

prof. dr hab. inż. Władysław Gardziejczyk
dr inż. Paweł Gierasimiuk
dr inż. Marek Motylewicz
Politechnika Białostocka

Hałaśliwość betonowych nawierzchni drogowych

Noisiness of concrete road pavements

Streszczenie

W ostatnich kilkunastu latach nastąpił duży postęp w zakresie technologii wykonywania nawierzchni z betonu cementowego. Dotyczy to zarówno aspektu technologicznego i konstrukcyjnego jak i techniki teksturowania ich powierzchni. W Europie najczęściej stosowaną techniką teksturowania nawierzchni betonowych jest metoda „odkrytego kruszywa”, polegająca na usunięciu niezwiązanego zaczynu cementowego i tym samym odkrycia ziaren kruszywa grubego. Innowacyjną metodą nadawania tekstury opracowaną w Stanach Zjednoczonych, początkowo stosowaną jako metoda poprawiająca równość podłużną, jest grinding&grooving. Poprzez system tarcz diamentowych wykonywane są rowki w stwardniałym betonie oraz nadawana jest mikrotekstura w celu poprawienia właściwości przeciwpoślizgowych. Uzyskana w taki sposób tekstura redukuje także hałas w rejonie kontaktu opon samochodowych z nawierzchnią. W referacie przedstawiono wyniki badań i analiz poziomów hałasu toczenia pojazdów osobowych i wielocłonowych pojazdów ciężarowych na nawierzchniach betonowych teksturowanych metodą odkrytego kruszywa, metodą szczotkowania i techniką grinding&grooving. Na odcinkach testowych o nawierzchni betonowej wykonano pomiary maksymalnego poziomu dźwięku metodą statystycznego przejazdu (SPB). Wyniki badań i analiz poziomu hałasu toczenia pojazdów samochodowych porównano z wynikami ustalonymi na nawierzchniach asfaltowych. Oceniono wpływ makrotekstury nawierzchni na hałas od jadących pojazdów samochodowych. Emitowane dźwięki przeanalizowano zarówno w odniesieniu do wartości całkowitych maksymalnego poziomu dźwięku jak i ich widm. Na podstawie wyników uzyskanych w 2024 roku z wynikami badań we wcześniejszych okresach określono trwałość akustyczną badanych nawierzchni.

Abstract

In the last several years, there have been major advances in cement concrete pavement technology. This applies to both the technological and constructional aspects as well as to the technique of texturing their surfaces. In Europe, the most commonly used texturing technique for concrete pavements is the ‘exposed aggregate’ method, which involves removing the unbound cement slurry and thus uncovering the coarse aggregate grains. An innovative texturing method developed in the United States, initially used as a method to improve longitudinal evenness, is

grinding&grooving. Through a system of diamond discs, grooves are made in the hardened concrete and a micro-texture is imparted to improve the skid resistance. The texture obtained in this way also reduces noise in the region of contact between the car tyres and the road pavement. The paper presents the results of tests and analyses of the rolling noise levels of passenger vehicles and multi-vehicle trucks on concrete pavements textured using the exposed aggregate method, the brushing method and the grinding&grooving technique. Maximum sound levels were measured on the test sections with concrete pavements using the Statistical Pass-By method (SPB). The results of the tests and analyses of the rolling noise of vehicles were compared with those established on asphalt pavements. The influence of pavement macro-texture on noise from moving vehicles was assessed. The emitted sound levels were analysed in relation to both the total maximum sound level values and their spectra. The acoustic durability of the tested pavements was determined on the basis of the results obtained in 2024 with the results of tests in earlier periods.

1. Wprowadzenie

W technologii budowy nawierzchni betonowych w Polsce i na świecie wyróżnia się trzy rozwiązania: beton wałowany, beton porowaty i beton nawierzchniowy. Beton wałowany (z ang. Roller Concrete Compacted - RCC) może być stosowany jako górna warstwa nawierzchni dróg lokalnych niskich kategorii ruchu (np. KR1 – KR4), jako warstwa podbudowy oraz jako nawierzchnie placów składowych, parkingów, placów manewrowych, gdzie wymagana jest odporność i trwałość na duże obciążenia przy niskich prędkościach [1, 2, 3]. Wymagania materiałowe mieszanki betonowej nie są rygorystyczne pod względem jakości wykorzystywanych kruszyw, a ilość cementu jest mniejsza w porównaniu do tradycyjnych betonów nawierzchniowych, co zasadniczo wpływa na ograniczenie kosztów wytworzenia i wykonania nawierzchni drogowej. Dużym atutem jest możliwość użytkowania drogi z betonu wałowanego już po 48 godzinach od jej wykonania. Istotną wadą technologii jest uzyskanie zadowalającej równości podłużnej. Zawałowana mieszanka jest gładka i bez wyraźnej tekstury. W celu poprawy właściwości przeciwpoślizgowych takich nawierzchni są prowadzone prace wdrożeniowe nad teksturowaniem powierzchni poprzez przecieranie poprzeczne szczotką [3].

Beton porowaty określany w literaturze również jako przepuszczalny lub jamisty (z ang. porous concrete, permeability concrete lub pervious concrete) charakteryzuje się dużą zawartością wolnych przestrzeni (od 15 do 30%) wzajemnie ze sobą połączonych co wpływa na bardzo dobrą przepuszczalność wód opadowych oraz redukcję hałasu drogowego. Dodatkowo nawierzchnie z betonu porowatego redukują efekt „miejskich wysp ciepła”. Dzięki tym zaletom nawierzchnia ta jest uważana jako przyjazna dla środowiska [4, 5]. Mieszanka betonu porowatego składa się z kruszywa grubego, najczęściej jedno- dwufrakcyjnego np. 8/16 mm, którego ziarna są ze sobą połączone zaprawą cementową o odpowiedniej konsystencji. W „ulepszonym” betonie porowatym (z ang. enhanced porosity concrete - EPC) głównym założeniem jest wykorzystanie trzech frakcji kruszyw grubych, których zastosowanie w mieszance betonowej ma zapewnić spełnienie zarówno właściwości strukturalnych (trwałość i wytrzymałość) i funkcjonalnych (hałas, właściwości

przeciwpoślizgowe) [6]. Prowadzone są badania nad zwiększeniem trwałości nawierzchni z betonu porowatego poprzez modyfikację mieszanki betonowej, np. lateksem kauczuku styrenowo-butadienowego (z ang. styrene-butadiene rubber – SBR) lub kruszywem polimerowo-gumowym, częściowo zastępując cement [4, 7]. Do wad tej technologii należy zaliczyć problemy z rozwarstwianiem, odpornością na zamrażanie i rozmrażanie oraz błędy wykonawcze. Istotnym elementem prac wykonawczych jest zadanie odpowiedniej energii zagęszczania, co wpływa na późniejszą przepuszczalność i trwałość nawierzchni w trakcie jej użytkowania.

