

Hałaśliwość betonowych nawierzchni drogowych

1. Wprowadzenie

Nawierzchnie drogowe w istotny sposób wpływają na poziom hałasu toczenia pojazdów samochodowych, a tym samym na kształtowanie klimatu akustycznego w otoczeniu tras drogowych. W ostatnich latach zdecydowanie udoskonalono technologie wykonywania górnych warstw nawierzchni i znane są rozwiązania, które pozwalają „konkurować” z ekranami akustycznymi przy przekroczeniach dopuszczalnego poziomu dźwięku do 5-6 dB(A) [1, 8]. Są to w szczególności warstwy z asfaltu porowatego i bardzo cienkie warstwy z betonu asfaltowego (np. BBTM). Prowadzone są także badania nad nawierzchniami porowatymi z betonu cementowego, które przyczyniają się do obniżenia poziomu hałasu toczenia pojazdów samochodowych o 5-6 dB(A). Koszt budowy takich nawierzchni, zarówno asfaltowych jak i betonowych, jest jednak wyższy od 20 do 50% w porównaniu z kosztami budowy nawierzchni standardowych.

Szczególne znaczenie przy warstwach ścieralnych ze zwiększoną zawartością wolnych przestrzeni ma zachowanie korzystnych właściwości akustycznych w okresie eksploatacji. Brak systematycznego czyszczenia, błędy w zimowym utrzymaniu niestety przyczyniają się do wzrostu hałaśliwości, przy jednoczesnym zmniejszeniu ich trwałości. W grupie nawierzchni o zwartej strukturze szczególną rolę w generowaniu poziomu hałasu w rejonie kontaktu opon samochodowych z nawierzchnią odgrywa makrotekstura, kształtowana między innymi przez właściwy dobór maksymalnego uziarnienia kruszywa oraz zastosowaną technikę teksturowania.

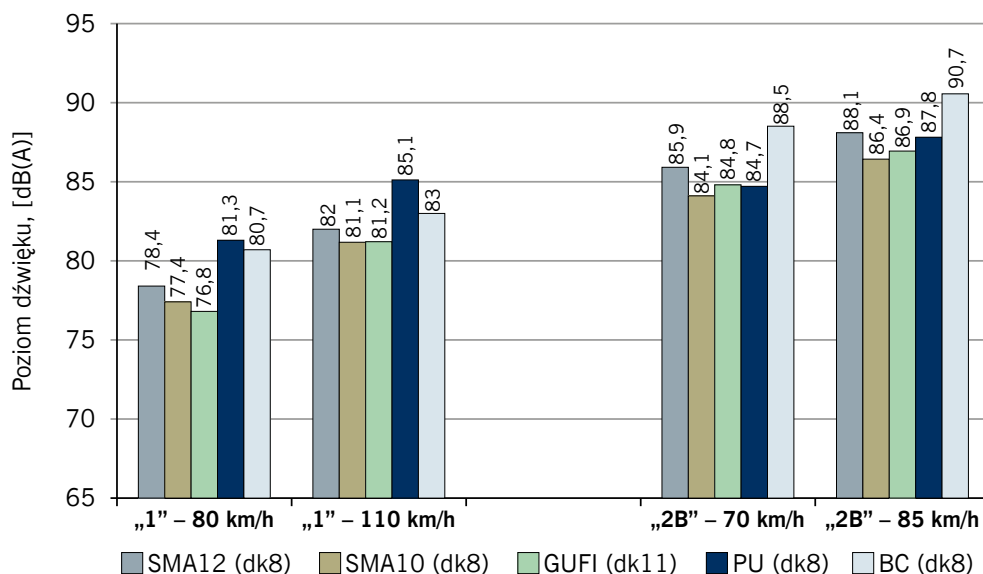
Ważnym problemem przy ocenie hałaśliwości nawierzchni drogowych jest zastosowanie odpowiedniej metody pomiaru hałasu i wskaźników jej oceny. Analiza zapisów w specyfikacjach, opracowaniach

technicznych, a nawet w referatach i publikacjach naukowych świadczy o zbyt ogólnikowym podejściu do tego zagadnienia przez wielu autorów. Równoważny poziom dźwięku (L_{eq}) jako podstawowy parametr oceny hałasu w otoczeniu tras drogowych nie pozwala na przykład w jednoznaczny sposób określić wpływu charakterystyki nawierzchni na jej hałaśliwość. Wynika to z faktu, że na wartość L_{eq} mają wpływ: tło akustyczne i zróżnicowane warunki ruchu samochodowego. Oceny hałaśliwości nawierzchni drogowych dokonuje się głównie w oparciu o jedną z dwóch metod: CPX (Close Proximity method) [5] i SPB (Statistical Pass-By method) [4]. Stosowana jest także metoda kontrolowanego przejazdu CPB (Controlled Pass-By method) oraz metoda OBSI (On Board Sound Intensity).

