

Instytut Badawczy Dróg i Mostów
Zakład Technologii Nawierzchni
Pracownia Technologii Nawierzchni

SPRAWOZDANIE KOŃCOWE

**Ocena wpływu typu i technologii wykonania nawierzchni
drogowej na hałaśliwość ruchu drogowego i jego uciążliwość
dla środowiska**

Temat WS-05

Kierownik tematu:

prof. dr hab. inż. Dariusz Sybilski

Opracowali:

inż. Dominika Jezierska

prof. dr hab. inż. Dariusz Sybilski

**Kierownik Zakładu
Technologii Nawierzchni**

prof. dr hab. inż. Dariusz

Sybilski

Współpraca:

prof. dr hab. inż. Jerzy Ejsmont – Politechnika Gdańska

dr inż. Władysław Gardziejczyk – Politechnika Białostocka

mgr inż. Tadeusz Dzień – IBDiM

mgr inż. Tomasz Mechowski - IBDiM

Warszawa, listopad 2005

SPIS TREŚCI:

1. Wprowadzenie	3
2. Cel pracy	3
3. Program pracy	3
4. Wykonawcy i współautorzy pracy	4
5. Podstawy teoretyczne	5
6. Hałas drogowy i jego wpływ na środowisko	6
7. Metody pomiaru hałasu	7
8. Metody badań właściwości przeciwpoślizgowych	18
9. Odcinki pomiarowe	23
10. Wyniki i analiza pomiarów metodą SPB	42
11. Wyniki i analiza pomiarów metodą CPX	56
12. Wyniki i analiza pomiarów właściwości przeciwpoślizgowych	64
13. Przykłady zagraniczne	71
14. Klasyfikacja nawierzchni ze względu na hałaśliwość	78
15. Zalecenia	85
16. Podsumowanie	85
17. Załącznik 1 – Sprawozdanie z pomiarów hałasu metodą SPB cz. 1 – PB	87
18. Załącznik 2 – Sprawozdanie z pomiarów hałasu metodą SPB cz. 2 – PB	87
19. Załącznik 3 – Sprawozdanie z pomiarów hałasu metodą SPB –TO-IBDiM	87
20. Załącznik 4 – Sprawozdanie z pomiarów hałasu metodą CPX – PG	87
21. Załącznik 5 – Wyniki pomiarów właściwości przeciwpoślizgowych –TD IBDiM	87

Wprowadzenie

Niniejsze sprawozdanie jest podsumowaniem prac przeprowadzonych w latach 2004 – 2005 w ramach tematu o symbolu WS-05 „Ocena wpływu typu i technologii wykonania nawierzchni drogowej na hałaśliwość ruchu drogowego i jego uciążliwość dla środowiska”. Prace te zostały wykonywane na podstawie umowy nr 680/2004 z dnia 07.04.2004 zawartej pomiędzy Instytutem Badawczym Dróg i Mostów a Generalną Dyrekcją Dróg Krajowych i Autostrad.

1. Cel pracy

Celem pracy było ustalenie zależności pomiędzy charakterystyką techniczno-eksploatacyjną nawierzchni drogowej a poziomem emitowanego hałasu. Wyniki przeprowadzonych badań hałaśliwości pozwoliły określić wpływ technologii wykonywania warstwy ścieralnej nawierzchni na poziom hałasu opona/nawierzchnia. Na tej podstawie opracowana została klasyfikacja nawierzchni drogowych pod względem hałaśliwości. Klasyfikacja taka będzie mogła stanowić podstawę do podejmowania decyzji przez inwestorów i projektantów co do wyboru warstwy ścieralnej nawierzchni w warunkach wymagających zmniejszenia hałaśliwości ruchu drogowego i stworzenia lepszego klimatu akustycznego (okolice szpitali, przychodni, szkół itp.).

2. Program pracy

W ramach tematu WS-05 wykonano następujące zadania:

1. Wybór odcinków testowych nawierzchni

Wybór odcinków pomiarowych uwzględniał typy nawierzchni i technologie powszechnie stosowane w Polsce, jak również rozwiązania nowatorskie, których zastosowanie mogłoby powodować zmniejszenie hałaśliwości ruchu.

2. Pomiary hałaśliwości ruchu metodą statystyczną (pomiar stacjonarny SPB według EN-ISO 11819-1) na odcinkach testowych.

Pomiary wykonywane były przez dwa zespoły pomiarowe: zespół Politechniki Białostockiej pod kierownictwem dr inż. Władysława Gardziejczyka oraz Zakład Systemów Zarządzania i Telematyki, IBDiM pod kierownictwem mgr inż. Tadeusza Dzienisa. Na wstępie przeprowadzono pomiary uzgadniające metodykę i weryfikujące dokładność obu zespołów na tych samych odcinkach badawczych. Po tej weryfikacji każdy zespół wykonał już właściwe pomiary na wytypowanych dla niego odcinkach.

3. Pomiary hałaśliwości ruchu metodą CPX (pomiar przyczepą, metodą bliskości według ISO/CD 11819-2) na odcinkach testowych.

Pomiary zostały wykonane na 17 wytypowanych odcinkach badawczych przez zespół pomiarowy Politechniki Gdańskiej pod kierownictwem prof. dr hab. inż. Jerzego Ejsmonta.

4. Pomiary właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni odcinków testowych.

Pomiary współczynnika tarcia i tekstury zostały wykonywane przez Zakład Diagnostyki Nawierzchni, IBDiM pod kierownictwem mgr inż. Tomasza Mechowskiego. Zbadane zostały 22 odcinki, na których wcześniej wykonano pomiary hałasu metodami SPB i CPX.

5. Analiza wyników i opracowanie zaleceń materiałowych i technologicznych projektowania nawierzchni o zmniejszonej hałaśliwości.

Analizę wyników oraz opracowanie zaleceń materiałowych przeprowadzono w Zakładzie Technologii Nawierzchni pod kierownictwem prof. dr hab. inż. Dariusza Sybilskiego.

6. Opracowanie klasyfikacji nawierzchni pod względem hałaśliwości ruchu

- oceniane właściwości,
- metody badań,
- kryteria oceny.

Wszystkie zadania tematu WS-05 zostały w całości wykonane. Szczegółowy opis poszczególnych zadań oraz metody badań, zalecenia, klasyfikacja, wnioski itd. zamieszczono w niniejszym sprawozdaniu.

3. Wykonawcy i współautorzy pracy

Praca badawcza prowadzona była przez IBDiM, pod kierownictwem prof. dr hab. inż. Dariusza Sybilskiego, w kooperacji z Politechniką Gdańską i Politechniką Białostocką.

Instytut reprezentowali:

- | | |
|---------------------------------------|------------|
| • prof. dr hab. inż. Dariusz Sybilski | IBDiM – TN |
| • inż. Dominika Jezierska | IBDiM – TN |
| • mgr inż. Jan Bieńka | IBDiM – TO |
| • mgr inż. Tadeusz Dzieńis | IBDiM – TO |
| • mgr inż. Tomasz Mechowski | IBDiM – TD |

Politechnikę Gdańską reprezentowali:

- prof. dr hab. inż. Jerzy Ejsmont
- dr inż. Piotr Mioduszeński

Politechnikę Białostocką reprezentował:

- dr inż. Władysław Gardziejczyk

4. Podstawy teoretyczne

Temat WS-05 odnosił się do zagadnień związanych z pojęciami takimi jak: akustyka, dźwięk, hałas, głośność. Dlatego też poniżej przedstawiono podstawowe informacje dotyczące zagadnień związanych z tymi terminami [1]:

Hałasem w rozumieniu definicji jest każdy dźwięk, który w określonych warunkach jest odbierany jako uciążliwy, szkodliwy lub przeszkadzający, niezależnie od jego własności fizycznych. Hałas ocenia się poprzez wyznaczenie jego poziomu w skali decybelowej, przy czym progowi słyszenia przypisuje się wartość 0 dB, natomiast granicy bólu odpowiada wartość 130 dB. Nie wszystkie jednak dźwięki są przez ludzkie ucho rozpoznawane jako tak samo głośne. Ludzkie ucho działa "nieliniowo". Oznacza to, że dwa razy większe natężenie dźwięku wcale nie jest przez człowieka odbierane jako dwa razy głośniejszy dźwięk. Ucho dokonuje silnego "spłaszczenia" odczuwania głośności - dźwięk, który odczuwa jako kilka razy głośniejszy od początkowego, ma w rzeczywistości energię dziesiątki, a nawet setki razy większą. Narząd słuchu logarytmuje natężenie dźwięku, co powoduje, że 2 razy większe jego natężenie odpowiada zwiększeniu głośności o wartość proporcjonalną do "logarytmu z dwóch". Wszystko to powoduje, że wprowadza się wielkość zwaną poziomem natężenia dźwięku uwzględniającą logarytmiczny charakter odczuwania głośności. Wielkość ta wyznaczana jest z wzoru:

$$\beta = 10 \cdot \log \frac{I}{I_0}$$

w którym:

β – poziom natężenia wyrażony w decybelach [dB],

I – natężenie badanej fali dźwiękowej w W/m^2

I_0 - natężenie tzw. "progu słyszalności" czyli wielkość równa $10^{-12} W/m^2$.

Przykłady:

2 - krotny wzrost natężenia oznacza wzrost poziomu głośności o ok. 3 dB

10 - krotny wzrost natężenia daje wzrost poziomu głośności o 10 dB

100 - krotny wzrost natężenia daje wzrost poziomu głośności o 20 dB, itd...

Ponieważ logarytm z jedynki ma wartość zero, więc od razu widać, że (po podstawieniu do wzoru $I = I_0$) natężenie progu słyszalności daje poziom natężenia 0 dB. Z kolei bardzo głośny słyszalny dźwięk ma poziom głośności w okolicy 100 dB; 120 dB to tzw. próg bólu, czyli głośność przy której ucho nie słyszy, tylko "boli".

Większość dźwięków w środowisku charakteryzuje się nieustaloną wartością poziomu w

czasie (hałas o zmiennym poziomie w czasie). Dla oceny tego typu zjawisk akustycznych wprowadzono szereg wskaźników, do najważniejszych z nich należy poziom równoważny (ekwiwalentny), który jest podstawowym parametrem liczbowego opisu klimatu akustycznego [2].

Podział hałasu z punktu oddziaływania na organizm człowieka przedstawiono w tablicy 1.

Tablica 1 Podział hałasów z punktu oddziaływania na organizm człowieka

L.p.	Poziom równoważnego dźwięku LAeqT	Wpływ na organizm ludzki
1	do 35 dB	nieszkodliwy, lecz denerwujący,
2	od 35 dB do 75 dB	męczy układ nerwowy, obniża wydajność pracy, wpływa na zrozumiałość mowy,
3	od 75 dB do 85 dB	utrudnia zasypianie i wypoczynek; dłuższe oddziaływanie wywołuje bóle głowy i wpływa ujemnie na układ nerwowy, powoduje uszkodzenie słuchu,
4	od 85 dB do 130 dB	wywołuje trwałe uszkodzenie słuchu, zaburzenia układu krążenia, układu nerwowego i równowagi, uniemożliwia zrozumiałość mowy z odległości 0,5 m,
5	powyżej 130 dB	wywołuje schorzenia, a niekiedy zupełne zniszczenie organów wewnętrznych człowieka.

5. Hałas drogowy i jego wpływ na środowisko

W ostatnich latach hałaśliwość ruchu drogowego stała się jednym z poważniejszych problemów na świecie, dostrzeganych również w Polsce. Komunikacja drogowa okazała się jednym z najbardziej uciążliwych źródeł hałasu w środowisku. Ponadnormatywnym hałasem zagrożone są obecnie znaczne tereny Polski. Wielkość zagrożonego terenu tymi uciążliwościami szacuje się na około 17 % powierzchni naszego kraju (przy 21 % dla wszystkich źródeł hałasu) [3]. Od kilku lat obserwowany jest znaczny wzrost motoryzacji. Ponadto, w najbliższych kilkunastu latach należy oczekiwać dalszego wzrostu ilości pojazdów na naszych drogach. Przewiduje się, że już za cztery lata liczba samochodów poruszających się po polskich drogach osiągnie poziom zbliżony do notowanego obecnie w krajach Unii Europejskiej. W wyniku tego należy oczekiwać niezwykle uciążliwego zatłoczenia na drogach głównych i na terenach miast. Wzrost natężenia ruchu samochodowego, nawet przy udoskonalonych układach napędowych, sylwetkach pojazdów i optymalnych charakterystykach opon, powoduje wzrost poziomu hałasu w

otoczeniu ciągów komunikacyjnych. Z racji tego, że na obszarach silnie zurbanizowanych hałas wynikający z ruchu drogowego dominuje nad hałasem pochodzącym z innych źródeł, konieczne jest podejmowanie działań zmierzających do jego redukcji. Aby móc prowadzić takie działania, należy przede wszystkim zapoznać się z czynnikami powodującymi tak niekorzystną sytuację. Do głównych należą: natężenie ruchu, struktura rodzajowa i prędkość pojazdów oraz technologia wykonania warstwy ścieralnej, jak również uziarnienie zastosowanego w tej warstwie kruszywa. Dowiedziono bowiem, że odpowiednio dobrane uziarnienie może przyczynić się do obniżenia poziomu hałasu nawet o około 4 dB. Prace prowadzone w wielu ośrodkach naukowo-badawczych, zajmujących się hałasem toczenia pojazdów samochodowych, pozwoliły na zidentyfikowanie podstawowych mechanizmów odpowiedzialnych za generowanie dźwięku w płaszczyźnie kontaktu opon z nawierzchnią [4]. Parametrami decydującymi o poziomie hałasu toczenia są: tekstura nawierzchni – w przypadku warstw ścieralnych o strukturze zamkniętej, oraz tekstura, porowatość i grubość warstw – w przypadku nawierzchni porowatych. Skoro więc rodzaj warstwy ścieralnej wpływa tak znacząco na hałas drogowy, należałoby zatem poszukać rozwiązań, które zmniejszyłyby, ograniczyły lub nawet wyeliminowały emisję dźwięków w czasie jazdy samochodu czyli przy kontakcie opon z nawierzchnią. Aby móc szczegółowo przeanalizować ten problem należałoby zapoznać się z obecnie istniejącymi rodzajami warstw ścieralnych, materiałami do ich budowy oraz technologiami wykonania. Bardzo ważne są też sposoby pomiaru poziomu hałasu na nawierzchni. W tej chwili stosuje się kilka metod, które szczegółowo zostały opisane poniżej.

6. Metody pomiaru hałasu

Przejazd każdego pojazdu może być opisany jednym z trzech parametrów akustycznych:

- maksymalnym poziomem emitowanego dźwięku (L_{max}) w chwili przejazdu (stała czasowa miernika „Fast” odpowiadająca w przybliżeniu 0,25 s),
- ekspozycyjnym poziomem dźwięku (LAE), uwzględniającym poziom równoważny wynikający z całego przejazdu pojazdu, lecz znormalizowany do czasu trwającego 1 s
- poziomem równoważnym dźwięku (L_{eq}) w odniesieniu do 1, 8 lub 16 godzin.

Najbardziej odpowiednim wskaźnikiem umożliwiającym ocenę wpływu nawierzchni na poziom hałasu drogowego jest maksymalny poziom dźwięku generowanego w płaszczyźnie kontaktu opony z nawierzchnią, nazywany hałasem toczenia.

Do stosowanych metod pomiaru poziomu hałasu toczenia należą:

- **Metoda statystycznego przejazdu** – SPB (statistical pass-by method), zwana również metodą ruchu drogowego – polega na bezpośrednim pomiarze poziomu hałasu emitowanego przez pojedyncze pojazdy uczestniczące w rzeczywistym potoku ruchu.

Metoda ta pozwala określić łączny wpływ nawierzchni i opon na hałas w otoczeniu dróg. Nie jest jednak przydatna do badania wpływu opon, gdyż brak jest kontroli nad oponami zamontowanymi w przejeżdżających pojazdach.

- **Metoda wybiegowa** („CB” – coast-by method) – polega na bezpośrednim pomiarze poziomu hałasu emitowanego przez pojazdy testowe poruszające się z wyłączonym silnikiem.

W metodzie tej, jako bardzo reprezentatywnej, wyniki pomiarów są obarczone błędami wynikającymi z hałasów zakłócających i warunków atmosferycznych, a wprowadzenie pomiarów w rzeczywistych warunkach ruchowo - drogowych jest bardzo utrudnione i kosztowne.

- **Metoda przyczepowa** („CPX” – close-proximity method) – poziom hałasu toczenia jest mierzony mikrofonami zainstalowanymi w pobliżu badanego koła, poruszającymi się razem z pojazdem [5].

Metoda pozwala na badanie hałasu opon i nawierzchni w sposób szybki i tańszy niż metodami CB i SPB. Pomiary mogą być prowadzone przy każdym natężeniu ruchu. Wadą metody jest nieoszacowanie wpływu pochłaniania dźwięku przez nawierzchnie, co ma pewne znaczenie przy badaniach nawierzchni porowatych.

- **Metoda przyczepowo-wybiegowa** (trailer coast-by method) – łączy cechy metody wybiegowej i przyczepowej. Polega na tym, że mikrofony umieszczone na poboczach drogi rejestrują hałas opon zainstalowanych na specjalnej, długiej przyczepie przejeżdżającej obok nich.

Jest to metoda mało praktyczna, z uwagi na bardzo wysokie koszty zestawu pomiarowego oraz trudności w prowadzeniu badań. Jest jednak jedną z metod najczęściej stosowanych w Stanach Zjednoczonych.

- **Metoda bębnowa** (laboratoryjna) (DR - drum method) – polega na pomiarze hałasu emitowanego przez koło toczące się po bębnie pokrytym imitacją nawierzchni rzeczywistej

Metoda doskonale nadaje się do badania opon, ale jej przydatność do badania hałaśliwości nawierzchni jest znikoma z uwagi na wysokie koszty i czasochłonność wykonywania replik pokrywających bęben. Należy jednak dodać, że obecnie znane są i stosowane metody pozwalające na uzyskanie replik o bardzo dużym podobieństwie geometrycznym do tekstury imitowanej nawierzchni [6].

Zdaniem wielu badaczy do oceny wpływu nawierzchni drogowych na poziom hałasu najbardziej przydatne są: metoda statystycznego przejazdu – SPB i metoda przyczepowa – CPX. W niniejszej pracy korzystano właśnie z tych dwóch metod. Każda z nich wymagała zastosowania odpowiedniej aparatury, prowadziła do wyznaczenia określonych zależności oraz wymagała przestrzegania ustalonych zasad pomiarów. Szczegółowy opis metod, wymagania oraz zasady wykonywania pomiarów przy ich użyciu przedstawiono poniżej.

Metoda SPB – szczegółowy opis

Metoda SPB (statistical pass-by method) zwana jest również metodą ruchu drogowego. Polega ona na bezpośrednim pomiarze poziomu hałasu emitowanego przez pojedyncze pojazdy uczestniczące w rzeczywistym potoku ruchu. Szczegółowe wytyczne dotyczące sposobu przeprowadzenia pomiaru oraz warunków, jakie muszą spełniać odcinki pomiarowe podane są w normie PN-EN ISO 11819-1:2004, Akustyka. Pomiar wpływu nawierzchni drogowej na hałas uliczny. Część 1: Metoda statystyczna pomiaru podczas przejazdu. Ogólne warunki, jakie muszą zostać spełnione, aby wykonać pomiary metodą SPB, są następujące:

- wymagana długość odcinków próbnych: 150 – 200 m,
- jezdnia i pobocza równe,
- brak jakichkolwiek budynków, płotów, lasów i innych obiektów, które mogłyby powodować odbicia dźwięku w okolicy odcinka badawczego,
- brak jakichkolwiek pojazdów lub obiektów innych niż samochody na drodze, wydających dźwięki (traktory pracujące na polu, fabryka prowadząca produkcję) w okolicy odcinka badawczego.

Przykładowy odcinek badawczy przedstawiono na fotografii nr 1

Widok przykładowego stanowiska badawczego przedstawiono na fotografiach 2 i 3.



Foto 1 Widok przykładowego odcinka badawczego

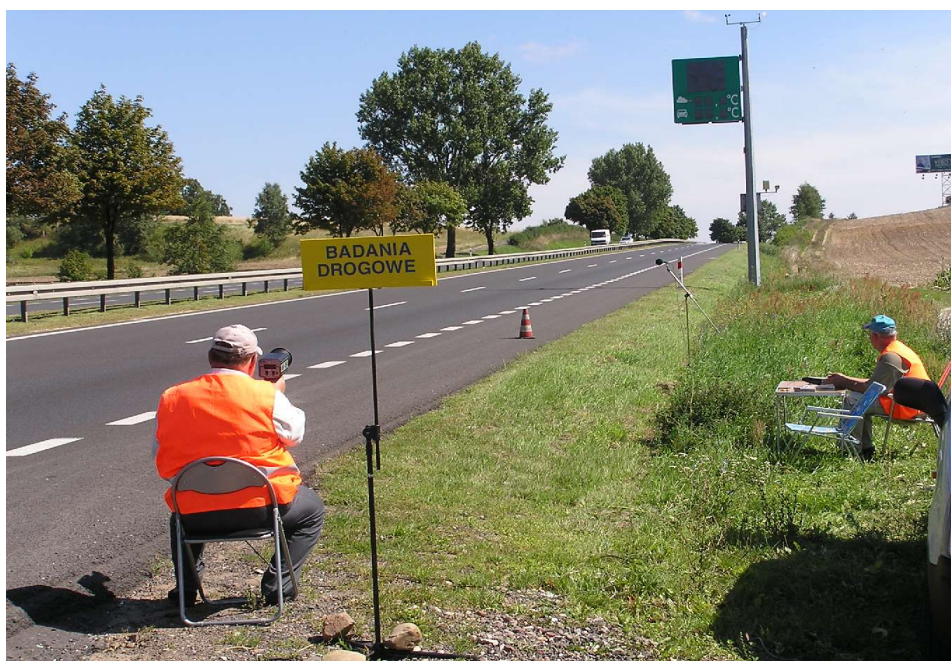


Foto 2 Widok stanowiska badawczego w czasie trwania pomiarów metodą SPB



Foto 3 Widok stanowiska badawczego przy pomiarach metodą SPB

W metodzie SPB pojazdy przejeżdżające przez odcinek badawczy są podzielone na trzy kategorie.

- kategoria 1: samochody osobowe i samochody dostawcze,
- kategoria 2A: samochody ciężarowe 2- i 3-osiowe, autobusy,
- kategoria 2B: samochody ciężarowe wieloosiowe, z naczepami i przyczepami (badano głównie pojazdy 5-osiowe).

Na fotografiach od 4 do 6 przedstawiono przykładowe pojazdy zaliczane do poszczególnych kategorii pojazdów.



Foto 4 Przykładowy pojazd zaliczany do kategorii 1



Foto 5 Przykładowy pojazd zaliczany do kategorii 2A



Foto 6 Przykładowy pojazd zaliczany do kategorii 2B.

Po przeprowadzeniu pomiarów, jako wynik określa się statystyczny współczynnik podczas przejazdu SPB. Współczynnik SPBI stosowany jest do porównywania nawierzchni dróg. Opiera się on na poziomach dźwięku pojazdów z uwzględnieniem różnorodności kategorii i prędkości pojazdów. Zgodnie z punktem 9.5 normy PN-EN ISO 11819-1, w celu otrzymania łącznego wpływu nawierzchni drogi na hałas drogowy dla różnorodnego potoku ruchu, statystyczny współczynnik podczas przejazdu powinien być obliczany w następujący sposób:

$$SPBI = 10 \lg [W_1 * 10^{L_1/10} + W_{2a} (V_1/V_{2a}) * 10^{L_{2a}/10} + W_{2b} (V_1/V_{2b}) * 10^{L_{2b}/10}] \text{ dB}$$

przy czym:

SPBI – statystyczny współczynnik podczas przejazdu dla standardowego składu potoku ruchu,

L_1 – poziom dźwięku samochodów osobowych (zaokrąglony do jednego miejsca dziesiętnego).

L_{2a} – poziom dźwięku samochodów ciężarowych kategorii 2a (zaokrąglony do jednego miejsca dziesiętnego).

L_{2b} – poziom dźwięku samochodów ciężarowych kategorii 2b (zaokrąglony do jednego miejsca dziesiętnego).

Pomiary według metody SPB zostały przeprowadzone przez dwa zespoły: zespół Politechniki Białostockiej pod kierownictwem dr inż. Władysława Gardziejczyka oraz przez Zakład Systemów Zarządzania i Telematyki – IBDiM pod kierownictwem mgr inż. Tadeusza Dzienisa.

Zespół PB przeprowadził pomiary przy wykorzystaniu modularnego analizatora poziomu dźwięku B&K 2260 i radarowego miernika prędkości K-15. Zarówno przed rozpoczęciem pomiarów jak i po ich zakończeniu, na każdym odcinku, dokonywał kalibracji analizatora. W trakcie pomiarów mierzono temperaturę powietrza i temperaturę nawierzchni. Badania prowadzono przy prędkości wiatru niższej od 5 m/s.