Beton nawierzchniowy jest to najpopularniejsze i najczęściej stosowane rozwiązanie nawierzchni betonowych. Zgodnie z [8] jest to „beton napowietrzony o określonej wytrzymałości na ściskanie, rozciąganie przy zginaniu oraz mrozoodporności, wbudowany w nawierzchnię”. Tego typu rozwiązanie jest stosowane na drogach krajowych, w tym w dużej części na drogach szybkiego ruchu (drogi ekspresowe i autostrady), na placach manewrowych i składowych oraz jako nawierzchnie lotniskowe. Niewątpliwą zaletą tego typu nawierzchni jest odporność na deformacje trwałe i wysoka trwałość oraz możliwość uzyskania zadowalających cech eksploatacyjnych, m.in. równości podłużnej, właściwości przeciwpoślizgowych jak również hałaśliwości nawierzchni. Pod względem zastosowanego połączenia płyt betonowych wyróżnia się: nawierzchnie dyblowane i kotwione, o zbrojeniu ciągłym, z włóknami rozproszonymi, zbrojone ze szczelinami dylatacyjnymi oraz rzadziej już występujące nawierzchnie niezbrojone i niedyblowane [9, 10]. Nawierzchnie z betonu cementowego mogą być budowane jako jednowarstwowe lub dwuwarstwowe. Wybór technologii zależy od przewidywanego wyboru rozwiązania techniki teksturowania, którą można stosować na świeżo zagęszczanej mieszance betonowej lub na stwardniałym betonie.

Technika teksturowania powierzchni nawierzchni betonowej determinuje uzyskaną makroteksturę, co bezpośrednio wpływa na właściwości przeciwpoślizgowe, generowany hałas w płaszczyźnie opona/nawierzchnia oraz zużycie paliwa (opór toczenia pojazdów) [11]. Do metod teksturowania świeżej mieszanki betonowej należy zaliczyć: rowkowanie podłużne i poprzeczne, ciągnięcie tkaniny jutowej lub sztucznej trawy, przecieranie szczotką, metodę odkrytego kruszywa [8, 12, 13]. W Europie najczęściej stosowaną metodą teksturowania nawierzchni betonowej jest metoda odkrytego kruszywa (z ang. exposed aggregate concrete, EAC). Została ona opracowana w latach 90-tych XX wieku i początkowo stosowano ją w Austrii, Belgii i Niemczech [14]. Zaletami tej metody są dobre właściwości akustyczne uzyskiwane przy odpowiedniej makroteksturze oraz właściwości przeciwpoślizgowe utrzymywane na wysokim poziomie w długoterminowym okresie użytkowania nawierzchni [15, 16]. Nawierzchnie betonowe z odkrytym kruszywem najczęściej są wykonywane w technologii dwuwarstwowej. Górną warstwę wykonuje się z mieszanki betonowej o zawartości jednofrakcyjnego kruszywa grubego w ilości około 70% [8]. Proces odkrywania kruszywa polega na spryskaniu świeżo zagęszczanej mieszanki betonowej powierzchniowym środkiem opóźniającym hydratację cementu, a następnie na usunięciu niezwiązanej zaprawy cementowej. Czas po którym należy rozpocząć proces odsłaniania kruszywa zależy m.in. od temperatury powietrza, wilgotności i zastosowanych środków chemicznych [17]. Najczęściej stosowane maksymalne wymiary ziaren kruszywa w mieszance betonowej to 8 mm i 11 mm [18, 19]. Nawierzchnie EAC11 generują o około 2 dB(A) wyższe maksymalne poziomy dźwięku od samochodów osobowych w porównaniu do

EAC8. Jednocześnie najkorzystniejsze jego wartości uzyskuje się przy makroteksturze na poziomie 0,8 mm [15, 20].

Do teksturowania nawierzchni betonowych w stwardniałym betonie wykorzystywane są tarcze diamentowe ustawiane w różnorodnych konfiguracjach. Początkowo metoda ta była wykorzystywana do poprawy równości podłużnej, dodatkowo zaobserwowano korzystne właściwości redukujące hałas [21]. Z samego procesu szlifowania (z ang. grinding), np. Conventional Diamond Grinding (CDG), nastąpiła ewolucja do szlifowania i rowkowania powierzchni nawierzchni betonowej (G&G – grinding&grooving), a najpowszechniej stosowanym ustawieniem tarcz diamentowych charakteryzuje się metoda nazwana Next Generation Concrete Surface (NGCS) [21, 22]. Została ona opracowana w Uniwersytecie Purdue w stanie Indiana (USA) we współpracy z Portland Cement Association (PCA) i American Concrete Pavement Association (ACPA). Metoda ta jest również rekomendowana w Ogólnych Specyfikacjach Technicznych Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad dotyczących nawierzchni z betonu cementowego [8]. Technologię szlifowania i rowkowania powierzchni betonowej można stosować na nowo wybudowanych odcinkach drogowych lub jako zabieg renowacyjny tekstury nawierzchni betonowej o niskich parametrach eksploatacyjnych (równość podłużna, właściwości przeciwoślizgowe, hałaśliwość). Cały proces jest przeprowadzany wzdłuż osi trasy, przy wykorzystaniu odpowiedniego zestawu urządzeń, które szlifują i nacinają nawierzchnię, jednocześnie usuwając powstające odpady i nieczystości. Układ tarcz diamentowych zapewnia optymalną teksturę redukującą hałas toczenia pojazdów samochodowych przy uzyskaniu dobrych właściwości przeciwoślizgowych. Przeprowadzone do tej pory testy potwierdzają dobre właściwości akustyczne oraz długotrwałość tekstury nawierzchni bez obniżenia parametrów eksploatacyjnych [12, 23]. Badania niemieckie wskazują, że lepsze właściwości redukujące hałas mają nawierzchnie o mniejszych odstępach pomiędzy rowkami, tj. odstęp 2,8 mm jest korzystniejszy niż ten o szerokości 3,2 mm [21]. Dodatkowo, w tej technologii nie stwierdzono wpływu przekruszenia stosowanego kruszywa grubego w mieszance betonowej na właściwości betonu i teksturowanie metodą G&G [21].

W referacie analizie poddano wartości maksymalnego poziomu dźwięku oraz jego widma ustalone metodą statystycznego przejazdu (SPB – ang. Statistical Pass-By method) [24] na nawierzchniach betonowych teksturowanych metodami: odkrytego kruszywa, szczotkowania i grinding&grooving (G&G) na drogach w Polsce. Zbadano wpływ makrotekstury nawierzchni na poziom hałasu od jadących pojazdów. Ustalono wartości maksymalnego poziomu dźwięku L_{Amax} na nawierzchniach betonowych porównano z wynikami na nawierzchniach asfaltowych typu SMA8 i SMA11. Wykorzystując wyniki pomiarów poziomu hałasu toczenia pojazdów samochodowych z lat wcześniejszych określono trwałość akustyczną wybranych nawierzchni.

