

**Dr inż. Władysław Gardziejczyk**  
Instytut Inżynierii Budowlanej  
Politechnika Białostocka

## **Wpływ technologii wykonania warstwy ścieralnej na poziom hałasu od przejeżdżających pojazdów**

### **Influence of wearing course building technology on vehicle noise**

#### **Streszczenie**

Hałas drogowy należy do zagrożeń, które dotyczą mieszkańców miast i miejscowości przyległych do tras komunikacyjnych. Nadmierny jego poziom wymusza zmianę stylu życia, jest przyczyną pogorszenia samopoczucia i niekorzystnie wpływa na stan zdrowia. Główną przyczyną nadmiernego hałasu w otoczeniu dróg jest zbyt duże natężenie ruchu samochodowego, znaczny udział pojazdów ciężarowych oraz zbyt duża prędkość pojazdów. Istotny wpływ na poziom dźwięku emitowanego do przejeżdżających pojazdów ma także technologia wykonania warstwy ścieralnej i stan techniczny nawierzchni drogowej. Decyduje o tym hałas powstający na styku opon z nawierzchnią.

W referacie przedstawiono wyniki badań poziomu hałasu od ruchu samochodowego na drogach w Polsce i w krajach Europy Zachodniej. Wskazano na potrzebę uwzględniania rodzaju nawierzchni przy rozwiązywaniu problemu nadmiernego hałasu od ruchu drogowego. Przedstawiono opracowaną klasyfikację nawierzchni pod względem ich hałaśliwości.

#### **Summary**

Traffic noise is a kind of threat that mostly affect people living in areas near to major roads. Its excessive level forces change of lifestyle and disadvantageously affects people's mood and health condition. Besides wearing course building technology and surface condition main reasons of such high vehicle noise level in road's surroundings are: excessive traffic intensity, considerable participation of heavy trucks and the vehicles speed. The noise forming in the contact between tyre and road surface is connected with wearing course building technology and surface technical condition.

The paper presents research results of level on vehicle noise conducted in Poland and Western Europe. The type of road pavement was pointed as essential while searching the solution to the reduction of excessive traffic level noise as well as a road pavement classification in respect to traffic noise was presented.

## 1. Wprowadzenie

Drogi obciążone dużym ruchem, a w szczególności drogi prowadzące ciężki ruch tranzytowy, są potężnym źródłem hałasu, emisji pyłów i substancji chemicznych. Stopień uciążliwości drogi zależy od jej charakterystyki, natężenia ruchu, charakterystyki potoku ruchu i prędkości pojazdów. Działania w kierunku obniżenia nadmiernego poziomu hałasu w otoczeniu tras drogowych, z uwagi na ograniczone środki finansowe, są podejmowane tylko przy okazji budowy lub modernizacji drogi, gdyż taki obowiązek wynika z obowiązujących aktów prawnych w zakresie ochrony akustycznej. Są to najczęściej propozycje obejmujące budowę ekranów akustycznych. Dobrym, lecz niedocenianym rozwiązaniem, w przypadku nieznacznego przekroczenia poziomu dopuszczalnego (do 3 dB(A)), jest wykonanie nawierzchni o niższej hałaśliwości. Doświadczenia krajów Europy Zachodniej wskazują, że doskonalenie górnych warstw nawierzchni pod względem akustycznym może przynieść wymierne efekty w walce z nadmiernym hałasem w otoczeniu dróg.

Odpowiednim parametrem do oceny hałaśliwości nawierzchni jest maksymalny poziom emitowanego dźwięku  $L_{max}$  w chwili przejazdu pojazdu samochodowego. Na pomiarach poziomu  $L_{max}$  od pojedynczo przejeżdżających pojazdów opiera się metoda statystycznego przejazdu (SPB - Statistical Pass-By method), której wyniki są podstawą do ustalenia maksymalnego poziomu dźwięku emitowanego od przejazdu **statystycznego** pojazdu osobowego  $L_I$ , lekkiego ciężarowego  $L_{2A}$  i wieloosobowego pojazdu ciężarowego  $L_{2B}$  [5]. Badania poziomu hałasu opona/nawierzchnia (parametr CPXI) są prowadzone według metody CPX (Close Proximity Method) [6].

Zdaniem autora referatu poziom hałasu od przejazdu statystycznego samochodu osobowego, ustalony według metody SPB dla prędkości 80 km/h, można traktować jako „**wskaźnik hałaśliwości nawierzchni**” ( $L_I(80)$ ), który powinien stanowić podstawę klasyfikacji nawierzchni pod względem hałaśliwości.