Badania metodą CPX polegają na pomiarze maksymalnego poziomu hałasu opona/nawierzchnia w tzw. polu bliskim, za pomocą mikrofonów zainstalowanych w pobliżu badanego koła. Koło może być umieszczone w specjalnej przyczepie lub być jednym z kół samochodu badawczego. Obecnie jako opony testowe są używane: opona SRTT i opona AAV4. Wynikiem pomiaru jest indeks $CPXI$, jako średnia arytmetyczna z wartości ustalonych dla zestawu opon testowych, odpowiednio dla prędkości 50, 80 i 110 km/h.

Badania metodą SPB pozwalają ustalić maksymalny poziom dźwięku od statystycznego pojazdu (dla każdej z 3 kategorii) przejeżdżającego z referencyjną prędkością w odległości 7,5 m od osi toru jazdy. Nawierzchnie betonowe są stosowane i szczególnie badane między innymi w takich krajach, jak: Austria, Belgia, Holandia, Niemcy, Stany Zjednoczone. W ostatnich latach także na polskich drogach coraz częściej pojawiają się nawierzchnie z betonu cementowego, a plany GDDKiA zakładają

Rys. 1. Wartości maksymalnego poziomu dźwięku od statystycznego pojazdu osobowego (kategoria „1”) i pojazdu ciężarowego (kategoria „2B”)



zdecydowane rozszerzenie tej technologii w budowie dróg obciążonych zwiększonym ruchem pojazdów ciężarowych. Głoszone do niedawna krytyczne uwagi na temat hałaśliwości nawierzchni betonowych były wynikiem ich postrzegania jako zespołu starych, zniszczonych płyt. Badania prowadzone przez autora artykułu w latach 2004-2005 wykazały, że nawierzchnia betonowa na drodze krajowej nr 8 różniła się pod względem hałaśliwości od standardowych nawierzchni asfaltowych (rys. 1). Ustalono wartości maksymalnego poziomu dźwięku od przejeżdżającego statystycznego pojazdu osobowego na nawierzchni betonowej były wyższe o około 3 dB(A) przy prędkości 80 km/h i o około 1,5 dB(A) – w przypadku prędkości 110 km/h. Stwierdzono przy tym wyższą hałaśliwość nawierzchni powierzchniowo utrwalonych w porównaniu z nawierzchnią betonową. W odniesieniu do pojazdu ciężarowego nawierzchnia betonowa była bardziej niekorzystnym rozwiązaniem niż badane nawierzchnie asfaltowe (o około 3 dB(A)).

Prowadzone w ostatnich latach badania na nawierzchniach betonowych w wielu krajach wskazują na zbliżoną ich hałaśliwość do nawierzchni asfaltowych. Potwierdzają to wyniki badań wykonane metodą CPX przez zespół z Politechniki Gdańskiej na różnych nawierzchniach na drogach w Polsce i w innych krajach Europy [6]. W tabeli 1 podano przykładowe średnie wartości indeksu $CPXI_{sr}$.

W odniesieniu do wyników badań na polskich drogach średnie wartości $CPXI_{sr}$, ustalone na nawierzchniach z betonu cementowego, są zbliżone do średniej wartości tego wskaźnika na nawierzchniach SMA8. Wyniki badań w innych krajach Europy pokazały, że nawierzchnie z betonu cementowego są porównywalne pod względem hałaśliwości do nawierzchni z betonu asfaltowego (AC11) i z mastyksu grysowego (SMA11). Różnice w ustalonych wartościach poziomu hałasu wynikają prawdopodobnie z faktu, że w naszym kraju badania były prowadzone na nowych nawierzchniach, a w innych krajach Europy na nawierzchniach w różnym stanie technicznym.

Ważnym etapem budowy nawierzchni z betonu cementowego jest teksturowanie jej powierzchni, mające na celu poprawę warunków współpracy kół pojazdu z nawierzchnią, zarówno z punktu widzenia bezpieczeństwa ruchu jak i poziomu hałasu opona/nawierzchnia. Zgodnie z [7] do podstawowych technik teksturowania należą metody: przeciągania tkaniną jutową, przecierania świeżo ułożonej mieszanki betonowej stalowymi szczotkami, rowkowania poprzecznego widełkami metalowymi, odkrytego kruszywa (opóźnienie hydratacji cementu, a następnie usunięcie niezwiązanej zaprawy cementowej). Z badań prowadzonych w wielu krajach wynika, że nawierzchnie z betonu cementowego z odkrytym kruszywem są najlepszym rozwiązaniem z akustycznego punktu widzenia w ramach tej technologii. Nawierzchnie z rowkowaniami poprzecznymi zaliczane są zaś do najbardziej hałaśliwych i charakteryzują się wyższymi poziomami emitowanych dźwięków nawet do około 7 dB(A) w porównaniu z poziomem hałasu na standardowych nawierzchniach asfaltowych. Zdecydowanie korzystniejszym rozwiązaniem jest układ rowków o możliwie najmniejszym kącie w stosunku do kierunku jazdy, a podłużne rowko-

Tabela 1. Średnie wartości indeksu $CPXI_{sr}$ dla przykładowych rodzajów nawierzchni ($V=80$ km/h)

Nawierzchnia	Drogi w Polsce		Drogi w innych krajach w Europie	
	Liczba odcinków	$CPXI_{sr}$ (80 km/h)	Liczba odcinków	$CPXI_{sr}$ (80 km/h)
AC12/AC11	21	99,3	24	99,1
SMA11	9	98,7	23	99,4
SMA8	10	97,7	12	97,8
PA8	5	93,9	14	97,7
BBT8	23	96,3	6	98,3
CC	10	97,9	21	99,6
PC	-	-	3	94,8
DPAC 8+16	-	-	3	95,1

AC12/AC11 – beton asfaltowy o maksymalnym uziarnieniu kruszywa 12 mm (dotyczy nawierzchni w Polsce)/ 11 mm – dotyczy innych krajów Europy, PA – asfalt porowaty, BBT8 – beton asfaltowy do bardzo cienkich warstw, CC – beton cementowy, PC – porowaty beton cementowy, DPAC8+16 – podwójny asfalt porowaty o maksymalnym uziarnieniu kruszywa w warstwie górnej 8 mm i w warstwie dolnej – 16 mm

wania pozwalają obniżyć poziom hałasu od 1 do 4 dB(A) w zależności od typu stosowanych opon.

W niniejszym artykule przedstawiono wyniki badań hałasu toczenia pojazdów samochodowych na wybranych nawierzchniach z betonu cementowego, wykonanych metodą SPB w 2014 roku przez zespół z Politechniki Białostockiej. Szczególną uwagę zwrócono na wpływ stanu technicznego i techniki teksturowania na poziom emitowanych dźwięków.

2. Metoda pomiaru hałasu toczenia pojazdów samochodowych

W badaniach wykorzystano zasady pomiaru poziomu hałasu metodą SPB. Parametrem charakteryzującym hałas toczenia pojazdów samochodowych jest maksymalny poziom dźwięku L_{max} od przejeżdżającego statystycznego pojedynczego pojazdu z ustaloną prędkością. Ustalenie poziomu hałasu toczenia pojazdu samochodowego metodą SPB polega na pomiarze maksymalnego poziomu dźwięku (L_{max}) dla statystycznie istotnej liczby pojedynczo jadących pojazdów rzeczywistych przez przekrój drogi z jednoczesnym pomiarem prędkości chwilowych. Każdy pojazd, wytypowany do pomiaru poziomu L_{max} , jest zaliczany do jednej z trzech kategorii: 1 – samochody osobowe; 2A – samochody ciężarowe 2- i 3-osiowe i autobusy; 2B – samochody ciężarowe wieloosiowe, z przyczepami lub z naczepami. Mikrofony pomiarowe są umieszczane na poboczu drogi w odległości 7,5 m od osi toru jazdy, na wysokości 1,2 m w stosun-

Rys. 2. Wyniki pomiarów maksymalnego poziomu dźwięku metodą SPB na nawierzchni z betonu cementowego i na nawierzchni SMA11

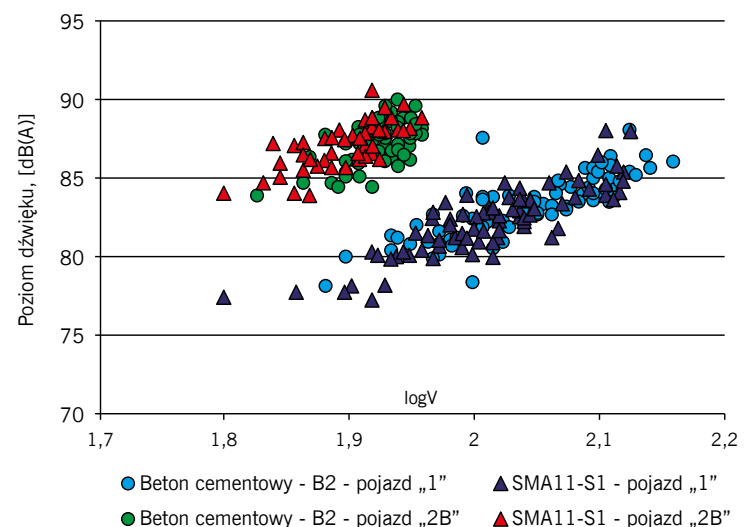


Tabela 2. Kategorie prędkości i wartości współczynników struktury rodzajowej ruchu w zależności od kategorii pojazdu [4]

Kategoria pojazdów		Kategoria prędkości					
nazwa	symbol	niska		średnia		wysoka	
		V_{ref}	W_x	V_{ref}	W_x	V_{ref}	W_x
Samochód osobowy	1	50	0,900	80	0,800	110	0,700
Samochód ciężarowy	2A	50	0,075	70	0,100	85	0,075
Samochód ciężarowy	2B	50	0,025	70	0,100	85	0,225

ku do powierzchni jezdni. Pomiaru są wykonywane dla ustalonej liczby pojazdów w poszczególnych kategoriach (kategoria 1 – minimum 100 pojazdów, kategoria 2A – minimum 30 pojazdów, kategoria 2B – minimum 30 pojazdów, przy łącznej minimalnej liczbie pojazdów kategorii 2A i 2B – 80 pojazdów), przy sprzyjających warunkach atmosferycznych. Wartości maksymalnego poziomu dźwięku (L_{max}), od pojedynczo przejeżdżających pojazdów, i ich prędkości (V) w trakcie pomiaru, są podstawą do ustalenia zależności regresyjnych, dla trzech kategorii pojazdów. Na podstawie ustalonej zależności oblicza się maksymalny poziom dźwięku $L(1,2A,2B)$ od przejazdu statystycznego pojazdu danej kategorii, przy założonej prędkości, zgodnie z wzorem [4]:

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

gdzie:

A, B – współczynniki regresji.

Na rysunku 2 przedstawiono przykładowe wyniki pomiaru maksymalnego poziomu dźwięku metodą SPB na dwóch odcinkach badawczych (B2 i S1) od przejazdu pojedynczych pojazdów osobowych (kategoria „1”) i wielocłonowych pojazdów ciężarowych (kategoria „2B”). W ramach prowadzonych badań nie uwzględniono pojazdów kategorii 2A z uwagi na mały ich udział w potokach ruchu oraz bardzo zróżnicowany, często zły, stan techniczny. Hałaśliwość nawierzchni według metody SPB opisuje się indeksem SPBI, a jego wartość ustala się z uwzględnieniem kategorii prędkości i struktury rodzajowej ruchu według wzoru [4]:

$$SPBI = 10 \lg(W_1 \cdot 10^{L_1/10} + W_{2A} \cdot 10^{L_{2A}/10} + W_{2B} \cdot 10^{L_{2B}/10}) \quad (2)$$

gdzie:

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

L_1, L_{2A}, L_{2B} – poziom dźwięku od przejazdu statystycznego pojazdu kategorii 1, 2A i 2B, odpowiadający prędkości referencyjnej.

W tabeli 2 podano kategorie prędkości oraz wartości współczynników W_x , uwzględniających strukturę rodzajową ruchu, zalecane do stosowania

w przypadku braku takich danych w odniesieniu do konkretnego odcinka drogi.

Należy zauważyć, że tak obliczone wartości indeksów $SPBI$, poprzez uwzględnienie struktury rodzajowej ruchu, mogą w nieco różny sposób klasyfikować nawierzchnie drogowe, nawet wykonane w takiej samej technologii, pod względem hałaśliwości. Między innymi dlatego zaproponowano klasyfikację nawierzchni w oparciu o wartość maksymalnego poziomu dźwięku od przejeżdżającego statystycznego pojazdu osobowego z prędkością 80 km/h lub indeksu $CPXI$ (80) [2].

3. Lokalizacja i ogólna charakterystyka badanych nawierzchni

Analizie poddano wyniki badań hałasu na pięciu odcinkach dróg krajowych, w tym na czterech odcinkach o nawierzchni z betonu cementowego i na jednym odcinku o nawierzchni z SMA11. Na badanych nawierzchniach dokonano wizualnej oceny ich stanu technicznego oraz przeprowadzono badania tekstury metodą objętościową (kulek szklanych) i/lub przy wykorzystaniu urządzenia Circular Test Meter (CTM). Metodą objętościową ustalono wartości średniej głębokości tekstury MTD (Mean Texture Depth) na nawierzchni z mastyksu grysowego (przekrój S1) i na nawierzchniach betonowych z odkrytym kruszywem (przekroje B2 i B4). Przy pomocy urządzenia CTM określono wartości średniej głębokości profilu nierówności MPD (Mean Profile Depth) na nawierzchniach betonowych z odkrytym kruszywem (przekroje B2 i B4) i nawierzchni teksturowanej tkaniną jutową (przekrój B1). W przekroju B3 teksturę oceniono w sposób wizualny.

Poniżej przedstawiono charakterystykę nawierzchni w przekrojach badawczych, w których prowadzono pomiary poziomu hałasu metodą SPB:

- przekrój B1 (droga DK50, km 74+410) – nawierzchnia betonowa dyblowana w stanie zadowalającym (spękania i zniszczenia przy szczelinach), teksturowanie tkaniną jutową, bardzo drobna tekstura ($MPD = 0,17$ mm)
- przekrój B2 (droga S8, km 401+400) – nawierzchnia betonowa dyblowana, teksturowanie metodą odkrytego kruszywa, gruba tekstura ($MTD = 0,92$ mm, $MPD = 1,16$ mm), stan dobry, max uziarnienie kruszywa w górnej warstwie 8 mm
- przekrój B3 (droga S8, km 345+970) – nawierzchnia betonowa dyblowana w technologii „whitetopping”, teksturowanie tkaniną jutową,

Rys. 3. Widok nawierzchni na dwóch odcinkach badawczych: a) w otoczeniu przekroju B1, b) w otoczeniu przekroju B2 (fot. M. Motylewicz)





Rys. 4. Tekstura badanych nawierzchni z betonu cementowego: a) teksturowanie tkaniną jutową (przekrój B1), b) teksturowanie metodą odkrytego kruszywa (przekrój B2), c) teksturowanie tkaniną jutową (przekrój B3), d) teksturowanie metodą odkrytego kruszywa (przekrój B4), e) nawierzchnia typu SMA11 (przekrój S1) (fot. M. Motylewicz)

bardzo drobna tekstura, stan zadowalający (ubytki na powierzchni, uszkodzenia przy szczelinach)

- przekrój B4 (droga S8, km 334+ 220) – nawierzchnia betonowa dyblowana, teksturowanie metodą odkrytego kruszywa, bardzo gruba tekstura ($MTD = 1,51$ mm, $MPD = 1,90$ mm), stan dobry, max uziarnienie kruszywa w górnej warstwie > 8 mm
- przekrój S1 (droga DK50, km 4+150, obwodnica Mszczonowa) – nawierzchnia z mastyksu grysowego SMA11, stan dobry, gruba tekstura ($MTD = 1,07$ mm).

Na rysunku 3 pokazano widok nawierzchni na dwóch przykładowych odcinkach badawczych, a na rysunku 4 – teksturę ich nawierzchni.

4. Wyniki badań i ich analiza

W 2014 roku przeprowadzono pomiary maksymalnego poziomu dźwięku na nawierzchniach betonowych na wybranych nawierzchniach betonowych na drodze krajowej S8 i na drodze krajowej nr 50 [3]. W tabeli 3 podano, obliczone według wzoru 1, wartości maksymalnego poziomu hałasu L_1 od przejazdu statystycznego pojazdu osobowego z prędkością 80 km/h i 110 km/h oraz maksymalnego poziomu hałasu (L_{2B}) od przejazdu statystycznego wieloosłonowego pojazdu ciężarowego kategorii 2B z prędkością 70 km/h i 85 km/h na 5 badanych odcinkach. Zestawiono także wartości indeksu SPBI, obliczone według wzoru 2, przy dwóch kategoriach prędkości (średniej (I): odpowiednio 80 km/h i 70 km/h i wysokiej (II): odpowiednio 110 km/h i 85 km/h) oraz dwóch strukturach rodzajowych potoku pojazdów: a) 80% – pojazdy osobowe, 20% – pojazdy ciężarowe kategorii 2B i b) 50% – pojazdy osobowe, 50% – pojazdy ciężarowe kategorii 2B.

Podane wartości wyraźnie wskazują na wpływ stanu technicznego i tekstury nawierzchni oraz struktury rodzajowej pojazdów na poziom emitowanych dźwięków. Na rysunkach 5 i 6 pokazano wartości różnic w zakresie maksymalnych poziomów hała-

su i indeksów $SPBI$ w odniesieniu do nawierzchni z mastyksu grysowego SMA11.

W przypadku pojazdu osobowego (kategoria „1”) praktycznie nie stwierdzono istotnych różnic pomiędzy maksymalnym poziomem hałasu toczenia na badanych nawierzchniach betonowych (poza przekrojem B4 – nawierzchnia o bardzo grubej teksturze) i na nawierzchni asfaltowej SMA11. Nawierzchnia z odkrytym kruszywem o bardzo grubej teksturze jest zaś zdecydowanie głośniejsza (2,2 i 2,3 dB(A)) niż nawierzchnia SMA11.

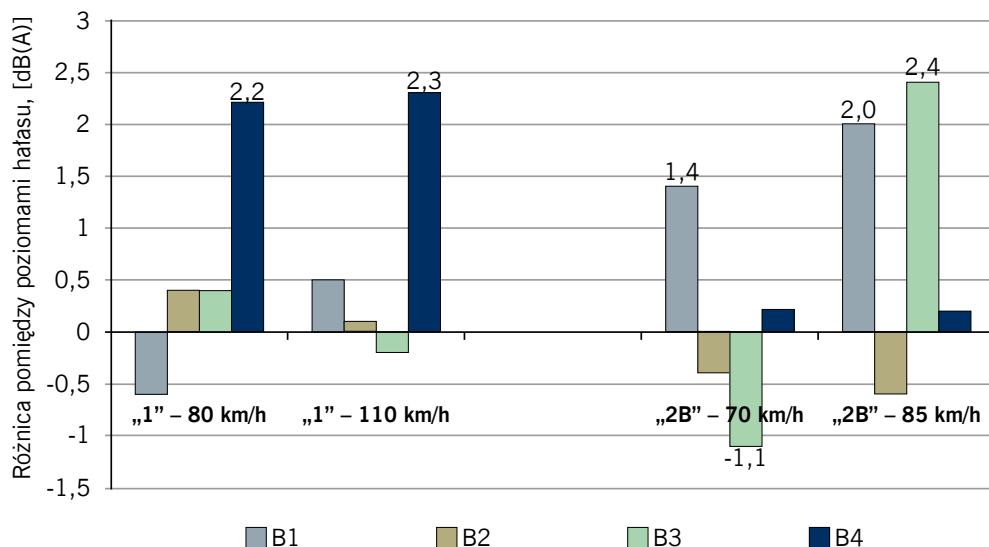
W odniesieniu do pojazdu ciężarowego kategorii 2B niekorzystnym rozwiązaniem okazały się nawierzchnie teksturowane tkaniną jutową dodatkowo charakteryzujące się pewnymi ubytkami na powierzchni i w otoczeniu szczelin dylatacyjnych. Szczególnie jest to widoczne w przekroju B3, w obrębie którego wzrost prędkości pojazdu ciężarowego z 70km/h do 85 km/h powoduje wzrost poziomu hałasu aż o 6,3 dB(A).

Analiza wpływu struktury rodzajowej pojazdów i charakterystyki nawierzchni na wartość indeksu $SPBI$ wykazała, że najkorzystniejszym rozwiązaniem jest nawierzchnia z odkrytym kruszywem o maksymalnym jego uziarnieniu w górnej warstwie 8 mm w dobrym stanie technicznym (rys. 6). Stwierdzono także, że wzrost udziału pojazdów ciężarowych i ich prędkości niekorzystnie wpływa na hałas pojazdów na nawierzchniach teksturowanych tkaniną jutową w porównaniu z nawierzchnią SMA11.

Tabela 3. Poziomy dźwięku $L_{(1,2B)}$ i wartości indeksu $SPBI$, ustalone według metody SPB, w zależności od rodzaju nawierzchni, kategorii pojazdu i prędkości ruchu

Przekrój badawczy	Poj. osobowy Kategoria „1”		Poj. ciężarowy Kategoria „2B”		Indeks SPBI			
					Prędkość (I): 80/70		Prędkość (II): 110/85	
	80	110	70	85	„a”	„b”	„a”	„b”
Przekrój B1	78,6	83,5	86,5	89,9	81,7	84,1	85,7	87,8
Przekrój B2	79,6	83,1	84,7	87,3	81,2	82,9	84,3	85,7
Przekrój B3	79,6	82,8	84,0	90,3	80,9	82,3	85,6	88,0
Przekrój B4	81,4	85,3	85,3	88,1	82,5	83,8	86,0	86,9
Przekrój S1	79,2	83,0	85,1	87,9	81,2	83,1	84,5	86,1

Rys. 5. Różnice pomiędzy maksymalnymi poziomami dźwięku na badanych nawierzchniach z betonu cementowego i na nawierzchni z SMA11



5. Wnioski

Na podstawie prowadzonych badań i analiz sformułowano następujące wnioski:

1. Nawierzchnie z betonu cementowego w dobrym stanie technicznym z odkrytym kruszywem przy maksymalnym jego uziarnieniu 8 mm są bardzo zbliżone pod względem hałaśliwości do nawierzchni z mastyksu grysowego typu SMA11. Bardzo gruba tekstura nawierzchni z odkrytym kruszywem wpływa na wzrost maksymalnego poziomu hałasu od przejazdu pojazdu osobowego nawet o 2 dB(A) w porównaniu z SMA11.
2. Nawierzchnie z betonu cementowego teksturowane tkaniną jutową charakteryzują się wyższym poziomem hałasu toczenia pojazdów ciężarowych przejeżdżających z wyższymi prędkościami. Takie rozwiązanie jest niekorzystne w przypadku dróg szybkiego ruchu obciążonych dużym ruchem pojazdów ciężarowych.
3. Ubytki na powierzchni nawierzchni betonowych, zniszczenia w obrębie szczelin dylatacyjnych dodatkowo przyczyniają się do wzrostu poziomu hałasu. Oznacza to konieczność przywiązywania szczególnej uwagi do utrzymania nawierzchni w dobrym stanie technicznym.

dr hab. inż. Władysław Gardziejczyk, prof. PB
Politechnika Białostocka
Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska

Literatura

- 1 Abbott P.G., Morgan P.A., McKell B.: A review of current research on road surface noise reduction techniques. Project TR/L001/08. Transport Research Laboratory. 2010. www.highways.gov.uk
- 2 Gardziejczyk W.: Generowanie hałasu przez samochody osobowe i ciężarowe. Ostony przeciwhałasowe w ruchu drogowym. Studia i materiały – Zeszyt 64, Instytut Badawczy Dróg i Mostów, Warszawa, 2011
- 3 Gardziejczyk W., Gierasimiuk P., Motylewicz M.: Hałaśliwość nawierzchni betonowych – przykładowe wyniki badań. Drogownictwo 10/2014
- 4 ISO 11819-1: Acoustics – Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise – Part 1: Statistical Pass-By method, 1997
- 5 ISO/CD 11819-2: Acoustics – Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise – Part 2: The close-proximity method (CPX), 2012
- 6 Mioduszewski P.: Przegląd hałaśliwości nawierzchni drogowych w Polsce i w innych krajach Unii Europejskiej. Metody ochrony przed hałasem. Teoria i praktyka. Zeszyt 1. Zakopane, 2013
- 7 Ogólne Specyfikacje Techniczne D – 05.03.04 Nawierzchnia betonowa. Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad, Warszawa, 2013
- 8 Sandberg U., Ejsmont J.A.: Tire/Road Noise Reference Book. INFORMEX Ejsmont & Sandberg, Handbolag, Printed by MODENA, Gdynia, 2002

Rys. 6. Różnice pomiędzy indeksami SPBI na badanych nawierzchniach z betonu cementowego i na nawierzchni z SMA11