2. Metoda pomiarów i zakres badań

W ramach projektu badawczego INREH – Innowacyjne metody redukcji hałasu drogowego i zasady ich stosowania (grant RID-II nr RID2/0015/2022, finansowany przez NCBiR i GDDKiA) realizowanego przez konsorcjum: Politechnika Krakowska (lider), Politechnika Białostocka, Politechnika Rzeszowska, Politechnika Warszawska i Politechnika Wrocławska, w 2024 roku wykonano pomiary maksymalnego poziomu

dźwięku od jadących pojazdów samochodowych metodą statystycznego przejazdu SPB) na wybranych drogach w Polsce o nawierzchni betonowej i nawierzchni asfaltowej. Zgodnie z założeniami metody SPB mikrofon był zlokalizowany w odległości 7,5 m od osi toru jazdy pojazdów na wysokości 1,2 m nad poziomem nawierzchni jezdni (rys. 1). Pomiary maksymalnego poziomu dźwięku od pojedynczo jadących pojazdów wraz z pomiarem ich prędkości wykonywano w odniesieniu do pojazdów osobowych (kategoria P) i wielocłonowych pojazdów ciężarowych (kategoria H3+) na 13 nawierzchniach asfaltowych i na 11 nawierzchniach betonowych. W grupie nawierzchni betonowych w dwóch przekrojach powierzchnia nawierzchni była teksturowana metodą grooving & grinding (G&G), w dwóch przekrojach metodą szczotkowania (BuD) i w siedmiu przekrojach metodą odkrytego kruszywa (EAC). W tabeli 1 zestawiono informacje o badanych nawierzchniach, a w tabeli 2 pokazano widok przykładowych nawierzchni. W referacie wyniki badań wykonanych na nawierzchniach betonowych w 2024 r. porównano z wynikami ustalonymi na wybranych dwóch nawierzchniach asfaltowych typu SMA11 (przedstawionych w tabelach 1 i 2) oraz z wynikami pomiarów hałasu przeprowadzonymi we wcześniejszych latach. Podane wartości MPD (z ang. Mean Profile Depth - średnia głębokość profilu tekstury) i IRI (z ang. International Roughness Index – Międzynarodowy Współczynnik Równości) ustalono na podstawie danych z GDDKiA oraz danych uzyskanych przez autorów w ramach badań realizowanych w ramach innych projektów.

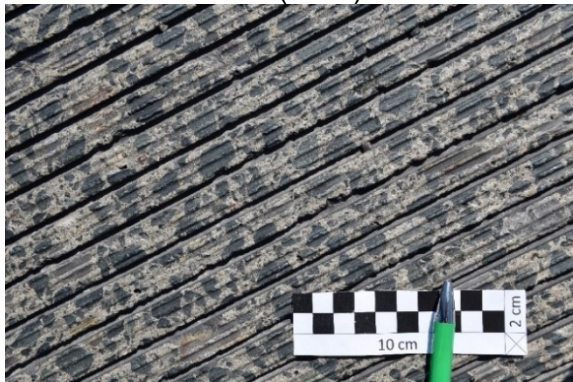
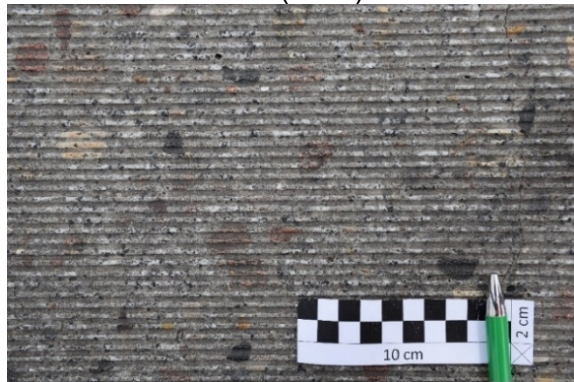
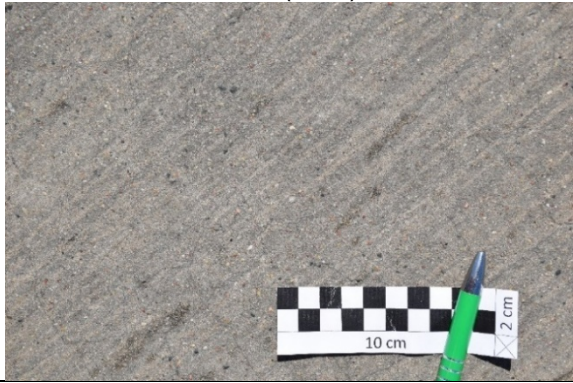
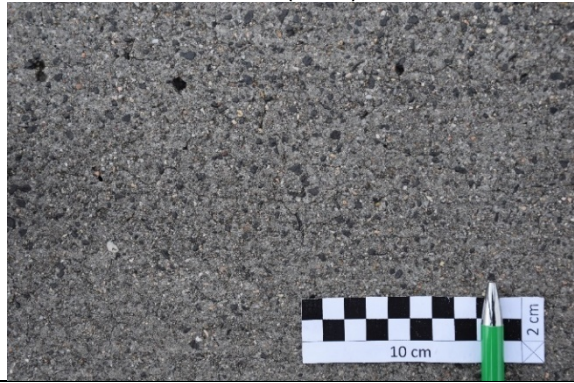


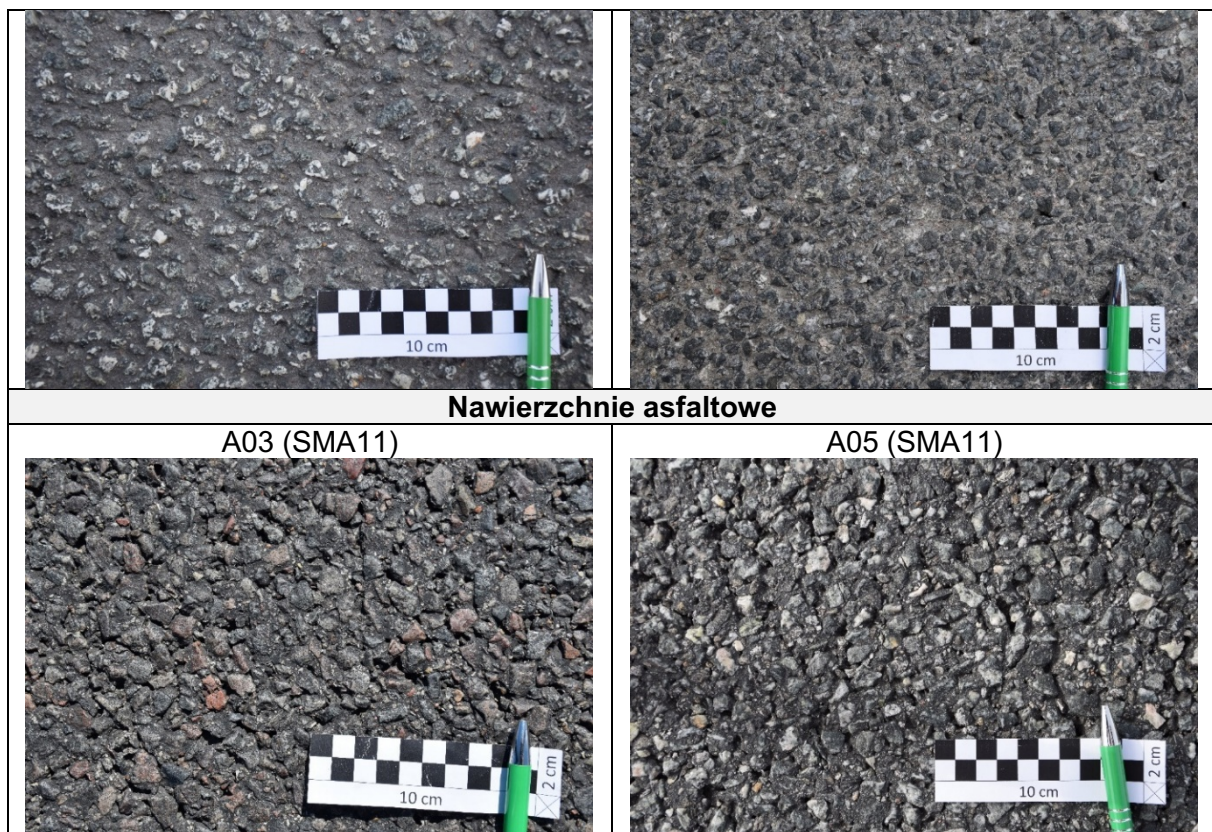
Rys. 1. Widok stanowiska badawczego pomiaru hałaśliwości nawierzchni metodą SPB.