Zwrócenie uwagi na potrzebę obniżenia hałaśliwości warstw ścieralnych nawierzchni polskich dróg oraz wskazanie na konieczność uwzględniania aspektu akustycznego, przy wyborze technologii budowy górnych warstw nawierzchni jest celem niniejszego referatu.

## 2. Charakterystyka hałaśliwości nawierzchni drogowych

Badania poziomu hałasu od przejeżdżającego pojazdu oraz pomiary hałasu opon samochodowych wykonano w Polsce na około pięćdziesięciu odcinkach dróg krajowych i wojewódzkich oraz na kilku odcinkach ulic. Pomiary przeprowadzono metodami: SPB, CPX i CPB (Controlled Pass-By method), na nawierzchniach bitumicznych, z betonu cementowego, z kostki kamiennej i z betonowej kostki brukowej [2]. W grupie nawierzchni zakwalifikowanych do badań były głównie nawierzchnie z betonu asfaltowego i nawierzchnie z mastyksu grysowego typu SMA. We współpracy z Politechniką Gdańską (projekty badawcze Unii Europejskiej w ramach 5 PRUE, 6 PRUE: HARMONOISE, SILVIA, IMAGINE) i z Instytutem Dróg i Mostów w Warszawie [3] przeprowadzono także pomiary na odcinkach dróg o nawierzchni wykonanej według technologii, które są stosowane w Polsce od niedawna, np. Reflex, Colsoft, beton asfaltowy o polepszonych właściwościach eksploatacyjnych „Superpave”, nawierzchnia z mastyksu grysowego typu SMA uszorstniona grysem 2/5 oraz na nawierzchniach z betonu cementowego.

W tabeli 1 podano zakresy wartości poziomu emitowanego dźwięku od statystycznego pojazdu osobowego przy przejeździe z prędkością 90 km/h (i wartości średnie) na badanych standardowych nawierzchniach dróg w Polsce i na wybranych nawierzchniach we Francji [1,2]. Do analizy przyjęto prędkość 90 km/h (pomimo prędkości referencyjnej 80 km/h według [5]), gdyż jest to prędkość referencyjna stosowana w badaniach hałasu we Francji.

Przedstawione wartości wskazują na stosunkowo małe różnice pomiędzy poziomami emitowanego dźwięku na nawierzchniach dróg w Polsce. Należy stwierdzić, że poziom hałasu na nawierzchniach bitumicznych i nawierzchniach z betonu cementowego jest zbliżony do poziomu hałasu na drogach francuskich, wykonanych w tej samej technologii. Zdecydowanie niższą hałaśliwością charakteryzują się nawierzchnie porowate oraz dywaniki bitumiczne wykonane

z mieszanki mineralno-bitumicznej o uziarnieniu 0/6 i 0/10. Oznacza to, że rozwój technologii budowy nawierzchni bitumicznych, z akustycznego punktu widzenia, powinien prowadzić do stosowania do warstwy ścieralnej kruszywa o możliwie najmniejszym uziarnieniu oraz stosowania warstw o zwiększonej porowatości.

W ostatnich latach na polskich drogach wykonano warstwy ścieralne w innej technologii niż stosowany do niedawna beton asfaltowy. Prowadzone są badania hałaśliwości takich warstw ścieralnych, a uzyskane wyniki przedstawiono w tabeli 2 [2, 3]. Jako nawierzchnię referencyjną przyjęto nawierzchnię z mastyksu grysowego typu SMA 0/12,8.

Maksymalny poziom emitowanego dźwięku  $L_I(80)$ , od przejazdu statystycznego pojazdu osobowego na nawierzchniach typu: Reflex, cienka warstwa na zimno (CWZ), mastyks grysowy typu SMA uszorstniony grysem 2/5, beton asfaltowy „Superpave” jest wyższy o 1,3 - 2,3 dB(A) od wartości określonej na nawierzchni SMA 0/12,8. Na dywaniku typu slurry seal ustalony poziom emitowanego dźwięku jest praktycznie taki sam jak na nawierzchni z mastyksu grysowego. Na nawierzchniach z betonu cementowego wartość  $L_I(80)$  wynosi 80,7 i 79,8 dB(A) i jest nieznacznie wyższa od wartości ustalonej na nawierzchni z mastyksu grysowego. Bardzo hałaśliwym rozwiązaniem okazała się cienka warstwa na zimno (CWZ). Warstwa ścieralna typu GUF i warstwa ścieralna z mieszanki mineralno-bitumicznej o nieciąglym uziarnieniu (MNU) są rozwiązaniami mniej hałaśliwymi niż SMA 12/8 (odpowiednio o 1,6 i 1,2 dB(A)).