Zespół TO-IBDiM wykonywał pomiary przy użyciu następującej aparatury pomiarowej:

- 1) Miernik pomiarów dźwięku produkcji Bruel & Kjaer, moduł kontrolny typ 7537A, system Puls, typ mikrofonu 4189-A-021 nr 244002.
- 2) Pistoletowy radar drogowy typ Rapid-2K-ITS o zakresie mierzonych prędkości 30 – 220 km/h i dokładności pomiaru ± 3 km/h dla prędkości do 100 km/h oraz dokładności $\pm 3\%$ powyżej prędkości 100 km/h.
- 3) Rejestrator typ RC12 prod. TRAX współpracujący z czujnikiem zespolonym temperatury i wilgotności względnej powietrza firmy Rotronic, a także czujnikiem prędkości wiatru typu KW firmy TRAX oraz czujnikiem platynowym typ PT100 do pomiaru temperatury nawierzchni.

W każdym miejscu pomiaru (na poboczu drogi) zespół określił maksymalny poziom dźwięku w trakcie przejazdu pojazdu, skorygowany według charakterystyki częstotliwościowej A i z zastosowaniem charakterystyki czasowej Fast, dla pojazdów, które są akustycznie identyfikowalne, tj. nie są w znaczący sposób zakłócane przez inne pojazdy. Jednocześnie z tego samego miejsca pomiaru określił prędkość maksymalną Vmax przejeżdżającego pojazdu. Każdy rejestrowany pojazd był zaliczany do jednej z trzech kategorii pojazdów:

O – samochody osobowe,

C – pojazdy ciężkie dwuosiowe,

T – pojazdy ciężkie wieloosiowe.

Zgodnie z punktem 7.2 normy PN-EN ISO 11819-1 zachowano przy tym warunki dotyczące najmniejszej liczby pojazdów branych pod uwagę w każdej z kategorii tych pojazdów i np. kilka ostatnich pomiarów na odcinkach dróg DK6 i DK11 dotyczyło tylko pojazdów ciężkich, których w sumie należało pomierzyć min. 80 (wcześniej osiągnięto już

minimalną liczbę 100 dla samochodów osobowych).

Metoda CPX – szczegółowy opis

Badania hałasu drogowego przeprowadzono metodą CPX (close-proximity method) według normy ISO/CD 11819-2 (Acoustics - Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise - Part 2: The close-proximity method). Metoda ta polega na pomiarze poziomu hałasu toczenia za pomocą dwóch mikrofonów zainstalowanych w pobliżu styku opony z nawierzchnią (widok zainstalowanego mikrofonu przedstawiono na fotografii 10). Koło badane umieszczone jest w specjalnie skonstruowanej przyczepie lub w specjalnym pojeździe badawczym (foto 7, 8 i 9). Pomiary prowadzone są w polu bliskim, a mikrofony poruszają się wraz z pojazdem. Do oceny nawierzchni wykorzystuje się cztery opony referencyjne. Przedstawiono je na fotografii 11. Dwie opony mają letnią rzeźbę bieżnika, dwie pozostałe – rzeźbę zimową. Pomiary wykonuje się kolejno dla każdej z opon i dla trzech prędkości toczenia: 50, 80 oraz 110 km/h mierząc na określonym dystansie (długość odcinka pomiarowego powinna wynosić minimum 100 m) średni poziom dźwięku. Równolegle rejestruje się rzeczywistą prędkość. Poziomy dźwięku zmierzonego przez dwa mikrofony są uśredniane i korygowane o odchyłkę prędkości rzeczywistej w stosunku do referencyjnej. Na ich podstawie wylicza się wskaźnik służący do oceny akustycznej badanej nawierzchni. Wskaźnik ten, zwany CPX Index (CPXI), obliczany jest jako średnia arytmetyczna poziomów hałasu dla wszystkich czterech opon (współczynnik wagowy dla każdej opony wynosi 25%).

Do wykonania pomiarów metodą CPX wymagane są odcinki pomiarowe spełniające następujące wymagania:

- minimalna długość - 400 m,
- jezdnia równa, nie skoleinowana,
- brak ostrych łuków i zakrętów.

Na poniższych fotografiach o numerach od 7 do 11 przedstawiono przykładowy odcinek badawczy, na którym wykonywany jest pomiar oraz sprzęt pomiarowy opisany powyżej.



Foto 7 Przejazd przyczepki pomiarowej po wytypowanym odcinku



Foto 8 Przejazd przyczepki pomiarowej po wytypowanym odcinku



Foto 9 Widok przyczepki badawczej w trakcie wymiany opony



Foto 10 Widok wnętrza przyczepki pomiarowej



Foto 11 Widok opon wykorzystywanych w pomiarach

Pomiary według wyżej opisanej metody zostały przeprowadzone przez zespół z Politechniki Gdańskiej pod kierownictwem prof. dr hab. inż. Jerzego Ejsmonta.

7. Metody badań właściwości przeciwpoślizgowych

W niniejszej pracy zostały przeprowadzone również pomiary właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni. Właściwości przeciwpoślizgowe zależą od wielu, często złożonych czynników. Wśród nich do najważniejszych należy zaliczyć: rodzaj i stan techniczny nawierzchni, prędkość ruchu pojazdu, głębokość i stan rzeźby bieżnika opony, głębokość filmu wodnego na powierzchni jezdni oraz nierówności podłużne, powodujące chwilową utratę kontaktu opony z drogą.

Administracje drogowe w różnych krajach stosują zróżnicowane metody oceny właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni, dostosowane do użytkowanej aparatury pomiarowej. Metody te można podzielić na dwie zasadnicze grupy:

- pomiar współczynnika tarcia nawierzchni,
- pomiar tekstury nawierzchni.

Współczynnik tarcia nawierzchni jest to stosunek siły tarcia rozwijanej pomiędzy kołem pomiarowym a nawierzchnią drogi do wartości reakcji normalnej, w warunkach pełnej lub częściowej blokady koła pomiarowego. Pomiar współczynnika tarcia wykonywany jest obecnie na świecie z zastosowaniem trzech grup aparatów. Z założenia służą one do oceny tego samego zjawiska, jednak zróżnicowanie konstrukcyjne układów pomiarowych

sprawia, że pomiarowi podlegają różne charakterystyki fizyczne. Z zastosowaniem aparatów poszczególnych grup wykonywany jest pomiar:

- sił oporu działających prostopadle do płaszczyzny koła pomiarowego, odchylonego o kąt 20° względem kierunku ruchu. Pomiar wykonywany jest aparatami typu SCRIM (Sideway Force Coefficient Routine Investigation Machine). W wyniku określany jest współczynnik tarcia bocznego SFC,
- sił hamujących, działających na koło pomiarowe zablokowane w 80 - 90%, którego płaszczyzna obrotu jest zgodna z kierunkiem ruchu aparatu. Aparatura pomiarowa zapewnia możliwość symulowania systemu ABS (Anti-Block-System). W wyniku określana jest maksymalna wartość siły tarcia oraz odpowiadający jej maksymalny współczynnik tarcia podłużnego, lub tzw. BSN (Brake Slip Number),
- sił hamujących, działających na koło pomiarowe zablokowane w 100%, ustawione zgodnie z kierunkiem ruchu aparatu. W wyniku określana jest średnia wartość współczynnika tarcia podłużnego, lub tzw. SN (Skid Number).

Tekstura opisuje geometrię nierówności warstwy jezdnej nawierzchni. Makroteksturę tworzą nierówności na powierzchni warstwy ścieralnej spowodowane wystającymi ziarnami kruszywa. Zależy ona od składu materiału, z którego jest wykonana warstwa ścieralna oraz od technologii jej wbudowania. Mikroteksturę natomiast tworzą drobne nierówności o głębokości dziesiątych części milimetra, spowodowane wystającymi ziarnami drobnego kruszywa lub chropowatością powierzchni wystających grubych ziaren. Pomiar tekstury nawierzchni wykonywany jest obecnie na świecie najróżniejszymi metodami, bazującymi zarówno na starych, wypróbowanych sposobach jak i wykorzystujących najnowsze zdobycze techniki. Generalnie urządzenia i metody pomiaru tekstury można, tak jak w przypadku pomiaru współczynnika przyczepności, podzielić na trzy grupy:

- pomiar wykonywany z dużą prędkością - bazujące głównie na rejestracji nierówności urządzeniami wykorzystującymi laser oraz wykorzystującymi kamery CCD,
- pomiar stacjonarny lub z małą prędkością na suchej nawierzchni - są to m.in.: pomiar głębokości makrotekstury metodą objętościową opisana w normie PN-EN 13036-1, metoda fotografii stereograficznej,
- pomiar stacjonarny lub z małą prędkością na mokrej nawierzchni - metoda bazująca na pomiarze czasu wypływu znormalizowanej ilości cieczy oraz

metoda wahadła angielskiego.

W niniejszej pracy do oceny właściwości przeciwpoślizgowych warstwy ścieralnej przyjęto następujące metody badań:

- pomiar współczynnika tarcia zestawem SRT-3,
- pomiar średniej głębokości tekstury wg normy PN-EN 13036-1 Pomiar głębokości makrotekstury metodą objętościową [7].

Pomiar współczynnika tarcia zestawem SRT-3

Badanie przyczepności nawierzchni drogowych ma w Polsce już ponad 30-letnią historię. Aktualnie pracuje w kraju 10 zestawów pomiarowych SRT-3 (Foto 12) mierzących współczynnik przyczepności przy pełnej blokadzie koła pomiarowego. W skład zestawu pomiarowego SRT-3 wchodzi:

- jednokołowa przyczepka dynamometryczna,
- samochód holujący,
- elektroniczna aparatura kontrolno-pomiarowa.

Pomiar współczynnika przyczepności zestawem SRT-3 odbywa się na zwilżonej wodą nawierzchni, przy pełnej blokadzie koła pomiarowego dwoma metodami - poprzez pomiar momentu hamującego oraz poprzez bezpośredni pomiar siły hamującej (siły przyczepności) - wolnej od oddziaływania momentu stycznych sił bezwładności. W celu uściślenia wartości reakcji normalnej pod kołem pomiarowym rejestrowana jest siła w zawieszeniu przyczepy dynamometrycznej. Obecnie do możliwości urządzenia należy również pomiar maksymalnej wartości współczynnika tarcia, przy danej prędkości pomiarowej (Rysunek 1).

Automatyzacja procesu hamowania i rejestracja wyników pomiarów odbywa się przy użyciu komputera pokładowego i specjalnie skonstruowanego układu kontrolno-pomiarowego. Wszystkie wyniki pomiarów uwidaczniane są w czasie rzeczywistym (Rysunek 2) na ekranie monitora. Podawane są następujące wartości z każdego hamowania:

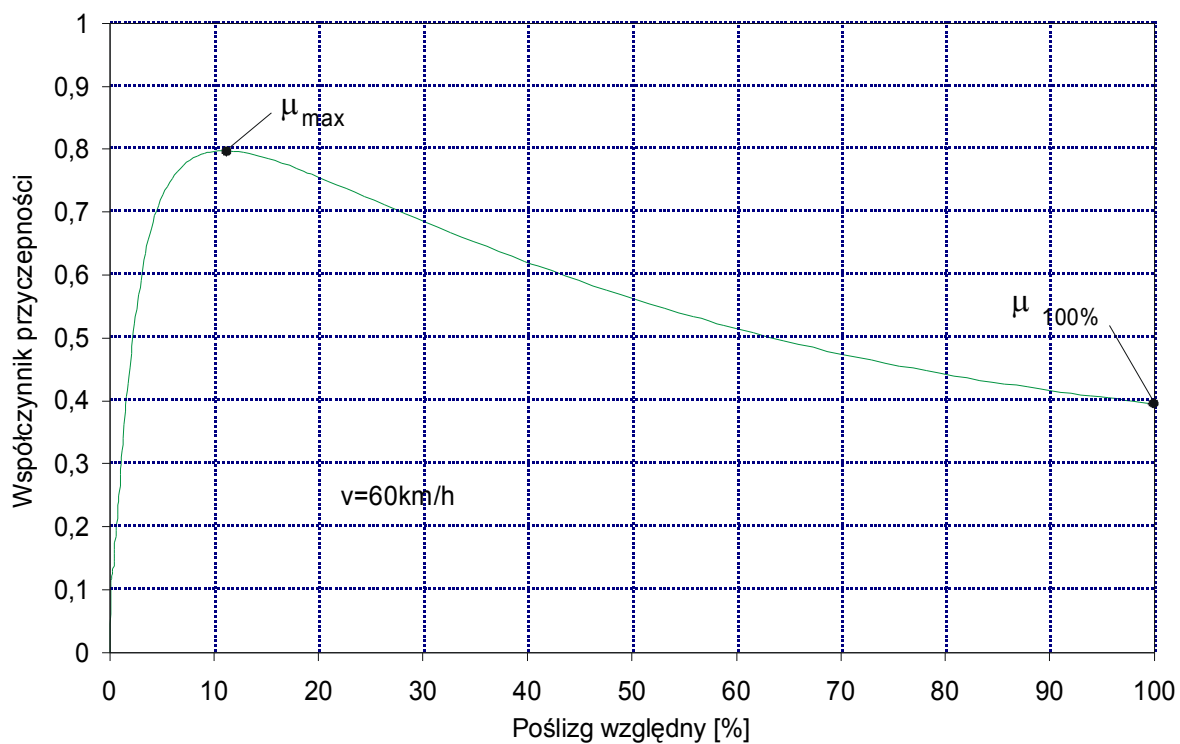
- prędkość pomiarowa – v ,
- współczynnik tarcia określony w torze pomiaru momentu - miM ,
- współczynnik tarcia określony w torze pomiaru siły przyczepności - miF ,
- współczynnik tarcia skorygowany stosownie do zmian reakcji w zawieszeniu przyczepy dynamometrycznej w czasie pomiarów - mik ,
- stosunek uśrednionej reakcji dynamicznej do statycznej w zawieszeniu przyczepy

- dynamometrycznej w czasie pomiarów - F_z ,
- droga przebyta przez zestaw - dyst,
- informacje diagnostyczne - dgn.

Na żądanie operatora istnieje możliwość zapamiętania i wizualizacji wszystkich przebiegów danego procesu hamowania.



Foto 12 Zestaw pomiarowy SRT-3



Rysunek 1 Współczynnik przyczepności wzdłużnej w funkcji poślizgu względnego



Rysunek 2 Widok ekranu z wynikami pomiarów

Badanie głębokości tekstury metodą objętościową

Metoda badawcza opisana w normie PN-EN 13036-1 Pomiar głębokości makrotekstury metodą objętościową jest w ogólnym zarysie znana w Polsce. Badanie to nazywane „metodą piasku kalibrowanego” lub „metodą łąty piaskowej” było stosowane na całym świecie przez wiele lat w celu pomiaru makrotekstury powierzchni nawierzchni drogowej. Metoda polega na dokładnym rozprowadzeniu określonej objętości piasku (25 cm^3) na powierzchni drogi. Materiał ziarnisty rozprowadzany jest w postaci kolistej łąty, której średnica jest następnie zmierzona. Znając objętość piasku oraz wielkość powierzchni, na której został rozprowadzony oblicza się następnie „średnią głębokość tekstury” MTD (ang. Mean Texture Depth). W normie PN-EN 13036-1 piasek został zastąpiony kulkami szklanymi o granulacji 0,18 – 0,25 mm.

Normę EN 13036-1 stosuje się do terenowej oceny makrotekstury. Badanie wykonywane w połączeniu z innymi metodami może służyć do oceny właściwości przeciwpślizgowych nawierzchni, charakteryzowania jej ze względu na hałaśliwość oraz do oceny przydatności materiałów i technik wykończeniowych przy wykonywaniu warstwy

ścieralnej. W przypadku stosowania tej metody równolegle z innymi metodami zaleca się, aby pomiary wykonywane były w tych samych miejscach. Przykład wykonywania pomiaru metodą objętościową przedstawiono na fotografii 13.



Foto 13 Badanie makrotekstury nawierzchni metodą objętościową

Pomiary właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni zostały wykonane przez Zakład Diagnostyki Nawierzchni IBDiM, pod kierownictwem mgr inż. Tomasza Mechowskiego.

8. Odcinki pomiarowe

Do badań hałaśliwości nawierzchni oraz właściwości przeciwpoślizgowych wytypowano odcinki nawierzchni reprezentujące różne typy i technologie:

- Beton cementowy,
- Beton asfaltowy BA16 Superpave,
- SMA8,
- SMA10,
- SMA12,
- BA12,
- BA16,
- MNU,

- MNU - Ruflex
- Specjalne:
 - Colsoft,
 - GUFi,
 - Cienka warstwa na zimno.

Wybrane odcinki miały okres użytkowania od 1 do 3 lat i znajdowały się na drogach o średnim natężeniu ruchu (KR2 – KR4).

Do badań wytypowano nawierzchnie tradycyjne, najczęściej stosowane w Polsce, ale również stosunkowo nowe, niezbyt dobrze znane. Należą do nich m.in. Ruflex, Colsoft, czy Gufi. Poniżej przedstawiono krótką charakterystykę nawierzchni wytypowanych do pomiaru hałaśliwości:

GUFi – jest to mieszanka mineralno-asfaltowa, która obok standardowych składników, takich jak kruszywo i asfalt, zawiera również dodatki granulatu gumowego i specjalnych włókien (od tych dodatków pochodzi nazwa GUFi – guma i włókna – fibres). Składniki te sprawiają, że uzyskuje się jej specjalne właściwości odróżniające Gufi od zwykłych mieszanek mineralno-asfaltowych. Dodatki gumy i włókna w połączeniu z zastosowaniem elastomeroasfaltu w mieszance zapewniają uzyskanie szczególnych właściwości warstwy nawierzchni:

- odporność na spękania i dzięki temu możliwość spełnienia roli membrany przeciwspekaniowej
- bardzo dobrą przyczepność do wszelkich materiałów podłoża, w tym także betonu, płyty i kostki kamiennej, brukowca itp.
- zmniejszenie hałasu przy kontakcie opony z nawierzchnią.

Efekt wykonania nawierzchni z takiej mieszanki:

- techniczny – poprawa trwałości nawierzchni,
- ekologiczny – zmniejszenie hałaśliwości ruchu pojazdów (cicha nawierzchnia) i zużycie odpadu przemysłowego, czyli granulatu gumowego z opon samochodowych.

Z mieszanki typu Gufi mogą też być wykonywane nawierzchnie ścieżek rowerowych oraz boisk i placów zabaw dla dzieci, bowiem dodatek granulatu gumowego w mieszance zmniejsza twardość nawierzchni i łagodzi efekt upadku.

RUFLEX – jest mieszanką mineralno-asfaltową przeznaczoną do stosowania w inżynierii komunikacyjnej ze względu na wysoką odporność na koleinowanie. Mieszanka zalecana jest do stosowania w warstwach ścieralnych, szczególnie na drogach o dużym natężeniu

ruchu.

COLSOFT – jest cienką lub bardzo cienką warstwą ścieralną z betonu asfaltowego z dodatkiem granulatu gumowego.

Właściwości:

- duża zawartość granulatu gumowego uzyskanego ze zużytych opon,
- stosunkowo duża zawartość wolnej przestrzeni (około 18 %) – mieszanka porowata,
- wytrzymała na duże obciążenia,
- chropowata, szorstka,
- grubość warstwy to około 2 do 3 cm (w zależności od zastosowanego kruszywa: 0/6 mm lub 0/10 mm).

Składniki mieszanki:

- kruszywo o wymiarze nie przekraczającym 6 lub 10 mm,
- lepiszczem w mieszance jest COLSTIC lub COLFLEX N. Zawartość lepiszcza waha się od 5,6 to 7 % (w stosunku do zawartości kruszywa).
- granulatu gumowy uzyskany ze zużytych opon.

SMA (mastyks grysowy) – mieszanka mineralno-asfaltowa o nieciągłym uziarnieniu, z dużą zawartością grysów, z większą zawartością lepiszcza oraz z włóknami celulozowymi absorbującymi lepiszcze i uniemożliwiającymi jego spływanie. Mieszanka SMA charakteryzuje się dużą stabilnością, dużą szorstkością, odpornością na ścieranie i koleinowanie [8].

Powierzchniowe utrwalenie – zabieg ten zapobiega penetracji wody w głąb nawierzchni. Lepiszcze i kruszywo rozkładane są oddzielnie. Kruszywo ma jednorodne uziarnienie i nie zawiera drobnych ziaren [9].

MNU – mieszanka o nieciągłym uziarnieniu, charakteryzuje się tym, że jej krzywa uziarnienia nie posiada frakcji lub grupy frakcji kruszywa. MNU przeznaczone jest do cienkich lub bardzo cienkich warstw nawierzchni. Stosuje się ją w zabiegach utrzymaniowych, w celu poprawienia szczelności i szorstkości nawierzchni.

Beton asfaltowy Superpave – nawierzchnia z betonu asfaltowego o polepszonych właściwościach eksploatacyjnych, zaprojektowana według amerykańskiego systemu Superpave. Charakteryzuje się odpornością na koleinowanie, spękania zmęczeniowe, niskotemperaturowe oraz uszkodzenia wywołane oddziaływaniem wody i zmianami starzeniowymi.

Nawierzchnie z betonu cementowego – nawierzchnie betonowe, w przeciwieństwie do asfaltowych, są sztywne więc nie ulegają koleinowaniu. Beton jest jasny, co znacznie poprawia widoczność, a także pozwala zredukować koszty oświetlenia. Nawierzchnie betonowe charakteryzują się też dobrą przyczepnością. W efekcie na drogach betonowych notuje się mniejszą ilość wypadków.

Odcinki pomiarowe, spełniające wymagania co do rodzaju i technologii oraz spełniające wymagania stawiane przez wykonawców badań, wyznaczyli pracownicy IBDiM. Wyszukiwanie odcinków odbywało się w okresie: czerwiec – październik 2004 r. Pod uwagę brano drogi podlegające GDDKiA. Odcinki badawcze znaleziono na terenach oddziałów:

GDDKiA - Oddział Szczecin,

GDDKiA - Oddział Wrocław,

GDDKiA - Oddział Gdańsk,

GDDKiA - Oddział Łódź,

GDDKiA - Oddział Bydgoszcz,

GDDKiA - Oddział Poznań,

GDDKiA - Oddział Warszawa

Każdy odcinek był oglądany, oceniany pod względem przydatności do badań dwoma metodami i fotografowany. Wykaz wraz z dokumentacją fotograficzną został następnie przesłany do wykonawców badań w celu weryfikacji wyborów.

W tablicy 4 przedstawiono pełny zestaw odcinków pomiarowych spełniających warunki pomiarów metodami SPB i CPX oraz pomiarów właściwości przeciwpoślizgowych. Do sprawozdania częściowego przekazanego do GDDKiA w listopadzie 2004 została dołączona płyta CD ze zdjęciami opisanych poniżej odcinków.