Tabela 1. Wykaz przekrojów do badań hałaśliwości nawierzchni.

Lp.	Nr drogi	Nawierzchnia	Rok oddania	Oddział GDDKiA	Lokalizacja przekroju badawczego SPB	MPD±s [mm]	IRI±s [mm/m]
Nawierzchnie betonowe							
B01	S8	G&G	2020	Łódź	km 345+950L	0,59±0,067	2,83±1,244
B02	DK50	G&G	2021	Warszawa	km 74+400P	0,34±0,048	1,36±0,593
B03	S8	BuD	>10	Łódź	km 339+000P	0,26±0,071	2,19±0,962
B04	A18	BuD	>10	Wrocław	km 66+550L	0,39±0,050	0,94±0,260
B05	S8	EAC	2017	Łódź	km 334+220L	1,57±0,174	1,36±0,336
B06	S8	EAC	2018	Warszawa	km 529+380L	0,96±0,148	1,05±0,264
B07	S8	EAC	2018	Warszawa	km 542+400P	0,74±0,116	1,44±0,277
B08	A18	EAC	2023	Wrocław	km 56+800P	1,05±0,132	0,77±0,225
B09	A18	EAC	2023	Wrocław	km 66+780P	0,95±0,147	0,79±0,263
B10	S7	EAC + hydr.	2022	Warszawa	km 56+750L	1,28±0,189	1,08±0,362
B11	S7	EAC + śrut.	2022	Warszawa	km 89+020L	1,27±0,183	1,32±0,402
Nawierzchnie asfaltowe							
A03	S8	SMA11	2017	Białystok	km 569+850L	0,98±0,083	0,67±0,191
A05	S51	SMA11	2018	Olsztyn	km 7+830L	1,03±0,077	0,73±0,372

Tabela 2. Widok przykładowych nawierzchni.

Nawierzchnie betonowe	
B01 (G&G) 	B02 (G&G) 
B03 (BuD) 	B04 (BuD) 
B05 (EAC8)	B07 (EAC8)



Nawierzchnie asfaltowe

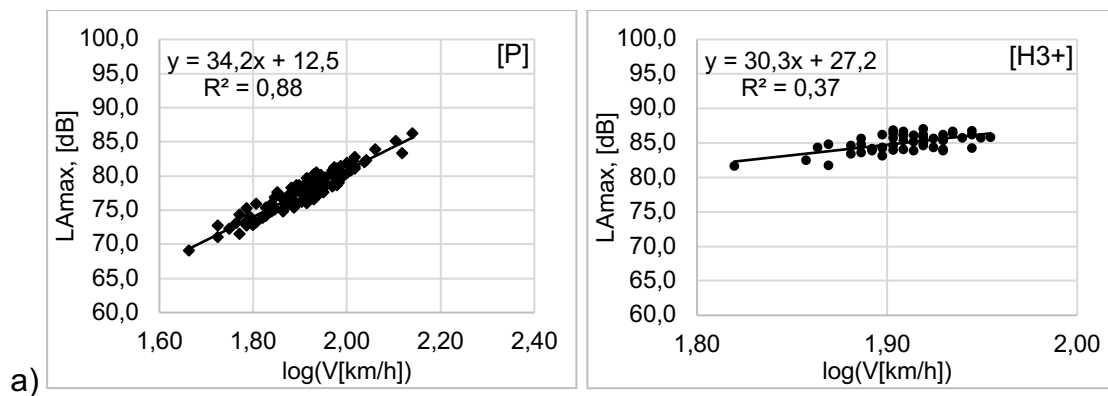
A03 (SMA11)

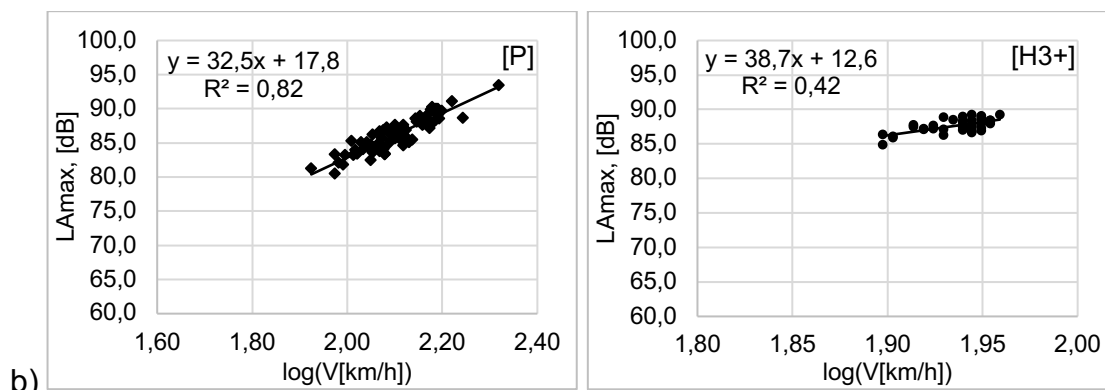
A05 (SMA11)

3. Wyniki pomiarów

3.1. Hałaśliwość badanych nawierzchni drogowych

Na rysunku 2 pokazano wyniki pomiarów na przykładowych nawierzchniach betonowych, a w tabeli 3 podano ustalone zależności pomiędzy maksymalnym poziomem dźwięku od pojedynczo jadących pojazdów osobowych (kategoria P) i wielocłonowych pojazdów ciężarowych (kategoria H3+) a logarytmem ich prędkości. Przedstawiono także wartości poziomu hałasu toczenia statystycznego pojazdu osobowego jadącego z prędkością 110 km/h i wielocłonowego pojazdu ciężarowego z prędkością 85 km/h.





Rys. 2. Wyniki pomiarów poziomu hałasu toczenia pojazdów osobowych (P) i wielocznionowych pojazdów ciężarowych (H3+) na przykładowych nawierzchniach betonowych: a) B02 (G&G), b) B09 (EAC).