Tabela 1. Zakresy poziomu dźwięku (i wartości średnie) od przejazdu statystycznego pojazdu osobowego z  $V=90$  km/h na nawierzchniach dróg w Polsce i we Francji

Nawierzchnie dróg w Polsce		Nawierzchnie dróg we Francji *)	
Technologia	$L_I(90)$ , [dB(A)]	Technologia	$L_I(90)$ , [dB(A)]
<b>Nawierzchnie porowate</b>			
		BBDr 0/6	72,1 – 73,2 ( <b>72,7</b> )
		BBDr 0/10	69,0 – 75,1 ( <b>73,6</b> )
		BBDr 0/14	75,8 – 76,2 ( <b>76,0</b> )
<b>Dywaniki bitumiczne</b>			
		BBTM 0/6	71,2 – 77,3 ( <b>73,0</b> )
		BBUM 0/6	72,0 – 75,5 ( <b>73,5</b> )
SMA 0/10	78,8 - 80,9 ( <b>79,9</b> )	BBTM 0/10 – T2	73,1 – 76,5 ( <b>75,1</b> )
SMA 0/11,2	77,3 - 79,8 ( <b>78,6</b> )	BBTM 0/10 – T1	74,5 – 80,1 ( <b>78,1</b> )
SMA 0/12,8	78,7 - 80,3 ( <b>79,5</b> )	BBUM 0/10	74,4 – 80,2 ( <b>78,8</b> )
		BBTM 0/14	78,6 – 82,7 ( <b>79,9</b> )
Slurry seal	77,7 – 78,9 ( <b>78,3</b> )	ECF	75,0 – 79,9 ( <b>77,7</b> )
<b>Beton asfaltowy</b>			
BA 0/12,8	77,7 - 79,8 ( <b>78,9</b> )	BBSG 0/10	75,1 – 79,7 ( <b>77,7</b> )
BA 0/16	77,9 - 81,1 ( <b>80,1</b> )	BBSG 0/14	77,7 – 81,0 ( <b>79,2</b> )
<b>Nawierzchnie powierzchniowo utrwalone</b>			
PU 5/8	81,1 ( <b>81,1</b> )	ES 6/10	79,0 – 81,2 ( <b>80,1</b> )
PU 8/16	81,1 - 82,5 ( <b>81,8</b> )	ES 10/14	79,5 – 84,8 ( <b>81,9</b> )
<b>Beton cementowy</b>			
BC	80,4 - 80,8 ( <b>80,6</b> )	BC	79,0 – 83,1 ( <b>80,9</b> )

\*) - technologie wykonania w-wy ścieralnej podano zgodnie z oznaczeniami stosowanymi we Francji

Tabela 2. Wyniki pomiaru poziomu hałasu na nawierzchniach dróg

Warstwa ścieralna	Lokalizacja nawierzchni	Równania regresji	Poziom hałasu, $L_I(80)$
Beton cementowy	dk8; km 335,960	$L_I = 48,2 + 17,1 \log V$	80,7
	dk50; km 74,650	$L_I = 24,8 + 28,9 \log V$	79,8
Ruflex	dk2; km 209,800	$L_I = 27,7 + 27,6 \log V$	80,2
	dk11; km 286,195	$L_I = 36,7 + 22,6 \log V$	79,7
SMA11+2/5	dk6; km 328,250	$L_I = 28,3 + 27,0 \log V$	79,7
CWZ*)	dk17; km 61,720	$L_I = 30,5 + 26,4 \log V$	80,7
BA Superpave	A2; km 177,010	$L_I = 31,4 + 25,1 \log V$	79,2
Slurry seal	dk8; km 629,400	$L_I = 31,5 + 24,7 \log V$	78,5
<b>SMA12,8</b>	<b>dk8; km 520,585</b>	<b><math>L_I = 29,1 + 25,9 \log V</math></b>	<b>78,4</b>
MNU**)	dk10; km 126,280	$L_I = 23,3 + 28,3 \log V$	77,2
GUFI***)	dk11; km 124,080	$L_I = 16,7 + 31,6 \log V$	76,8

\*) - cienka warstwa na zimno, \*\*) - dywanik bitumiczny z mieszanki mineralno-bitumicznej o nieciągłym uziarnieniu, \*\*\*) - dywanik bitumiczny z dodatkiem gumy-nawierzchnia testowa IBDiM;  
Uwaga: autor nie posiada szczegółowych informacji nt. wymienionych technologii wykonania warstwy ścieralnej

Lokalizacja i charakter otoczenia odcinków ulic o nawierzchni porowatej w Poznaniu uniemożliwiły przeprowadzenie tam pomiaru hałasu metodą SPB. Wyniki pomiaru hałasu metodą CPX, wykonane przez zespół prof. J.A. Ejsmonta z Politechniki Gdańskiej, wykazały jednak, że hałaśliwość nawierzchni typu Colsoft na ul. Poznańskiej i ul. Hetmańskiej jest bliższa hałaśliwości standardowych nawierzchni bitumicznych stosowanych w Polsce niż hałaśliwości nawierzchni porowatych w krajach Europy Zachodniej.

Przedstawione wyniki pomiaru poziomu hałasu na nawierzchniach polskich dróg pozwalają stwierdzić, że właściwym kierunkiem rozwoju technologii z akustycznego punktu widzenia jest stosowanie dywaników bitumicznych z mieszanek o nieciągłym uziarnieniu oraz mieszanek z dodatkiem gumy. Nadmierna hałaśliwość nawierzchni wykonanej jako cienka warstwa na zimno i nawierzchni typu Colsoft wskazują na brak doświadczenia wykonawców lub ewentualnie popełnione błędy przy budowie tych nawierzchni, gdyż ustalone poziomy emitowanego dźwięku są zbyt duże w porównaniu z podobnymi rozwiązaniami w innych krajach lub na innych odcinkach dróg.

### 3. Klasyfikacja nawierzchni drogowych pod względem hałaśliwości

Mając na uwadze duże zróżnicowanie warstw ścieralnych nawierzchni drogowych celowe było opracowanie klasyfikacji nawierzchni pod względem hałaśliwości. W referacie zaprezentowanym na XLVIII Konferencji Naukowej w Krynicy autor przedstawił propozycję klasyfikacji nawierzchni pod względem hałaśliwości [4]. Przeprowadzone analizy porównawcze metod pomiaru poziomu hałasu oraz wykonane badania na kolejnych odcinkach dróg stanowiły podstawę do wprowadzenia pewnych korekt. W tabeli 3 przedstawiono uzupełnioną klasyfikację nawierzchni pod względem hałaśliwości, a jako kryterium przyjęto wskaźnik hałaśliwości nawierzchni  $L_I(80)$  [2].

Tabela 3. Klasyfikacja nawierzchni pod względem hałaśliwości

Klasa/ Symbol	Wartości poziomu dźwięku, [dB(A)]		Przykłady warstw ścieralnych
	$L_I$ (SPB-80)	CPXI (80)	
Nawierzchnie ciche <b>NC</b>	(<73,0) <b>71,5</b>	(<92,5) <b>91,0</b>	⇒ pojedyncze dywaniki porowate o uziarnieniu kruszywa ≤ 10mm ⇒ podwójne dywaniki porowate, ⇒ nawierzchnie poroelastyczne
Nawierzchnie o zredukowanej hałaśliwości <b>ZH</b>	(73,0÷75,9) <b>74,5</b>	(92,5-95,4) <b>94,0</b>	⇒ SMA i betony asfaltowe o uziarnieniu < 10 mm ⇒ dywaniki bitumiczne o uziarnieniu kruszywa <10 mm ⇒ pojedyncze dywaniki porowate o uziarnieniu kruszywa > 10 mm
Nawierzchnie o normalnej hałaśliwości <b>NH</b>	(76,0÷79,0) <b>77,5</b>	(95,5-98,4) <b>97,0</b>	⇒ SMA o uziarnieniu kruszywa > 10 mm ⇒ dywaniki bitumiczne o uziarnieniu 10- 16 mm ⇒ betony asfaltowe o uziarnieniu <16 mm ⇒ betony cementowe o optymalnym teksturowaniu
Nawierzchnie o podwyższonej hałaśliwości <b>PH</b>	(79,1÷81,0) <b>80,0</b>	(98,5- 100,5) <b>99,5</b>	⇒ powierzchniowe utrwalenia ⇒ uszorstnione nawierzchnie typu SMA ⇒ betony asfaltowe o uziarnieniu ≥16mm ⇒ klasyczne betony cementowe ⇒ betonowa kostka brukowa przy optymalnych układach połączeń
Nawierzchnie o nadmiernej hałaśliwości <b>NNH</b>	(>81,0) <b>82,0</b> <b>(86,0 -</b> kostka kamienna)	(>100,5) <b>101,5</b> <b>(106,0 -</b> kostka kamienna)	⇒ kostka kamienna ⇒ betonowa kostka brukowa bez optymalizacji połączeń ⇒ betony cementowe poprzecznie rowkowane

Propozycje klasyfikacji przedstawione w literaturze nie są jednoznaczne. Klasyfikacja zaproponowana przez Besnarda jest zdaniem autora zbyt ogólna, gdyż w tej samej klasie mogą znaleźć się nawierzchnie różniące się pod względem hałasu toczenia nawet o 10 dB(A) [1]. Jeżeli propozycję Sandberga i wartości podanych współczynników korygujących wpływ nawierzchni na poziom emitowanego dźwięku traktować jako próbę klasyfikacji, to należy ją uznać za zbyt szczegółową [7].

