
2021	220,37	376,96	533,54	829,31	1101,87
2022	226,90	388,11	549,33	853,84	1134,48
2023	233,28	399,02	564,77	877,85	1166,38
2024	239,49	409,66	579,83	901,25	1197,47
2025	245,72	420,31	594,91	924,69	1228,61
2026	252,15	431,31	610,47	948,88	1260,75
2027	258,78	442,65	626,52	973,84	1293,91
2028	265,63	454,36	643,10	999,60	1328,14
2029	272,27	465,72	659,17	1024,59	1361,34
2030	279,11	477,43	675,74	1050,34	1395,56
2031	286,17	489,50	692,84	1076,91	1430,86
2032	293,22	501,57	709,91	1103,44	1466,11
2033	300,49	513,99	727,50	1130,79	1502,44
2034	307,73	526,38	745,03	1158,04	1538,65
2035	314,93	538,70	762,47	1185,15	1574,67
2036	322,09	550,94	779,79	1212,07	1610,44
2037	329,43	563,51	797,58	1239,71	1647,17
2038	336,98	576,41	815,84	1268,09	1684,88
2039	344,44	589,18	833,91	1296,19	1722,21
2040	352,10	602,27	852,45	1325,00	1760,48
2041	359,66	615,20	870,75	1353,44	1798,28
2042	367,11	627,94	888,78	1381,48	1835,53
2043	374,43	640,47	906,52	1409,04	1872,15
2044	381,92	653,28	924,64	1437,21	1909,58
2045	389,26	665,84	942,42	1464,85	1946,30

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

W rozdziale 9 przedstawiono założenia oraz metodologie związane z całościową analizą i ekonomiczną oceną skutków hałasu drogowego. Wynikiem realizacji zadania 2 są wytyczne dotyczące wymagań technicznych w zakresie rozwiązań materiałowo-technologicznych nawierzchni redukujących hałas drogowy oraz wymagań technicznych w zakresie eksploatacji nawierzchni drogowy w celu utrzymania poziomu hałaśliwości.

W celu przeprowadzenia kalkulacji efektów ekonomicznych z tytułu przewidywanego zastosowania wytycznych dotyczących wymagań technicznych w zakresie rozwiązań materiałowo-technologicznych oraz eksploatacji nawierzchni redukujących hałas drogowy, stwierdzić należy, że obecnie stosowane rozwiązania to przede wszystkim ekrany akustyczne. W zakresie analiz ekonomicznych zauważyć można, że:

- stosowanie w warstwach ścieralnych mieszanek mineralno-asfaltowych typu BBTM wg koncepcji opracowanej na PW nie wiąże się z kosztami wykonania znacząco wyższymi w stosunku do mma typu SMA,
- stosowanie w warstwach ścieralnych mieszanek mineralno-asfaltowych typu PA wiąże się z kosztami wykonania wyższymi w stosunku do mma typu SMA o około 10-15%,
- wybór właściwej lokalizacji odcinków z BBTM i PA oraz stosowanie odpowiednich zabiegów utrzymaniowych zapewnia ich długą eksploatację, dłuższą w stosunku do obecnie proponowanych BBTM zgodnie z obowiązującymi wymaganiami technicznymi GDDKiA WT-2,
- okresowe wymiany warstwy ścieralnej z BBTM i PA nie wiążą się z długotrwałym wyłączeniem odcinków drogowych z eksploatacji.

Właściwe wykonywanie i stosowanie w Polsce nawierzchni z warstwami ścieralnymi z BBTM oraz PA może spowodować ograniczenie kosztów budowy ekranów poprzez zmniejszenie ich długości oraz wysokości. Porównując wprowadzenie wspomnianych w poprzednim zdaniu rozwiązań w zakresie PA i BBTM wg wytycznych będących rezultatem realizacji zadania 2 w stosunku do stosowania takich rozwiązań bez przyjmowania tych wytycznych przewidywać można poprawę jakości i trwałości wykonania nawierzchni. Typizacja rozwiązań łączy się 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, sprzętu oraz gwarancji bankowych.

Zespół realizujący zadanie 2 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.

## **11. PODSUMOWANIE**

W zadaniu przeprowadzono analizy w zakresie oceny rozwiązań materiałowo-technologicznych mieszanek mineralno-asfaltowych w aspekcie redukcji hałasu drogowego. Przeprowadzono studia literaturowe, dokonano analizy doświadczeń krajowych w tym zakresie (zarządcy dróg oraz wykonawcy) oraz wykonano badania insitu oraz laboratoryjne. Przeprowadzono analizy ekonomiczne. Dokonano analiz porównawczych stosowanych rozwiązań materiałowo-technologicznych górnych warstw nawierzchni drogowych pod względem trwałości i możliwości aplikacyjnych w warunkach polskiego klimatu w aspekcie hałasu drogowego. Szczegółowe wnioski przedstawiono jako podsumowanie każdego z rozdziałów niniejszego raportu.

Na podstawie przeprowadzonych badań i analiz sformułowano szczegółowe wytyczne w zakresie projektowania i wykonywania nawierzchni redukujących hałas drogowy oraz w zakresie eksploatacji nawierzchni w celu utrzymania właściwości akustycznych. Stwierdzono, że asfaltowe nawierzchnie o obniżonej hałaśliwości (BBTM) oraz nawierzchni ciche (PA), przy właściwym zaprojektowaniu mieszanki mineralno-asfaltowej oraz wbudowaniu we właściwych lokalizacjach stanowią skuteczną rozwiązanie obniżające hałas drogowy. W celu zapewnienia trwałości właściwości redukujących konieczne jest prawidłowe prowadzenie prac utrzymaniowych nawierzchni drogowej.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Sandberg U., Ejsmont J.A.: Tire/Road Noise Reference Book , INFORMEX Ejsmont & Sandberg Handelsbolag, Printed by MODENA, Gdynia, Poland, 2002.
- [2] Rasmussen R.O., Bernhard R.J., Sandberg U., Mun E.P.: The Little Book of Quieter Pavements, FHWA, The Transtec Group., Washington, D.C., 2007.
- [3] Bendtsen H., Lu Q., Kohler E.: Acoustic aging of asphalt pavements, A Californian / Danish comparison, Report 171, Danish Road Institute, www.vejdirektoratet.dk, 2009.
- [4] Männel M., Altreuther B.: Ageing of low noise road surfaces, Proc. of Inter-Noise 2016, Hamburg, Germany, 2016.
- [5] International Organization for Standardization (ISO): Characterization of pavement texture by use of surface profiles - Part 2: Terminology and basic requirements related to pavement texture profile analysis, ISO 13473-2, Geneva, Switzerland, 2002.
- [6] Questions and Answers About Quieter Pavements, brochure produced and published under Transportation Pooled Fund project number TPF-5 (135), "Tire-Pavement Noise Research Consortium", Washington State Department of Transportation, USA, 2011.
- [7] Engel Z.: Ochrona środowiska przed drganiami i hałasem, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2001.
- [8] Kucharski R.: Hałas drogowy, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1979.
- [9] Woźniak M., Dąbrowski W., Olszacki J.: Bezpieczniej i ciszej dzięki nawierzchniom drogowym cz.2. Magazyn Autostrady 5/2007 s. 108-109.
- [10] Piłat J., Radziszewski P., Król J., „Technologia materiałów i nawierzchni asfaltowych”, Wydanie I, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2015, ISBN: 978-83-7814-444-1..
- [11] Radziszewski P., Sarnowski M., Król J., Kowalski K. J., Ruttmar I., Zborowski A.: Właściwości asfaltów modyfikowanych gumą i mieszanek mineralno-gumowo-asfaltowych. WKŁ Warszawa 2017.
- [12] Bendtsen H., Gspan K., „Technical Report 2017-01 State of the art. In managing road traffic noise: noise-reducing pavements”, Conference of European Directors of Roads, January, 2017, ISBN: 979-10-93321-27-1..
- [13] Pratico F. G., Swanlund M., George L. A., Anfosso F., Tremblay G., Tellez R., Kamiya K., Cerro J., „Quiet pavement technologies”, World Road Association (PIARC), France, 2013, ISBN: 979-10-93321-27-1..
- [14] Wysokowski A., Kurpiel A., „Ciche i bezpieczne. Nawierzchnie bitumiczne z asfaltu modyfikowanego gumą”, Drogi Gminne i Powiatowe, marzec-kwiecień 2015, ISSN: 2084-5197..
- [15] Projekt badawczy 8T07E01020 wykonany przez pracowników Akademii Techniczno - Rolniczej w Bydgoszczy oraz pracowników Politechniki Warszawskiej i Politechniki Lubelskiej w latach 2001-2004 w Komitecie Badań Naukowych.
- [16] projekt badawczy NCN nr N5506212440 zrealizowany przez pracowników Akademii Górniczo - Hutniczej w Krakowie w latach 2011-2012 przy współpracy pracowników Politechniki Lubelskiej i Uniwersytetu Technologiczno - Przyrodniczego.
- [17] Tokarski Z.: Nowoczesna technologia układania mieszanki mineralno-asfaltowej porowatej nawierzchni autostrady A2 w Holandii, Konferencja naukowa KILiWPAN Krynica 2008.
- [18] Jendryczka M., Pietrzak K., Tokarski Z.: Zastosowanie innowacyjnej technologii

- asfaltowych warstw kompaktowych na przykładzie odnowy nawierzchni autostrady, VI Międzynarodowa Konferencja Organizacja Przedsięwzięć Budownictwa Drogowego, Bydgoszcz, czerwiec.
- [19] Tokarski Z.: Recykling w budownictwie drogowym, WFOŚiGW, Bydgoszcz 2005.
- [20] Pietrzak G., Pietrzak K.: Analiza wydajności zestawów maszyn przy złożonej strukturze logistycznej procesu układania asfaltu porowatego, V Międzynarodowa Konferencja Organizacja Przedsięwzięć Budownictwa Drogowego, Bydgoszcz, czerwiec 2009.
- [21] Sobotka A.: Logistyka przedsiębiorstw i przedsięwzięć budowlanych, wydawnictwa AGH 2010.
- [22] Tokarski Z., Pietrzak K.: Assessment of the effectiveness of noise damping by porous pavements at specific operating conditions, [w]: International Scientific and Technical Conference, Beldornii, Mińsk 2016.
- [23] Tokarski Z., Dworzańczyk D.: Nowoczesna technologia układania mieszanki mineralno-asfaltowej porowatej nawierzchni autostrady A73 w Holandii, , Prace Naukowe Instytutu Budownictwa Politechniki Wrocławskiej pt. Technologia i zarządzanie w budownictwa,, Wrocław 2008.
- [24] Reken- en meetvoorschrift geluid 2012 (RMG2012).
- [25] Tokarski Z., Grucka A., Pietrzak K.: Analysis of measurement of noise levels for porous asphalt road surfaces in certain operating conditions, Materiały Budowlane nr 7 '2014 (nr503), ISSN 0137-2971.
- [26] Biernacki J.: Sztuczne sieci neuronowe w inżynierii przedsięwzięć budowlanych, praca zbiorowa pod redakcją Olega Kaplińskiego, Polska Akademia Nauk , Warszawa 2007..
- [27] Grucki K.: Zastosowanie sieci neuronowych do analizy natężenia hałasu komunikacyjnego na autostradzie, monografia pod redakcją Zbigniewa Tokarskiego, Aktualna Problematyka Badawcza, Bydgoszcz 2013.
- [28] International Organization for Standardization (ISO): Acoustics - Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise - Part 1: Statistical Pass-by method, ISO 11819-1, Geneva, Switzerland, 1997.
- [29] International Organization for Standardization (ISO): Acoustics - Method for measuring the influence of road surfaces on traffic noise - Part 2: The close proximity method, ISO/FDIS 11819-2:2016, Geneva, Switzerland, 2016.
- [30] American Association of State Highway and Transportation Officials: Standard Method of Test for Measurement of Tire/Pavement Noise Using the On-Board Sound Intensity (OBSI) Method, AASHTO T 360-16, Washington, D.C., USA, 2016.
- [31] ROSANNE - Rolling resistance, Skid resistance, AND Noise Emission measurement standards for road surfaces, Project under the 7th Framework Program (FP7/2008-2013) grant agreement No 605368 (2013), website: <http://www.rosanne-project.eu/>.
- [32] International Organization for Standardization (ISO): Acoustics - Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise - Part 3: Reference tyres, ISO/DTS 11819-3, Geneva, Switzerland, 2016.
- [33] Sandberg U., Mioduszewski P.: The best porous asphalt pavement in Sweden so far, Proc. of Inter-Noise 2014, Melbourne, Australia, 2014.
- [34] Sandberg U.: Asphalt rubber pavements in Sweden - Noise and rolling resistance properties. Proc. Inter-Noise 2010 Lisbon, Portugal, 2010.
- [35] Mioduszewski P.: Low noise pavements in Poland, Proc. of Inter-Noise 2012, New York, NY, USA, 2012.
- [36] Słowik M., Mizgalska A., Nawierzchnie przyjazne środowisku człowieka. Przykłady

- zastosowań na drogach w Wielkopolsce, Magazyn Autostrady, 11, 2010, 32-38.
- [37] Ciche nawierzchnie asfaltowe. Doświadczenia polskie, XXIV Seminarium Techniczne PSWNA, 23-25.03.2011.
- [38] Merska O., Monitoring właściwości akustycznych mieszanki Viaphone na przykładzie doświadczeń z Polski i Czech, XXXIV Seminarium PSWNA, 27-29.04.2016.
- [39] Merska O., Viaphone. Pomiar głośności nawierzchni, 21.02.2012.
- [40] Merska O., Mieczkowski P., Żymełka D., Low-noise thin surface course - evaluation of the effectiveness of noise reduction, Transportation Research Procedia 14 (2016) 2688 - 2697.
- [41] Pomiary i obliczenia akustyczne dla trzech odcinków testowych zlokalizowanych w ciągu drogi wojewódzkiej nr 780, na których zastosowano cichą nawierzchnię, Biernacki S. i inni, Ekkom, 04.2011.
- [42] Pomiary i obliczenia akustyczne dla trzech odcinków testowych zlokalizowanych w ciągu drogi wojewódzkiej nr 780, na których zastosowano cichą nawierzchnię, Bohatkiewicz J. i inni, Ekkom, 09.2012.
- [43] Sprawozdanie z badań hałasu nawierzchni drogowych przeprowadzonych w dniach 19-20.10.2010 roku na drodze wojewódzkiej nr 780 (odc. Kraków - Chełmek), Mioduszewski P., Politechnika Gdańska, 11.2010.
- [44] Sprawozdanie z badań hałasu nawierzchni drogowych przeprowadzonych w dniach 05.09.2012 roku na drodze wojewódzkiej nr 780 (odc. Kraków - Chełmek), Mioduszewski P., Politechnika Gdańska, 11.2012.
- [45] 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.
- [46] 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. DOI: 10.1016/j.trpro.2016.05.453.
- [47] 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.
- [48] Kowalski K., Król J., Radziszewski P., Otkąło K., „Projektowanie i badania mieszanek mineralno - asfaltowych o strukturze porowatej/Design and Testing of porous asphalt mixtures”, Drogownictwo, vol. 68, no. 5, Warsaw, Poland, 2013, pp. 156-158.
- [49] 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.
- [50] Wyznaczenie parametrów krzywej wiodącej zespolonego modułu sztywności dynamicznej w szerokim zakresie temperaturowym wg AASHTO TP62..
- [51] Tex-248-F - Texas Overlay Test. [3] Transportation Research Board: HCM2010 Highway Capacity Manual, 5th Editio, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, 2010..
- [52] STRATEGIA ROZWOJU TRANSPORTU DO 2020 ROKU (z perspektywą do 2030 roku), Ministerstwo Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej, Warszawa, dnia 22 stycznia 2013 r..



- [53] Fryd J., Axelsson H., Lökk V., Bellucci P., Izquierdo López R. M., Dahlbom L., „Technical Report 2017-03 State of the art. in managing road traffic noise: cost-benefit analysis and cost-effectiveness analysis”, Conference of European Directors of Roads, January, 2017, 979-10-93321-28-8..
- [54] Transport drogowy w Polsce w latach 2012 i 2013. Główny Urząd Statystyczny, Warszawa 2015.
- [55] Transport drogowy w Polsce w latach 2014 i 2015. Główny Urząd Statystyczny, Warszawa 2017.
- [56] Niebieska Księga, Infrastruktura drogowa, Nowe wydanie, Jaspers, Lipiec 2015.
- [57] Analiza kosztów i korzyści projektów transportowych współfinansowanych ze środków Unii Europejskiej. VADEMECUM BENEFICJENTA. CUPT, Warszawa 2016 r..
- [58] Guide to Cost-Benefit Analysis of Investment Projects. Economic appraisal tool for Cohesion Policy 2014-2020. EUROPEAN COMMISSION, Directorate-General for Regional and Urban policy. Brussels, Belgium 2015.
- [59] Update of the Handbook on External Costs of Transport. Final Report. Ricardo-AEA, United Kingdom 2014.
- [60] International Organization for Standardization (ISO): Acoustics - Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise - Part 1: Statistical Pass-by method, ISO 11819-1, Geneva, Switzerland, 1997.
- [61] International Organization for Standardization (ISO): Acoustics - Method for measuring the influence of road surfaces on traffic noise - Part 2: The close proximity method, ISO/FDIS 11819-2:2016, Geneva, Switzerland, 2016.
- [62] Instrukcja o sposobie przeprowadzania generalnego pomiaru ruchu w roku 2015 GDDKiA, 2014.
- [63] Anderson K., Sexton T., Uhlmeier J., Russell M., Weston J., Concrete Pavement Noise, WA-RD 814.1, WSDOT Research Report, July, 2013.
- [64] Bohatkiewicz J., Wytyczne wykonywania pomiarów hałasu przy drogach krajowych prowadzonych w trakcie generalnego pomiaru ruchu, GDDKiA, 2005.
- [65] AASHTO, Measurement of Tire/Pavement Noise using the On-Board Sound 3 Intensity (OBSI) Method, TP 76-09, 2009.
- [66] American Concrete Pavement Association, Concrete Paving Technology: Constructing Smooth Concrete Pavements, Report RB006P, 2003.
- [67] Transport drogowy w Polsce w latach 2010 i 2011. Główny Urząd Statystyczny, Warszawa 2013.

# **ZAŁĄCZNIK 1. WYMAGANIA TECHNICZNE W ZAKRESIE ROZWIĄZAŃ MATERIAŁOWO- TECHNOLOGICZNYCH NAWIERZCHNI REDUKUJĄCYCH HAŁAS DROGOWY**

Dokument dołączony w osobnym pliku

## **ZAŁĄCZNIK 2. WYMAGANIA TECHNICZNE W ZAKRESIE EKSPLOATACJI NAWIERZCHNI DROGOWEJ W CELU UTRZYMANIA POZIOMU HAŁAŚLIWOŚCI**

Dokument dołączony w osobnym pliku

## **ZAŁĄCZNIK 3. POMIARY WSPÓŁCZYNNIKA TARCIA METODĄ SRT-3**

Dokument dołączony w osobnym pliku

## **ZAŁĄCZNIK 4. POGŁĘBIONY PRZEGLĄD LITERATURY**

Dokument dołączony w osobnym pliku

## **ZAŁĄCZNIK 5. WYNIKI PROGRAMÓW BADAWCZYCH CEDR**

Dokument dołączony w osobnym pliku

## **ZAŁĄCZNIK 6. EUROPEJSKIE PROGRAMY BADAWCZE**

Dokument dołączony w osobnym pliku