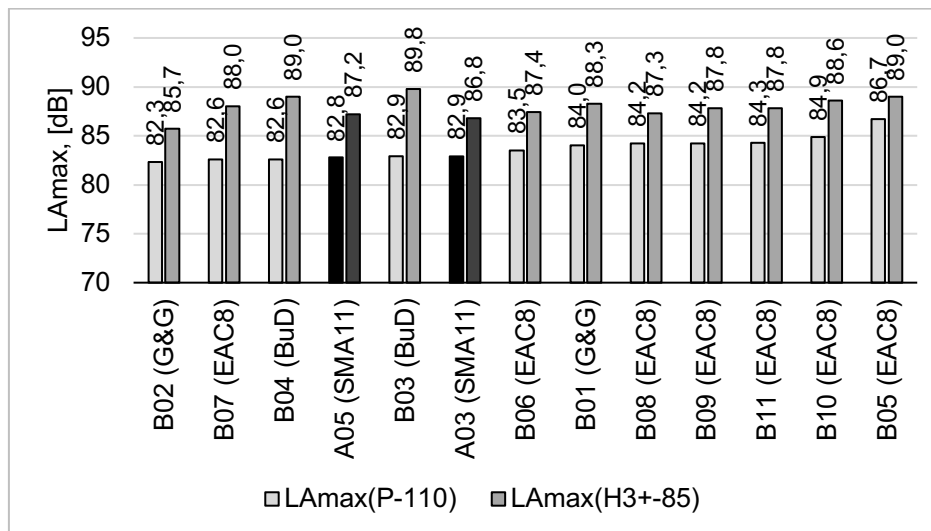
Tabela 3. Zależności pomiędzy maksymalnym poziomem dźwięku i logarytmem prędkości pojazdów oraz przekrojów do badań hałaśliwości nawierzchni.

Lp.	Nr drogi	Nawierzchnia	Lokalizacja przekroju	L _{Amax} (P)=	L _{Amax} (H3+)=	L _{Amax} (P-110)	L _{Amax} (H3+-85)
B01	S8	G&G	km 345+950L	29,7logV+23,4 (105)*	38,1logV+14,8 (65)*	84,0	88,3
B02	DK50	G&G	km 74+400P	34,2logV+12,5 (128)*	30,3logV+27,2 (51)*	82,3	85,7
B03	S8	BuD	km 339+000P	34,9logV+11,7 (112)*	26,2logV+39,2 (69)*	82,9	89,8
B04	A18	BuD	km 66+550L	30,2logV+20,9 (128)*	23,3logV+44,0 (80)*	82,6	89,0
B05	S8	EAC	km 334+220L	33,4logV+18,5 (123)*	33,6logV+24,2 (62)*	86,7	89,0
B06	S8	EAC	km 529+380L	30,8logV+20,6 (105)*	37,8logV+14,5 (31)*	83,5	87,4
B07	S8	EAC	km 542+400P	29,9logV+21,6 (110)*	24,7logV+40,3 (74)*	82,6	88,0
B08	A18	EAC	km 56+800P	32,5logV+17,8 (78)*	38,7logV+12,6 (41)*	84,2	87,3
B09	A18	EAC	km 66+780P	32,7logV+17,4 (118)*	22,0logV+45,4 (68)*	84,2	87,8
B10	S7	EAC	km 56+750L	33,9logV+15,7 (142)*	26,6logV+37,3 (74)*	84,9	88,6
B11	S7	EAC	km 89+020L	32,0logV+19,0 (168)*	27,1logV+35,5 (55)*	84,3	87,8
A03	S8	SMA11	km 569+850L	24,6logV+32,7 (156)*	31,8logV+25,4 (69)*	82,9	86,8
A05	S51	SMA11	km 7+830L	20,8logV+40,3 (135)*	24,6logV+39,7 (62)*	82,8	87,2

(...)* – liczba wyników uwzględnionych w analizie statystycznej po usunięciu wartości odstających

Ranking wartości maksymalnego poziomu dźwięku od jadącego statystycznego pojazdu osobowego (kategoria P) z prędkością 110 km/h na badanych nawierzchniach pozwala porównać ich hałaśliwość (rys. 3). Pokazanie przy tym wartości L_{Amax} w odniesieniu do statystycznego wielocznionowego pojazdu

ciężarowego (kategoria H3+) jadącego z prędkością 85 km/h wykazało, że ranking nawierzchni w tej sytuacji wygląda inaczej.



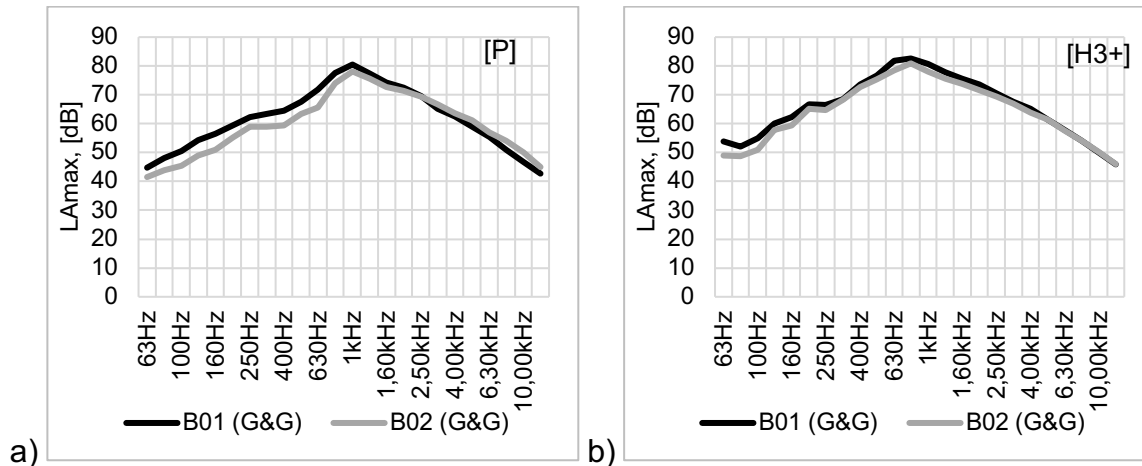
Rys. 3. Porównanie L_{Amax} na nawierzchniach betonowych.

W przypadku pojazdu osobowego najkorzystniejszym rozwiązaniem okazały się: nawierzchnia teksturowana techniką G&G na drodze krajowej DK50, nawierzchnia teksturowana metodą szczotkowania na autostradzie A18 i drodze ekspresowej S8 oraz nawierzchnia EAC8 na drodze S8 o wartości MPD = 0,74 mm. Wartości poziomu hałasu toczenia na tych nawierzchniach są porównywalne z poziomem hałasu na nawierzchniach typu SMA11. Pozostałe nawierzchnie typu EAC8 i nawierzchnia G&G na drodze S8 charakteryzowały się wartościami wyższymi co najmniej o 0,6 dB(A) w porównaniu z nawierzchnią typu SMA11. Najgorsze wartości ustalono na nawierzchni EAC8 o makroteksturze MPD=1,57 mm. Należy zwrócić uwagę na różnicę 1,7 dB(A) pomiędzy nawierzchniami typu G&G. Wpływa na to charakterystyka wykonanego rowkowania (tabela 2). W grupie badanych nawierzchni betonowych w przypadku pojazdu osobowego różnica pomiędzy hałaśliwością wyniosła 4,4 dB(A), co należy uznać za wartość istotną.

Nieco inaczej wyglądają różnice w poziomach hałasu toczenia wielocłonowego pojazdu ciężarowego jadącego z prędkością 85 km/h. Najgłośniejszymi okazały się nawierzchnie teksturowane metodą szczotkowania i nawierzchnia z odkrytym kruszywem o makroteksturze powyżej 1,50 mm, a najkorzystniejszym rozwiązaniem – nawierzchnia EAC8 o makroteksturze 0,74 mm.