Tablica 4 Odcinki wytypowane do pomiaru hałaśliwości nawierzchni oraz właściwości przeciwpoślizgowych

Rodzaj nawierzchni	Lp	CPX	SPB	numery zdjęć
Beton asfalto wy BA16	1	DK6 Mosty – Godętowo 263+060 do 266+340	DK6 Mosty – Godętowo 263+060 do 266+340	3105-13
	2	DK1 gr. m. Gdańsk - Pruszcz 16+720 do 17+790	–	3137-40
	3	DK1 Piaseczno - Jeleń 75+386 do 77+926	–	3129-36
	4	DK7 gr. m. Gdańsk - Leżno 4+976 do 7+182	–	3141-49
	5	DK20 Kościerzyna 258+604 do 259+858	–	3114-15
	6	DK20 Kościerzyna 260+835 do 261+620	–	3114-15
	7	DK21 Trzebielino – Zielin 26+330 do 28+996	–	3101
	8	DK6 Słupsk – Redzikowo (2 jezdnie) 213+962 do 214+737	DK6 Słupsk – Redzikowo (2 jezdnie) 213+962 do 214+737	3102-3104
	9	DK3 10+283 do 14+97	DK3 10+283 do 14+97	3553-59
	10	DK3 19+759 do 22+543	–	3560-62
	11	DK3 26+427 do 29+067	–	63-66
	12	DK3 56+6 do 57+9	–	3567
	13	DK3 99+067 do 101+18	–	3570
	14	DK6 25+2 do 29+877	–	3621-22
	15	DK6 77+00 do 79+1	DK6 77+00 do 79+1	3623-26
	16	DK6 174+515 do 175+615	DK6 174+515 do 175+615	36-55
	17	DK10 27+191 do 32+121		3575-76
	18	DK10 100+3 do 101+556	–	3599-3600
	19	DK11 28+259 do 29+159	DK11 28+259 do 29+159	3634-36
	20	DK11 80+989 do 82+67	–	3656-59

SMA12	1	DK1 Stary Młyn – gr. woj. 84+120 do 90+400	DK1 Stary Młyn – gr. woj. 84+120 do 90+400	3119-3135
	2	DK22 Obwodnica Człuchowa	DK22 Obwodnica Człuchowa	3099-3100
	3	DK1 Jeleń – Stary Młyn 77+920 do 84+120	DK1 Jeleń – Stary Młyn 77+920 do 84+120	3119-3135
	4	DK3 22+543 do 26+427	DK3 22+543 do 26+427	3563-66
	5	DK3 26+888 do 28+799	–	3563-66
	6	DK3 66+300 do 72+000	–	3568-69
	7	DK3 133+126 do 136+667	DK3 133+126 do 136+667	3571-73
	8	DK6 30+425 do 34+644	–	3621-22
	9	DK6 111+637 do 115+862	–	3627-28
	10	DK10 51+250 do 58+420	DK10 51+250 do 58+420	3577-82
	11	DK10 70+141 do 73+141	DK10 70+141 do 73+141	3581-94
	12	DK10 73+141 do 82+185	DK10 73+141 do 82+185	3595-98
	13	DK10 82+185 do 82+968	–	–
	16	DK10 134+891 do 142+698	DK10 134+891 do 142+698	3603-09
	17	DK10 142+698 do 149+312	–	3603-09
	18	DK10 154+300 do 155+456	–	–
	19	DK 20 43+700 do 49+500	DK 20 43+700 do 49+500	3612-20
	20	DK 20 83+975 do 84+685	–	3610-11

SMA10	1	DK5 Borówno-Osielsko 28+000 do 32+988	–	2935-38
	2	DK5 Bożejewice 97+562 do 98+730	DK5 Bożejewice 97+562 do 98+730	2924-28
	3	DK5 Stryzek 49+941 do 50+480	–	2935-38
	4	DK5 Rogowo 99+384 do 100+547	DK5 Rogowo 99+384 do 100+547	2911-23
	5	DK10 Lubaszcz 230+100 do 232+850	DK10 Lubaszcz 230+100 do 232+850	3020-21
	6	DK10 Trzeciewnica 239+260 do 240+752	DK10 Trzeciewnica 239+260 do 240+752	2991-3012
	7	DK10 Kikół 349+200 do 351+600	–	2961-62
	8	DK10 Zielonczyn 251+170 do 255+430	DK10 Zielonczyn 251+170 do 255+430	2991-3012
	10	DK15 Gniewkowo 214+046 do 215+428	–	2959-60
	11	DK15 Tama Brodzka 304+630 do 310+630	DK15 Tama Brodzka 304+630 do 310+630	2984-91
	12	DK15 Głęboć 311+719 do 312+808	DK15 Głęboć 311+719 do 312+808	2984-91
	13	DK5 Osielsko 32+988 do 35+138	–	2935-38
	14	DK10 Nakło (obwodnica) 234+911 do 239+260	DK10 Nakło (obwodnica) 234+911 do 239+260	3012-3019
	15	DK10 Strzelewo 248+539 do 251+170	DK10 Strzelewo 248+539 do 251+170	2991-3012
	16	DK15 Suchatówka 220+190 do 221+432	DK15 Suchatówka 220+190 do 221+432	2952-58
	17	DK15 Brzozie 310+553 do 311+719	–	2981-83
	18	DK55 Zarośle -Dusocin 80+362 do 83+721	DK55 Zarośle -Dusocin 80+362 do 83+721	2929-34
SMA8	1	DK22 Czersk 276+085 do 276+700	–	3116-18
	2			
	3			
BA16 Super- pave	1	A2 Września – Konin	–	2898-2901
Beton cemento- wy	1	DK8 Polichno –Jadwigowo 334+600 do 346+800	–	–
	2	A4 Wrocław (Bielany Wrocław.) jezdnia połud. 104+100 do 153+560	–	–

MNU	1	DK10 (Płońsk) 403+800 do 404 +30	–	–
	2	DK10 Mirosławiec (125+900 do 126+500)	–	3601-02
	3	DK2 Iwno – Starczanowo Ruflex (prawa jezdnia) 206+800 do 215+830	–	3671 - 3674
Colsoft	1	Komorniki (wylot na Wrocław) 195+300 do 197+000	–	2902-09
Gufi	1	DK 20 Borne Sulinowo (132+150 do 132+800)	DK 20 Borne Sulinowo (132+150 do 132+800)	3068-71
	2	DK11 (Okonek- Szczecinek) 119+500 do 121+000 124+700 do 124+900 125+100 do 125+400 127+900 do 129+000 132+000 do 132+700	DK11 (Okonek-Szczecinek) 119+500 do 121+000 124+700 do 124+900 125+100 do 125+400 127+900 do 129+000 132+000 do 132+700	3087-95 3660-61
Cienka warstwa na zimno	1	DK 17 Ryki – Garwolin (km 61+500 do km 64+500) (km 73+150 do 75+750)	DK 17 Ryki – Garwolin (km 61+500 do km 64+500)	3729-41
	2	DW 541 Sierpc – Tłuchowo (114+260 do 116+260)	DW 541 Sierpc – Tłuchowo 113+700 do 114+100 114+260 do 116+260 115+000 do 116+300 116+500	2964-80

Po przejrzeniu dokumentacji fotograficznej, Wykonawcy pomiarów wybrali odcinki spełniające wymagania danej metody badawczej. Do badań metodą CPX wytypowano 17 odcinków pomiarowych. Szczegółowy ich wykaz zamieszczono w Tablicy 5. Do badań SPB wytypowanych zostało 13 odcinków. 10 nawierzchni zostało pomierzonych przez zespół Politechniki Białostockiej, natomiast pozostałe 3 przez Zakład TO – IBDiM. Wykaz zamieszczono w Tablicy 6.

Odcinki wytypowane do pomiarów metodą CPX

Do pomiarów hałasu metodą CPX wytypowano odcinki przedstawione w Tablicy 5.

Tablica 5 Odcinki wytypowane do pomiaru hałaśliwości nawierzchni metodą CPX

Rodzaj nawierzchni	Lp	Lokalizacja
Beton asfaltowy BA16	1	DK6 Mosty – Godętowo 263+060 do 266+340
	2	DK20 Kościerzyna 258+604 do 261+620
SMA12	3	DK22 Obwodnica Człuchowa
	4	DK1 Jeleń – Stary Młyn 77+920 do 84+120
SMA10	5	DK5 Bożejewice 97+562 do 98+730
	6	DK10 Lubaszcz 230+100 do 232+850
SMA8	7	DK22 Czersk 276+085 do 276+700
BA16 Superpave	8	A2 Września – Konin
Beton cemenowy	9	DK8 Polichno –Jadwigowo 334+600 do 346+800
	10	A4 Wrocław (Bielany Wrocław.) jezdnia połud. 104+100do153+560
MNU	11	DK10 Płońsk (403+800 do 404+030)
	12	DK2 Iwno – Starczanowo Ruflex (prawa jezdnia) 206+800 do 215+830
Colsoft	13	Komorniki (wylot na Wrocław) 195+300 do 197+000
Gufi	14	DK 20 Borne Sulinowo (132+150 do 132+800)
	15	DK11 (Okonek-Szczecinek) 119+500 do 132+700
Cienka warstwa na zimno	16	DK 17 Ryki – Garwolin (km 61+500 do km 64+500) (km 73+150 do 75+750)
	17	DW 541 Sierpc – Tłuchowo (114+260 do 116+260)

W każdej lokalizacji wybrano dwa odcinki badawcze na jezdniach biegnących w przeciwnych kierunkach oznaczając je literami „a” i „b”. Wyjątek stanowiły lokalizacje

nr 10 (A4 Wrocław) oraz nr 12 (DK2 Iwno - Starczanowo), na których wyszczególniona nawierzchnia była ułożona na jezdni biegnącej tylko w jednym kierunku. W lokalizacji nr 7 (DK22 Czersk) również wybrano tylko jeden odcinek badawczy z uwagi na zły stan nawierzchni przeciwnego pasa ruchu (występowały tam „łaty” – zdjęcia przedstawiono w sprawozdaniu z pomiarów metodą CPX w Załączniku).

Zastanawiająca była nawierzchnia ułożona na odcinku nr 11 (DK10 Płońsk). Wykonawca robót na tej drodze udzielił informacji, że znajduje się tam warstwa ścieralna z mieszanki MNU. Po wnikliwej analizie nawierzchni na tym odcinku ustalono jednak, że wykonawca pomiarów błędnie zlokalizował (o 20 km) podany odcinek testowy z MNU. W rzeczywistości badania wykonano na starej nawierzchni z betonu asfaltowego BA12. W wykazie odcinków oraz opisie nawierzchni pozostała jednak nazwa MNU. Dla zaznaczenia błędu dodano znak zapytania. A zatem nawierzchnia z mieszanki „MNU(?)” to w rzeczywistości beton asfaltowy BA12. Należy jeszcze dodać, że stan techniczny tego odcinka był bardzo zły, gdyż znajdowały się na nim głębokie koleiny. Widok odcinka przedstawiony jest na fotografiach dostępnych w sprawozdaniu z badań metodą CPX załączniku do niniejszego sprawozdania.

Niektóre wytypowane odcinki znajdowały się na drogach krętych, na terenie obszaru zabudowanego, pomiędzy skrzyżowaniami, na drodze ze znacznym ograniczeniem prędkości (np. do 40 km/h). Z uwagi na te parametry techniczne, nie było możliwe wykonanie na nich pełnego zakresu badań i ograniczono się do dwóch bądź tylko jednej prędkości pomiarowej.

W przypadku dróg dwujezdniowych pomiary wykonywano na prawym pasie ruchu. Gdy warunki badań na to pozwalały (jezdnie z utwardzonym poboczem) mierzono hałas w prawej koleinie, w przeciwnym wypadku – pomiędzy koleinami.

W Tablicy 6 zamieszczono szczegółowy wykaz wszystkich badanych odcinków wraz pikietażem, datą przeprowadzenia pomiarów, itd.

Tablica 6 Wykaz odcinków, na których przeprowadzono badania hałasu metodą CPX

L. p.	Lokalizacja	Nr drogi	Miejsowość w pobliżu	Rodzaj nawierzchni	Data pomiarów	Nazwa odcinka	Kilometr od ... do ...
1	Mosty-Godętowo 263+060 – 266+340	DK6	Mosty, Godętowo	BA16	2005.07.04	1a	266,100 - 265,700
						1b	265,700 - 266,100
2	Kościerzyna 258+604 – 261+620	DK20	Kościerzyna	BA16	2005.07.06	2a	261,500 - 261,200
						2b	261,200 - 261,500
3	Obwodnica Człuchowa	DK22	Człuchów	SMA12	2005.07.05	3a	0,300 - 0,500
						3b	0,500 - 0,300
4	Jeleń - Stary Młyn 77+920 – 84+120	DK1	Stary Młyn	SMA12	2005.08.03	4a	83,700 - 84,000
						4b	84,000 - 83,700
5	Bożejewice 97+562 – 98+730	DK5	Bożejewice	SMA10	2005.08.09	5a	97,800 - 97,500
						5b	97,500 - 97,800
6	Lubaszcz 230+100 – 232+850	DK10	Śmielin	SMA10	2005.08.09	6a	230,200 - 230,600
						6b	230,600 - 230,200
7	Czersk 276+085 – 276+700	DK22	Czersk	SMA8	2005.08.02	7a	276,700 - 276,300
8	Września – Konin	A2	Osieczka, Modła	BA16 Superpave	2005.08.13-14	8a	253,300 - 253,600
						8b	253,600 - 253,300
9	Polichno - Jadwigowo 334+600 – 346+800	DK8	Polichno	Beton cementowy	2005.08.19	9a	336,000 - 336,300
						9b	336,300 - 336,000
10	Wrocław (Bielany Wrocław.) jezdnia pld. 104+100 – 153+560	A4	Jarosław	Beton cementowy	2005.08.18	10a	116,000 - 116,300
11	Płońsk 403+800 – 404+030	DK10	Jeżewo	MNU (?)	2005.08.05	11a	404,000 - 403,800
						11b	403,800 - 404,000
12	lwno – Starczanowo (prawa jezdnia) 206+800 – 215+830	DK92 (stare DK2)	Siedlec	MNU Reflex	2005.08.13	12a	206,800 - 207,100
13	Komorniki 195+300 – 197+000	DK5	Komorniki	Colsoft	2005.08.14	13a	195,700 - 196,000
						13b	196,000 - 195,700

14	Borne Sulinowo 132+150 – 132+800	DK20	Sitno	Gufi	2005.08.0 8	14a	132,600 - 132,750
						14b	132,750 - 132,600
15	Okonek – Szczecinek 119+500 – 132+700	DK11	Okonek	Gufi	2005.08.0 8	15a	130,000 - 129,600
						15b	129,600 - 130,000
16	Ryki – Garwolin 61+500 – 64+500 73+150 – 75+750	DK17	Ryki	Cienka warstwa na zimno	2005.08.0 6	16a	62,000 - 61,700
						16b	61,700 - 62,000
17	Sierpc – Tłuchowo 114+260 – 116+260	DW54 1	Trzcianka	Cienka warstwa na zimno	2005.08.0 5	17a	114,500 - 114,700
						17b	114,700 - 114,500

Przykładowe zdjęcia badanych odcinków i nawierzchni przedstawiono na fotografiach zamieszczonych poniżej. Wszystkie pozostałe fotografie znajdują się w Załączniku 4, w sprawozdaniu z badań metodą CPX.



Foto 14 Widok odcinka badawczego 01a, DK6, Mosty – Godętowo



Foto 15 Widok odcinka badawczego 01a, nawierzchnia: BA16



Foto 16 Widok odcinka badawczego 01b, DK6, Mosty – Godętowo



Foto 17 Widok odcinka badawczego 01b, nawierzchnia: BA16

Odcinki wytypowane do pomiarów metodą SPB

Do pomiarów hałasu metodą SPB wytypowano odcinki przedstawione w Tablicy 7. Pomiary te miały zostać wykonane przez zespół Politechniki Białostockiej.

Tablica 7 Odcinki wytypowane do pomiaru hałaśliwości metodą SPB przez PB

Lp	Rodzaj nawierzchni	Lokalizacja
1	Beton asfaltowy BA16	DK20 Kościerzyna 258+604 do 261+620
2	SMA12	DK22 Obwodnica Człuchowa
3		DK1 Jeleń – Stary Młyn 77+920 do 84+120
4	SMA10	DK5 Bożejowice 97+562 do 98+730
5		DK10 Lubaszcz 230+100 do 232+850
6	SMA8	DK22 Czersk 276+085 do 276+700
7	MNU	DK10 Płońsk (403+800 do 404+030)
8		DK2 Iwno – Starczanowo Ruflex (prawa jezdnia) 206+800 do 215+830
9	Gufi	DK11 (Okonek-Szczecinek) 119+500 do 132+700
10	Cienka warstwa na zimno	DK 17 Ryki – Garwolin (km 61+500 do km 64+500) (km 73+150 do 75+750)

Po zapoznaniu się Wykonawcy z wytypowanymi odcinkami zostały zaproponowane pewne zmiany, gdyż nie na wszystkich odcinkach była możliwość wykonania badań metodą SPB. Niektóre z nich były położone zbyt blisko obszarów zabudowanych, na niektórych nawierzchnia była zbyt uszkodzona i zniszczona aby wynik był miarodajny. W związku z powyższym, wyznaczono 5 innych odcinków, na których wytypowano przekroje badawcze do pomiaru poziomu hałasu pojazdów samochodowych. Zmiany wprowadzono dla następujących odcinków badawczych:

- odcinek w Kościerzynie zastąpiono odcinkiem na DK22 (odcinek Nr 1),
- zamiast odcinka na obwodnicy Człuchowa wybrano odcinek na DK10 (odcinek Nr 3),
- odcinek zlokalizowany w pobliżu Płońska zastąpiono odcinkiem na DK10,
- zamiast odcinka na DK5 (Bożejowice) wybrano odcinek na tej samej drodze,

lecz w innej lokalizacji (odcinek Nr 5),

- odcinek o nawierzchni wykonanej w technologii SMA 8 (Czersk) wymieniono na odcinek na DK22 o nawierzchni z BA 12 (odcinek Nr 2) który, jak to później zauważono, okazał się interesujący z punktu widzenia uzyskanych poziomów hałasu od przejazdu pojazdów samochodowych.

W tablicy 8 podano lokalizację nowych przekrojów badawczych, w których przeprowadzono pomiary hałasu metodą SPB w lipcu i sierpniu 2005 r.

Tablica 8 Rodzaj nawierzchni i lokalizacja przekrojów badawczych

Rodzaj nawierzchni	Lokalizacja przekroju badawczego
BA16	DK 22; km 314,860; prawy pas jezdni
BA12	DK 22; km 312,630; prawy pas jezdni
SMA12	DK 10; km 140,650; prawy pas jezdni
SMA12	DK 1; km 83,840; prawy pas jezdni
SMA10	DK 5; km 28,690; prawy pas jezdni
SMA10	DK 10; km 229,950; prawy pas jezdni
MNU	DK 10; km 126,280; lewy pas jezdni
MNU - Reflex	DK 2, km 209,080 pas zewnetrz. prawej jezdni
GUF1	DK 11, km 124,910; prawy pas jezdni
Cienka warstwa „na zimno”	DK 17, km 61,720; lewy pas jezdni

Widok wszystkich odcinków badawczych przedstawiono na fotografiach. Są one umieszczone w Sprawozdaniu z badań metoda SPB będącym załącznikiem do niniejszej pracy.

Pomiary metodą SPB były wykonywane również przez zespół TO-IBDiM. Do badań wytypowano trzy odcinki. Dwa z nich znajdowały się na drodze o nawierzchni z mieszanki BA16. Trzeci odcinek znajdował się na drodze z nawierzchnią z SMA 12. Lokalizację tych odcinków przedstawiono w Tablicy 9.

Tablica 9 Wykaz odcinków na których zostały wykonane pomiary przez TO-IBDiM

Rodzaj nawierzchni	Lokalizacja przekroju badawczego
BA16	DK6 ; km 263+060 - km 266+340; Mosty - Godętowo
BA16	DK11 ; km 28+259 - km 29+159;
SMA12	DK10 ; km 134+891 - km 142+698;

Widok odcinków badawczych przedstawiono na fotografiach 18, 19 i 20.



Foto 18 Widok odcinka badawczego nr 1, nawierzchnia z BA16



Foto 19 Widok odcinka badawczego nr 2, nawierzchnia z BA16.



Foto 20 Widok odcinka badawczego nr 3, nawierzchnia z SMA12.

Odcinki wytypowane do pomiarów właściwości przeciwpoślizgowych

Badania właściwości przeciwpoślizgowych zostały wykonane na wszystkich odcinkach, na których wcześniej wykonano pomiary poziomu hałasu. Zostały one wykonane przez Zakład Diagnostyki Nawierzchni IBDiM. Wykaz odcinków przedstawiono w Tablicy 10.

Tablica 10 Wykaz odcinków do badań właściwości przeciwpoślizgowych

Rodzaj nawierzchni	Lp	Lokalizacja
Beton asfaltowy BA16	1	DK6 Mosty – Godętowo 255,100 – 265,700
	2	DK20 Kościerzyna 261,200 – 261,500
	3	DK 22, prawy pas jezdni 314,860

SMA12	4	DK22 Obwodnica Człuchowa 0,500 – 0,300
	5	DK1 Jeleń – Stary Młyn 83,700 – 84,000 83,840
	6	DK 10, prawy pas jezdni 140,650
SMA10	7	DK5 Bożejewice 97,500 – 97,800
	8	DK10 Lubaszcz 230,200 – 230,600 229,950
	9	DK 5, prawy pas jezdni 28,690
SMA8	10	DK22 Czersk 276,700 – 276,300
BA16 Superpave	11	A2 Września – Konin 253,300 – 253,600
Beton cementowy	12	DK8 Polichno –Jadwigowo 336,000 – 336,300
	13	A4 Wrocław (Bielany Wrocław.) jezdni połud. 116,000 – 116,300
MNU	14	DK10 Płońsk 403,800 – 404,000
	15	DK2 Iwno – Starczanowo Ruflex (prawa jezdni) 206,800 – 207,100 209,080
	16	DK 10, lewy pas jezdni 126,280
Colsoft	17	Komorniki (wylot na Wrocław) 195,700 – 196,000
Gufi	18	DK 20 Borne Sulinowo (132,600 – 132,750
	19	DK11 (Okonek-Szczecinek) 129,600 – 130,000 124,910
Cienka warstwa na zimno	20	DK 17 Ryki – Garwolin 61,700 – 62,000 61,720
	21	DW 541 Sierpc – Tłuchowo (114,500 – 114,700
BA 12	22	DK 22, prawy pas jezdni 312,630

9. Wyniki i analiza pomiarów metodą SPB

Wszystkie wyniki pomiarów (zarówno pomiarów prędkości przejeżdżających pojazdów samochodowych jak i poziomów emitowanego hałasu toczenia) zamieszczone są w Sprawozdaniach z badań dostarczonych przez Wykonawców, a znajdujących się w Załącznikach do tego Sprawozdania.

Wyniki i analiza pomiarów wykonanych przez zespół Politechniki Białostockiej

Pomiary metodą SPB przeprowadzono dla różnych prędkości przejazdowych oraz dla różnych rodzajów pojazdów. Podział pojazdów przedstawiony został w punkcie 7 niniejszego sprawozdania.

Aby możliwe było przeprowadzenie analizy wyników pomiarów poziomu hałasu toczenia, należało ustalić kategorię prędkości, w stosunku do której ta analiza będzie wykonywana. Przeprowadzono więc porównanie średnich prędkości pojazdów osobowych i pojazdów ciężarowych oraz wyznaczono wartości odchyłeń standardowych. W tabelicy 11 podano średnią prędkość badanych pojazdów na poszczególnych odcinkach wraz z odchyleniem standardowym oraz temperaturą otoczenia. Przyjęto, że analiza wyników badań ze wszystkich odcinków przeprowadzona będzie w odniesieniu do prędkości: 80 km/h i 110 km/h dla pojazdów osobowych oraz 70 km/h i 85 km/h dla pojazdów ciężarowych. Prędkości takie bardzo ciężko było uzyskać zwłaszcza dla pojazdów ciężarowych kategorii 2A. Ich liczba w potokach ruchu była stosunkowo mała, a ich stan techniczny wysoce niezadowalający. Najczęściej pojazdy tej kategorii poruszały się z małą prędkością, bezpośrednio przy poboczu, a nawet poboczem drogi. Na odcinku nr 7 określono poziom emitowanego hałasu jedynie dla 5 przejeżdżających pojazdów kategorii 2A. Na niektórych odcinkach nie uzyskano wartości emitowanego hałasu dla łącznej minimalnej liczby pojazdów ciężarowych (80 pojazdów) (odcinek Nr 1 - 70 pojazdów kat. 2; odcinek Nr 2 - 78 pojazdów, odcinek Nr 3 - 76 pojazdów, , odcinek Nr 7 - 50 pojazdów, odcinek Nr 9 - 72 pojazdy). Wynikało to głównie z małego udziału w ruchu pojazdów kategorii 2A lub zmieniających się warunków atmosferycznych. Nie miało to jednak istotnego wpływu na przeprowadzenie analizy uzyskanych wyników.

Tablica 11 Ocena prędkości badanych pojazdów na danym rodzaju nawierzchni

Lp.	Rodzaj nawierzchni	Temperatura powietrza	Średnia prędkość pojazdów (odchylenie standardowe prędkości) [km/h]		
			SO - kat.1	SC- kat.2A	SC- kat.2B
1	BA 16	21°C	85,7 (14,3)	73,1 (9,5)	76,5 (6,2)
2	BA 12	20°C	91,9 (17,5)	74,9 (10,7)	79,4 (7,0)
3	SMA 12	20°C	100,0 (16,2)	75,7 (9,7)	83,1 (6,7)
4	SMA 12	20°C	92,8 (13,7)	76,9 (7,3)	79,6 (5,9)
5	SMA 10	22°C	87,4 (12,9)	73,7 (7,6)	79,8 (9,6)
6	SMA 10	23°C	85,9 (15,7)	73,6 (8,8)	75,7 (8,6)
7	MNU	25°C	86,7 (15,3)	73,2 (9,4)	81,6 (5,1)
8	MNU - Ruflex	20°C	91,2 (14,9)	73,5 (8,6)	75,5 (10,2)
9	GUFİ	21°C	95,2 (18,1)	78,1 (9,5)	79,5 (7,9)
10	CWNZ	20°C	106,4 (17,3)	78,1 (10,7)	80,7 (6,2)

Wynikiem pomiarów poziomu hałasu według SPB były zależności regresyjne, określone dla każdej kategorii pojazdów i umożliwiające obliczenie wartości poziomu dźwięku dla $L_{1,2A,2B}$ od przejazdu statystycznego pojazdu danej kategorii, przy założonych prędkościach, zgodnie ze wzorem:

$$L_{(1,2A,2B)}(V) = A + B \log V$$

w którym:

A, B - współczynniki regresji.

Określone współczynniki korelacji R pozwoliły ocenić wzajemne powiązanie poziomu generowanych dźwięków i logarytmu prędkości. Ustalone zależności pomiędzy poziomem emitowanego dźwięku w pasmach częstotliwościowych a logarytmem prędkości umożliwiły wykonanie analizy widmowej dźwięku w zakresie ustalonych prędkości dla statystycznego pojazdu, każdej z trzech kategorii. Hałaśliwość nawierzchni na

poszczególnych odcinkach określono w oparciu i wskaźnik SPBI. W tablicy 12 zestawiono współczynniki regresji A i B ustalonych zależności, według powyższego wzoru, oraz podano współczynniki korelacji (R).

Tablica 12 Zestawienie współczynników regresji i współczynników korelacji zależności

Lp	Nawierzchnia	Samochody osobowe – kat 1			Samochody ciężarowe – 2A			Samochody ciężarowe – 2B		
		A	B	R	A	B	R	A	B	R
1	BA16	18,6	32,0	0,82	16,8	36,1	0,51	30,2	29,9	0,53
2	BA12	12,2	33,5	0,83	13,8	36,4	0,60	44,8	22,0	0,22
3	SMA12	25,9	27,7	0,79	51,1	17,5	0,41	12,4	38,9	0,63
4	SMA12	28,1	26,6	0,72	64,5	10,0	0,23	43,8	22,3	0,47
5	SMA10	29,3	26,4	0,77	42,6	22,4	0,52	19,6	35,2	0,64
6	SMA10	26,6	26,7	0,80	5,7	41,4	0,54	33,9	27,2	0,57
7	MNU	23,3	28,3	0,82	42,6	21,2	0,56	11,6	38,5	0,67
8	Ruflex	27,7	27,6	0,77	52,4	17,4	0,41	27,8	31,9	0,73
9	GUF1	16,7	31,6	0,82	40,4	22,9	0,34	39,6	24,5	0,39
10	CWZ	30,5	26,4	0,74	52,8	16,7	0,44	36,9	26,4	0,59

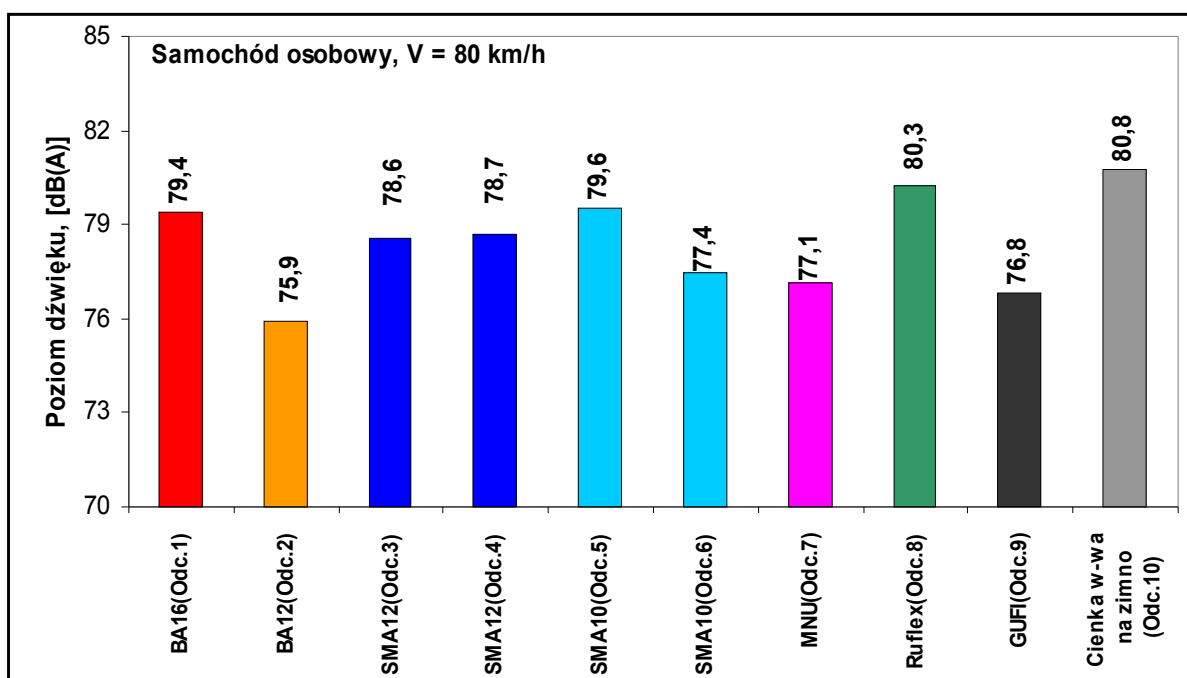
Podane wartości współczynnika regresji B określały wpływ wzrostu prędkości pojazdu na wzrost poziomu hałasu. W odniesieniu do pojazdu osobowego na badanych nawierzchniach wartość współczynnika B była zbliżona i zawierała się w przedziale 26,4 - 33,5. Oznaczało to, że wzrost prędkości z 80 do 110 km/h był przyczyną wzrostu poziomu hałasu od 3,6 do 4,6 dB(A). Nieznacznie wyższy wzrost poziomu hałasu zanotowano na nawierzchniach z mastyksu grysowego SMA, w porównaniu do pozostałych badanych technologii. Współczynnik B w wypadku samochodu ciężarowego kategorii 2A zawierał się w przedziale 10,0 - 41,4. Oznaczało to, że przy wzroście prędkości z 70 do 85 km/h poziom hałasu wzrastał od 0,8 do 3,5 dB(A). Stwierdzono jednak dość istotne zróżnicowanie w wartości współczynnika B w grupie wyników badań warstwy ścieralnej z SMA. Samochody ciężarowe kategorii 2A znacznie różniły się stanem technicznym. To było z pewnością przyczyną tak dużych różnic. W odniesieniu do samochodu ciężarowego kategorii 2B wartość współczynnika B zawierała się w przedziale od 22,0 do

38,9, co zadecydowało o wzroście poziomu emitowanego dźwięku o 1,9 - 3,3 dB(A), przy wzroście prędkości z 70 do 85 km/h. Nie stwierdzono przy tym wpływu technologii na wzrost poziomu hałasu wraz ze wzrostem prędkości ruchu pojazdu tej kategorii. Ustalone współczynniki R w odniesieniu do pojazdu osobowego, w przedziale 0,72 - 0,83, wskazywały na dobrą korelację pomiędzy poziomem emitowanego hałasu a logarytmem prędkości pojazdu tej kategorii. Nieco gorsza sytuacja miała miejsce w odniesieniu do pojazdów ciężarowych. Dotyczyło to zarówno pojazdów kategorii 2A (R = 0,23 - 0,60) i kategorii 2B (R = 0,22 - 0,73). Istotny wpływ na ten fakt miał stan techniczny i stosunkowo duże zróżnicowanie pojazdów ciężarowych poruszających się po naszych drogach.

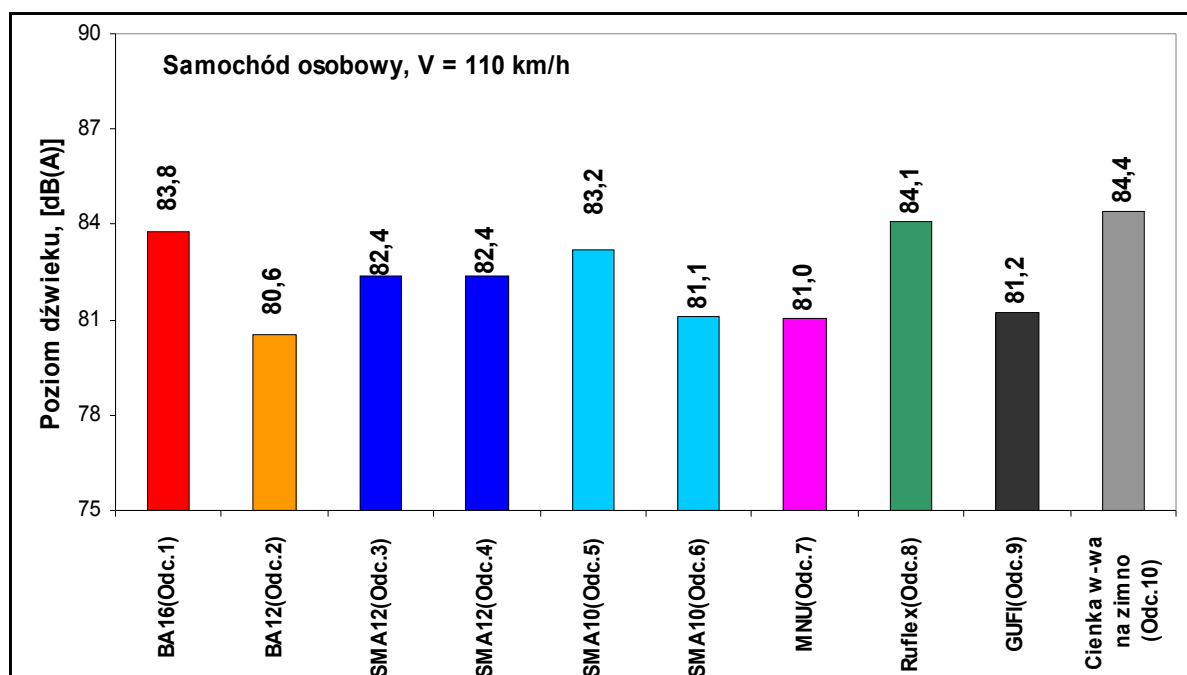
W tablicy 13 i oraz na rysunkach od 3 do 8 podano obliczone wartości emitowanego dźwięku podczas przejazdu statystycznego pojazdu danej kategorii w zależności od przyjętej prędkości referencyjnej: 80 i 110 km/h - pojazdu osobowego oraz 70 i 85 km/h - pojazdu ciężarowego.

Tablica 13 Wartość poziomu dźwięku emitowanego podczas przejazdu statystycznego pojazdu

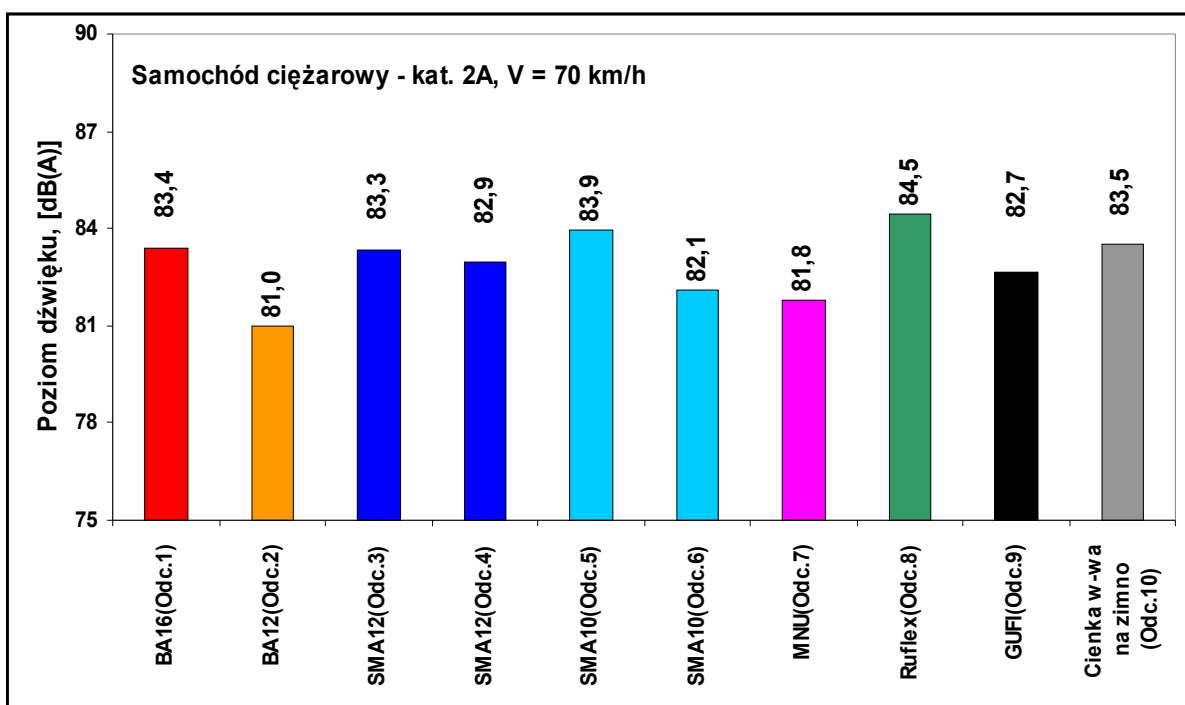
Lp	Nawierzchnia	Poziom dźwięku podczas przejazdu pojazdu z prędkością:					
		SO - kat. 1		SC - kat. 2A		SC - kat. 2B	
		80km/h	110km/h	70km/h	85km/h	70km/h	85km/h
1	BA16	79,4	83,8	83,4	86,4	85,5	88,0
2	BA12	75,9	80,6	81,0	84,1	85,3	87,2
3	SMA12	78,6	82,4	83,3	84,8	84,2	87,5
4	SMA12	78,7	82,4	82,9	83,8	84,8	86,7
5	SMA10	79,6	83,2	83,9	85,8	84,6	87,5
6	SMA10	77,4	81,1	82,1	85,6	84,1	86,4
7	MNU	77,1	81,0	81,8	83,6	82,7	85,9
8	Ruflex	80,3	84,1	84,5	85,9	86,7	89,4
9	GUF1	76,8	81,2	82,7	84,6	84,7	86,8
10	CWZ	80,8	84,4	83,5	84,9	85,5	87,7



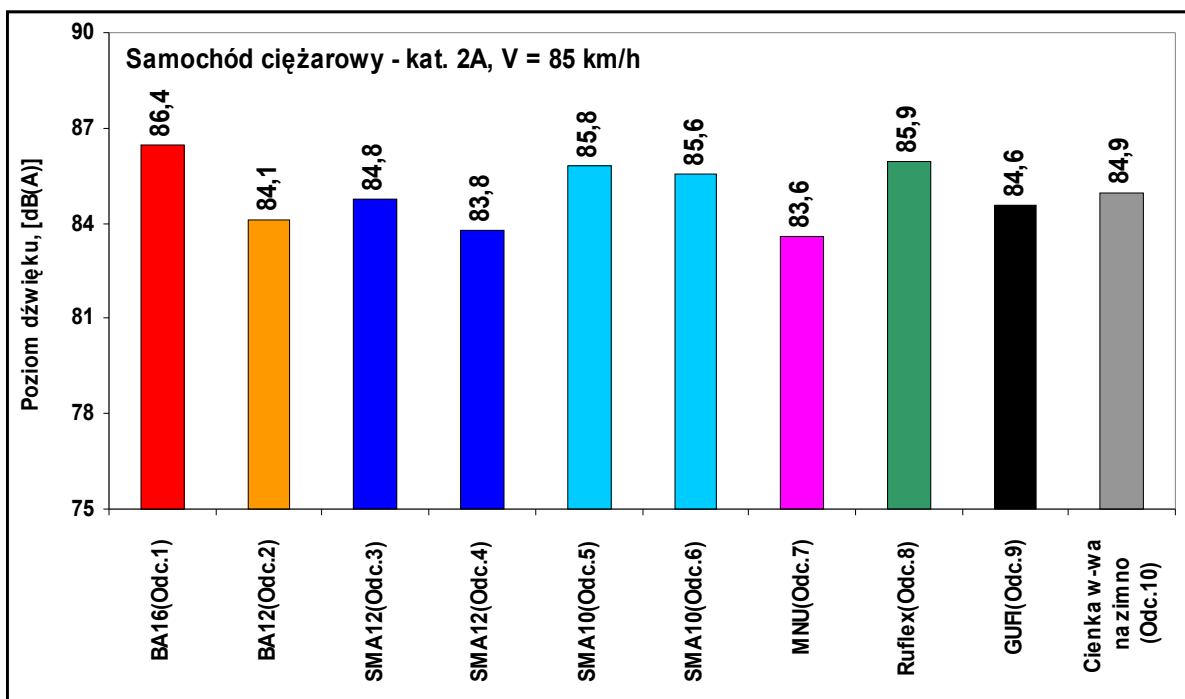
Rysunek 3 Zestawienie dźwięków podczas przejazdu pojazdu osobowego, V = 80 km/h



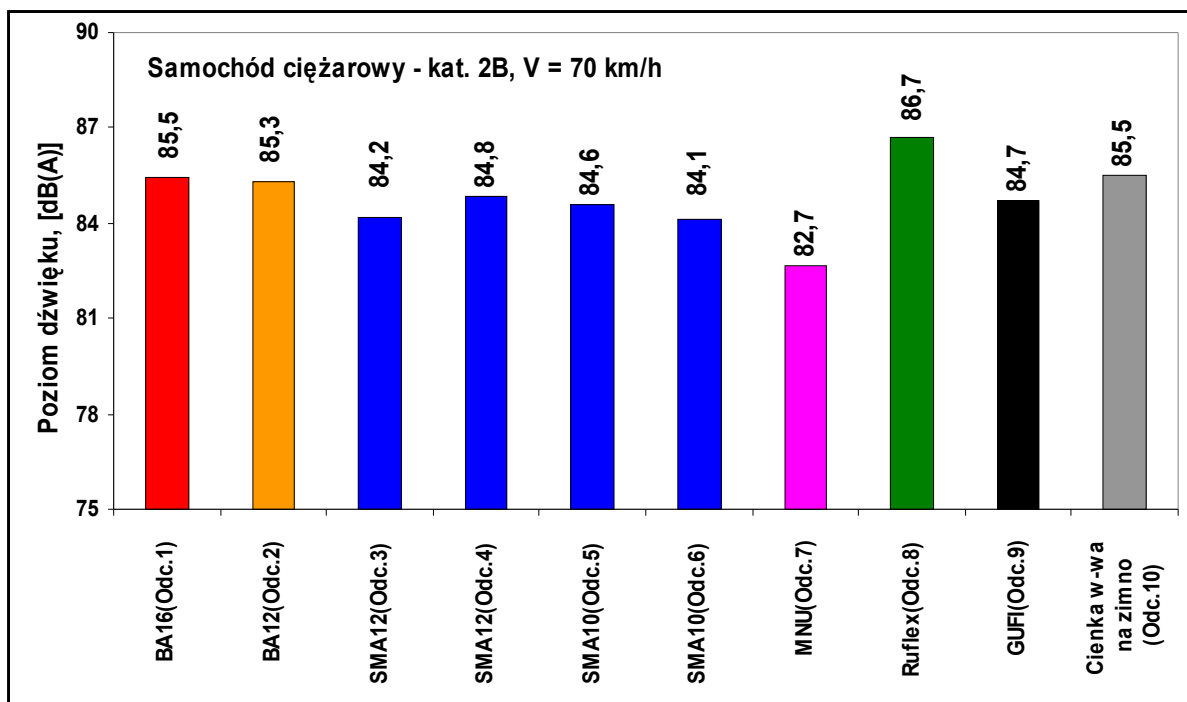
Rysunek 4 Zestawienie dźwięków podczas przejazdu pojazdu osobowego, przy prędkości V = 110 km/h



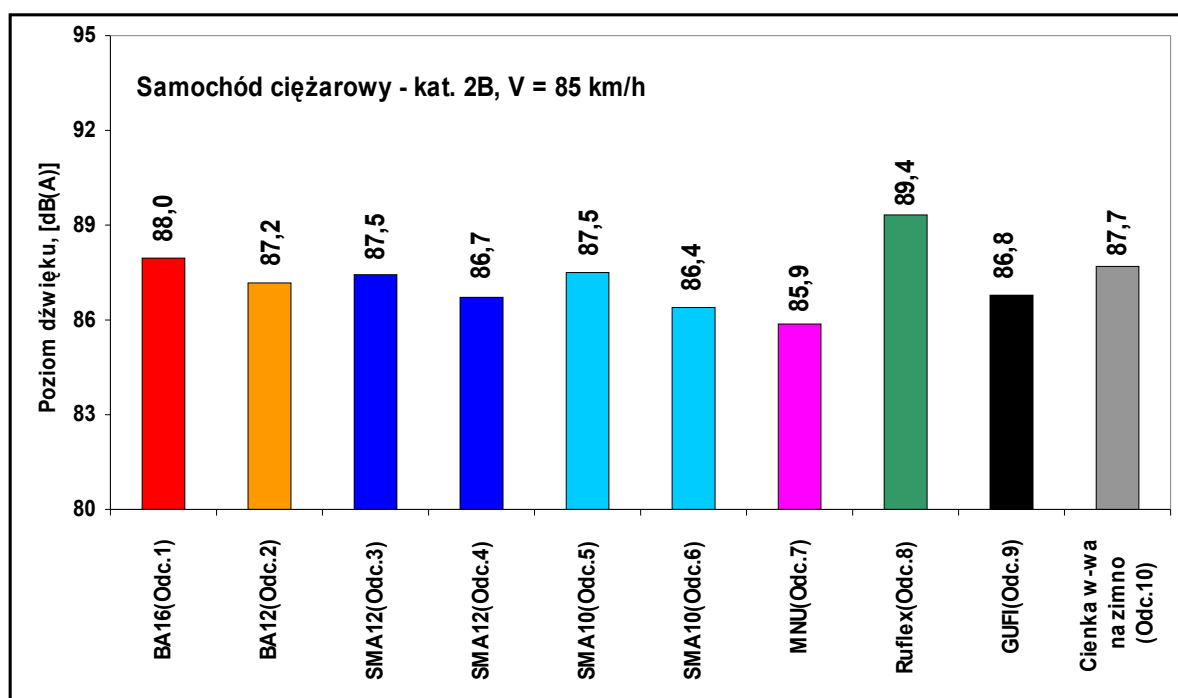
Rysunek 5 Zestawienie dźwięków podczas przejazdu pojazdu ciężarowego 2A, przy prędkości V = 70 km/h



Rysunek 6 Zestawienie dźwięków podczas przejazdu pojazdu ciężarowego 2A, przy prędkości V = 85 km/h



Rysunek 7 Zestawienie dźwięków podczas przejazdu pojazdu ciężarowego 2B, przy prędkości V = 70 km/h



Rysunek 8 Zestawienie dźwięków podczas przejazdu pojazdu ciężarowego 2B, przy prędkości V = 85 km/h

Na podstawie otrzymanych wyników i posegregowaniu ich w zależności od kategorii pojazdu i prędkości przejazdu porównano ustalone wartości poziomu emitowanego hałasu podczas przejazdu statystycznego pojazdu osobowego. Zauważono występowanie pewnych różnic w zależności od rodzaju nawierzchni i kategorii pojazdu. W Tablicy 14 podano wartości różnicy pomiędzy poziomem hałasu na badanych nawierzchniach a poziomem hałasu ustalonym na nawierzchni SMA12 (DK nr 1 - odcinek nr 4), przyjętej w Tablicy jako nawierzchnia referencyjna.

Tablica 14 Różnice w poziomie dźwięku na nawierzchniach w odniesieniu do SMA12

Lp	Nawierzchnia	Wartości różnic, [dB(A)]					
		SO - kat. 1		SC - kat. 2A		SC - kat. 2B	
		80km/h	110km/h	70km/h	85km/h	70km/h	85km/h
1	BA16	+0,7	+1,4	+0,5	+2,6	+0,7	+1,3
2	BA12	-1,8	-1,8	-1,9	+0,3	+0,5	+0,5
3	SMA12	-0,1	0	+0,4	+1,0	-0,6	+0,8
4	SMA12	0 (78,7)	0 (82,4)	0 (82,9)	0 (83,8)	0 (84,8)	0 (86,7)
5	SMA10	+0,9	+0,8	+1,0	+2,0	-0,2	+0,8
6	SMA10	-1,3	-1,3	-0,8	+1,8	-0,7	-0,3
7	MNU	-1,6	-1,4	-1,1	-0,2	-2,1	-0,8
8	Ruflex	+1,6	+1,7	+1,6	+2,1	+1,9	+2,7
9	GUF1	-1,9	-1,2	-0,2	+0,8	-0,1	+0,1
10	CWZ	+2,1	+2,0	+0,6	+1,1	+0,7	+1,0

Pojazdy osobowe

W odniesieniu do poziomu hałasu emitowanego przez statystyczny pojazd osobowy stwierdzono, że najbardziej hałaśliwą nawierzchnią są nawierzchnie typu Ruflex, cienka warstwa „wykonana na zimno” oraz beton asfaltowy o uziarnieniu do 16 mm. Zbliżony poziom hałasu uzyskano także na nawierzchni z SMA10, na odcinku położonym na drodze nr 5, i był on wyższy od hałasu ustalonego na odcinku z SMA10 na drodze krajowej nr 10 aż o 2,2 dB(A) (dla prędkości 80 km/h) i o 2,1 dB(A) – przy prędkości 110 km/h. Do najcichszych warstw ścierzalnych należą: beton asfaltowy BA12, SMA10 (na drodze krajowej nr 10), warstwa ścierzalna z mieszanki o nieciągłym uziarnieniu MNU10 i warstwa z mieszanki GUF1. Pewnym zaskoczeniem była nawierzchnia z BA12. Okazało się, że wyznaczono tam bardzo niski poziom hałasu. Na nawierzchniach z SMA12 (odcinki nr 3 i nr 4) stwierdzono niższy poziom hałasu niż na BA16 i wyższy niż na warstwach ścierzalnych o najmniejszym poziomie stwierdzonym w tych badaniach.

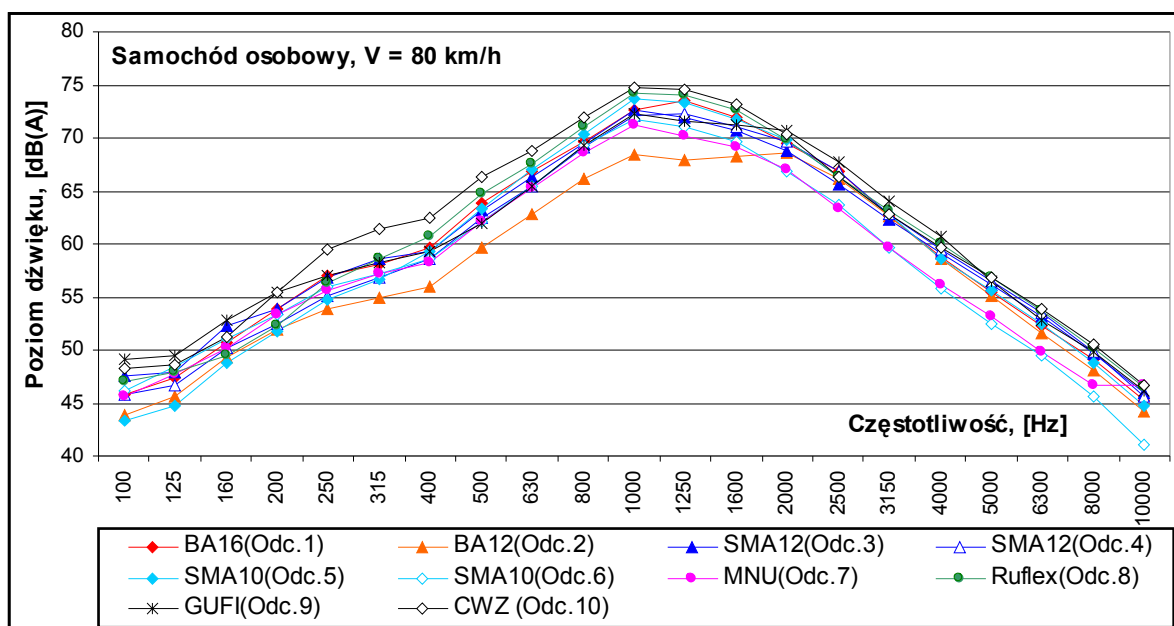
Pojazdy ciężarowy – kategoria 2A

Poziom hałasu podczas przejazdu statystycznego pojazdu ciężarowego kategorii 2A wykazał mniejsze zróżnicowanie w zależności od rodzaju nawierzchni. Wyższy poziom hałasu stwierdzono na BA16, SMA12, nawierzchni typu Ruflex, na cienkiej warstwie wykonanej na zimno oraz na odcinku z SMA10, na drodze krajowej nr 5. Jednak wraz ze wzrostem prędkości (z 70 do 85 km/h) poziom hałasu ustalony na nawierzchni z SMA12 był bliższy wartościom uzyskanym na nawierzchni z BA12 i MNU10. Wartości ustalone przez Wykonawców pomiarów dla samochodu ciężarowego kat. 2A były obarczone dużymi błędami, gdyż w tej kategorii pojazdów występuje największe ich zróżnicowanie pod względem stanu technicznego.

Pojazdy ciężarowy – kategoria 2B

Poziom emitowanego dźwięku od przejazdu samochodu ciężarowego kategorii 2B okazał się najwyższy na nawierzchni typu Ruflex. W porównaniu z nawierzchnią z SMA12 (odcinek nr 4), wyższy poziom emitowanego dźwięku stwierdzono, oprócz nawierzchni typu Ruflex, także na odcinkach z betonu asfaltowego i na cienkiej warstwie wykonanej na zimno. Zdecydowanie najniższy poziom ustalono na warstwie ścieralnej z mieszanki o nieciąglym uziarnieniu. Nieco niższe wartości poziomu dźwięku, w porównaniu z uzyskanymi na SMA12, zauważono na SMA10 i na nawierzchni typu Gufi.

W załączniku do niniejszego opracowania można znaleźć analizę widm emitowanego dźwięku. Wykonawca pomiarów wykonał taką analizę, choć nie było to wymagane ze strony normy ISO 11819 - 1. Na rysunkach w załączniku pokazano widma dźwięku w pasmach tercjowych od przejazdu statystycznego pojazdu każdej z badanych kategorii na badanych nawierzchniach, ustalone dla prędkości 80 i 110 km/h (pojazd osobowy) oraz 70 i 85 km/h (pojazdy ciężarowe). Zestawiono poziomy dźwięku w pasmach tercjowych 100 - 10000 Hz, ustalonych w odniesieniu do każdego z badanych pojazdów. Poniżej, na Rysunku 9, przedstawiono przykład takiego zestawienia.



Rysunek 9 Widma dźwięku od przejazdu pojazdu osobowego, V = 80 km/h

Wartości poziomu dźwięku w poszczególnych pasmach częstotliwości wskazują na pewne zróżnicowanie wynikające z rodzaju nawierzchni. W przypadku samochodu osobowego najniższe wartości poziomu dźwięku, w zakresie częstotliwości powyżej 1600 Hz, zanotowano na warstwie ścieralnej o nieciągłym uziarnieniu oraz na SMA10. W zakresie częstotliwości niższych, najniższy poziom hałasu stwierdzono na nawierzchni z betonu asfaltowego o uziarnieniu do 10 mm. Fakty te mają związek z teksturą powierzchni badanych nawierzchni. Właściwości te omawiane będą w kolejnym punkcie. W odniesieniu do samochodów ciężarowych niekorzystnym rozwiązaniem okazała się nawierzchnia typu Ruflex, a najbardziej korzystnym z akustycznego punktu widzenia – nawierzchnia z mieszanki o nieciągłym uziarnieniu i SMA10.

Ocena hałaśliwości nawierzchni według wskaźnika SPBI

Zgodnie z normą ISO 11819-1 nawierzchnie pod względem hałaśliwości charakteryzują indeksy SPBI, ustalone dla badanych nawierzchni z uwzględnieniem kategorii prędkości i struktury rodzajowej ruchu, według wzoru:

$$SPBI = 10 \log(W_1 \cdot 10^{L_{1/10}} + W_{2A} \cdot 10^{L_{2A/10}} + W_{2B} \cdot 10^{L_{2B/10}}),$$

w którym:

W_1, W_{2A}, W_{2B} – współczynniki uwzględniające strukturę rodzajową ruchu,

L_1, L_{2A}, L_{2B} – maksymalne poziomy dźwięku od przejazdu statystycznych pojazdów kategorii 1, 2A i 2B, odpowiadające prędkościom referencyjnym, ustalonym dla poszczególnych kategorii pojazdów.

W Tablicy 15 podano kategorie prędkości oraz wartości współczynników W_x , uwzględniających strukturę rodzajową ruchu, przyjętą według normy ISO 11819, w przypadku braku takich danych na konkretnych odcinkach dróg.

Tablica 15 Kategorie prędkości i wartości współczynników struktury rodzajowej ruchu

Kategoria pojazdów	Kategoria prędkości					
	niska		średnia		wysoka	
	V_{ref}	W_x	V_{ref}	W_x	V_{ref}	W_x
osobowe	50	0,900	80	0,800	110	0,700
ciężarowe – 2A	50	0,075	70	0,100	85	0,075
ciężarowe – 2B	50	0,025	70	0,100	85	0,225

W Tablicy 16 podano obliczone wartości wskaźnika SPBI poszczególnych rodzajów nawierzchni, bez uwzględnienia i z uwzględnieniem wpływu temperatury. Przyjęto współczynnik korygujący o wartości 0,1 dB(A) na 1°C różnicy temperatury w stosunku do temperatury referencyjnej 20°C (znak „+” - dla temperatury wyższej od 20°C; znak „-” - dla temperatury niższej od 20°C) w odniesieniu do poziomu hałasu samochodu osobowego.

Tablica 16 Wartości wskaźnika SPBI oraz wartości różnicy pomiędzy wskaźnikami SPBI na badanych nawierzchniach i nawierzchni SMA12 na odcinku nr 4

Rodzaj nawierzchni	Wartość SPBI i wartości różnicy (bez korekty temperaturowej)		Wartość SPBI i wartości różnicy (z korektą temperaturową)	
	Kategoria prędkości, [km/h]			
	80/70 (ΔL)	110/85 (ΔL)	80/70 (ΔL)	110/85 (ΔL)
1) BA16	81,0 (+0,6)	85,3 (+1,4)	81,1 (+1,4)	85,4 (+1,5)
2) BA12	78,9 (-1,5)	83,4 (-0,5)	78,9 (-1,5)	83,4 (-0,5)
3) SMA12	80,2 (-0,2)	84,3 (+0,5)	80,2 (-0,2)	84,3 (+0,5)
4) SMA12	80,4 (0)	83,9 (0)	80,4 (0)	83,9 (0)
5) SMA10	81,0 (+0,8)	84,8 (+0,9)	81,1 (+0,7)	84,9 (+1,0)
6) SMA10	79,4 (-1,0)	83,3 (-0,6)	79,5 (-0,9)	83,5 (-0,4)
7) MNU	78,7 (-1,7)	82,9 (-1,0)	79,0 (-1,4)	83,1 (-1,8)
8) Ruflex	82,0 (+1,0)	86,0 (+2,1)	82,0 (+1,0)	86,0 (+2,1)
9) GUF1	79,4 (-1,0)	83,4 (-0,5)	79,4 (-1,0)	83,5 (-0,4)
10) CWZ	81,9 (+1,5)	85,5 (+1,6)	81,9 (+1,5)	85,5 (+1,6)

Wartości wskaźnika SPBI, uwzględniające poziom hałasu samochodu osobowego i pojazdów ciężarowych oraz strukturę rodzajową ruchu i prędkość pojazdów wskazywały na zróżnicowanie badanych nawierzchni drogowych pod względem hałaśliwości. W stosunku do nawierzchni SMA12 (jako nawierzchni referencyjnej) bardziej hałaśliwym rozwiązaniem okazały się nawierzchnie: beton asfaltowy o uziarnieniu do 16 mm, Ruflex i cienka warstwa wykonana na zimno. Mniejszą hałaśliwością charakteryzują się: beton asfaltowy o uziarnieniu do 12 mm, nawierzchnia wykonana z mieszanki o nieciągłym uziarnieniu i warstwa ścieralna typu GUF1. Jedna z badanych warstw z SMA10, na drodze nr 5 (odcinek nr 5), charakteryzuje się wyższą hałaśliwością, a warstwa z SMA10, na drodze krajowej nr 10 (odcinek nr 6), niższą hałaśliwością w porównaniu z nawierzchnią referencyjną.

Wyniki i analiza pomiarów przeprowadzonych przez zespół TO-IBDiM

Wszystkie wyniki pomiarów poziomów emitowanego hałasu toczenia zamieszczone są w sprawozdaniu z badań dostarczonym przez Wykonawcę pomiarów TO-IBDiM. Sprawozdanie to znajduje się w Załączniku nr 3.

Pomiary zostały wykonane na trzech odcinkach badawczych. W każdym miejscu pomiaru (na poboczu drogi) określano maksymalny poziom dźwięku w trakcie przejazdu pojazdu, skorygowany według charakterystyki częstotliwościowej A i z zastosowaniem charakterystyki czasowej Fast, dla pojazdów, które były akustycznie identyfikowalne, tj. nie były w znaczący sposób zakłócane przez inne pojazdy. Jednocześnie z tego samego miejsca pomiaru określano prędkość maksymalną V_{max} dla przejeżdżającego pojazdu. Każdy rejestrowany pojazd był zaliczany do jednej z trzech kategorii pojazdów: O – samochody osobowe, C – pojazdy ciężkie dwuosiowe oraz T – pojazdy ciężkie

W tablicy normy PN-EN ISO 11819-1 podano wartości prędkości odniesienia dla poszczególnych kategorii pojazdów oraz kategorii prędkości na drodze. W pomiarach uwzględniono tylko średnią kategorię prędkości na drodze. W tym przypadku zgodnie z tą tablicą przyjęto prędkość odniesienia dla samochodów osobowych 80 km/h ($\log 80 = 1,90309$), dla pojazdów ciężkich dwuosiowych oraz dla pojazdów ciężkich wieloosiowych prędkość odniesienia wynosiła 70 km/h ($\log 70 = 1,845098$). Poziom dźwięku, określony za pomocą linii regresji dla każdej z trzech kategorii pojazdów i odpowiedniej prędkości odniesienia (80 km/h lub 70 km/h), był przyjmowany za poziom dźwięku pojazdu L_{veh} . W ten sposób, dla każdego z trzech odcinków drogi, otrzymano trzy wartości L_{veh} : dla samochodów osobowych, pojazdów ciężkich dwuosiowych oraz pojazdów ciężkich wieloosiowych. W przypadku badanych odcinków dróg poziom dźwięku L_{veh} wyglądał następująco:

- Odcinek na DK6 (nawierzchnia – BA16):
 - Samochody osobowe 75,39 dB,
 - Pojazdy ciężkie dwuosiowe 79,12 dB,
 - Pojazdy ciężkie wieloosiowe 83,20 dB,
- Odcinek na DK11 (nawierzchnia – BA16):
 - Samochody osobowe 73,30 dB,
 - Pojazdy ciężkie dwuosiowe 76,15 dB,
 - Pojazdy ciężkie wieloosiowe 82,57 dB,
- Odcinek na DK10 (nawierzchnia – SMA12):

- Samochody osobowe 76,60 dB,
- Pojazdy ciężkie dwuosiove 80,65 dB,
- Pojazdy ciężkie wieloosiove 83,77 dB.

Na tej podstawie wyznaczono statystyczny współczynnik SPBI. Współczynnik ten stosowany jest do porównywania nawierzchni dróg. Opiera się on na poziomach dźwięku pojazdów z uwzględnieniem różnorodności kategorii i prędkości pojazdów. Zgodnie z normą PN-EN ISO 11819-1, w celu otrzymania łącznego wpływu nawierzchni drogi na hałas drogowy dla różnorodnego potoku ruchu, statystyczny współczynnik podczas przejazdu powinien być obliczany w następujący sposób:

$$SPBI = 10\lg[W_1 * 10^{L_1/10} + W_{2a} (V_1/V_{2a}) * 10^{L_{2a}/10} + W_{2b} (V_1/V_{2b}) * 10^{L_{2b}/10}] \text{ dB}$$

gdzie:

SPBI – statystyczny współczynnik podczas przejazdu dla standardowego składu potoku ruchu,

L_1 – poziom dźwięku samochodów osobowych (wszystkie dane w załączniku, zaokrąglono je do jednego miejsca dziesiętnego, zgodnie z wytycznymi z podanymi w normie PN-EN ISO 11819-1), a więc:

- dla odcinka na drodze DK6 wartość $L_1 = 75,4$ dB,
- dla odcinka na drodze DK11 wartość $L_1 = 73,3$ dB,
- dla odcinka na drodze DK10 wartość $L_1 = 76,6$ dB,

L_{2a} – poziom dźwięku samochodów ciężkich dwuosiowych (dane w załączniku, zaokrąglono je do jednego miejsca dziesiętnego, zgodnie z wytycznymi podanymi w normie PN-EN ISO 11819-1), a więc:

- dla odcinka na drodze DK6 wartość $L_{2a} = 79,1$ dB,
- dla odcinka na drodze DK11 wartość $L_{2a} = 76,1$ dB,
- dla odcinka na drodze DK10 wartość $L_{2a} = 80,6$ dB,

L_{2b} – poziom dźwięku pojazdów ciężkich wieloosiowych:

- dla odcinka na drodze DK6 wartość $L_{2b} = 83,2$ dB,
- dla odcinka na drodze DK11 wartość $L_{2b} = 82,6$ dB,
- dla odcinka na drodze DK10 wartość $L_{2b} = 83,8$ dB,

W_1, W_{2a}, W_{2b} – współczynniki ważenia, równoważne założonym udziałom danej kategorii pojazdów w ruchu, zgodnie z tablicą przedstawioną w normie PN-EN ISO 11819-1:

$$W_1 = 0,8,$$

$$W_{2a} = 0,1,$$

$$W_{2b} = 0,1.$$

V_1, V_{2a}, V_{2b} – prędkości odniesienia dla poszczególnych kategorii pojazdów, zgodnie z tablicą normy PN-EN ISO 11819-1:

$$V_1 = 80 \text{ km/h},$$

$$V_{2a} = 70 \text{ km/h},$$

$$V_{2b} = 70 \text{ km/h}.$$

Podstawiając odpowiednie dane do podanych wzoru otrzymano współczynnik SPBI nawierzchni badanej (bez korekcji temperatury):

- odcinek na drodze DK6 – nawierzchnia z BA16:

$$SPBI = 10\lg[0,8 \cdot 10^{75,4/10} + 0,1(80/70)^* 10^{79,1/10} + 0,1(80/70)^* 10^{83,2/10}]$$

$$SPBI = 77,85 \text{ dB}$$

- odcinek na drodze DK11 – nawierzchnia z BA16:

$$SPBI = 10\lg[0,8 \cdot 10^{73,3/10} + 0,1(80/70)^* 10^{76,1/10} + 0,1(80/70)^* 10^{82,6/10}]$$

$$SPBI = 76,29 \text{ dB}$$

- odcinek na drodze DK10 – nawierzchnia z SMA12:

$$SPBI = 10\lg[0,8 \cdot 10^{76,6/10} + 0,1(80/70)^* 10^{80,6/10} + 0,1(80/70)^* 10^{83,8/10}]$$

$$SPBI = 78,87 \text{ dB}$$

10. Wyniki i analiza pomiarów metodą CPX

Pomiary poziomu hałasu toczenia wykonywane były przez zespół Politechniki Gdańskiej na 17 odcinkach drogowych. Wykaz odcinków zamieszczono w punkcie 9 niniejszego sprawozdania. Wszystkie wyniki liczbowe i zdjęcia znajdują się w Załączniku nr 4, w Sprawozdaniu opracowanym przez Wykonawcę pomiarów.

W Tablicy 17 zamieszczono wyniki pomiarów hałasu dla poszczególnych odcinków badawczych. Dla każdego odcinka podano wyliczoną, na podstawie pomiarów, wartość CPXI. W tablicy przedstawiono również obliczoną średnią wartość indeksu dla każdej nawierzchni.

Tablica 17 Głośność nawierzchni na danym odcinku badawczym

Lp.	Nr drogi Miejscowość	Rodzaj nawierzchni	Nazwa odcinka	Indeks CPX		
				50 km/h	80 km/h	110 km/h
1	DK6 Mosty-Godętowo	BA16	1a	89,3	96,9	101,7
			1b	89,4	97,0	101,9
			Średnio:	89,4	97,0	101,8
2	DK20 Kościerzyna	BA16	2a	89,2	96,9	-
			2b	89,2	96,7	-
			Średnio:	89,2	96,8	-
3	DK22 Człuchów	SMA12	3a	89,8	97,1	-
			3b	90,1	97,6	-
			Średnio:	89,9	97,3	-
4	DK1 Stary Młyn	SMA12	4a	91,3	98,5	102,7
			4b	91,7	98,8	103,1
			Średnio:	91,5	98,6	102,9
5	DK5 Bożejewice	SMA10	5a	91,5	98,5	-
			5b	91,4	98,4	-
			Średnio:	91,4	98,5	-
6	DK10 Śmielin	SMA10	6a	91,2	98,4	103,0
			6b	91,0	98,2	102,7
			Średnio:	91,1	98,3	102,8
7	DK22 Czersk	SMA8	7a	90,5	97,7	102,4
			Średnio:	90,5	97,7	102,4
8	A2 Osieczka, Modła	BA16 Superpave	8a	93,0	100,2	104,8
			8b	92,6	99,9	104,4
			Średnio:	92,8	100,1	104,6
9	DK8 Polichno	Beton cementowy	9a	89,9	97,2	102,1
			9b	90,4	97,6	102,6
			Średnio:	90,1	97,4	102,4
10	A4 Jarosław	Beton cementowy	10a	92,1	100,0	104,6
			Średnio:	92,1	100,0	104,6
11	DK10 Jeżewo	MNU(?) – BA12	11a	90,1	97,4	102,1
			11b	90,2	97,5	102,3

			Średnio:	90,2	97,5	102,2
12	DK92 Siedlec	MNU Ruflex	12a	94,2	101,2	105,5
			Średnio:	94,2	101,2	105,5
13	DK5 Komorniki	Colsoft	13a	90,9	-	-
			13b	90,9	-	-
			Średnio:	90,9	-	-
14	DK20 Sitno	Gufi	14a	89,3	-	-
			14b	89,3	-	-
			Średnio:	89,3	-	-
15	DK11 Okonek	Gufi	15a	90,8	98,3	103,3
			15b	90,2	97,7	102,4
			Średnio:	90,5	98,0	102,8
16	DK17 Ryki	Cienka warstwa na zimno	16a	92,6	99,9	104,5
			16b	92,7	100,0	104,7
			Średnio:	92,7	100,0	104,6
17	DW541 Trzcianka	Cienka warstwa na zimno	17a	90,9	98,9	104,3
			17b	90,8	98,8	103,8
			Średnio:	90,8	98,9	104,1

Jak wynika z powyższej tabeli, różnice pomiędzy poszczególnymi nawierzchniami były znaczące. Maksymalna różnica dla prędkości 50 km/h wynosiła 5,0 dB, dla prędkości 80 km/h – 4,4 dB, natomiast dla prędkości 110 km/h - 3,8 dB.

Zastanawiające były występujące różnice pomiędzy nominalnie identycznymi nawierzchniami. Należałoby zatem przyjrzeć się szczegółom dotyczącym nawierzchni na badanych odcinkach (wiek, tekstura, zużycie, szczegółowa technologia itd.). Dla nawierzchni BA16 oraz SMA10 nie zanotowano znaczących różnic. Natomiast inne nawierzchnie cechowały się dużymi. Przykładem może tu być cienka warstwa na zimno, gdzie różnica wynosiła 1,9 dB dla 50 km/h oraz 1,1 dB dla 80 km/h. Podobną zależność można było dostrzec przy nawierzchni wykonanej z mieszanki typu GUFİ. Dla prędkości 50 km/h różnica wynosiła 1,2 dB. Poniżej, na fotografii 21 i 22 zamieszczono widok nawierzchni Gufi na dwóch drogach. Nawierzchnia na drodze DK11 jest stosunkowo nowa. Została wykonana we wrześniu 2004 r. Nawierzchnię na DK20 ułożono wcześniej, w roku 2003. Możliwe więc, że zużycie nawierzchni miało wpływ na jej hałaśliwość. Dłuższa eksploatacja spowodowała niewielkie starcie się nawierzchni, a tym samym jej wygładzenie. Na fotografiach 23 i 24 znajdują się nawierzchnie wykonane „na zimno” na

dwóch różnych odcinkach drogowych. Na przedstawionych fotografiach można zauważyć pewne różnice w strukturze, które mogły prawdopodobnie spowodować różnice w poziomie hałasu toczenia. Poza tym bardzo widoczna jest różnica w zastosowanym kruszywie. Możliwe więc, że rodzaj użytego kruszywa miał wpływ na hałaśliwość nawierzchni. Jednocześnie trzeba brać pod uwagę to, że zaistniałe różnice mogą wynikać ze sposobu wbudowania warstw asfaltowych oraz dokładności w przygotowaniu mieszanek mineralno-asfaltowych. W trakcie pomiarów zdarzały się nawet przypadki różnic w poziomie hałasu na tej samej drodze, ale na przeciwnych jezdniach.



Foto 21 Widok nawierzchni na odcinku 14a, DK20 – Gufi



Foto 22 Widok nawierzchni na odcinku 15b, DK11 – Gufi



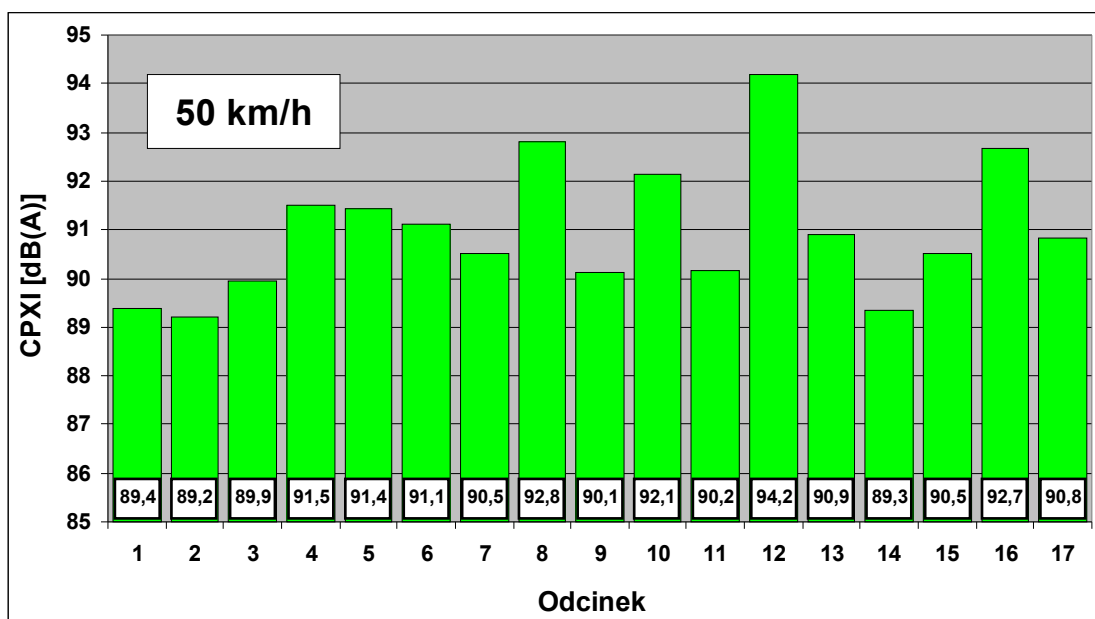
Foto 23 Widok nawierzchni na odcinku 16b, DK17 – Cienka warstwa na zimno



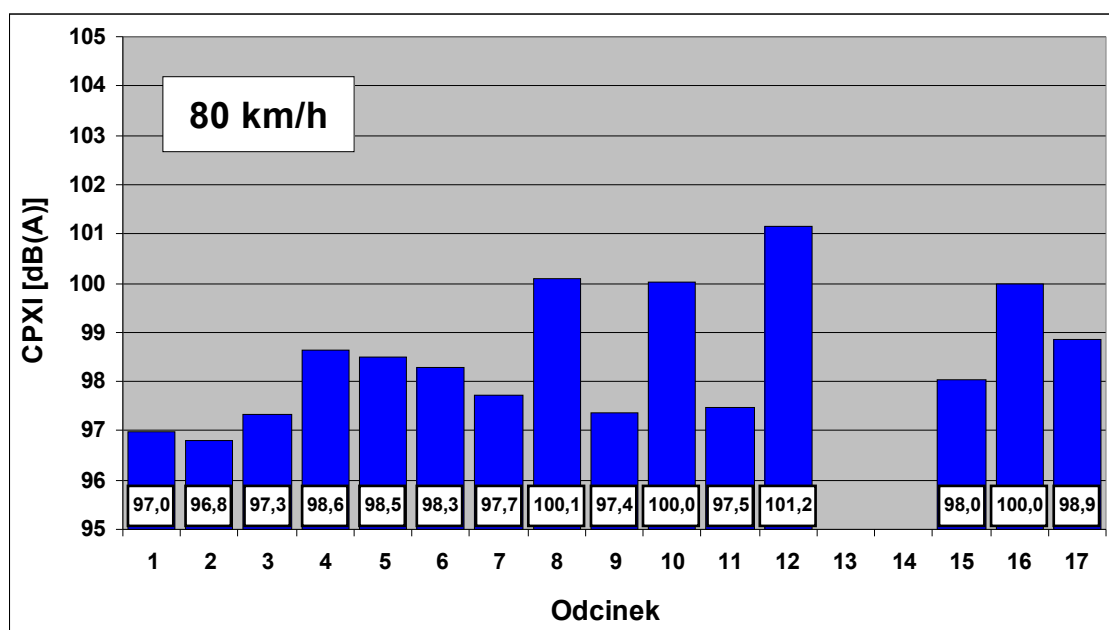
Foto 24 Widok nawierzchni na odcinku 17a, DW541 – Cienka warstwa na zimno

Należy również zwrócić uwagę na nawierzchnie z betonu cementowego. Na jednym badanym odcinku – autostradzie A4 (odcinek 10) nawierzchnia jest poprzecznie rowkowana, co znacząco podnosi jej hałaśliwość. Nawierzchnia z betonu cementowego na odcinku 9 jest wzdłużnie zacierana. Obie nawierzchnie posiadają dylatacje.

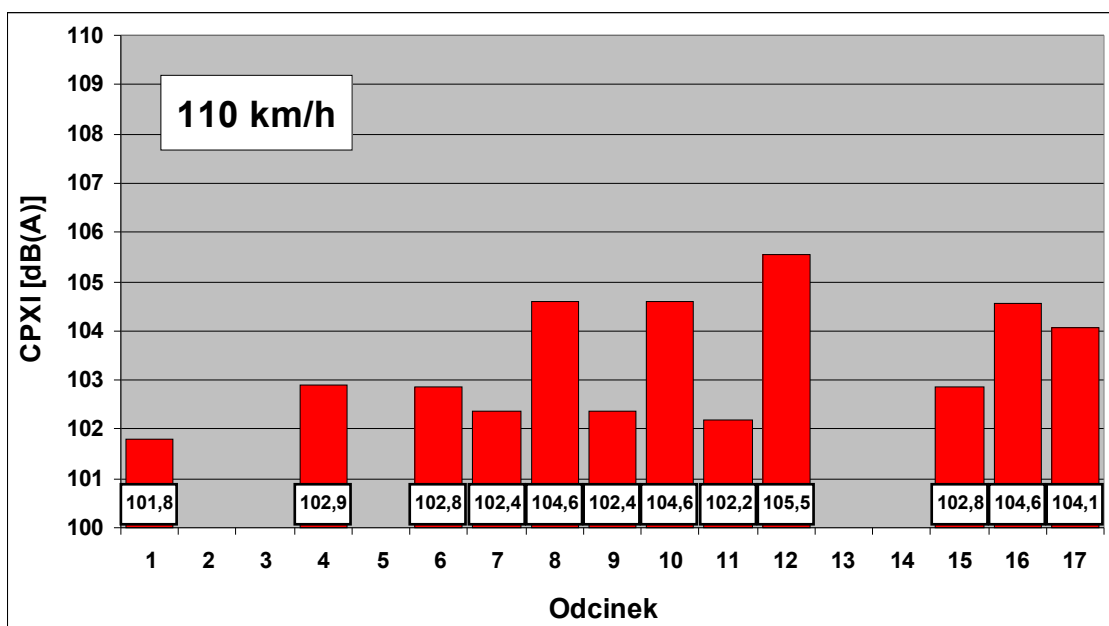
Poniżej, na Rysunkach od 10 do 12 zestawiono uśrednione indeksy CPXI dla wszystkich badanych nawierzchni, dla wszystkich prędkości.



Rysunek 10 Zestawienia indeksów CPX badanych nawierzchni dla prędkości 50 km/h

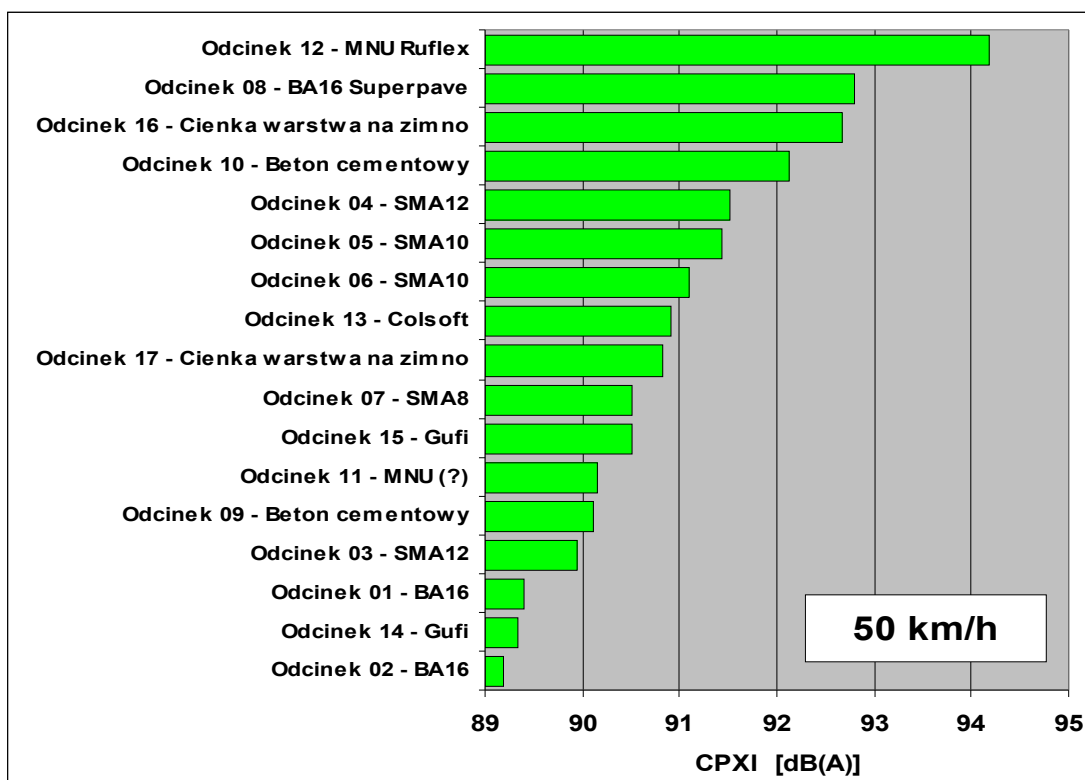


Rysunek 11 Zestawienia indeksów CPX badanych nawierzchni dla prędkości 80 km/h

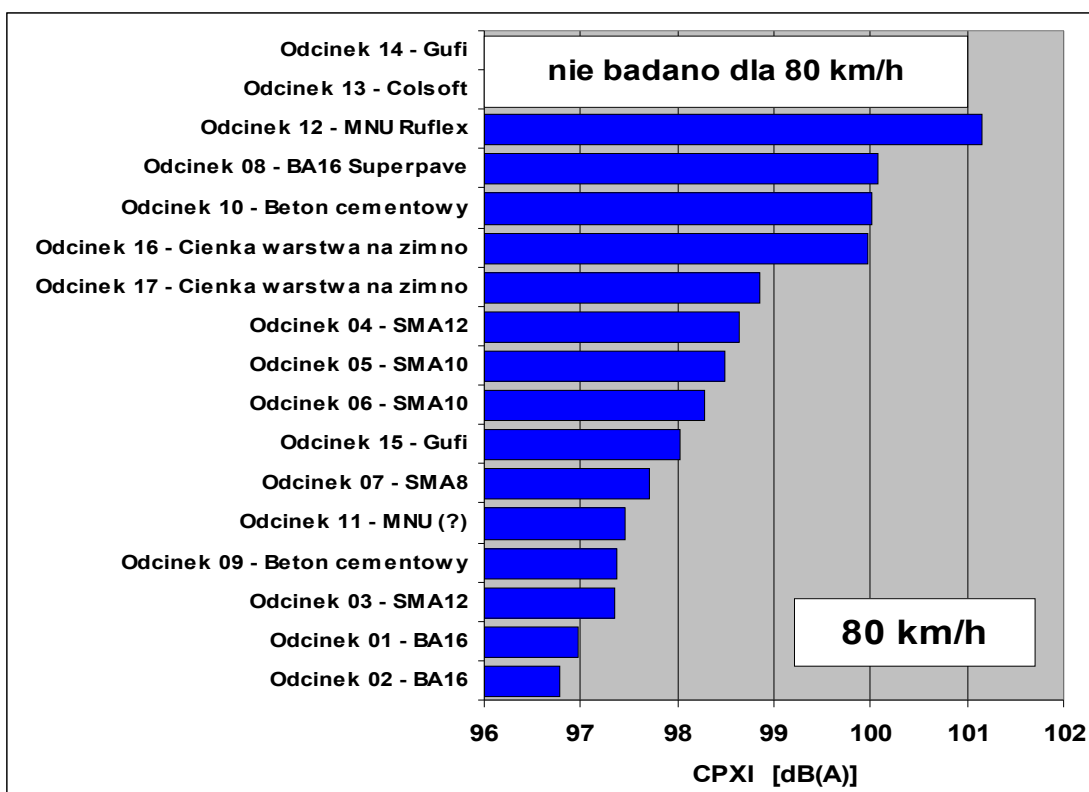


Rysunek 12 Zestawienia indeksów CPX badanych nawierzchni dla prędkości 110 km/h

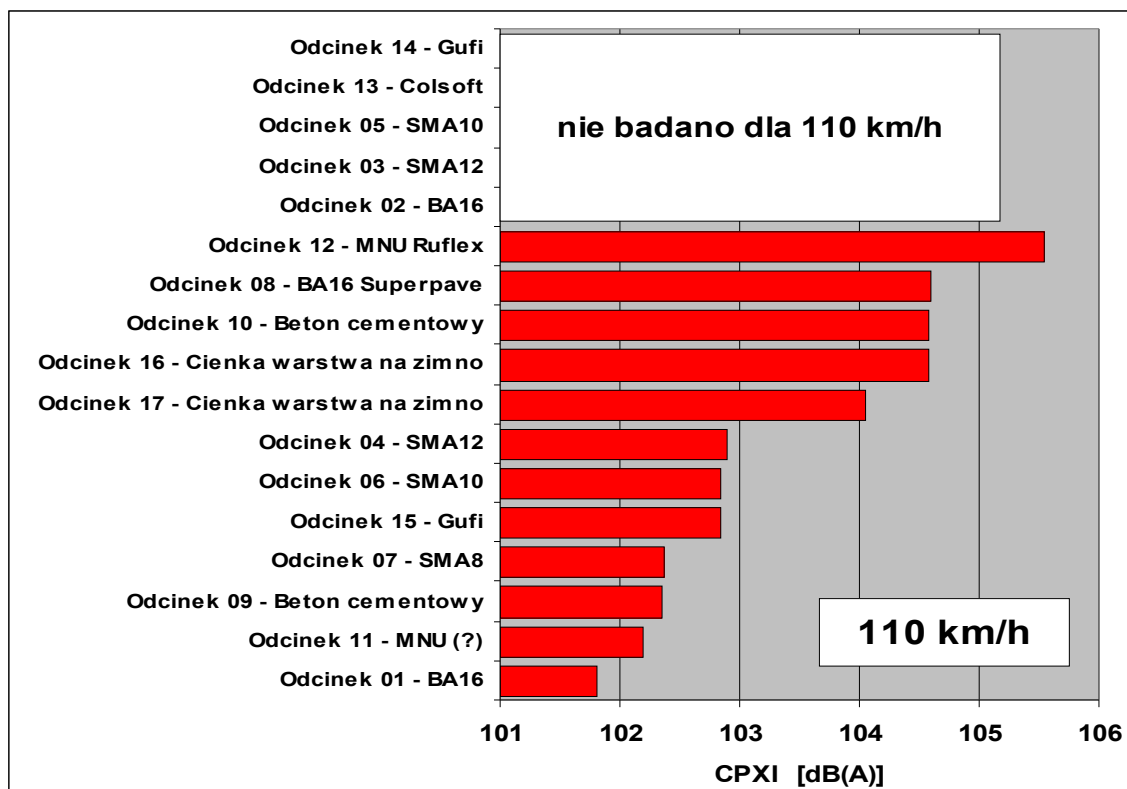
Poniżej, na Rysunkach 13 ÷ 15 przedstawiono wszystkie nawierzchnie uporządkowane według ich głośności, w rozbiciu na poszczególne prędkości.



Rysunek 13 Nawierzchnie uporządkowane według głośności, V = 50 km/h



Rysunek 14 Nawierzchnie uporządkowane według głośności, V = 80 km/h



Rysunek 15 Nawierzchnie uporządkowane według głośności, V = 110 km/h

Kolejność występowania poszczególnych nawierzchni nie jest jednakowa dla wszystkich prędkości badawczych, jednakże jeżeli dana nawierzchnia drogowa charakteryzuje się niską hałaśliwością dla jednej prędkości, to również jest w grupie „cichych” nawierzchni dla pozostałych prędkości. Analogicznie, „głośnie” nawierzchnia charakteryzuje się wysoką hałaśliwością dla wszystkich prędkości pomiarowych. Przykładem może być tu nawierzchnia MNU Ruflex.

11. Wyniki i analiza pomiarów właściwości przeciwpoślizgowych

Wyniki i analiza pomiarów współczynnika tarcia

Pomiar współczynnika tarcia wykonywano przy prędkości pomiarowej 60 km/h, w jednym przejeździe, na mokrej nawierzchni. Procedury wykonywania pomiarów współczynnika tarcia określają różne normatywy techniczne. W badaniach odbiorczych warstwy ścieralnej dróg publicznych stosuje się następującą procedurę [¹⁰]:

„Pomiar wykonuje się nie rzadziej niż co 50 m, na nawierzchni zwilżonej wodą w ilości 0.5 l/m², a wynik pomiaru powinien być przeliczony na wartość przy 100% poślizgu opony bezbieżnikowej rozmiaru 5.60 S x 13 (wg komentarza do Warunków Technicznych wydanego przez GDDP w 2000 r. [¹¹]. Jest tu oczywisty błąd, powinno być „opony bezbieżnikowej rowkowanej – wymiar: 165 R 13). Miarą właściwości przeciwpoślizgowych jest miarodajny współczynnik tarcia. Za miarodajny współczynnik tarcia przyjmuje się różnicę wartości średniej $E(\mu)$ i odchylenia standardowego D: $E(\mu) - D$ ”.

Parametry miarodajnego współczynnika tarcia nawierzchni, wymagane po dwóch miesiącach od oddania drogi do użytkowania przedstawiono w Tablicy 18.

Tablica 18 Wymagane poziomy miarodajnego współczynnika tarcia dla dróg publicznych

Klasa drogi	Element nawierzchni	Miarodajny współczynnik tarcia przy prędkości zablokowanej opony względem nawierzchni			
		30 km/h	60 km/h	90 km/h	120 km/h
A	Pasy ruchu zasadniczego	0,52	0,46	0,42	0,37
	Pasy włączania i wyłączania, jezdnie łącznic	0,52	0,48	0,44	-
S, GP, G	Pasy ruchu zasadniczego, dodatkowe, utwardzone pobocza	0,48	0,39	0,32	0,30

W badaniach, na wytypowanych odcinkach, zastosowano inną oponę niż opisana w Rozporządzeniu (Barum Bravura). Jest to opona wprowadzona do użytku w 2002 roku, aby więc można było porównywać pomierzone wartości współczynnika tarcia z wymaganiami wg Rozporządzenia należy je podzielić przez współczynnik 1,079.

W klasyfikacji nawierzchni dróg krajowych pod względem współczynnika tarcia stosuje się w Polsce, zgodnie z wytycznymi SOSN, tzw. miarodajny współczynnik tarcia [12]. Pomiary wykonuje się aparatem SRT-3 przy prędkości $v = 60 \text{ km/h}$ w punktach co 100 m na odcinku jednego kilometra. Miarodajny współczynnik tarcia oblicza się ze wzoru:

$$\mu = \mu_{\text{sr}} \cdot \sigma$$

w którym:

μ - miarodajny współczynnik tarcia,

μ_{sr} - wartość średnia współczynnika tarcia (z pomiarów),

σ - odchylenie standardowe wyników pomiaru współczynnika tarcia.

Klasyfikację nawierzchni pod względem współczynnika tarcia podano w Tablicy 19 (dla nowej opony).

Tablica 19 Klasyfikacja nawierzchni pod względem właściwości przeciwoślizgowych

Klasa przyczepności wg SOSN	Wartości graniczne miarodajnego współczynnika przyczepności	Ocena stanu nawierzchni
A	$\geq 0,52$	dobry
B	$0,37 \div 0,51$	zadowalający
C	$0,30 \div 0,36$	niezadowalający
D	$\leq 0,29$	zły

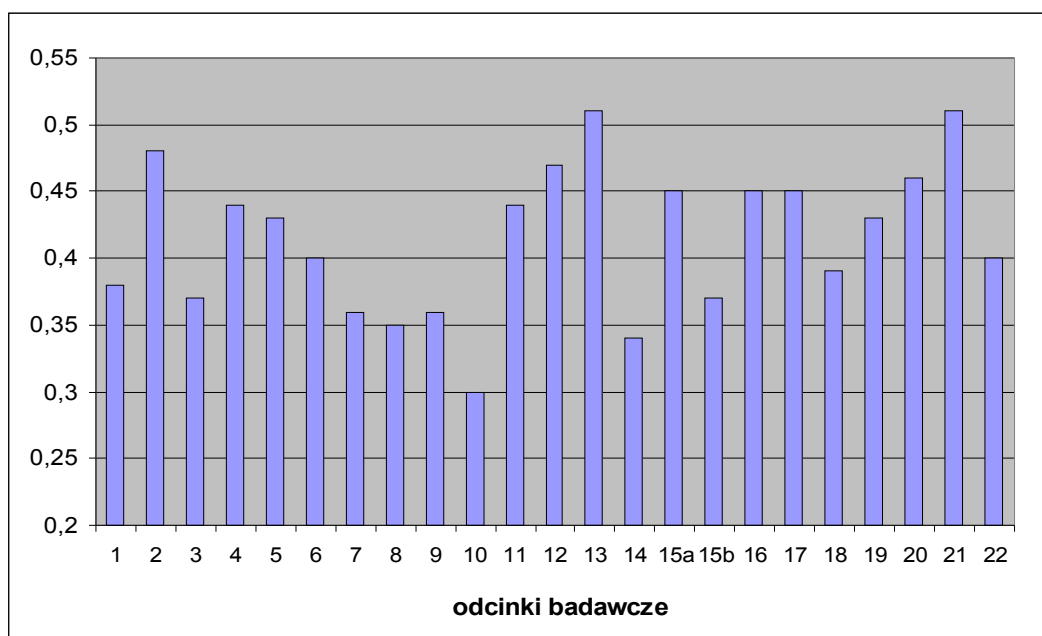
Wszystkie wyniki pomiarów współczynnika tarcia oraz prędkości pomiarowe dołączone są do niniejszego sprawozdania i znajdują się w Załączniku 5.

W Tablicy 20 przedstawiono wyniki obliczonych miarodajnych współczynników tarcia na badanych nawierzchniach. W tablicy podano także klasę przyczepności według SOSN, do której dana nawierzchnia została zakwalifikowana. Na rysunku 16 przedstawiono graficzną strukturę miarodajnego współczynnika tarcia.

Tablica 20 Wyniki pomiarów współczynnika tarcia na badanych nawierzchniach

Lp	Rodzaj nawierzchni	Lokalizacja odcinka badawczego		Miarodajny współczynnik tarcia	Klasa przyczepności
1	BA16	DK6 255,100 – 265,700		0,38	B
2		DK20 261,200 – 261,500		0,48	B
3		DK 22 314,860		0,37	B
4	SMA12	DK22 0,500 – 0,300		0,44	B
5		DK1 83,700 – 84,000 83,840		0,43	B
6		DK 10 140,650		0,40	B
7	SMA10	DK5 97,500 – 97,800		0,36	C
8		DK10 229,950		0,35	C
9		DK 5 28,690		0,36	C
10	SMA8	DK22 276,700 – 276,300		0,30	C
11	BA16 Superpave	Autostrada A2 253,300 – 253,600		0,44	B
12	Beton cementowy	DK8 336,000 – 336,300		0,47	B
13		Autostrada A4 116,000 – 116,300		0,51	B
14	MNU	DK10 403,800 – 404,000		0,34	C
15 a		DK2	206,800C	0,45	B
15 b			208,900S	0,37	
16		DK 10 126,280		0,45	B
17	Colsoft	Komorniki 195,700 – 196,000		0,45	B

18	Gufi	DK 20 132,600 – 132,750	0,39	B
19		DK11 129,600 – 130,000	0,43	B
20	Cienka warstwa na zimno	DK 17 61,700 – 62,000	0,46	B
21		DW 541 114,500 – 114,700	0,51	B
22	BA12	DK 22 312,630	0,40	B



Rysunek 16 Średni współczynnik tarcia dla poszczególnych nawierzchni

Korzystając z Tablicy 19 ustalono, na wytypowanych odcinkach, ich klasy przyczepności według SOSN. Żaden odcinek nie został zaliczony do klasy D, czyli do klasy najgorszej. Zdarzyły się jednak odcinki, które należało zakwalifikować do grupy C – nawierzchni niezadowolających. Wszystkie pozostałe odcinki określono mianem „zadowolających”. Im wyższa wartość współczynnika tarcia, tym nawierzchnia bardziej szorstka, ma lepszą przyczepność. Nawierzchnie o wysokich współczynnikach tarcia są zatem najlepsze ze względu na bezpieczeństwo ruchu drogowego. Jeżeli zaś chodzi o hałas drogowy, to większa szorstkość nawierzchni powoduje większą jego emisję. A zatem bardzo łatwo można zauważyć, że niektóre badane nawierzchnie okazały się szczególnie głośne, co potwierdzone zostało pomiarami poziomu hałasu. Wysoki współczynnik tarcia

wyznaczono na nawierzchni, na której znajduje się cienka warstwa ułożona „na zimno”. W trakcie badania hałasu pomierzono, że jest to jedna z „najgłośniejszych” nawierzchni. Podobnie było z betonem cementowym. Wysoki poziom hałasu zanotowano tam, ponieważ współczynnik tarcia jest bardzo wysoki. Analogicznie można zauważyć zależność w nawierzchniach „cichych”. Tam, gdzie współczynnik tarcia okazał się bardzo niski, poziom emitowanego hałasu był najniższy. Przykładem może tu być nawierzchnia z mieszanki GUF1.

Wyniki i analiza pomiarów tekstury

Na wszystkich wytypowanych odcinkach badawczych wykonano, w pięciu punktach, pomiar głębokości tekstury metodą objętościową. Ogólną, stosowaną w wielu krajach, klasyfikację nawierzchni pod względem głębokości tekstury, pomierzonej metodą piasku kalibrowanego przedstawiono w Tablicy 21 [¹³].

Tablica 21 Podział nawierzchni pod względem głębokości tekstury

Głębokość tekstury, mm	Ocena nawierzchni
HS $\leq$ 0,2	Nawierzchnie o teksturze bardzo drobnej – nie powinny być dopuszczone do ruchu
0,2 < HS $\leq$ 0,4	Nawierzchnie o teksturze drobnej – nawierzchnie, na których prędkość jazdy nie przekracza 80 km/h
0,4 < HS $\leq$ 0,8	Nawierzchnie o teksturze średniej - są to nawierzchnie normalne, na których prędkość jazdy mieści się w granicach 80-120 km/h
0,8 < HS $\leq$ 1,2	Nawierzchnie o teksturze grubej – nawierzchnie, na których prędkość utrzymuje się powyżej 120 km/h
HS > 1,2	Nawierzchnie o teksturze bardzo grubej – nawierzchnie tego typu stosowane są w przypadkach specjalnych, np. strefy niebezpieczne występujące po odcinkach prostych, na których prędkość są bardzo duże, strefy częstego występowania oblodzenia

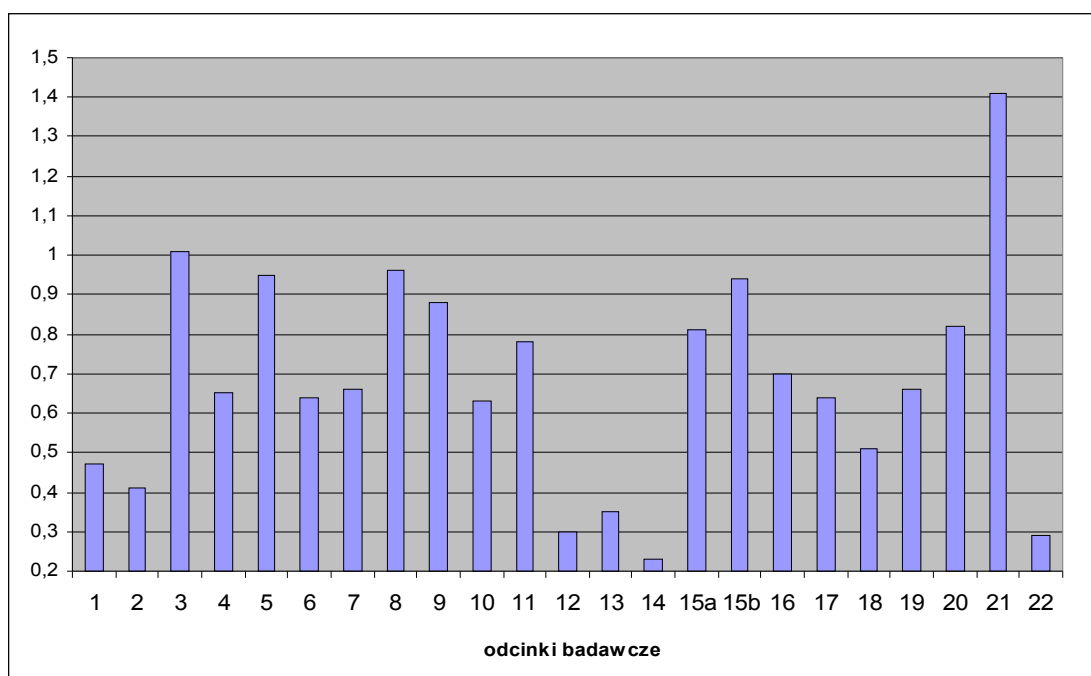
Wszystkie wyniki pomiarów tekstury nawierzchni oraz prędkości pomiarowe dołączone są do niniejszego sprawozdania i znajdują się w Załączniku 5.

W Tablicy 22 przedstawiono wyniki pomiarów głębokości tekstury na badanych nawierzchniach, natomiast graficzna prezentacja wyników zamieszczona została na rysunku 17.

Tablica 22 Wyniki pomiarów głębokości tekstury na badanych nawierzchniach

Lp	Rodzaj nawierzchni	Lokalizacja odcinka badawczego		Średnia głębokość tekstury
1	BA16	DK6 255,100 – 265,700		0,47
2		DK20 261,200 – 261,500		0,41
3		DK 22 314,860		1,01
4	SMA12	DK22 0,500 – 0,300		0,65
5		DK1 83,700 – 84,000 83,840		0,95
6		DK 10 140,650		0,64
7	SMA10	DK5 97,500 – 97,800		0,66
8		DK10 229,950		0,96
9		DK 5 28,690		0,88
10	SMA8	DK22 276,700 – 276,300		0,63
11	BA16 Superpave	Autostrada A2 253,300 – 253,600		0,78
12	Beton cementowy	DK8 336,000 – 336,300		0,30
13		Autostrada A4 116,000 – 116,300		0,35
14	MNU	DK10 (BA12) 403,800 – 404,000		0,23
15a		DK2	206,800 C	0,81
15b			208,900 S	0,94
16		DK 10 126,280		0,70
17	Colsoft	Komorniki 195,700 – 196,000		0,64

18	Gufi	DK 20 132,600 – 132,750	0,51
19		DK11 129,600 – 130,000	0,66
20	Cienka warstwa na zimno	DK 17 61,700 – 62,000	0,82
21		DW 541 114,500 – 114,700	1,41
22	BA12	DK 22 312,630	0,29



Rysunek 16 Głębokość tekstury dla poszczególnych nawierzchni

Do nawierzchni o teksturze drobnej można zaliczyć nawierzchnie na odcinku nr 14 i 22, gdzie ułożone są nawierzchnie z mieszanki BA12 oraz nawierzchnie 12 i 13 wykonane z betonu cementowego. Strukturę bardzo grubą posiada natomiast nawierzchnie na odcinku nr 21, gdzie znajduje się cienka warstwa ułożona na „zimno”.

Tekstura powierzchni jezdni jest jednym z głównych parametrów decydujących o poziomie hałasu toczenia, gdy rozpatrujemy wyższe prędkości pojazdów. Dotyczy to w szczególności betonu asfaltowego, powierzchniowego utrwalań oraz mieszanki SMA. Na podstawie badań wykonanych zagranicą wykazano, że nawierzchnie o teksturze od 0,37 do 0,60 mm są o około 3 dB głośniejsze od nawierzchni z teksturą wahającą się w

granicach 0,30 mm i o 3 dB cichsze niż nawierzchnie zaliczane do „bardzo gruboteksturowych” [14]. Wpływ tekstury powierzchni na hałaśliwość jest chyba najbardziej widoczny przy betonie cementowym, zwłaszcza gdy jest poprzecznie rowkowany, jak w przypadku odcinka badawczego nr 13. Poziom hałas okazał się tam bardzo wysoki.

12. Przykłady zagraniczne

Dla celów niniejszej pracy przeanalizowano również wyniki pomiarów hałaśliwości nawierzchni przeprowadzonych w innych krajach europejskich. IBDiM jest jednym z członków międzynarodowej grupy zajmującej się hałasem drogowym – „SILENCE”. W ramach tej współpracy zdobyto informacje dotyczące przeprowadzonych pomiarów hałasu na nawierzchniach europejskich oraz próby zakwalifikowania ich do grup o określonej hałaśliwości. Chodzi tu głównie o znalezienie nawierzchni określanych mianem „cichych”. W niniejszej pracy zostaną przedstawione klasyfikacje nawierzchni ze względu na hałaśliwość z kilku wybranych krajów, takich jak: Francja, Węgry, Słowenia, Szwajcaria, czy Norwegia [15]. Wyniki te będą formą pomocy i wskazówki do stworzenia polskiej klasyfikacji typowych nawierzchni cichych i głośnych.

Francja

We Francji, w 2002 roku ustalono klasyfikację nawierzchni ze względu na hałaśliwość [16]. Nawierzchnie zostały podzielone na 4 kategorie:

R1 – nawierzchnie CICHE – poziom hałasu musi wynosić około $73,8\text{dB} + 30,2 \lg(V/90)$ dla samochodów osobowych i około $33\text{dB} + 26,0 \lg(V)$ dla pojazdów ciężkich,

R2 - nawierzchnie O ŚREDNIEJ GŁOŚNOŚCI – poziom hałasu to około $77,7\text{dB} + 31,5 \lg(V/90)$ dla samochodów osobowych i około $26,6\text{dB} + 31,0 \lg(V)$ dla pojazdów ciężkich,

R3 - nawierzchnie GŁOŚNE – poziom hałasu to około $80,2\text{dB} + 32,2 \lg(V/90)$ dla samochodów osobowych i około $24,6\text{dB} + 32,6 \lg(V)$ dla pojazdów ciężkich,

R4 - nawierzchnie BARDZO GŁOŚNE – poziom hałasu powyżej kategorii R3.

W tablicy 23 przedstawiono rodzaje nawierzchni zaliczone do poszczególnych kategorii.

Tablica 23 Klasyfikacja nawierzchni według pomiarów wykonanych we Francji

Kategoria	Rodzaj nawierzchni
R1	- mieszanka o uziarnieniu 0/6 mm do bardzo cienkiej warstwy nawierzchni, - mieszanka o uziarnieniu 0/6 mm do ultra cienkiej warstwy nawierzchni, - beton asfaltowy porowaty o uziarnieniu 0/10 mm.
R2	- mieszanka o uziarnieniu 0/10 do bardzo cienkiej warstwy nawierzchni, - beton asfaltowy o uziarnieniu 0/10 – BA10, - mieszanka na zimno, - mieszanka o uziarnieniu 0/10 mm do ultra cienkiej warstwy nawierzchni.
R3	- beton cementowy, - mieszanka o uziarnieniu 0/14 do bardzo cienkiej warstwy nawierzchni, - beton asfaltowy o uziarnieniu do 14 mm – BA14, - mieszanka 6/10 lub 10/14 mm do napraw powierzchniowych.
R4	- nawierzchnie z kostki brukowej, betonowej, - nawierzchnie z kamienia.

Z powyższej tabeli jasno wynika, że najcichsze warstwy ścieralne to warstwy wykonane z mieszanek o drobnym uziarnieniu do 6, 10 mm. Ciche są na pewno nawierzchnie porowate oraz cienkie warstwy. Do najgłośniejszych należą nawierzchnie wykonane z kamienia i kostki, a także mieszanki o uziarnieniu grubszym od 14 mm oraz beton cementowy. Nie są to wyniki zaskakujące, bo podobne do tych otrzymanych w Polsce. Tu również najgłośniejsze okazały się mieszanki gruboziarniste i beton cementowy. Przy wyborze odcinków badawczych w Polsce nie wzięto pod uwagę nawierzchni z kamienia i kostki brukowej, gdyż oczywistym jest fakt, iż nawierzchnie wykonane z tych materiałów emitują bardzo wysoki poziom hałasu. Potwierdzą to wszystkie przytoczone tu przykłady zagraniczne.

Węgry

Zagadnieniami hałaśliwości nawierzchni na Węgrzech zajmuje się Ministerstwo Środowiska i Wody. Dane przedstawione poniżej zostały zaczerpnięte z Wytocznych wydanych przez Ministerstwo w kwietniu 2004 roku [17].

Na Węgrzech ustalono następującą klasyfikację:

A – nawierzchnie CICHE,

- B – nawierzchnie o niewielkiej głośności,
 C – nawierzchnie o podwyższonej głośności,
 D – nawierzchnie głośnie,
 E – nawierzchnie BARDZO GŁOŚNE.

Poniżej, w Tablicy 24 przedstawiono przykładowe nawierzchnie zaliczające się do poszczególnych grup nawierzchni opisanych literkami A, B, C, D i E.

Tablica 24 Klasyfikacja nawierzchni według pomiarów wykonanych na Węgrzech

Kategoria	Rodzaj nawierzchni
A	- beton asfaltowy o uziarnieniu 0/8 mm – BA8, - beton asfaltowy o uziarnieniu 0/10 mm – BA12, - mieszanka SMA o uziarnieniu 0/8 mm – SMA8, - mastyks asfaltowy o uziarnieniu 0/8 i 0/12 mm.
B	- beton asfaltowy z asfaltem modyfikowanym polimerem, - mieszanka do cienkiej warstwy nawierzchni starsza niż 4 lata, - mieszanka SMA o uziarnieniu 0/12 mm – SMA12, - mieszanka SMA o uziarnieniu 0/12 mm z asfaltem modyfikowanym.
C	- beton asfaltowy z asfaltem modyfikowanym polimerem starszy niż 4 lata, - mastyks z asfaltem modyfikowanym polimerem starszy niż 4 lata, - beton asfaltowy o uziarnieniu 0/16 mm – BA16, - beton asfaltowy o uziarnieniu 0/20 mm – BA20.
D	- beton cementowy, - popękana nawierzchnia z betonu asfaltowego, - beton asfaltowy o uziarnieniu 0/16 mm starszy niż 4 lata, - beton asfaltowy o uziarnieniu 0/20 mm starszy niż 4 lata.
E	- rowkowana, prążkowana nawierzchnia z betonu cementowego, - nawierzchnia z kostki brukowej granitowej, - nawierzchnia z kształtek ceramicznych, - mieszanka grysowa o uziarnieniu 0/16, 0/20.

Według klasyfikacji węgierskiej nawierzchnie ciche to takie, które wykonane są z kruszywa drobnego do 8 lub 12 mm. I nie ma tu znaczenia rodzaj mieszanki, cichy jest zarówno beton asfaltowy, jak i SMA czy mastyks. Nawierzchnie głośnie to nawierzchnie wykonane z betonu asfaltowego gruboziarnistego, eksploatowanego co najmniej przez 4 lata, beton cementowy oraz nawierzchnie z betonu asfaltowego uszkodzone i popękane, bez względu na uziarnienie. Do nawierzchni bardzo głośnych należą natomiast nawierzchnie z kostki brukowej, kamienia oraz rowkowany beton cementowy. Poziom hałasu przy przejeździe po tych nawierzchniach jest o prawie 8 dB wyższy niż przejazd

przez SMA8 czy BA12. I znów wyniki te nie są zaskakujące. Ciekawostką w pomiarach węgierskich jest rozróżnianie mieszanek z zastosowaniem asfaltu zwykłego i modyfikowanego. Można tu zauważyć, że beton asfaltowy z asfaltem modyfikowanym jest głośniejszy niż BA ze zwykłym asfaltem. Dodatkowo pomiarów dokonano również na BA uszkodzonej i popękanej. Nie było zaskoczeniem, że nawierzchnia popękana charakteryzowała się dużo wyższą głośnością. Analizując powyższą klasyfikację kolejny raz wnioskiem jest, że ciche nawierzchnie to nawierzchnie drobnoziarniste, natomiast głośne są nawierzchnie gruboziarniste, z kostki czy betonu cementowego.

Słowenia

Dane przedstawione poniżej znalezione zostały w numerze 45 broszury „Slovenian Official Gazette” wydanej w 1995 roku.

W tablicy 25 przedstawiono po jednym przykładzie mieszanki mineralno-asfaltowej zakwalifikowanej do określonej grupy głośności w zależności od hałasu opona/nawierzchnia według badań słoweńskich.

Tablica 25 Klasyfikacja nawierzchni według pomiarów wykonanych w Słowenii

Typ nawierzchni	Przykładowy rodzaj nawierzchni
BARDZO CICHĄ	Mieszanka mineralno-asfaltowa porowata
CICHĄ	Mieszanka mineralno-asfaltowa SMA
ŚREDNIA	Nowe nawierzchnie z betonu asfaltowego
GŁOŚNĄ	Beton asfaltowy gruboziarnisty
BARDZO GŁOŚNĄ	Beton cementowy Nawierzchnia z kostki, kamienia

Asfalt porowaty okazał się mieszanką bardzo cichą. Przy pomocy metod pomiarowych zostało dowiedzione, że jest to typowa nawierzchnia absorbująca w dużej mierze hałas wywołany w czasie jazdy stykiem opony z nawierzchnią. „Głośne”, według Słoweńców, są nawierzchnie z betonu cementowego, kostki lub kamienia. Trochę zaskakujące okazało się umieszczenie mieszanki SMA w grupie nawierzchni cichych bez względu na jej uziarnienie.

Szwajcaria

W Szwajcarii mieszanki mineralno-asfaltowe do warstwy ścieralnej podzielono na trzy grupy – nawierzchnie „ciche”, o umiarkowanej głośności – nawierzchnie referencyjne oraz „głośne”. W tablicy 26 przedstawiono przykładowe mieszanki zakwalifikowane do odpowiedniej grupy oraz współczynniki ich odchylenie w stosunku do nawierzchni referencyjnych. Jak podano w artykule K. Heutschi [18], tablica ta jest obowiązująca dla

nawierzchni o czasie eksploatacji od 3 do 20 lat.

Tablica 26 Klasyfikacja nawierzchni według pomiarów wykonanych w Szwajcarii

Typ nawierzchni	Przykładowy rodzaj nawierzchni	Współczynnik
CICHA	- Mieszanka mineralno-asfaltowa porowata o uziarnieniu 0/8, 0/11 mm	-4
ŚREDNIA	- Beton asfaltowy: BA8, BA11, BA16, - Mieszanka SMA: SMA8, SMA11,	0
GŁOŚNA	- Nawierzchnia z kostki brukowej granitowej.	+6

Mieszanka mineralno-asfaltowa porowata znalazła się w typie nawierzchni cichych. Współczynnik korygujący jest dla niej na poziomie -4, co oznacza, że emituje szum o około 4 dB mniejszy niż typowe nawierzchnie drogowe. Wynika to z faktu, że w takiej nawierzchni znajduje się co najmniej 20 % wolnej przestrzeni. Przestrzenie te pochłaniają emitowany hałas, a co za tym idzie wyciszają otoczenie przejeżdżającego pojazdu.

Norwegia

Dane przedstawione poniżej zostały zapożyczone z Raportu „Nord 2000. New Nordic Prediction Method for Road Traffic Noise” [19].

W Norwegii do pomiarów poziomu hałasu wybierano nawierzchnie różnego typu, w różnym wieku i o różnym uziarnieniu. Wybierano jeden rodzaj nawierzchni, a pomiary wykonywano na tego typu nawierzchni ale nowo ułożonej, następnie ta takiej, na której ruch odbywa się już od roku, dwóch lat a na koniec wyszukiwano takiej nawierzchni, na której ruch prowadzony jest nawet od 20 lat. Jak się okazało, wiek nawierzchni ma bardzo duży wpływ na poziom emitowanego hałasu. W tablicy 27 przedstawiono wykaz mieszanek zakwalifikowanych do danej grupy głośności.

Tablica 27 Klasyfikacja nawierzchni według pomiarów wykonanych w Norwegii

Typ nawierzchni	Rodzaj nawierzchni
BARDZO CICHY	- Mieszanka mineralno-asfaltowa porowata o uziarnieniu 8 i 12 mm ułożona do dwóch lat przed pomiarem.
CICHY	- Mieszanka mineralno-asfaltowa porowata o uziarnieniu 14 i 16 mm nowo ułożona, - Beton asfaltowy o uziarnieniu do 16 mm nowo ułożony, - Beton asfaltowy do 10 mm nowo ułożony, - Mieszanka SMA do 10 mm nowo ułożona.
ŚREDNIA	- Beton asfaltowy o uziarnieniu do 16 mm, - Mieszanka SMA o uziarnieniu do 16 mm,
GŁOŚNY	- Beton cementowy o uziarnieniu do 18 mm, - Beton cementowy o uziarnieniu do 80 mm,
BARDZO GŁOŚNY	- Nawierzchnia z kostki brukowej - Nawierzchnia z kamienia

Podsumowanie

Wszystkie przytoczone tu przykłady zagraniczne pokazują podobne zależności. Jednoznacznie można zakwalifikować nawierzchnie z betonu asfaltowego porowatego do nawierzchni cichych. Od wielu lat poza granicami kraju prowadzi się prace nad tą ciekawą technologią nawierzchni drogowych – betonem asfaltowym porowatym. Wzrastające wymagania użytkowników dróg i osób przebywających w bliskim ich otoczeniu, analiza ekonomiczna wymuszająca inwestowanie w przede wszystkim trwałe i funkcjonalne rozwiązania stwarza konieczność poszukiwania nowych technologii nawierzchni drogowych. Taką nową technologią została okrzyknięta mieszanka porowata. Jest to bowiem mieszanka o strukturze otwartej. W tradycyjnych mieszankach mineralno-bitumicznych przeznaczonych na warstwę ścieralną wymaga się struktury zamkniętej o zawartości wolnej przestrzeni 2-4% v/v, podczas gdy w mieszankach porowatych objętość nie wypełniona lepiszczem waha się w granicach 16-25% v/v (we Francji prowadzone są badania nad zwiększeniem zawartości wolnych przestrzeni nawet do 27÷30% v/v). Główne zalety takiej nawierzchni to zdolność do odprowadzania wody z nawierzchni (zmniejsza się zatem zjawisko akwaplanacji, a więc możliwość poślizgu), zmniejszanie oślepiania przez odbijanie światła reflektorów pojazdów od powierzchni warstwy

ścieralnej oraz odporność na deformacje i zwiększona szorstkość. Główną jednak przyczyną stosowania nawierzchni z mieszanki porowatej jest przede wszystkim zmniejszanie hałaśliwości komunikacyjnej. Redukcja hałasu powstającego na styku opony z nawierzchnią przy toczeniu się pojazdu jest bardzo ważną zaletą betonu asfaltowego porowatego i w wielu przypadkach o zastosowaniu mieszanki drenażowej decyduje właśnie ta zdolność. Sprężane powietrze przez toczące się koło powoduje powstawanie charakterystycznego szumu. Otwartość struktury cichej nawierzchni sprawia, że to niekorzystne zjawisko jest w dużym stopniu redukowane lub nie występuje wcale. Na podstawie 5-letnich badań przeprowadzonych w Danii na drodze zamiejskiej w Viskinge oraz na odcinku ulicy w Kopenhadze zaobserwowano zmniejszenie się poziomu hałasu średnio o ponad 2 dB. Z innych doświadczeń wynika, że można uzyskać redukcję hałasu wynoszącą nawet o ponad 4-5 dB. W praktyce oznacza to słyszalność trzykrotnie mniejszego hałasu przy niezmiennym natężeniu ruchu. Z uwagi na tę cechę beton asfaltowy porowaty jest alternatywą wobec tradycyjnych rozwiązań chroniących przed hałasem, np. ekranów dźwiękochłonnych. To elementy ograniczające rozprzestrzenianie się już istniejącego hałasu, podczas gdy cicha nawierzchnia nie dopuszcza do jego powstania. W czasach, gdy coraz większą rolę odgrywa estetyka drogi i jej otoczenia, należy pamiętać, że ekran dźwiękochłonny jest elementem sztucznym w krajobrazie, nie harmonizującym z otoczeniem. Beton asfaltowy porowaty jest dobrym rozwiązaniem w miastach, gdzie dąży się do jak najmniejszego poziomu hałasu drogowego, a ograniczenia terenowe uniemożliwiają zastosowanie np. ekranów dźwiękochłonnych.

Po przeanalizowaniu przedstawionych powyżej przykładów europejskich nasuwa jeszcze jeden wniosek. Łatwo zauważyć, że w grupie nawierzchni „cichych” znalazły się nawierzchni wykonane z mieszanek drobnoziarnistych. Z tych analiz jasno wynika, że gdy uziarnienie w mieszance mineralno-asfaltowej nie przekracza 12 mm, nawierzchnia z niej ułożona emituje dużo mniejszy hałas niż ta sama nawierzchnia, ale o grubszym uziarnieniu. I nie ma tu znaczenia rodzaj ułożonej mieszanki. Drobnoziarnisty beton asfaltowy lub SMA są „ciche”, gdy zawarte w nich kruszywo nie przekracza 12 mm.

W grupie nawierzchni bardzo głośnych we wszystkich krajach prym wiodą nawierzchnie z kostki brukowej, kamienia i betonu cementowego rowkowanego. Wysoki poziom hałasu emitują również nawierzchnie stare, zniszczone, popękane i nie ma tu znaczenia rodzaj czy uziarnienie mieszanki, z której ta nawierzchnia została wykonana.

W kolejnym punkcie niniejszego opracowania postaramy się utworzyć polską klasyfikację nawierzchni ze względu na hałaśliwość. Postaramy się podzielić nawierzchnie drogowe stosowane w Polsce na klasy hałaśliwości. Przykłady zagraniczne będą zatem dobrym punktem odniesienia.

13. Klasyfikacja nawierzchni ze względu na hałaśliwość

Analiza wyników pomiarów poziomego hałasu toczenia metodą SPB i CPX przeprowadzona w punkcie 10, 11 i 12 oraz wyników uzyskanych z pomiarów wykonanych w innych krajach pokazała, że istnieje możliwość dokonania klasyfikacji nawierzchni pod względem hałaśliwości. Klasyfikacji takiej spróbujemy dokonać na podstawie wyników pomiarów wykonanych na potrzeby niniejszej pracy i przedstawionych w punktach 10÷12. Pomocne będą nam także wyniki otrzymane w zagranicznych jednostkach naukowo-badawczych, które zaprezentowane zostały w punkcie 13. W podziale nawierzchni na typy głośności skorzystamy również z klasyfikacji utworzonej w roku 2002 przez Ejsmonta i Gardziejczyka [20]. Klasyfikacja ta będzie służyła nam jako wzorcowa.

W klasyfikacji nawierzchni według Ejsmonta i Gardziejczyka nawierzchnie zostały podzielone na pięć grup:

NC – nawierzchnie ciche,

ZH – nawierzchnie o zredukowanej hałaśliwości,

NH – nawierzchnie o normalnej hałaśliwości,

PH – nawierzchnie o podwyższonej hałaśliwości,

NNH – nawierzchnie o nadmiernej hałaśliwości.

W tablicy 28 przedstawiono przykładowe warstwy ścieralne zaliczane do określonych grup. Jako kryterium podziału nawierzchni przyjęto wartość indeksu CPXI dla prędkości $V=80$ km/h oraz maksymalnego poziomego hałasu toczenia według metody SPB przy przejeździe statystycznego samochodu osobowego z prędkością 80 km/h.

Tablica 28 Klasyfikacja nawierzchni drogowych wg Ejsmonta i Gardziejczyka [21]

KLASA	POZIOM HAŁASU TOCZENIA, dB		PRZYKŁADY WARSTW ŚCIERALNYCH
	CPXI(80)	SPB(so-80)	
NC	poniżej 93,5	poniżej 73,0	- pojedyncze dywaniki porowate o uziarnieniu kruszywa ≤ 10 mm, - podwójne dywaniki porowate.
ZH	93,5 ÷ 96,4	73,0 ÷ 75,9	- SMA o uziarnieniu kruszywa ≤ 10 mm, - dywaniki bitumiczne o uziarnieniu kruszywa ≤ 10 mm, - pojedyncze dywaniki porowate o uziarnieniu kruszywa $\geq 12,8$ mm,
NH	96,5 ÷ 99,5	76,0 ÷ 79,0	- SMA o uziarnieniu kruszywa $\geq 12,8$ mm, - dywaniki bitumiczne o uziarnieniu kruszywa $\geq 12,8$ mm, - betony asfaltowe o uziarnieniu kruszywa $\geq 12,8$ mm, - powierzchniowe utrwalańia o uziarnieniu kruszywa ≤ 10 mm, - betony cementowe o optymalnym tekstuowaniu.
PH	99,6 ÷ 102,5	79,1 ÷ 82,0	- powierzchniowe utrwalańia o uziarnieniu kruszywa $\geq 12,8$ mm, - klasyczne betony cementowe, - betonowa kostka brukowa przy optymalnych układach połączeń.
NNH	powyżej 102,5	powyżej 82,0	- kostka kamienna, - betonowa kostka brukowa bez optymalizacji połączeń, - betony cementowe poprzecznie rowkowane

Wartości poziomu hałasu uzyskane w ramach tych badań są wyższe niż podawane w klasyfikacji według tablicy 28, np. SMA10. Najcichsze nawierzchnie w naszych badaniach mieszczą się w tej klasyfikacji w klasie NH, czyli normalnej hałaśliwości. Jednocześnie klasyfikacja w tablicy 28 ma tę podstawową wadę, że podane w niej ciche nawierzchnie porowate mają nikłą szansę powszechnego zastosowania w Polsce. W tym miejscu wypada powtórzyć wyrażany wcześniej pogląd, że stosowanie betonu asfaltowego porowatego w Polsce jest ryzykowne ze względu na zimowe utrzymanie [22]. Doświadczenia innych krajów świadczą, że nawierzchnia porowata wymaga dwukrotnie większych nakładów na zimowe utrzymanie i znacznie większej dbałości służb utrzymaniowych. Trwałość takiej nawierzchni jest też krótsza i wynosi około 80% trwałości nawierzchni szczelnej z betonu asfaltowego lub SMA [23]. W Austrii, kraju o podobnym klimacie jak Polska, prowadzone są uważne obserwacje wykonanych w ubiegłych latach

nawierzchni z betonu asfaltowego porowatego ze względu na przedwczesne ich uszkodzenie i problemy bezpieczeństwa ruchu zimą i zimowego utrzymania.

Beton asfaltowy porowaty ma niewątpliwe zalety w postaci zmniejszenia poziomu hałasu. Zostało to już pokrótce przedstawione w punkcie 12 – „Przykłady zagraniczne”, gdzie wymieniono jej zalety związane z hałaśliwością nawierzchni. Była tam mowa o otwartości jej struktury, która redukowałą szum powstający przez sprężane powietrze przy toczeniu się koła na styku opony z nawierzchnią. Niestety nawierzchnie drenażowe posiadają również wady. Główna wada to właśnie bardzo duża otwartość struktury. W pory nawierzchni wnikają zanieczyszczenia, takie jak pyły czy drobne kruszywo. Powoduje to stopniowe zapychanie się wewnętrznej sieci kanalików, a tym samym stopniowe pogarszanie się drenażu. Podobnie dzieje się ze zdolnością zmniejszania hałaśliwości nawierzchni. Zapychająca się i przez to coraz mniej porowata nawierzchnia powoduje coraz mniejsze tłumienie hałasu wywołanego przez przejeżdżające pojazdy. Aby nawierzchnia mogła spełniać swoje podstawowe funkcje należy więc o nią odpowiednio dbać. Zapychanie się wolnych przestrzeni jest poważną wadą, ale nie jest problemem nie do rozwiązania. W Holandii czy Hiszpanii znane są zabiegi mechaniczne z użyciem specjalnego sprzętu do oczyszczania nawierzchni (np. metodą hydroregeneracji). W warunkach polskich posiadanie takiego specjalistycznego sprzętu jest niestety często nieosiągalnym celem. Wszystko to powoduje niestosowanie nawierzchni porowatych w naszym kraju.

W celu stworzenia klasyfikacji nawierzchni drogowych w Polsce należy wziąć pod uwagę technologie dostępne i stosowane w Polsce. Przedmiotem dalszych prac i dyskusji powinny być natomiast granice poziomu hałasu pomiędzy poszczególnymi klasami hałaśliwości nawierzchni. Ze względu na ciągle mały zbiór danych i małą liczbę wykonanych badań proponowane przez Ejsmonta i Gardziejczyka granice mogą być punktem wyjścia do dalszej analizy.

W tablicy 29 zestawiono klasyfikację według propozycji Ejsmonta i Gardziejczyka nawierzchni, na których wykonano pomiary poziomu hałasu metodą SPB w ramach niniejszej pracy. W tablicy 30 natomiast przedstawiono wyniki według CPX.

Wyniki przedstawione w Tablicy 29 odnoszą się tylko do pojazdów osobowych i prędkości 80 km/h. Jeżeli chodzi zaś o pojazdy ciężarowe hałaśliwość nawierzchni badana przy ich przejeździe jest zagadnieniem bardziej złożonym. Chodzi tu głównie o stan techniczny tej kategorii pojazdów. Jest on bardzo zróżnicowany, co ma wpływ na poziom hałasu zarówno przy niskich jak i przy wysokich prędkościach.

Tabela 29 Wyniki pomiarów wykonanych metodą SPB na zlecenie IBDiM

KLASA	Poziom hałasu toczenia wg SPB(so-80), dB	PRZYKŁADY WARSTW ŚCIERALNYCH
NC	poniżej 73,0	
ZH	73,0 ÷ 75,9	- beton asfaltowy o uziarnieniu do 12 mm,
NH	76,0 ÷ 79,0	- mieszanka Gufi - MNU – mieszanka o nieciągłym uziarnieniu, - SMA o uziarnieniu kruszywa do 10 mm - SMA o uziarnieniu kruszywa do 12 mm,
PH	79,1 ÷ 82,0	- SMA o uziarnieniu kruszywa do 10 mm, - beton asfaltowy o uziarnieniu do 16 mm - Ruflex - cienka warstwa na zimno
NNH	powyżej 82,0	

Nawierzchnia z mieszanki SMA10 znalazła się w dwóch grupach głośności. Według pomiarów przeprowadzonych na jednym odcinku badawczym zalicza się ona do nawierzchni NH – czyli o normalnej hałaśliwości, natomiast drugi odcinek badawczy kwalifikuje się do nawierzchni typu PH – o podwyższonej hałaśliwości. Różnica jest dość spora, a winy należy dopatrywać się najprawdopodobniej w różnicy stanu technicznego tych dwóch odcinków. Ten bardziej zniszczony powoduje większą emisję dźwięku. W końcowej klasyfikacji nawierzchnia z SMA10 zostanie zakwalifikowana do jednej grupy. Zostanie to wykonane na podstawie szczegółowej analizy odcinków oraz na podstawie analizy innych pomiarów na nawierzchni tego typu, również tych wykonanych zagranicą.

Tabela 30 Wyniki pomiarów wykonanych metodą CPX na zlecenie IBDiM

KLASA	POZIOM HAŁASU CPX(80), dB	PRZYKŁADY WARSTW ŚCIERALNYCH
NC	poniżej 93,5	
ZH	93,5 ÷ 96,4	
NH	96,5 ÷ 99,5	- beton asfaltowy o uziarnieniu kruszywa do 12 mm, - beton asfaltowy o uziarnieniu kruszywa do 16 mm, - Gufi - beton cementowy wzdłużnie zacierany, - SMA o uziarnieniu kruszywa do 8 mm - SMA o uziarnieniu kruszywa do 10 mm, - SMA o uziarnieniu kruszywa do 12 mm, - cienka warstwa na zimno, - Colsoft
PH	99,6 ÷ 102,5	- cienka warstwa na zimno - beton cementowy poprzecznie rowkowany - beton asfaltowy BA16 Superpave - MNU Ruflex
NNH	powyżej 102,5	

Porównując obydwie tabele zauważyć można, że są mieszanki, które w obydwu pomiarach wypadły podobnie plasując się w tej samej grupie głośności. Można jednoznacznie stwierdzić, że mieszankami w tej samej klasie mniejszej hałaśliwości są: Gufi, SMA8, SMA10 (w tej klasie mieści się również BA12, choć badany odcinek był przypadkowy i przez to mało wiarygodny). W tej klasie jest też beton asfaltowy wzdłużnie zacierany, lecz ze względu na małą liczbę wyników i wyraźnie inne dane literaturowe, należy do tego wyniku podchodzić ostrożnie.

Do mieszanek o zwiększonej hałaśliwości zakwalifikować na pewno można: Ruflex, cienką warstwę na zimno i beton cementowy poprzecznie rowkowany.

Pewnym problemem jest zakwalifikowanie do odpowiedniej grupy nawierzchnie z mieszanki BA16, gdyż mamy tu do czynienia z dwoma skrajnymi wynikami. Według pomiarów wykonanych metodą SPB BA16 jest nawierzchnią o podwyższonej hałaśliwości. W badaniach metodą CPX nawierzchnia z BA16 to nawierzchnia o normalnej hałaśliwości. Nie do końca wiadoma jest przyczyna tak dużej rozbieżności.

Pomiary zostały wykonane przez zespoły na różnych odcinkach, co wpływa na różnicę w wynikach. Stan techniczny obydwu dróg, rodzaj zastosowanego kruszywa, czy rodzaj lepiszcza mógł wpłynąć na wynik. Porównując odcinki badane metodą CPX z odcinkiem, na którym dr Gardziejczyk wykonywał pomiary SPB od razu można zauważyć znaczące różnice w charakterze nawierzchni. Charakteryzuje się on wyraźnie odsłoniętym i wystającym kruszywem. Również średnica kruszywa jest zdecydowanie większa. Ze zdjęcia odcinka SPB wynika, że średnica kruszywa znacznie przekracza 16 mm. Na odcinku badanym metodą CPX można zauważyć, że nawierzchnia ta posiada zamkniętą strukturę i jest bardzo gładka. Kruszywo jest zasłonięte lepiszczem. Porównując wielkość ziaren kruszywa można zauważyć, że tylko niektóre posiadają nominalną wielkość 16 mm – większość jest mniejsza. Odcinki CPX były zbyt gładkie, odcinek SPB miał wyraźnie za grube kruszywo. Nie jest wiadomo jak sumiennie zostały wykonane te nawierzchnie oraz, jak podeszli do ich wykonania wytwórcy. Nie jest też wiadome, jaka jest ich degradacja wynikająca z normalnego zużycia, jak wpłynęło starzenie na ich charakterystykę. Do celów niniejszego opracowania przeprowadzono zatem konsultacje z autorytetami w dziedzinie hałaśliwości nawierzchni w Polsce (W. Gardziejczyk i P. Mioduszeński). Przeanalizowano wyniki pomiarów wykonanych w latach poprzednich w naszym kraju i zagranicą i ustalono, że BA16 jest nawierzchnią z grupy „głośniejszych” czyli w naszej klasyfikacji znajdować się będzie w grupie PH – nawierzchnie o podwyższonej hałaśliwości.

Do ustalenia ostatecznej klasyfikacji nawierzchni przeprowadzona została szczegółowa analiza każdej badanej nawierzchni, jej stanu, wieku, właściwości przeciwpoślizgowych, uziarnienia oraz wyników pomiarów hałasu przeprowadzonych dwoma metodami. Pod uwagę brane były również wyniki pomiarów przeprowadzonych na danego typu nawierzchni zagranicą. Na tej podstawie, po przeanalizowaniu wszystkich czynników, ustalono ostateczną klasyfikację nawierzchni. Ze względu na brak możliwości bezpośredniego nawiązania do klasyfikacji zaproponowanej przez Ejsmonta i Gardziejczyka, proponujemy uproszczoną klasyfikację nawierzchni z podziałem na trzy klasy: nawierzchnie ciche, normalne i głośne. W klasyfikacji uwzględniono technologie i typy mieszanek stosowane w Polsce z uwzględnieniem zmian, które zostały zaproponowane w Zaleceniach materiałowych i technologicznych przygotowanych na zlecenie GDDKiA w ramach odrębnego tematu. Konsekwencją są zmiany uziarnienia nominalnego i np. eliminacja BA16 z warstwy ścieralnej.

W tablicy 31 przedstawiono propozycję IBDiM klasyfikacji nawierzchni ze względu na poziom hałasu ruchu pojazdów. Klasyfikacja ta może służyć inwestorom i projektantom

oraz wykonawcom w doborze technologii wykonania warstwy ścieralnej w zależności od wymagań poziomu hałasu w otoczeniu drogi, jak też z uwzględnieniem warunków ruchu.

Tablica 31 Klasyfikacja nawierzchni ze względu na poziom hałasu wg IBDiM

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

Oznaczenia:

BA	beton asfaltowy
SMA	mieszanka mastyksowo-grysowa
MNU	mieszanka o nieciągłym uziarnieniu
BAP	beton asfaltowy porowaty
CWZ	cienka warstwa na zimno (slurry seal)
BC	beton cementowy

Proponowana klasyfikacja ma charakter użytkowy. Nie określono w niej, ze względów podanych wcześniej, granic poziomu hałasu między klasami. W kolejnych latach badania poziomu emitowanego hałasu od przejazdu pojazdów samochodowych powinny być kontynuowane i prowadzone na większej ilości nawierzchni stosowanych w Polsce. Uzyskane w ten sposób wyniki byłyby podstawą do weryfikacji proponowanej klasyfikacji oraz sprecyzowania wymaganych granic poziomu hałasu pomiędzy poszczególnymi klasami. Pozwoliłyby również na doskonalenie metod pomiarowych stosowanych przez zespoły badawcze w Polsce i upowszechnienie tych pomiarów.

14. Zalecenia

Po ustaleniu klasyfikacji nawierzchni ze względu na hałaśliwość wiemy już jakie nawierzchnie powodują największy hałas, a jakie są „ciche”. Ta wiedza pozwoli nam teraz na ustalenie zalecenia i wskazówek, jakie nawierzchnie powinno stosować się na polskich drogach by nie tylko były one trwałe i bezpieczne, ale również by tworzyły jak najlepszy klimat akustyczny. Ta „cisza drogowa” jest szczególnie ważna i potrzebna w miejscach, w których hałas jest niewskazany lub nawet zabroniony. Chodzi tu o okolice szpitali, klinik, hospicjów, ale także szkół, przedszkoli i oczywiście osiedli mieszkaniowych. Dlatego też w niniejszym opracowaniu podane zostaną wytyczne, jakie warunki muszą być spełnione by móc mieć pewność, że otoczenie projektowanej drogi nie będzie negatywnie wpływało na środowisko akustyczne.

Wytyczne do projektowania i stosowania cichych nawierzchni:

- stosować nawierzchnie ciche według klasyfikacji przedstawionej w tablicy 31, w punkcie 14,
- ograniczyć wykonywanie nawierzchni głośnych według tablicy 31,
- projektować nawierzchnie drogowe z mieszanek mineralno-asfaltowych o drobnym uziarnieniu, kruszywo do 8 mm,
- stosować specjalne technologie z dodatkiem gumy, np. GUF1 lub COLSOFT do warstwy ścieralnej,
- nie stosować nawierzchni z betonu cementowego,
- unikać cienkiej warstwy na zimno.

W powyższych zaleceniach nie uwzględniono warstwy ścieralnej z mieszanki mineralno-asfaltowej porowatej, gdyż jest to nawierzchnia bardzo rzadko stosowana w Polsce.

15. Podsumowanie

Warstwa ścieralna w całej konstrukcji nawierzchni spełnia bardzo wiele ważnych funkcji, z czego najważniejszą jest bezpieczne prowadzenie pojazdu po drodze. Jest poddana bezpośredniemu wpływowi czynników atmosferycznych, musi być odporna na spękania, odkształcenia, zmęczenie oraz powinna emitować jak najmniejszy hałas generowany w płaszczyźnie kontaktu opona-nawierzchnia aby wokół drogi zachowany był jak najkorzystniejszy klimat akustyczny. Jest to coraz częstsze wymaganie stawiane warstwom ścieralnym, gdyż coraz częściej słyszy się o skutkach hałasu na środowisko,

ale przede wszystkim na zdrowie człowieka. Hałas powoduje m.in. kłopoty ze snem, pogorszenie stanu psychicznego, spadek poziomu inteligencji oraz choroby serca i powstawanie nadciśnienia. Aby więc wymagania dotyczące hałasu drogowego zostały spełnione należy dokonywać właściwych wyborów dotyczących technologii wykonania nawierzchni oraz jakości materiałów składowych. Niniejsze sprawozdanie daje bardzo dużą wiedzę o typach nawierzchni i ich hałaśliwości choć nasza wiedza z tego zakresu jest jeszcze wciąż w fazie wstępnej i niepełnej. Naukowcy światowi zajmujący się tą dziedziną wiedzy badają nawierzchnie już od kilkunastu lat. My wykonaliśmy pomiary na zaledwie kilkunastu odcinkach drogowych. Nie mamy więc kompletnego zasobu informacji na temat wpływu poszczególnych nawierzchni drogowych na środowisko i samopoczucie człowieka. Aby móc wydawać opinie na ten temat oraz formułować zalecenia dotyczące wykonywania i stosowania nawierzchni warstwy ścieralnej ze względu na hałaśliwość, badania poziomu emitowanego hałasu powinny być kontynuowane i wykonane na większej ilości nawierzchni drogowych stosowanych w Polsce. Uzyskane wyniki byłyby podstawą do opracowania szczegółowych zaleceń w zakresie udoskonalenia warstw ścieralnych pod względem hałaśliwości.

Bibliografia

- 1 Raport o stanie środowiska w województwie małopolskim w 2000 roku – Praca zbiorowa pod redakcją Konrada Pawła Turzańskiego.
- 2 Michał Dyszyński – [Podręcznik Multimedialny z fizyki](#).
- 3 Założenia do polityki ekologicznej województwa kujawsko-pomorskiego – Departament Ochrony Środowiska, Rolnictwa i Rozwoju Obszarów Wiejskich, 1999.
- 4 W. Gardziejczyk – Wpływ nawierzchni drogowych na hałas od ruchu samochodowego w modelach prognozowania jego poziomu. L Konferencja Naukowa, Krynica 2004.
- 5 J.A. Ejsmont – Hałas opon samochodowych – wybrane zagadnienia. ZN PG, Mechanika LXVIII, Gdańsk 1992.
- 6 W. Gardziejczyk, J. Ejsmont – Problem hałaśliwości nawierzchni drogowej w aspekcie technologii wykonywania warstw ścieralnych. Trwałe i bezpieczne nawierzchnie drogowe, Kielce, 11-12 maja 1999.
- 7 PN-EN 13036-1 „Cechy powierzchniowe nawierzchni dróg i lotnisk. Metody badań – Część 1. Oznaczenie głębokości makrotekstury przy użyciu techniki objętościowej.
- 8 J. Piłat, P. Radziszewski – Nawierzchnie asfaltowe, 2004.
- 9 Zagęszczanie i rozkładanie nawierzchni asfaltowych- teoria i praktyka – Dynapac, Szwecja 2004.
- 10 Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 2 marca 1999 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie. Dziennik Ustaw nr 43, Poz. 430.
- 11 Sandecki T. i inni – Komentarz do warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie, Transprojekt – Warszawa, 2003 rok.
- 12 System Oceny Stanu Nawierzchni „SOSN”, Wytyczne stosowania. GDDP, 2002.
- 13 Wojdanowicz S.: Ocena szorstkości nawierzchni za pomocą piasku kalibrowanego. Prace IBDiM 4/1977.
- 14 Kruszywa do warstw ścieralnych a właściwości przeciwpoślizgowe nawierzchni i poziom hałasu toczenia pojazdów. Trwałe i bezpieczne nawierzchnie drogowe, Kielce 2003.
- 15 Descornet Guy: Noise classification of road surfaces, State-of-the-art, 2005.
- 16 Besnard F. et al., “The procedure for updating the vehicle noise emission values of the French « Guide du Bruit des Transports Terrestres »”, Ministère de l’Équipement, des Transports, du Logement, du Tourisme et de la Mer, Note Technique, Paris, Novembre 2002.
- 17 Decree on the content and form-related requirements for strategic noise maps serving for the assessment and management of environmental noise as well as the calculation and investigation methods implemented for the preparation of strategic noise maps”, Hungarian Ministry of Environment and Water, Guidelines 25/2004.

18 Heutschi K. – SonRoad – Modèle de calcul du trafic routier, Cahier de l'Environnement n° 366, OFEFP, Berne, 2004

19 Jonasson, H.G.; Storeheier, S.Å., "Nord 2000. New Nordic Prediction Method for Road Traffic Noise". SP Report 2001:10, Swedish National Testing and Research Institute (SP), Borås, Sweden, 2001.

20 W. Gardziejczyk – Hałas toczenia jako kryterium wyboru technologii wykonywania warstw ścieralnych. XLVIII Konferencja Naukowa, Krynica 2002.

21 W. Gardziejczyk – Hałas toczenia jako kryterium wyboru technologii wykonywania warstw ścieralnych. XLVIII Konferencja Naukowa, Krynica 2002.

22 Sybilski D.: Współczesne technologie budowy nawierzchni bitumicznych. Polskie Drogi 12, 1995.

23 Les Enrobes Drainants. Porous Asphalt. AIPCR/PIARC. Raport C8. 1993.