Opracowanie klasyfikacji nawierzchni drogowych pod względem hałaśliwości ułatwia wybór technologii wykonania warstwy ścieralnej w zależności od natężenia i charakterystyki ruchu samochodowego. Należy przy tym stwierdzić, że stosowane dotychczas technologie budowy warstwy ścieralnej na polskich drogach pozwalają traktować nasze nawierzchnie jako rozwiązania o normalnej hałaśliwości i o nadmiernej hałaśliwości.

#### 4. Poziom równoważny dźwięku w zależności od charakterystyki ruchu i rodzaju warstwy ścieralnej

Analizę wpływu rodzaju nawierzchni i charakterystyki ruchu na równoważny poziom hałasu w otoczeniu drogi przeprowadzono przyjmując następujące założenia i dane wyjściowe:

- równoważny poziom dźwięku  $L_{eq}$  określono dla teoretycznego punktu, położonego w odległości 7,5 od osi drogi o przekroju poprzecznym typu 1x2,

- w obliczeniach  $L_{eq}$  wykorzystano wyniki pomiaru ruchu, przeprowadzone przez autora, dla jednogodzinnych okresów czasu, na drodze krajowej nr 8 na ul. Gen. K. Pułaskiego w Suwałkach (na wylocie w kierunku przejścia granicznego z Litwą w Budzisku),
- założono, że obliczenia  $L_{eq}$  zostaną przeprowadzone dla czterech rodzajów warstwy ścieralnej o charakterystyce akustycznej odpowiadającej 3 nawierzchniom w Polsce i 1 nawierzchni we Francji: **A** – warstwa ścieralna z mieszanki mastyksowo-grysowej typu SMA0/12,8 (charakterystyka akustyczna jak dla nawierzchni na drodze krajowej nr 1, km 83,840; nawierzchnia o normalnej hałaśliwości, zgodnie z tabelą 5), **B** – warstwa ścieralna z mieszanki typu Ruflex (nawierzchnia drogi krajowej nr 2, km 209,080; nawierzchnia o podwyższonej hałaśliwości), **C** – warstwa ścieralna z mieszanki mineralno-bitumicznej z dodatkiem gumy GUFi (nawierzchnia testowa Instytutu Badawczego Dróg i Mostów w Warszawie, droga krajowa nr 11, km 124,910, nawierzchnia o normalnej hałaśliwości), **D** – ultra cienki dywanik bitumiczny typu BBUM 0/10 (nawierzchnia wykonana na autostradzie A31 we Francji km 160,80 – wyniki pomiaru z lat dziewięćdziesiątych XX w.; nawierzchnia o zredukowanej hałaśliwości),
- wartości  $L_{eq}$  obliczono w celu przeprowadzenia analizy porównawczej i nie mogą być one porównywane z wartościami dopuszczalnymi określonymi w odpowiednich aktach prawnych w zakresie ochrony akustycznej.

W tabeli 4 przedstawiono wartości maksymalnego poziomu hałasu od przejazdu statystycznego pojazdu osobowego ( $L_I$ ) i statystycznego pojazdu ciężarowego kategorii 2B ( $L_{2B}$ ), ustalone w oparciu o wyniki pomiaru metodą SPB na uwzględnionych w analizie nawierzchniach [2, 3]. Do obliczeń przyjęto 2 warianty średniej prędkości pojazdów:

I wariant: średnia prędkość samochodów osobowych - 70 km/h i średnia prędkość pojazdów ciężarowych kategorii 2B - 55 km/h,

II wariant: średnia prędkość samochodów osobowych - 90 km/h i średnia prędkość pojazdów ciężarowych kategorii 2B - 75 km/h.

Tabela 4. Wyniki pomiaru poziomu hałasu metodą SPB

Rodzaj nawierzchni	Ustalone zależności regresyjne		Poziom dźwięku, [dB(A)]				
	samochód osobowy kat. 1	samochód ciężarowy kat. 2B	$L_I(90)$	$L_I(80)$	$L_I(70)$	$L_{2B}(75)$	$L_{2B}(55)$
<b>A</b>	28,1+26,6 logV	43,8+22,3 logV	80,1	<b>78,7</b>	77,2	85,6	82,6
<b>B</b>	27,7+27,6 logV	27,8+31,9 logV	81,6	<b>80,3</b>	78,6	87,6	83,3
<b>C</b>	16,7+31,6 logV	39,6+24,5 logV	78,5	<b>76,8</b>	75,0	85,5	82,2
<b>D</b>	24,4+26,4 logV	51,3+17,9 logV	76,1	<b>74,6</b>	73,1	84,8	82,4

W tabeli 5 podano obliczone, zgodnie z zasadami podanymi w pracy [2], wartości równoważnego poziomu dźwięku dla dwóch wariantów prędkości pojazdów, czterech przyjętych technologii wykonania warstwy ścieralnej i dziesięciu wartości natężenia i struktury rodzajowej ruchu.

*Analizując uzyskane wyniki poziomu emitowanego dźwięku należy pamiętać, że hałas jest opisywany w skali logarytmicznej, a nie liniowej. Na przykład, zwiększenie hałasu o 3 decybele odpowiada podwojeniu hałasu; zwiększenie hałasu o 3 decybele odpowiada w przybliżeniu podwojeniu natężenia ruchu. Stąd też tak ważna jest walka o ograniczenie poziomu hałasu od ruchu samochodowego o każdy decybel.*

Podane w tabeli 5 wyniki pozwalają stwierdzić, że zwiększenie średniej prędkości ruchu pojazdów osobowych i pojazdów ciężarowych o 20 km/h wpływa na wzrost równoważnego poziomu dźwięku w otoczeniu drogi o 1,7 - 1,8 dB(A) w przypadku nawierzchni z mastyksu grysowego; od 2,0 do 2,9 dB(A) w przypadku nawierzchni typu Ruflex; od 2,0 do 2,3 dB(A) w przypadku nawierzchni typu GUFi i od 1,1 do 1,7 dB(A) – w przypadku wykonania dywanika bitumicznego typu BBUM. Fakt ten oznacza potrzebę uwzględniania prędkości pojazdów przy wyborze technologii wykonania warstwy ścieralnej, a z drugiej strony oznacza konieczność przestrzegania prędkości dopuszczalnej,

nie tylko z uwagi na bezpieczeństwo ruchu ale także ujemnego wpływu na potrzebę ograniczenia ujemnego wpływu ruchu samochodowego na środowisko.

Tabela 5. Równoważny poziom hałasu w zależności od natężenia ruchu, prędkości pojazdów i rodzaju nawierzchni

Natężenie ruchu [l.poj./h]		Równoważny poziom hałasu, przy średniej prędkości pojazdów, [dB(A)]							
Nr pomia- ru	Nso/Nsc	$V_{sr(so)}=70$ km/h, $V_{sr(sc)}=55$ km/h				$V_{sr(so)}=90$ km/h, $V_{sr(sc)}=75$ km/h			
		Technologia wykonania warstwy ścieralnej							
		A	B	C	D	A	B	C	D
1.	1597/205	77,1	78,2	75,6	74,8	78,8	80,5	77,8	76,2
2.	1156/295	77,0	78,0	75,8	75,4	78,7	80,5	78,0	76,7
3.	1150/189	76,1	77,2	74,7	74,0	77,8	79,5	76,9	75,4
4.	1128/226	76,4	77,4	75,1	74,5	78,1	79,8	77,3	75,9
5.	958/28	73,4	74,8	71,5	70,0	75,2	76,8	73,8	71,7
6.	925/150	75,1	76,2	73,7	73,0	76,8	78,6	75,9	74,4
7.	918/73	74,0	75,3	72,4	71,3	75,8	77,4	74,6	72,9
8.	916/221	75,8	76,9	74,7	74,2	77,6	79,4	76,8	75,5
9.	765/104	74,0	75,1	72,5	71,7	75,7	77,4	74,7	73,2
10.	735/57	73,0	74,3	71,4	70,3	74,8	76,4	73,6	71,8
11.	629/192	74,7	75,7	73,7	73,3	76,5	78,3	75,8	74,6
12.	621/51	72,4	73,6	70,7	69,7	74,1	75,8	73,0	71,2
13.	430/45	71,1	72,3	69,5	68,6	72,8	74,5	71,8	70,1
14.	295/43	69,9	71,1	68,5	67,8	71,7	73,4	70,7	69,2
15.	197/44	69,0	70,1	67,8	67,3	70,8	72,5	69,9	68,6
16.	182/170	72,8	73,6	72,1	72,0	74,5	76,4	74,1	73,2
17.	141/35	67,8	68,8	66,6	66,1	69,5	71,3	68,8	67,5
18.	114/188	72,8	73,6	72,2	72,3	74,5	76,5	74,3	73,4
19.	69/224	73,3	74,0	72,8	72,9	75,0	77,0	74,8	74,1

Najbardziej istotnym parametrem, decydującym o poziomie hałasu w otoczeniu drogi jest natężenie i struktura rodzajowa ruchu. Choć problem ten nie jest głównym tematem referatu to należy podkreślić, że szczególnie duży wpływ na poziom hałasu ma udział w potoku ruchu pojazdów ciężarowych. Na przykład, przy zbliżonej liczbie pojazdów osobowych i zdecydowanej różnicy w ruchu pojazdów ciężarowych (pomiar: 4 i 5) różnica w poziomie  $L_{eq}$  wynosi od 2,6 do 4,5 dB(A) (w zależności od rodzaju nawierzchni) przy prędkości średniej samochodów osobowych - 70 km/h i ciężarowych - 55 km/h. Liczba pojazdów osobowych także wpływa na poziom emitowanego dźwięku. Przy zbliżonej liczbie pojazdów ciężarowych (pomiar: 4 i 19) zdecydowane różnice w obciążeniu ruchem samochodami osobowymi powodują wzrost poziomu hałasu od 1,6 do 3,4 dB(A) (I wariant średniej prędkości pojazdów).

W tabeli 6 podano różnice pomiędzy równoważnym poziomem emitowanego dźwięku w przypadku nawierzchni B, C i D, a równoważnym poziomem dźwięku w przypadku nawierzchni A, traktowanej jako nawierzchnia referencyjna.

Wartości różnicy w zakresie poziomu równoważnego na badanych nawierzchniach i nawierzchni z mastyksu grysowego potwierdzają znaczący wpływ rodzaju warstwy ścieralnej na poziom  $L_{eq}$  w otoczeniu dróg. Najniższe wartości  $L_{eq}$  określono dla nawierzchni typu BBUM 0/10 i są one niższe od 0,4 do 3,4 dB(A) w porównaniu z nawierzchnią typu SMA. Różnica pomiędzy  $L_{eq}$  w przypadku nawierzchni typu BBUM i Reflex wynosi od 1,1 dB(A) do 4,7 dB(A) - dla I wariantu prędkości i od 3 do 5,1 dB(A) - dla II wariantu prędkości. Największe różnice stwierdzono przy małym udziale pojazdów ciężarowych i dużym natężeniu pojazdów osobowych, a najniższe różnice - przy dużym natężeniu pojazdów ciężarowych i małym udziale pojazdów osobowych.

Tabela 6. Wartości różnicy pomiędzy równoważnym poziomem dźwięku na nawierzchniach: „B”, „C” i „D” a równoważnym poziomem dźwięku na nawierzchni „A”

Natężenie ruchu, [l.poj./h]		Różnica pomiędzy wartością $L_{eq}$ , przy średniej prędkości pojazdów, [dB(A)]					
		$V_{SO} = 70 \text{ km/h}, V_{SC} = 55 \text{ km/h}$			$V_{SO} = 90 \text{ km/h}, V_{SC} = 70 \text{ km/h}$		
Nr pomiaru	$N_{SO}/N_{SC}$	$L_{eq}(B)-L_{eq}(A)$	$L_{eq}(C)-L_{eq}(A)$	$L_{eq}(D)-L_{eq}(A)$	$L_{eq}(B)-L_{eq}(A)$	$L_{eq}(C)-L_{eq}(A)$	$L_{eq}(D)-L_{eq}(A)$
1.	1597/205	1,2	-1,5	-2,3	1,7	-1,0	-2,6
2.	1156/295	1,0	-1,2	-1,6	1,8	-0,8	-2,0
3.	1150/189	1,1	-1,4	-2,0	1,7	-0,9	-2,4
4.	1128/226	1,1	-1,3	-1,9	1,7	-0,8	-2,2
5.	958/28	1,3	-2,0	-3,4	1,6	-1,4	-3,5
6.	925/150	1,1	-1,4	-2,1	1,7	-0,9	-2,4
7.	918/73	1,2	-1,7	-2,7	1,6	-1,2	-2,9
8.	916/221	1,1	-1,2	-1,7	1,8	-0,8	-2,1
9.	765/104	1,2	-1,4	-2,2	1,7	-1,0	-2,5
10.	735/57	1,2	-1,7	-2,7	1,6	-1,2	-3,0
11.	629/192	1,0	-1,1	-1,5	1,8	-0,7	-1,9
12.	621/51	1,2	-1,6	-2,7	1,6	-1,2	-2,9
13.	430/45	1,2	-1,6	-2,5	1,7	-1,1	-2,7
14.	295/43	1,1	-1,4	-2,2	1,7	-1,0	-2,5
15.	197/44	1,1	-1,2	-1,7	1,8	-0,8	-2,1
16.	182/170	0,8	-0,7	-0,7	1,9	-0,4	-1,3
17.	141/35	1,1	-1,2	-1,7	1,8	-0,8	-2,1
18.	114/188	0,8	-0,6	-0,5	1,9	-0,3	-1,1
19.	69/224	0,7	-0,5	-0,4	2,0	-0,2	-1,0

Wykonanie nawierzchni typu Ruflex, przy podanych natężeniach i charakterystyce ruchu, przyczyniłoby się do wzrostu poziomu  $L_{eq}$  w otoczeniu drogi od 0,7 do 1,3 dB(A) (I wariant prędkości) i od 1,6 do 2 dB(A) (II wariant prędkości), w porównaniu z sytuacją wykonania warstwy ścieralnej typu SMA. Gdyby zamiast warstwy ścieralnej z mastyksu grysowego wykonano nawierzchnię typu GUFİ, równoważny poziom emitowanego dźwięku od ruchu samochodowego zmniejszyłby się od 0,5 do 2 dB(A) - dla I wariantu prędkości i od 0,2 do 1,4 dB(A) - dla II wariantu prędkości.

Podane wartości różnic pomiędzy równoważnymi poziomami hałasu w otoczeniu odcinka drogi, w zależności od rodzaju nawierzchni i w aspekcie charakterystyki ruchu oraz prędkości pojazdów, wskazują w sposób jednoznaczny na potrzebę optymalnego doboru warstwy ścieralnej. Uwzględnienie tego faktu i przestrzeganie przez kierowców prędkości dopuszczalnej pozwoliłoby na uniknięcie w wielu sytuacjach stosowania ekranów akustycznych

## 5. Wnioski

Na podstawie wyników przeprowadzonych badań i analiz sformułowano następujące wnioski:

1. Nawierzchnie drogowe na polskich drogach są zbliżone pod względem hałaśliwości do nawierzchni dróg francuskich wykonanych w tych samych technologiach.
2. Brak jest dotychczas warstw ścieralnych wykonanych w Polsce, które można zaliczyć do nawierzchni o zredukowanej hałaśliwości; najlepszym pod tym względem rozwiązaniem wydaje się być nawierzchnia typu GUFİ, wykonana na odcinku badawczym Instytutu

Badawczego Dróg i Mostów oraz dywaniki bitumiczne z mieszanki mineralno – bitumicznej o nieciąglYM uziarnieniu.

3. Celem jest wprowadzenie klasyfikacji nawierzchni pod względem hałaśliwości, obejmującej pięć klas: nawierzchnie „ciche” (**NC**), nawierzchnie o zredukowanej hałaśliwości (**ZH**), nawierzchnie o normalnej hałaśliwości (**NH**), nawierzchnie o podwyższonej hałaśliwości (**PH**) i nawierzchnie o nadmiernej hałaśliwości (**NNH**). Kryterium podziału nawierzchni powinien być tzw. „wskaźnik hałaśliwości nawierzchni”, odpowiadający maksymalnemu poziomowi dźwięku emitowanego przy przejeździe pojazdu osobowego z prędkością 80 km/h.
4. Właściwy, z akustycznego punktu widzenia, dobór rodzaju warstwy ścieralnej z uwzględnieniem struktury rodzajowej ruchu i prędkości pojazdów może przyczynić się do rezygnacji stosowania ekranów akustycznych w otoczeniu niektórych odcinków tras drogowych.

## **Literatura**

1. Besnard F.: Prise en compte des effets des revêtements dans les modèles de prévision du bruit routier. Revue Générale des Routes. No 803/2002.
2. Gardziejczyk W.: Wpływ technologii wykonania i tekstury nawierzchni drogowych na hałas pojazdów samochodowych. Rozprawy Naukowe Nr 121. Dział Wydawnictw i Poligrafii Politechniki Białostockiej, Białystok 2005.
3. Gardziejczyk W., Ziółkowski R.: Wpływ typu i technologii wykonania warstwy ścieralnej nawierzchni na hałaśliwość ruchu drogowego na podstawie pomiarów wykonanych metodą SPB, praca RNN/U/83/05 wykonana na zlecenie Instytutu Badawczego Dróg i Mostów w Warszawie (praca niepublikowana).
4. Gardziejczyk W.: Hałas toczenia jako kryterium wyboru technologii wykonywania warstw ścieralnych. XLVIII Konferencja Naukowa KILiW PAN i KN PZITB „KRYNICA 2002”. Opole - Krynica 2002.
5. ISO 11819 - 1: Acoustics - Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise - Part 1: Statistical Pass-By method, 1997.
6. ISO 11819 - 2: Acoustics - Method for measuring the influence of road surfaces on traffic noise - Part 2: The Close Proximity method, 1997.
7. Sandberg U., Ejsmont J.A.: Tyre/road noise. Reference book. Informex. Sweden 2002.