Widma dźwięków ustalone na przykładzie dwóch nawierzchni G&G wyjaśniają różnice pomiędzy hałaśliwością nawierzchni tego samego typu wykonanych w dwóch różnych lokalizacjach (rys. 4). W przypadku pojazdu osobowego istotne różnice występują w zakresie częstotliwości niższych od 1000 Hz. Jest to związane z makroteksturą nawierzchni B01, decydującą o wpływie tzw. mechanizmu mechanicznego (związanego z uderzeniami bieżnika o nawierzchnię). W zakresie częstotliwości powyżej 4 000 Hz poziomy dźwięków przy nawierzchni B02 okazały się nieco wyższe niż na nawierzchni B01, jest to wpływ tzw. mechanizmu aerodynamicznego. Widma dźwięków w przypadku pojazdu ciężarowego są

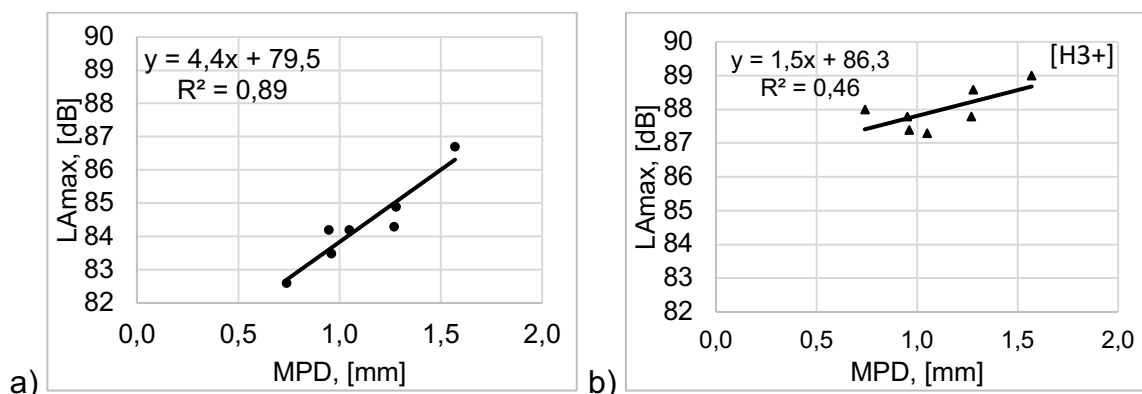
zbliżonego, a wynika to z faktu, że nawierzchnia o drobniejszej makroteksturze jest mniej korzystnym rozwiązaniem w przypadku pojazdu ciężarowego.



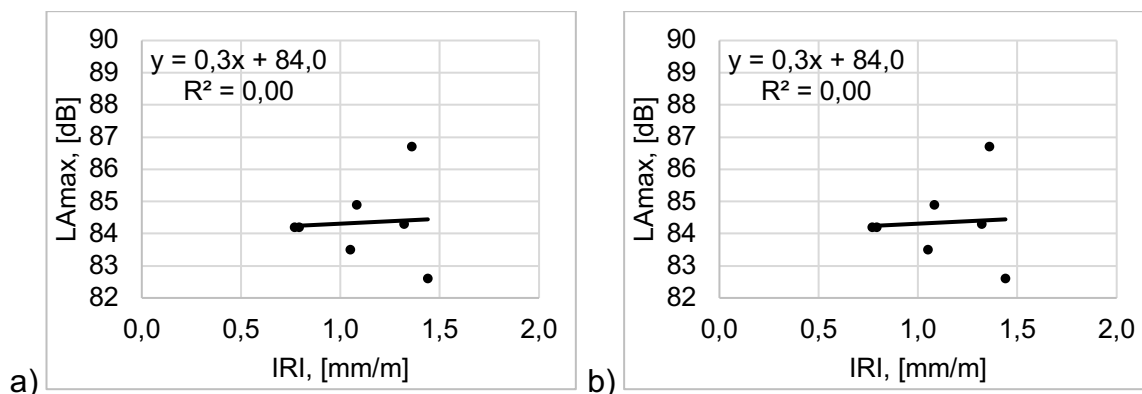
Rys. 4. Porównanie widm dźwięków od jadących pojazdów na nawierzchniach betonowych teksturowanych metodą G&G: a) pojazdy osobowe, b) wielocznionowe pojazdy ciężarowe.

3.2. Wpływ makrotekstury i równości podłużnej na poziom hałasu toczenia pojazdów samochodowych

Z przedstawionych danych w punkcie 3.1 wynika, że przyczyną różnic w hałaśliwości nawierzchni betonowych jest sposób teksturowania ich powierzchni, a w grupie nawierzchni z odkrytym kruszywem ich makrotekstura. Na rysunku 5 pokazano zależności pomiędzy maksymalnym poziomem dźwięku a makroteksturą, a na rysunku 6 – zależności pomiędzy maksymalnym poziomem dźwięku i równością podłużną na siedmiu odcinkach badawczych o nawierzchni EAC8 (każda wartość L_{Amax} została ustalona na ilościach pomiarów podanych w tabeli 1). Z analizy wyłączono nawierzchnie G&G gdyż charakteryzują się one teksturą anizotropową, w odróżnieniu od nawierzchni teksturowanych metodą odkrytego kruszywa o teksturze izotropowej.



Rys. 5. Zależności pomiędzy maksymalnym poziomem dźwięku i makroteksturą na nawierzchniach EAC: a) pojazd osobowy, V=110km/h, b) wielocznionowy pojazd ciężarowy, V=85km/h.

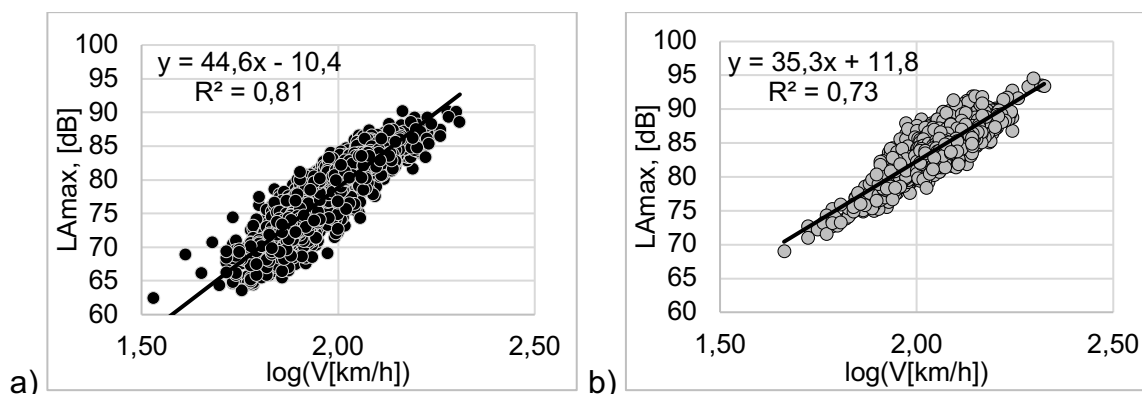


Rys. 6. Zależności pomiędzy maksymalnym poziomem dźwięku i równością podłużną na nawierzchniach EAC: a) pojazd osobowy, V=110km/h, b) wielocłonowy pojazd ciężarowy, V=85km/h.

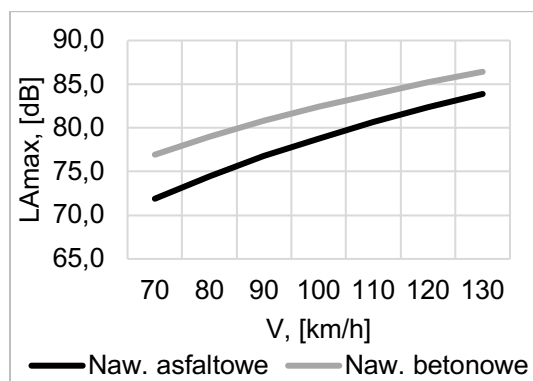
Ustalono, że w przypadku pojazdu osobowego o hałasie toczenia na nawierzchni typu EAC decyduje jej makrotekstura, a wpływ równości podłużnej jest nieistotny. Makrotekstura i równość podłużna wpływa na hałas toczenia wielocłonowych pojazdów ciężarowych, chociaż wpływ makrotekstury w tej sytuacji jest mniejszy niż w przypadku pojazdu osobowego.

3.3. Analiza porównawcza hałaśliwości nawierzchni asfaltowych i nawierzchni betonowych

W literaturze stosunkowo często pojawia się informacja o zwiększonej hałaśliwości nawierzchni betonowych. Ma to uzasadnienie jeżeli porównamy hałaśliwość wszystkich stosowanych technologii łącznie. Na rysunku 7 pokazano wyniki pomiarów maksymalnego poziomu dźwięku od jadących pojedynczo pojazdów osobowych przeprowadzonych w 2024 roku na 13 nawierzchniach asfaltowych (AC, SMA11, SMA8, SMA8 LA, BBTM8) i na 11 nawierzchniach betonowych (G&G, EAC8, CC), a na rysunku 8 wartości LAmax w zakresie prędkości 70 – 130 km/h od przejazdu statystycznego pojazdu osobowego.

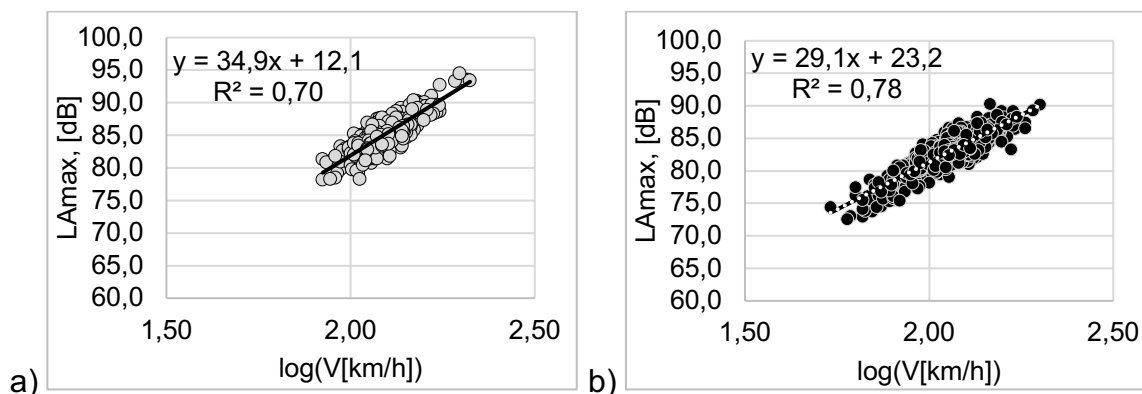


Rys. 7. Wyniki pomiarów hałasu toczenia pojazdów osobowych na nawierzchniach: a) asfaltowych, b) betonowych.

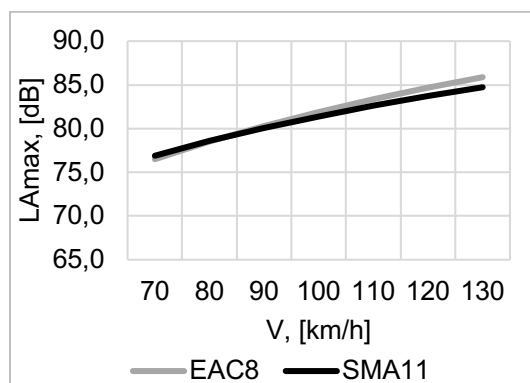


Rys. 8. Porównanie maksymalnych poziomów dźwięku na nawierzchniach asfaltowych i betonowych.

Pokazane powyżej różnice potwierdzają zdecydowanie wyższą głośność nawierzchni betonowych i przy prędkości 70 km/h wynoszą one 5 dB(A), a przy prędkości 130 km/h 2,5 dB(A). Jeżeli jednak porówna się hałaśliwość nawierzchni SMA11 i EAC8, rozwiązań standardowych odpowiednio w grupie nawierzchni asfaltowych i betonowych, różnice pomiędzy ich hałaśliwością są mniejsze niż 1 dB(A) (rys. 9, rys. 10).



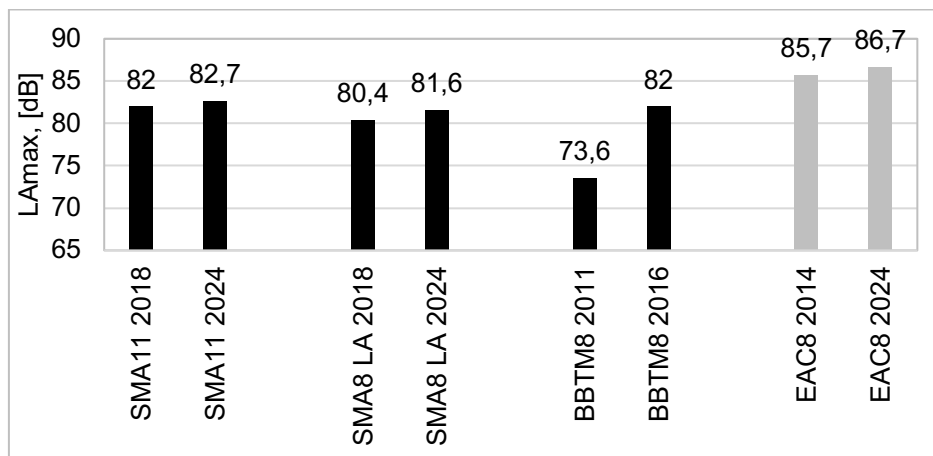
Rys. 9. Wyniki pomiarów hałasu toczenia pojazdów osobowych na nawierzchniach: a) EAC8, b) SMA11.



Rys. 10. Porównanie maksymalnych poziomów dźwięku na nawierzchniach EAC8 i SMA11.

3.4. Trwałość akustyczna nawierzchni drogowych

Problem wpływu okresu eksploatacji nawierzchni na ich trwałość akustyczną zbadano na podstawie wyników badań maksymalnego poziomu dźwięku od przejeżdżającego statystycznego pojazdu osobowego z prędkością 110 km/h. Na rysunku 11 podano wartości L_{Amax} ustalone na nawierzchni SMA11 na drodze S51 w latach 2018 i 2024, na nawierzchni SMA8 LA na drodze S51 w latach 2018 i 2024, na nawierzchni BBTM8 na drodze wojewódzkiej DW780 w latach 2011 i 2016 oraz na nawierzchni EAC8 teksturowanej metodą odkrytego kruszywa na drodze S8 w latach 2014 i 2024.



Rys. 11. Wpływ okresu eksploatacji nawierzchni betonowych na ich trwałość akustyczną.

Ustalono, że w przypadku warstwy ścieralnej z SMA11 roczny wzrost poziomu hałasu toczenia statystycznego pojazdu osobowego jadącego z prędkością 110 km/h wynosi 0,12 dB. W przypadku nawierzchni SMA8 LA wartość ta wynosi 0,20 dB, w przypadku BBTM8 – 1,68 dB, a w przypadku EAC8 – 0,10 dB. Przedstawione wartości L_{Amax} wskazują, że nawierzchnia betonowa charakteryzuje się najkorzystniejszą trwałością akustyczną.

4. Podsumowanie

Wyniki pomiarów i analiz maksymalnego poziomu dźwięku od przejeżdżających pojazdów według metody SPB wykazały, że w przypadku nawierzchni betonowych istotny wpływ ma technika teksturowania ich powierzchni. W przypadku pojazdu osobowego najkorzystniejszym rozwiązaniem są nawierzchnie o drobnej teksturze, uzyskanej m.in. przy zastosowaniu metody szczotkowania. Tak teksturowane nawierzchnie są jednocześnie najbardziej „głośnym” rozwiązaniem przy przejeździe wielocłonowego pojazdu ciężarowego. Biorąc pod uwagę dwie analizowane kategorie pojazdów dobrym rozwiązaniem są nawierzchnie betonowe teksturowane metodą odkrytego kruszywa o makroteksturze (MPD) około 0,8 mm. Makrotekstura o wartości około 1,5 mm przyczynia się do wzrostu poziomu hałasu toczenia pojazdów o ponad 3 dB. Stwierdzono, że nawierzchnie betonowe z odkrytym kruszywem EAC8 i nawierzchnie asfaltowe SMA11 charakteryzują się zbliżoną hałaśliwością. Ustalono także, że nawierzchnia betonowa teksturowana metodą odkrytego kruszywa charakteryzuje się najkorzystniejszą trwałością akustyczną.

Przedstawione w artykule wyniki badań i analiz powstały w ramach realizacji projektu badawczego „INREH – Innowacyjne metody redukcji hałasu drogowego i zasady ich stosowania” (grant RID-II nr RID2/0015/2022, finansowanego przez NCBiR i GDDKiA).

5. Literatura

- [1] B. Wojewódzki, P. Przybylski: Ocena właściwości betonu wałowanego do wykonywania nawierzchni drogowych. *Drognictwo*, 1, 2017, 29-33.
- [2] F. Keleş, M. V. Akpınar: Strength properties of roller compacted concrete pavement (RCCP) under different curing methods. *Construction and Building Materials*, 324, 2022.
- [3] M. Hebdaś: Beton wałowany – przykłady zastosowania na drogach w Polsce. *Drognictwo*, 5, 2019, 153 – 158.
- [4] A. Ab Latif, R. Putrajaya, D. Shu Ing: A Review of Porous Concrete Pavement: Compressive Strength and Clogging Investigation. *Journal of Advanced Research in Applied Sciences and Engineering Technology*, 29, 3, 2023, 128–138.
- [5] Y. Zhang, H. Li, A. Abdelhady, J. Yang, H. Wang: Effects of specimen shape and size on the permeability and mechanical properties of porous concrete. *Construction and Building Materials*, 266, 2011.
- [6] N. Neithalath, R. Garcia, J. Weiss, J. Olek: Tire-Pavement Interaction Noise: Recent Research on Concrete Pavement Surface Type and Texture. 8th International Conference on Concrete Pavements, Colorado Springs, Colorado, USA, 2005.
- [7] W. Shen, L. Shan, T. Zhang, H. Ma, Z. Cai, H. Shi: Investigation on polymer–rubber aggregate modified porous concrete. *Construction and Building Materials*, 38, 2013, 667-674.
- [8] Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad: Warunki wykonania i odbioru robót budowlanych, D-05.03.04 v03, NAWIERZCHNIA Z BETONU CEMENTOWEGO, 2015.
- [9] A. Szydło: Nawierzchnie drogowe z betonu cementowego. Teoria, Wymiarowanie, Realizacja. Polski Cement, Kraków, 2004.
- [10] M.A. Glinicki: Inżynieria betonowych nawierzchni drogowych. PWN, Warszawa, 2023.
- [11] PIARC Technical Committee on Surface Characteristics (C1): International Experiment to Compare and Harmonize Skid Resistance and Texture Measurements. PIARC, 1995, 423.
- [12] Z. Leng, Z. Fan, P. Liu, J. Kollmann, M. Oeser, D. Wang, X. Jiang: Texturing and evaluation of concrete pavement surface: A state-of-the-art review. *Journal of Road Engineering*, 3, 3, 2023, 252-265.
- [13] P. Gierasimiuk, M. Wasilewska, W. Gardziejczyk: A Comparative Study on Skid Resistance of Concrete Pavements Differing in Texturing Technique. *Materials*, 14, 1, 2021.
- [14] O. Šernas, A. Zofka, A. Vaitkus, J. Gražulytė: The effect of exposed aggregate concrete gradation on the texture characteristics and durability. *Construction and Building Materials*, 261, 2020.
- [15] W. Gardziejczyk, P. Gierasimiuk, M. Motylewicz, M. Wasilewska: Evaluation of noisiness of exposed aggregate cement concrete pavement. *Road Materials and Pavement Design*, 22, 2021.

- [16] M. Rith, Y. K. Kim, S. W. Lee: Characterization of long-term skid resistance in exposed aggregate concrete pavement. *Construction and Building Materials*, 256, 2020.
- [17] M. Dąbrowski, A. Brachaczek, K. Bogusz, M. A. Glinicki: Experimental assessment of appropriate time for aggregate exposure at the surface of cement concrete pavement. *International Journal of Pavement Engineering*, 25, 2024.
- [18] M. Haider, R. Wehr, M. Conter, M. Kriegisch, S. Gasparoni: Texture and Noise Characteristics of Exposed Aggregate Concrete Road Surfaces. 12th international symposium on concrete roads 2014, Praga.
- [19] W. Gardziejczyk, P. Gierasimiuk: Influence of texturing method on tyre/road noise of cement concrete pavement. *International Journal of Pavement Engineering*, 19, 2018.
- [20] W. Gardziejczyk: Hałaśliwość nawierzchni drogowych, Politechnika Białostocka. Oficyna Wydawnicza Politechniki Białostockiej, 2018
- [21] J. Skarabis, U. Stockert, U. Stöckert, Noise emission of concrete pavement surfaces produced by diamond grinding, *J. Traffic Transp. Eng. (English Ed.)*, 2, 2015, 81–92.
- [22] L. Scofield: Development and Implementation of the Next Generation Concrete Surface. Final Report. American Concrete Pavement Association, 2012.
- [23] A. Bergiers, B. Vanhooreweder: Test section with Next Generation Concrete Surface (NGCS) in Belgium: Rolling resistance and noise. Opublikowano w ramach 9th Symposium on Pavement Surface Characteristics (SURF 2022, 12 – 14 Września 2022, Mediolan, Włochy).
- [24] ISO 11819-1:2023 Acoustics — Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise.