



ciche drogi



**Innowacyjna technologia nawierzchni
drogowych o obniżonej emisji hałasu**

Innowacyjna technologia nawierzchni drogowych o obniżonej emisji hałasu

SPIS TREŚCI

1. Hałas drogowy jako ważny problem społeczny	4
2. Hałas drogowy jako ważny problem materiałowo-technologiczny	7
3. Odcinki testowe z „cichymi nawierzchniami”	11
3.1. Lokalizacja oraz podstawowe informacje	11
3.2. Produkcja mieszanki mineralno-asfaltowej	12
3.3. Budowa odcinka badawczego	12
3.4. Utrzymanie odcinka badawczego	14
3.5. Badanie właściwości nawierzchni odcinka badawczego	15
4. Zastosowanie wybranych rozwiązań technologicznych	
– odcinki prototypowe oddane do ruchu	18
4.1. Lokalizacja oraz podstawowe informacje	18
4.2. Produkcja mieszanek mineralno-asfaltowych	19
4.3. Budowa odcinka	20
4.4. Badania hałasu	23
5. Podsumowanie	26

Autorzy:

Mostostal Warszawa S.A.

mgr inż. Szymon Sarek
mgr inż. Kamil Otkalło
mgr inż. Piotr Świeżewski

Politechnika Warszawska

dr inż. Karol J. Kowalski
dr inż. Jan Król
prof. dr hab. inż. Piotr Radziszewski
prof. dr hab. inż. Jerzy Piłat
dr inż. Michał Sarnowski
mgr inż. Adam Liphardt
mgr inż. Piotr Pokorski

Instytut Badań Dróg i Mostów

dr inż. Wojciech Bańkowski
dr inż. Marcin Gajewski
mgr inż. Renata Horodecka
Krzysztof Mirski

Wydawca: Mostostal Warszawa S.A.

ul. Konstruktorska 11A, 02-673 Warszawa



ISBN: 978-83-939898-1-2

Warszawa 2015

1. Hałas drogowy jako ważny problem społeczny

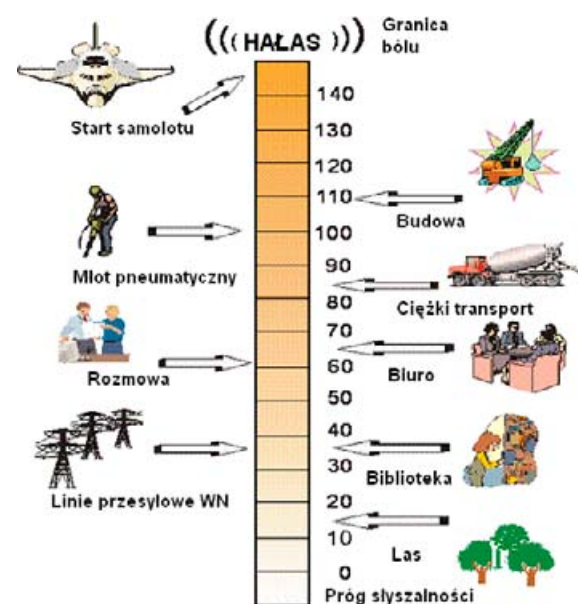
W dzisiejszych czasach rozwój infrastruktury drogowej ma na celu poprawienie komfortu użytkowników drogi oraz mieszkańców terenów przyległych. Jedną z metod zmniejszania uciążliwości dla otoczenia jest ograniczenie hałasu emitowanego przez pojazdy poruszające się po drogach.

Zagrożenie hałasem występuje na części sieci drogowej i najczęściej jest pochodną wielu niekorzystnych czynników, z których podstawowymi są nadmierna urbanizacja i duże zagęszczenie tras komunikacyjnych. Skutki jego oddziaływania na organizm człowieka oraz środowisko są bardzo złożone i mają różnorodny charakter. Na podstawie badań statystycznych uciążliwości hałasu komunikacyjnego przyjmuje się następującą subiektywną skalę oceny uciążliwości:

- mała uciążliwość < 52 dB,
- średnia uciążliwość 53-62 dB,
- duża uciążliwość 63-70 dB,
- bardzo duża uciążliwość > 70 dB.

Poziomy hałasu przekraczające 65 dB powodują statystycznie zauważalne zwiększenie częstości występowania niekorzystnych objawów dotyczących zdrowia i samopoczucia. Na rysunku 1 przedstawiono zakresy poziomów związanych z aktywnością wybranych źródeł dźwięku i hałasu w środowisku.

W środowisku miejskim ruch drogowy jest dominującym źródłem



Rysunek 1
Zakres poziomów związanych z aktywnością wybranych źródeł dźwięku i hałasu w środowisku

powstawania hałasu. Ruch lotniczy i kolejowy z reguły występuje miejscowo, podczas gdy sieć drogowa obejmuje teren całego miasta. W ostatnim czasie problem hałasu generowanego przez ruch drogowy stał się szczególnie istotny ze względu na wzrost liczby pojazdów (zarówno osobowych jak i ciężarowych). Przyczyną powstawania hałasu drogowego, który charakteryzuje określony poziom natężenia (przez człowieka odbieranego jako głośność), jest pojazd lub potok pojazdów poruszający się po drodze.

Według szacunków, natężenie ruchu drogowego w ciągu ostatnich pięciu lat wzrosło trzykrotnie co przełożyło się na zwiększenie poziomu hałasu powyżej 60dB. Szacuje się, że średnie dobowe poziomy hałasu na sieci dróg krajowych wynoszą 70 dB.

Hałas komunikacyjny samochodowy generowany jest poprzez szereg czynników, które razem skumulowane stanowią źródło dyskomfortu odczuwanego przez ludzi. Pośród tych czynników można wymienić następujące:

- praca silników spalinowych,
- aerodynamika pojazdów,
- kontakt opon z nawierzchnią drogową.

Znaczny udział w emisji hałasu komunikacyjnego samochodowego, zwłaszcza na drogach o prędkościach dopuszczalnych powyżej 50 km/h, ma oddziaływanie opony i nawierzchni drogowej. Z tego względu bardzo istotna jest znajomość mechanizmów powstawania dźwięków towarzyszących toczeniu się kół samochodowych po drodze. Dzięki temu możliwe jest projektowanie od podstaw mieszanek mineralno-asfaltowych, które swoją strukturą i właściwościami będą ograniczały te niepożądane mechanizmy. Toczenie się opony samochodowej po nawierzchni jest zjawiskiem generującym dźwięki o różnych skomplikowanych mechanizmach wynikających z charakteru i cech zarówno opony jak i struktury powierzchni jezdni.

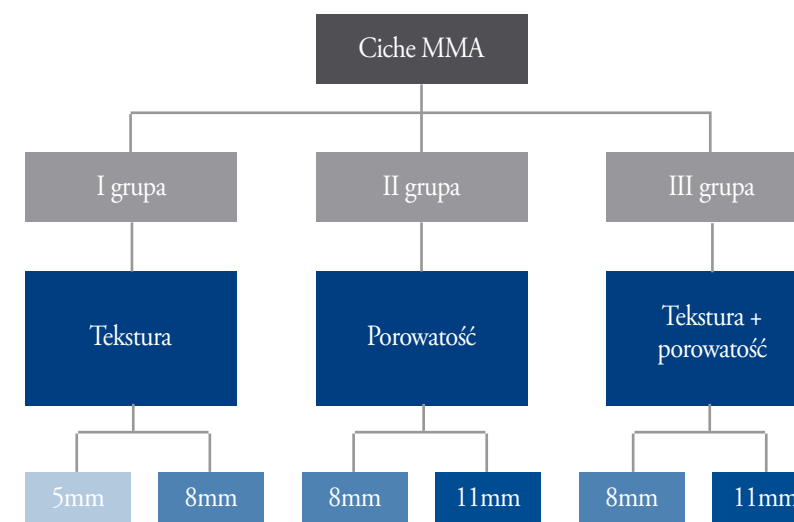
Ze względu na bezpieczeństwo kierowców każda nawierzchnia powinna charakteryzować się właściwą szorstkością, równością oraz zapewniać odpowiednie odprowadzenie wody z powierzchni jezdni. Spełnienie tych warunków zapewnia bezpieczny oraz komfortowy ruch pojazdów. Dodatkowym aspektem, na który kładzie się coraz większy nacisk, jest ograniczenie hałasu generowanego przy styku opony z nawierzchnią.

Z przeprowadzonych badań wynika, że jest to najbardziej znaczący składnik hałasu drogowego, który jest najbardziej uciążliwy dla otoczenia. Większość mieszanek mineralno-asfaltowych powszechnie stosowanych tj.: beton asfaltowy, mastyks grysowy czy asfalt lany nie są skuteczne z punktu widzenia ograniczenia emisji hałasu powstałego na styku toczącej się opony pojazdu po nawierzchni. Co więcej na tego typu nawierzchniach może występować niebezpieczne zjawisko aquaplaningu (utruty przyczepności koła pojazdu do nawierzchni pokrytej wodą), którego powstanie może być efektem niewłaściwego odprowadzenia wody z powierzchni jezdni. Kolejnym niesprzyjającym zjawiskiem jest tzw. „spray wodny” (ograniczenie widoczności kierowcy spowodowane przez pojazd jadący z dużą prędkością bezpośrednio przed nim), występujący zwykle na drogach gdzie dopuszczalna prędkość przekracza 90 km/h.

Na podstawie powyższych wymagań drogowcy z wielu krajów dążą do opracowania mieszanek, które zachowywałyby większość dobrych właściwości mieszanek „zamkniętych”, a które dodatkowo ograniczałyby emisję hałasu do otoczenia oraz eliminowałyby negatywne efekty wywołane przez gromadzenie się wody na jezdni. Ten cel przyświecał także firmie Mostostal Warszawa S.A., która wraz z Politechniką Warszawską oraz Instytutem Badawczym Dróg i Mostów, zainicjowała i zrealizowała projekt „Innowacyjna technologia nawierzchni drogowych o obniżonej emisji hałasu”. Prace badawcze zostały dofinansowane przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju na mocy umowy nr ZPB/22/64486/IT2/10.

2. Hałas drogowy jako ważny problem materiałowo-technologiczny

W ramach projektu opracowane zostały recepty różnych rodzajów mieszanek mineralno-asfaltowych przeznaczonych na warstwy ścieralne, odznaczające się zmniejszeniem hałasu poruszających się po nich pojazdów w stosunku do standardowo stosowanych rodzajów mieszanek mineralno-asfaltowych. Do badań hałasu wytypowano mieszanki: asfalt porowaty (PA), drobnoziarniste mieszanki mastyksu grysowego (SMA) oraz mieszankę OGFC (Open Graded Friction Course – mieszanka typu otwartego stosowana w USA). Dodatkowo w celach porównawczych w projekcie poddano badaniom typowe mieszanki mineralno-asfaltowe stosowane w Polsce do wykonywania warstw ścieralnych tj. mastyks grysowy (SMA) oraz beton asfaltowy (AC). Do dalszych badań i analiz wybrano „ciche” mieszanki mineralno-asfaltowe o obniżonej emisji hałasu i mieszanki referencyjne. Na rysunku 2 przedstawiono schematycznie przyjętą koncepcję „cichych” mieszanek. Uziarnienia mieszanek przedstawiono na rysunku 3.

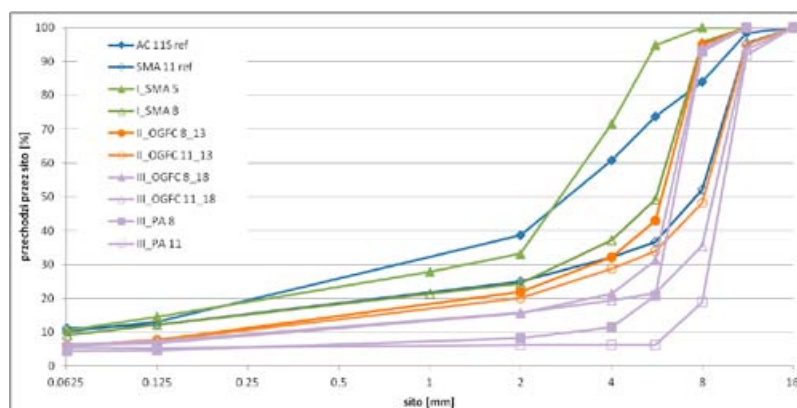


Rysunek 2
Analizowane warianty „cichych” mieszanek mineralno-asfaltowych

Do badań stosowano materiały mineralne takie jak: kruszywo drobne (piasek łamany), wypełniacz wapienny oraz grysy ze skał magmowych o zróżnicowanym składzie petrograficznym i budowie krystalicznej oraz zróżnicowanym współczynniku polerowalności PSV. Przyjęto, że do projektowanych mieszanek mineralno-asfaltowych zastosowane zostaną asfalty modyfikowane PmB 45/80-55 oraz PmB 45/80-65. Ze względu na poprawę trwałości nawierzchni, do wykonania mieszanek mineralno-asfaltowych zastosowano dodatek środków adhezyjnych oraz stabilizatorów w ilościach ustalanych indywidualnie dla każdej badanej mieszanki.

Rysunek 3
Krzywe uziarnienia
mieszanek

Krzywe uziarnienia stosowanych mieszanek przedstawiono na rysunku 3.



Do badań stosowano materiały mineralne takie jak kruszywo drobne (piasek łamany), wypełniacz wapienny oraz grysy ze skał magmowych o zróżnicowanym składzie petrograficznym i budowie krystalicznej oraz zróżnicowanym współczynniku polerowalności PSV. W celu poprawy trwałości nawierzchni, do mieszanek mineralno-asfaltowych zastosowano dodatki adhezyjne oraz stabilizatory w ilościach ustalanych indywidualnie dla każdej badanej mieszanki.

Ze względu na zastosowane rozwiązania (zawartość wolnych przestrzeni od 3,2% do 25,8%), specjalistyczne metody badań, oraz opracowane nowe mieszanki mineralno-asfaltowe zastosowane do wykonania odcinków próbnych i odcinka prototypowego, opracowaną technologię dróg o obniżonej emisji hałasu można zaliczyć do innowacyjnych.

Mieszanki asfaltu porowatego PA poddano analizie w celu określenia możliwości zastosowania ewentualnych dodatków i modyfikatorów mm-a

Tablica 1
Skrócone
zestawienie wyników
projektowania mma

Grupa	Mieszanka	Zawartość wolnej przestrzeni w próbkach Marshalla	Wodoprz. pionowa	Wodoprz. pozioma	Odporność na działanie wody i mrozu	Ubytek ziaren	Odporność na deformacje trwałe w 60 °C	Spywność lepiszcza
Ref.	R_AC 11S	3,2%	--	--	97%	--	WTS _{AR 0,1} PRD 9,1%	--
	R_SMA 11	3,1%	--	--	90%	--	WTS _{AR 0,1} PRD 5,7%	0,18
I Grupa	I_SMA 5	4,1%	--	--	94%	--	WTS _{AR 0,1} PRD 6,2%	0,10
	I_SMA 8	3,5%	--	--	86%	--	WTS _{AR 0,1} PRD 7,5%	0,10
II Grupa	II_OGFC 8_13	13,8%	0,04	0,12	88%	2,3%	WTS _{AR 0,3} PRD 16,6%	0,10
	II_OGFC 11_13	13,2%	0,08	0,15	88%	3,5%	WTS _{AR 0,3} PRD 16,9%	0,10
III Grupa	III_OGFC 8_18	18,3%	0,54	0,89	89%	4,5%	--	0,20
	III_OGFC 11_18	18,6%	0,65	0,90	92%	6,3%	--	0,20
	III_PA 8	23,4%	1,56	2,01	84%	7,2%	--	0,10
	III_PA 11	25,8%	3,25	2,25	88%	26,2%	--	0,10

w celu poprawy trwałości zmęczeniowej nawierzchni. Przyjęto, że stosowany będzie typowy układ warstw konstrukcyjnych nawierzchni podatnej, tj. podbudowa (podbudowa zasadnicza), warstwa wiążąca oraz warstwa ścieralna wykonane w technologii mieszanek mineralno-asfaltowych. Wymiarowanie konstrukcji nawierzchni przeprowadzono z uwzględnieniem przewidywanego obciążenia ruchem oraz uwarunkowań lokalnych w miejscu wykonywania konstrukcji (warunki wodno-gruntowe oraz głębokość przemarzania gruntu).

Przy projektowaniu mieszanek mineralno-asfaltowych dla każdej z grup mieszanek oraz mieszanek referencyjnych wykonano badania właściwości technicznych oraz badania ukierunkowane na właściwości użytkowe innowacyjnej warstwy ścieralnej, takie jak: wodoprzepuszczalność pionowa i pozioma (rysunek 4), odporność na działanie wody i mrozu oraz spójność mieszanki (tablica 1).



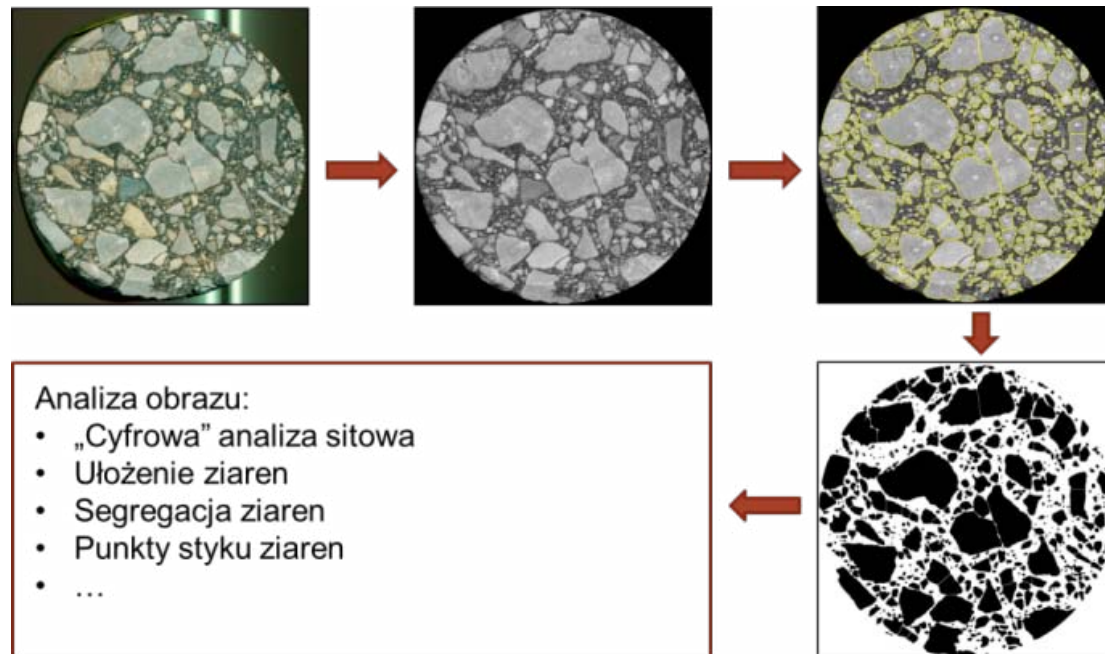
Rysunek 4
Przygotowanie próbek
i stanowiska do badań
wodoprzepuszczalności

W wyniku przeprowadzonych analiz wybrano sześć „cichych” mieszanek mineralno-asfaltowych do dalszej weryfikacji w warunkach badań laboratoryjnych i do wykonania w warunkach półtechnicznych (odcinki testowe) w celu weryfikacji właściwości mm-a w warunkach in situ. Wybrano następujące mieszanki do badań w warunkach polowych:

- SMA 5 i SMA 8 (grupa I, rozwinięta makrotekstura ale niska porowatość: 3,5-4,0%),
- OGFC 8_13 (grupa II, rozwinięta makrotekstura i pośrednia porowatość: 13,8%)
- OGFC 11_18, PA 8 i PA 11 (rozwinięta makrotekstura i wysoka porowatość 18,6-25,8%).

Mieszanki referencyjne przewidziane do wykonania badań w warunkach polowych w celu porównania właściwości akustycznych i trwałości to: AC 11 i SMA 11 o zawartości wolnych przestrzeni 3,2-3,3%.

W projekcie wykorzystano autorską metodę oceny struktury mieszanek mineralno-asfaltowych w celu weryfikacji stopnia segregacji mieszanek, układu ziaren i ich budowy wewnętrznej (Rysunek 5). Metodę zastosowano do wybranych mieszanek o nieciągłym uziarnieniu, w których budowa wewnętrzna i szkielet mineralny mają istotne znaczenie.



Rysunek 5
Kolejność operacji przetwarzania obrazu:
1 - obraz kolorowy,
2 - obraz szary,
3 - detekcja cząstek,
4 - obraz czarno-biały cząstek szkieletu grysowego,
5 - pomiar i opis cząstek.

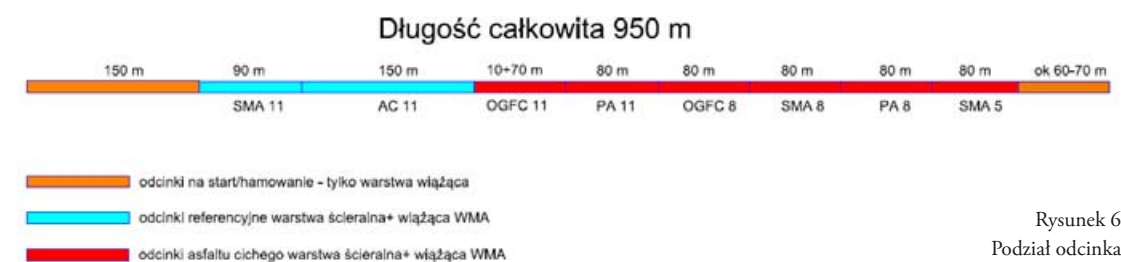
Na podstawie analiz oraz studiów literatury z krajów prowadzących szeroki program badań dotyczących nawierzchni asfaltowych o obniżonej emisji hałasu komunikacyjnego, m.in. Holandii, Szwecji, Austrii, Niemiec, Szwajcarii, Portugalii i USA przeprowadzono studium wyboru rodzaju mieszanki mineralno-asfaltowej do nawierzchni drogowej o obniżonej emisji hałasu.

Badania mieszanek mineralno-asfaltowych (sływności lepiszcza, gęstości, gęstości objętościowej, odporności na działanie wody i mrozu (ITSR) oraz odporności na rozdrabnianie metodą Cantabro), a także analizy składu mieszanek mineralno-asfaltowych (składu ziarnowego, zawartości lepiszcza) potwierdziły możliwość zastosowania MMA w warunkach klimatycznych panujących w Polsce. Szczegółowy wybór rodzaju mieszanki zależy od dodatkowych uwarunkowań rozpatrywanych indywidualnie dla każdej inwestycji drogowej, m.in. od przewidywanego ruchu i struktury rodzajowej pojazdów oraz stopnia zanieczyszczenia nawierzchni.

3. Odcinki testowe z „cichymi nawierzchniami”

3.1. Lokalizacja oraz podstawowe informacje

Odcinki testowe zostały wybudowane na południowym odcinku drogi technicznej autostrady A2 na wysokości miejscowości Bolimów. Droga techniczna posiadała nawierzchnię gruntową z kruszywa łamanego o szerokości 4,5-5 metrów i usytuowana była w lekkim nasypie 0,3-0,5 m. Cały teren ogrodzony jest siatką stalową oraz na większej części odgradzony jest od autostrady ekranami dźwiękochłonnymi. W ten sposób możliwe było bezpieczne prowadzenie badań i obserwacji na odcinku, a ekrany akustyczne zapewniły jednolite warunki do pomiarów hałasu. Przekrój poprzeczny konstrukcji nawierzchni składa się z warstwy ścieralnej (różne rodzaje mieszanek) grubości 4 cm, warstwy uszczelniającej, warstwy wiążącej grubości 6 cm z betonu asfaltowego AC16 W oraz podbudowy stabilizowanej mechanicznie (istniejąca nawierzchnia, grubość około 20 cm). Istotną cechą takiej konstrukcji jest konieczność skutecznego odprowadzenia wody, która pochłaniana jest przez ścieralne warstwy porowate. Efekt ten uzyskiwany jest przez odpowiednie wyprofilowanie przekroju poprzecznego (pochylenie jednostronne 2,5%) oraz zastosowanie warstwy uszczelniającej, która dodatkowo zabezpiecza warstwę wiążącą przed wnikaniem wody opadowej. Odcinek testowy długości 950 m podzielono na osiem sekcji. Na każdej z nich ułożono warstwę ścieralną z innej mieszanki mineralno-asfaltowej, tj. SMA 5, SMA8, OGFC 8, OGFC 11, PA 8, PA 11, AC 11 i SMA 11 (rysunek 6). Warstwa wiążąca została wykonana w technologii „na ciepło” tj. przy zastosowaniu dodatków, które umożliwiły obniżenie temperatur technologicznych. W tym przypadku temperatura rozkładania została obniżona do 120-125°C. Na rysunku 5 przedstawiono podział odcinka badawczego ze względu na rodzaj mieszanki mineralno-asfaltowej.



Rysunek 6
Podział odcinka badawczego ze względu na rodzaj mieszanki mineralno-asfaltowej

3.2. Produkcja mieszanki mineralno-asfaltowej

Mieszanki mineralno-asfaltowe produkowane były na wytwórni mieszanek mineralno-asfaltowych należącej do Mostostalu Warszawa S.A., a zlokalizowanej w odległości 500 m od budowy odcinka. Mieszanki produkowane były zgodnie z opracowanymi wcześniej receptami roboczymi. Temperatura produkcji mieszanek nie przekraczała 180°C. Wydajność produkcji ustalona została na odpowiadającą wydajności stosowanej przy produkcji SMA – 120 ton na godzinę. Kolejność produkcji odpowiadała kierunkowi rozkładania mieszanki na odcinku, począwszy od mieszanki SMA 5. Poszczególne zaroby mieszanek produkowane były do zasobnika gotowej mieszanki mineralno-asfaltowej, a następnie przy pomocy pojazdów samowyładowczych transportowane na plac budowy. Wyprodukowany materiał pobierany był z samochodów do wykonania badań ekstrakcji, gęstości oraz gęstości objętościowej (Rys. 7).

Rysunek 7
Wytwórnia
mas bitumicznych
w Bolimowie



3.3. Budowa odcinka badawczego

Pierwszym etapem prac budowlanych na odcinku badawczym było profilowanie oraz zagęszczenie podbudowy stabilizowanej mechanicznie. Następnie wykonano warstwę szepną z emulsji średniorzpadowej w ilości 1,2 kg/m² (0,5-0,7 kg/m² pozostałego asfaltu). Po dwóch godzinach wbudowywano warstwę wiążącą AC16 W 35/50 grubości 6 cm. Warstwa układana była w technologii na ciepło, tzn. przy obniżonej temperaturze rozkładania i zagęszczania. Warstwę rozkładano w temperaturze mieszanki 125°C. Efekt ten mógł być osiągnięty dzięki zastosowaniu specjalnych dodatków: Rediset WMX (w ilości 2% masy asfaltu), Rheophalt (2,5% masy asfaltu), Cecabase (0,65% masy asfaltu), Advera (0,3% masy mieszanki mineralno-asfaltowej). Rozkładarka wyposażona była w układ z automatycznym

sterowaniem grubości warstwy zgodnie z dokumentacją projektową. Kontrola temperatury odbywała się za pomocą termometrów wgłębnych oraz kamery termowizyjnej. W dalszej kolejności wykonano warstwę uszczelniającą. Podłoże pod tą warstwę zostało dokładnie oczyszczone w sposób mechaniczny i ręczny, a następnie skropione emulsją asfaltową w ilości: 0,8 kg/m² (0,5 kg/m² pozostałego asfaltu). Następnie tak przygotowaną warstwę posypano kruszywem łamanym lakierowanym 5/8 w ilości 7 kg/m². Rozłożoną warstwę kruszywa wtłoczono walcem w warstwę emulsji. W kolejnym kroku ponownie skropiono konstrukcję emulsją w ilości 2,5 kg/m² (1,5 kg/m² ilość pozostałego lepiszcza). Ilość użytego lepiszcza, kruszywa i jego uziarnienie dobrano tak, aby po przygotowanym w ten sposób uszczelnionym podłożu umożliwić poruszanie maszyn drogowych bez ryzyka przyklejenia się lepiszcza i gysu do kół pojazdów roboczych. Tak przygotowaną warstwę uszczelniającą pozostawiono bez jakiegokolwiek ruchu na czas niezbędny dla umożliwienia penetracji lepiszcza w warstwę i odparowania wody z emulsji. Mieszanki mineralno-asfaltowe warstwy ścieralnej wbudowywane były układarką wyposażoną w układ automatycznego sterowania grubości warstwy (Rys. 8). Temperatura wbudowywania wynosiła 150°C.



Rysunek 8
Układanie warstwy
ścieralnej

Zagęszczanie mieszanki porowatej odbywało się za pomocą walców stalowych średnich metodą statyczną (Rys. 9). Optymalną zawartość wolnych przestrzeni uzyskiwano w sześciu przejściach walca. Ze względu na możliwość zniszczenia szkieletu grysowego w warstwie drenażowej, a tym samym zatkania systemu kanałów odprowadzających wodę, nie stosowano wibracji. Ułożone warstwy ścieralne miały grubość 4 cm, a pochylenie poprzeczne jednostronne wynosiło nie mniej niż 2,5%. Dzięki dobrej organizacji pracy na wytwórni i odcinku nie wystąpiły przerwy w układaniu i cały odcinek testowy wykonano w ciągu jednego dnia. Pozwoliło to

na rozłożenie mieszanki bez szwów technologicznych. Ich wykonanie stanowiłoby problem ze względu na brak możliwości wykorzystania środków uszczelniających w szczelinach pomiędzy działkami roboczymi, co jest niepożądane w przypadku nawierzchni porowatych z uwagi na blokowanie wody odpływającej z nawierzchni. Warto również zauważyć, że z tego samego powodu nie wykonano uszczelnienia krawędzi bocznych.

Rysunek 9
Zagęszczanie
warstwy ścieralnej



3.4. Utrzymanie odcinka badawczego

W ramach realizowanego projektu zaplanowano przeprowadzenie celowego zanieczyszczenia nawierzchni w celu oceny wpływu takiego działania na właściwości przeciwhałasowe i drenażowe nawierzchni. Materiał do zanieczyszczenia został pozyskany z Zakładu Oczyszczania Miasta w Warszawie. Zanieczyszczenia rozprowadzono automatycznie w ilości 180 g/m² przy użyciu maszyny rolniczej służącej do rozsypywania nawozu. Aby zapewnić równomierne rozłożenie materiału zastosowano szczotki, a następnie cały odcinek polano wodą w celu transportu zanieczyszczeń do porów wewnątrz nawierzchni. Czyszczenie nawierzchni wykonano sprowadzonym ze Słowacji specjalnym pojazdem, który służy do podciśnieniowego czyszczenia wodą nawierzchni porowatych (Rys. 10).

Rysunek 10
Proces czyszczenia
odcinka badawczego
w Bolimowie



3.5. Badanie właściwości nawierzchni odcinka badawczego

• Badania hałasu

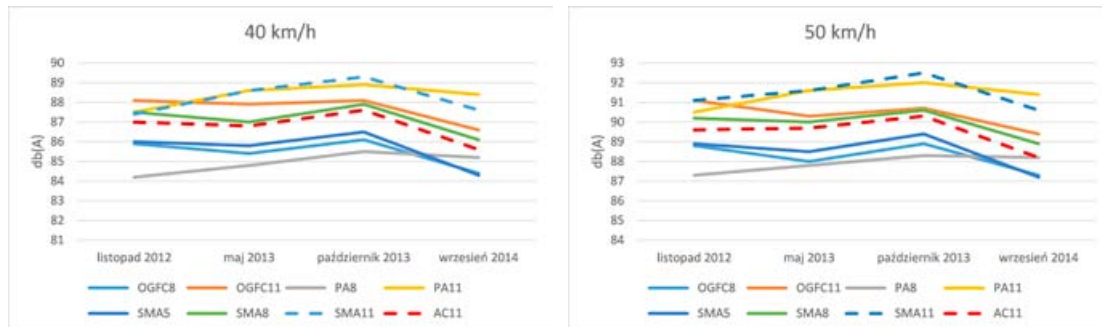
Badania hałasu zostały przeprowadzone przez Katedrę Konstrukcji Maszyn i Pojazdów, Wydziału Mechanicznego, Politechniki Gdańskiej. Badania hałasu przeprowadzono na sześciu odcinkach nawierzchni o obniżonej emisji hałasu o długości 80 m każdy (OGFC 11, PA11, SMA8, OGFC8, PA8, SMA5) oraz na dwóch odcinkach referencyjnych (SMA11 i AC11) o długości ponad 100 m każdy. Dla każdej nawierzchni wyspecyfikowano właściwą – środkową część odcinka długości 50 m, na której przeprowadzono pomiary.

Badanie hałasu nawierzchni drogowej metodą CPX wg normy ISO/CD 11819-2 polega na pomiarze poziomu hałasu toczenia kół pojazdów przy pomocy dwóch mikrofonów zainstalowanych w pobliżu styku opony z nawierzchnią, w zabudowanej w przyczepie. Do oceny nawierzchni stosuje się dwa rodzaje opon referencyjnych (jedna charakteryzuje hałas samochodów osobowych – opona SRTT, druga charakteryzuje hałas samochodów ciężarowych – opona AAV4). Badanie najczęściej przeprowadza się dla trzech prędkości – 50, 80 i 110 km/h. Z przyczyn technicznych (brak możliwości rozwinięcia prędkości powyżej 60 km/h) przeprowadzenie pomiarów dla dwóch najwyższych prędkości nie było możliwe na odcinku w Bolimowie, więc podjęto decyzję o wykonaniu badań przy prędkościach 40 i 50 km/h (Rys. 11).

Rysunek 11
Przyczepka
pomiarowa CPX
oraz badanie na
odcinku



Badania przeprowadzono czterokrotnie: w listopadzie 2012, maju 2013, październiku 2013 (bezpośrednio po zanieczyszczeniu odcinka) oraz we wrześniu 2014 (bezpośrednio po czyszczeniu odcinka). Na rys. 12 przedstawiono wyniki pomiarów metodą CPX.



Rysunek 12
Wyniki pomiarów hałasu metodą CPX

Na podstawie przedstawionych wyników pomiarów stwierdzono, że niezależnie od terminu pomiaru jak i prędkości najcichszymi mieszankami są: OGFC8, PA8, SMA5. Kolejne miejsce zajmuje mieszanka AC11, która okazała się lepsza pod względem hałaśliwości niż pozostałe mieszanki zastosowane na odcinku. Na tej podstawie można stwierdzić, że mieszanki OGFC11 i PA 11 nie okazały się efektywnym rozwiązaniem w celu ograniczenia emisji hałasu. W wyniku zabrudzenia hałaśliwość wszystkich nawierzchni wzrosła, a zabieg oczyszczania doprowadził do poprawy w tym zakresie. Relatywnie najmniejszą poprawę odnotowano w przypadku nawierzchni z warstwą ścierną PA8 i PA11.

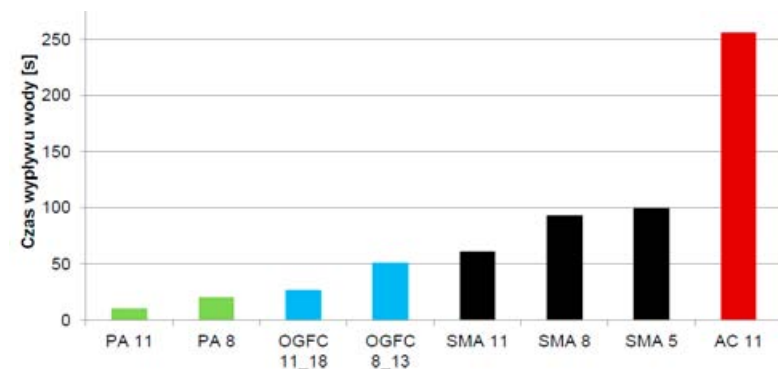
• Badanie wodoprzepuszczalności

Kolejnym badaniem istotnym z punktu widzenia oczekiwanych właściwości nawierzchni było badanie wodoprzepuszczalności metodą „in-situ” wykonane przez zespół Politechniki Warszawskiej. Pomiary wodoprzepuszczalności metodą „in-situ” przedstawiono na rys. 13. Wyniki badań przedstawiono w tabl 1. i na rys. 14 i są one funkcją zawartości wolnych przestrzeni.

Rysunek 13
Pomiary wodoprzepuszczalności metodą in-situ



Rysunek 14
Wyniki pomiarów wodoprzepuszczalności

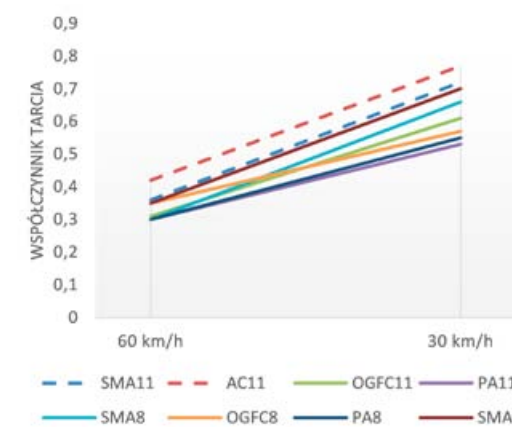


• Badanie współczynnika tarcia

Badania wykonał Zakład Diagnostyki Nawierzchni IBDiM w dniu 28.11.2012 roku z zastosowaniem urządzenia SRT-3. Pomiary prowadzono w dwóch prędkościach 30 i 60 km/h, w losowo wybranych miejscach, na nawierzchni zwilżonej wodą w ilości 0,5 l/m², przy pełnym poślizgu (100%) opony testowej Barum Bravuris (wyniki pomiarów są przeliczane programowo na oponę Barum Bravura o rozmiarze 185/70 R14). Następnie obliczono wartości miarodajnego współczynnika tarcia dla badanych odcinków μ_m . Aparaturę badawczą SRT 3 przedstawiono na rys. 15, a wyniki pomiarów współczynnika tarcia na rys. 16. Korzystnie wysokimi wynikami badania współczynnika tarcia, niezależnie od prędkości badania charakteryzują się SMA 11 i AC 11.

Rysunek 15
Urządzenie SRT-3

Rysunek 16
Wyniki pomiarów współczynnika tarcia



• Badanie głębokości makrotekstury

Pomiary głębokości makrotekstury wykonał Zakład Diagnostyki Nawierzchni IBDiM metodą równoważną metodzie piasku kalibrowanego przy użyciu profilografu laserowego w dniu 16 maja 2013 r. (Rys. 17). Badanie przeprowadzono w prawym śladzie koła zgodnie z normą PN-EN ISO 13473-1. W wyniku pomiarów wyznaczona została średnia głębokość profilu MPD, którą następnie przeliczono na głębokość tekstury ETD (Rys. 18). Wyniki badań głębokości tekstury ETD są funkcją zawartości wolnych przestrzeni.

Rysunek 17
Profilograf laserowy

Rysunek 18
Wyniki pomiarów makrotekstury



4. Zastosowanie wybranych rozwiązań technologicznych – odcinki prototypowe oddane do ruchu

4.1. Lokalizacja oraz podstawowe informacje

Kluczowymi czynnikami, które decydowały o wyborze lokalizacji odcinka prototypowego były:

- droga poza terenem zabudowanym, dopuszczalna prędkość powyżej 50 km/h,
- prosty odcinek,
- brak lasów, krzewów,
- niewielka ilość wyjazdów z pola na drogę,
- proste rozwiązanie odwodnienia.

Rysunek 19
Odcinek
w Uścięcicach
– stan pierwotny



Dział Badań i Rozwoju zdecydował, że miejscem realizacji odcinka prototypowego będą okolice gminy Opalenica, gdzie Mostostal Warszawa S.A. był w trakcie realizacji kontraktu drogowego – obwodnicy Opalenicy (Rys. 19). Produkcją mieszanki mineralno-asfaltowej na tę budowę zajmowała się wytwórnia mas bitumicznych COLAS z miejscowości Pałędzie. Własne zaplecze techniczne, pozytywne doświadczenie przy współpracy z wytypowaną wytwórnią oraz Urzędem Gminy były najważniejszymi czynnikami decydującymi o wyborze odcinka w sąsiedztwie Opalenicy. Mostostal Warszawa S.A. zdecydował, że odcinek prototypowy powstanie w ciągu ulicy Długiej w miejscowości Uścięcice (długość odcinka – 900 m).

Na podstawie wyników badań odcinków testowych, ich szczególnych analiz i uwarunkowań technologicznych, do budowy nawierzchni odcinków

prototypowych wybrano mieszanki mineralno-asfaltowe OGFC 8 i PA 8 do warstwy mineralnej i AC 11 S do warstwy wiążącej.

Za wszystkie prace budowlane odpowiedzialny był Dział Infrastruktury Mostostalu Warszawa S.A. W skład konstrukcji nawierzchni wchodzi mieszanki mineralno-asfaltowe o następujących grubościach:

- warstwa ściernalna:
 - » OGFC 8 gr. 4 cm (południowa część odcinka),
 - » PA 8 gr. 4 cm (północna część odcinka),
- skropienie emulsją asfaltową 0,3-0,5 kg/m²,
- warstwa wiążąca:
 - » AC 11 S 50-70 KR 3 - 4 gr. 4 cm ,
- skropienie emulsją asfaltową 0,3-0,5 kg/m²,
- warstwa wierzchnia:
 - » podwójne powierzchniowe utwalenie,
- podbudowa:
 - » zagęszczone kruszywo.

4.2. Produkcja mieszanek mineralno-asfaltowych

Jako wytwórnię odpowiedzialną za produkcję mieszanki „cichej” na warstwę ściernalną wytypowano wytwórnię mas bitumicznych w Pałędziu (Rys. 20), z którą Mostostal Warszawa S.A. współpracował przy okazji swojego kontraktu na obwodnicę Opalenicy. Odległość pomiędzy wytwórnią, a odcinkiem w Uścięcicach wynosiła około 25 km. Na podstawie informacji odnośnie materiałów wytwórcy, Politechnika Warszawska opracowała recepty laboratoryjne mieszanki PA 8 i OGFC 8.



Rsunek 20
Widok na zasobnik
gotowej mieszanki
w wytwórni

4.3. Budowa odcinka

Całość robót budowlanych została wykonana przez PRDM (Przedsiębiorstwo Robót Drogowo-Mostowych) w Szamotułach. Warstwa istniejąca została dokładnie oczyszczona w sposób mechaniczny i ręczny. Kolejnym etapem prac na odcinku prototypowym było skropienie emulsją asfaltową (w ilości 0,3-0,5 kg/m²) podwójnego powierzchniowego utrwalenia, którego celem była poprawa szepności z warstwą wyrównawczą, która w tym przypadku była warstwą wiążącą pod warstwę ścieralną.

Po dwugodzinnym okresie rozpadu emulsji przystąpiono do wbudowywania mieszanki AC 11 S 50/70. Za produkcję masy oraz transport na odcinek odpowiedzialne było PRDM w Szamotułach. Warstwa z betonu asfaltowego była układana z grubością 4 cm. Cała warstwa wiążąca została ułożona w ciągu 2 dni. Mieszankę betonu asfaltowego przewożono pojazdami samowładowczymi wyposażonymi w pokrowce brezentowe. Czas transportu od załadunku do rozładunku nie przekroczył 60 min. Wbudowywanie mieszanki rozpoczęto przy temperaturze 150°C.



Rysunek 21
Rozkładanie mieszanki PA 8

Rysunek 22
Zagęszczanie warstwy ścieralnej
z mieszanki PA 8

Mieszanka mineralno-asfaltowa była wbudowywana układarką Dynapac SD2500C wyposażoną w układ z automatycznym sterowaniem grubości warstwy na całej szerokości połówki jezdni o przekroju daszkowym. Początkowa temperatura mieszanki w czasie zagęszczania wynosiła nie mniej niż 130°C. Kontrola temperatury odbywała się za pomocą pirometru. Zagęszczanie odbywało się przy użyciu dwóch walców: Dynapac C222, Vibromax W854, wyposażonych w system nawadniania powierzchni walców.

Jako warstwę izolacyjną zastosowano tą samą ilość emulsji asfaltowej co przy poprzedniej warstwie. Porzucono koncepcję: pierwsza warstwa emulsji – 0,8 kg/m², wtłoczenie grys, druga warstwa emulsji – 2,5 kg/m². Spowodowane było to faktem, iż roboty budowlane były prowadzone w grudniu, gdzie temperatura otoczenia nie przekraczała wartości 7°C. Praca w takich warunkach atmosferycznych wiązałyby się z ryzykiem braku odpowiedniego odparowania wody z emulsji, które mogłoby doprowadzić, przy tak dużej ilości użytej emulsji (2,5 kg/m²) do jej spłynięcia na pobocze. Na cały okres robót budowlanych wprowadzono ruch wahadłowy na odcinku. Za ustawienie odpowiednich znaków informujących o utrudnieniach w ruchu odpowiedzialny był Urząd Gminy Opalenica.

Grubość układanych warstw ścieralnych wynosiła 4 cm. Mieszanki mineralno-asfaltowe dostarczono z oddalonej o 25 km wytwórni. Nie zaobserwowano problemów związanych z segregacją mieszanki. Średnia temperatura wbudowywania kształtowała się na poziomie 150°C. Mieszanka mineralno-asfaltowa wbudowywana była układarką Dynapac SD2500C wyposażoną w układ automatycznego sterowania grubości warstwy.



Rysunek 23
Rozkładanie mieszanki OGFC 8

Rysunek 24
Zagęszczanie warstwy
ścieralnej z mieszanki
OGFC 8

Całą warstwę ścieralną ułożono w ciągu dwóch dni. Pierwszego dnia wbudowano mieszankę PA 8 (Rys. 21, 22) na całej długości odcinka po północnej połowie jezdni. Następnego dnia natomiast wbudowano mieszankę OGFC 8 (Rys. 23, 24) na całym odcinku po południowej połowie jezdni. Zastosowano profil daszkowy, aby mimo dwóch mieszanek o różnej wodoprzepuszczalności nie doszło do zaburzeń spływu wody.

Zagęszczanie mieszanki porowatej odbywało się za pomocą walców stalowych średnich metodą statyczną. Optymalną zawartość wolnych przestrzeni uzyskiwano przy trzech przejściach walca. Ze względu na możliwość zniszczenia szkieletu grysowego w warstwie drenażowej, a tym samym zatkanie systemu kanałów odprowadzających wodę, niedopuszczalne było używanie walców zagęszczających dynamicznie. Zagęszczanie odbywało się przy użyciu walców Dynapac C222, Vibromax W854, które były wyposażone w system nawadniania walców.

Warstwę ścierną nawierzchni porowatej układano z dużym spadkiem poprzecznym. Związane to było z koniecznością zapewnienia szybkiego odprowadzenia wody na pobocze. Pozwala to na wyeliminowanie ryzyka zalegania wody w porach, mogącego w zimie doprowadzić do nadmiernego oblodzenia nawierzchni. Pochylenie poprzeczne na całej długości drogi nie wyniosło mniej niż 2,5%.

Nie wystąpiły przerwy w układaniu i każdą mieszankę wykonano w ciągu jednego dnia. Pozwoliło to na rozłożenie mieszanki bez szwów technologicznych. Ich wykonanie stanowiłoby problem ze względu na brak możliwości wykorzystania środków uszczelniających w szczelinach pomiędzy działkami roboczymi. Wszelkie zaburzenie swobodnego odpływu wody w warstwie asfaltu porowatego jest zabronione. Nie wolno stosować uszczelniania brzegów, krawędzi bocznych czy szwów technologicznych jakimikolwiek środkami.

Ostatnim etapem było wykonanie pobocza o szerokości 75 cm z utwardzonego kruszywa po obu stronach jezdni (Rys. 25, 26). Aby zapewnić właściwe odprowadzenie wody nawierzchnia drenażowa została wyniesiona 3 cm ponad wysokość pobocza.

Rysunek 25
Widok na odcinek
prototypowy w Uścięcicach



Rysunek 26
Warstwa pobocza
z utwardzonego kruszywa



4.4. Badania hałasu

• Badanie CPB

Badania akustyczne odcinka prototypowego przeprowadzono metodą CPB. Polega ona na pomiarze poziomu dźwięku emitowanego przez pojedyncze pojazdy jak w metodzie SPB, jednak przy wykorzystaniu pojazdów poruszających się z określoną prędkością na danym odcinku drogi. Na potrzeby prowadzonych badań metodą CPB wykorzystano dwa pojazdy wyposażone w dwa komplety opon. Na podstawie uzyskanych wyników z 8 przejazdów każdego z nich, w określonym zakresie prędkości, ustalony został maksymalny poziom dźwięku. Oprócz badań wykonanych na odcinku prototypowym w celach porównawczych przeprowadzono badania referencyjne nawierzchni z mieszanki AC 11 S. Odcinek pomiarowy zlokalizowany jest w ciągu ulicy Ceramicznej w miejscowości Gołków, gmina Piaseczno, powiat piaseczyński, województwo mazowieckie.



Rysunek 27
Widok punktu
pomiarowego na odcinku
prototypowym

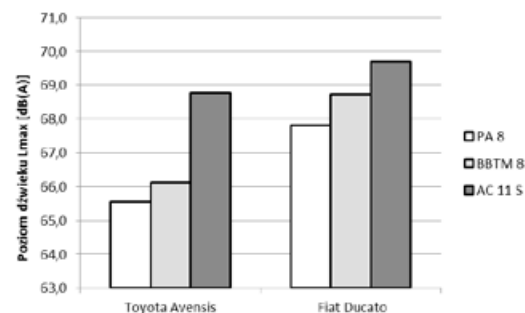
Badania akustyczne metodą CPB przeprowadzone zostały w dniach 18 czerwca 2015r. (odcinek prototypowy) oraz 24 czerwca 2015r. (odcinek referencyjny). Pomiar poziomu dźwięku oraz prędkości pojazdów na odcinku prototypowym prowadzono w km 0+650,00 (pikietaż liczony od wschodniego końca odcinka prototypowego). Widok punktu pomiarowego przedstawiono na rys. 27.



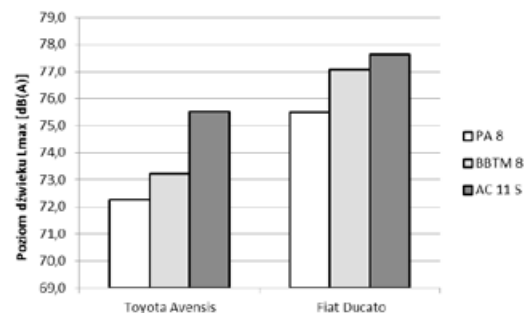
Rysunek 28
Pojazdy zastosowane
w badaniu metodą CPB:
osobowy – Toyota Avensis,
dostawczy – Fiat Ducato

Kontrolowane przejazdy na badanych odcinkach prowadzono przy użyciu dwóch pojazdów, osobowego – Toyota Avensis i dostawczego – Fiat Ducato (Rys. 28).

Na podstawie równań regresji dla analizowanych wariantów wyznaczono prognozowane poziomy dźwięku dla prędkości 50 km/h i 90 km/h dla każdej z nawierzchni. Porównanie prognozowanych wartości poziomu dźwięku przedstawiono na rys. 29 i 30.



Rysunek 29
Prognozowane poziomy dźwięku Lmax fast dla analizowanych nawierzchni, prędkość przejazdu 50 km/h



Rysunek 30
Prognozowane poziomy dźwięku Lmax fast dla analizowanych nawierzchni, prędkość przejazdu 90 km/h

• **Badanie CPX**

Na wykonanym odcinku, podobnie jak przy odcinkach badawczych, Mostostal Warszawa S.A. zobowiązał się do przeprowadzenia badania głośności nawierzchni metodą CPX. Wykonanie badania zlecono zespołowi Katedry Konstrukcji Maszyn i Pojazdów, Wydziału Mechanicznego, Politechniki Gdańskiej. Specjaliści z tej jednostki naukowej przeprowadzali wszystkie pomiary.

Badania hałasu przeprowadzono dla obu nawierzchni na całej ich długości (OGFC 8, PA 8) oraz dla nawierzchni na autostradzie A2 na odcinku Nowy Tomyśl – Trzciel. Badanie wykonano w celu porównania głośności opracowanych nawierzchni z nawierzchnią betonową o odkrytym kruszywie zastosowaną na badanym odcinku autostrady. Badana nawierzchnia betonowa - Waschbeton uważana jest za jeden z najcichszych typów co stanowiło dodatkową wartość porównawczą.

Badanie wykonano dla opon SRTT, normowy odpowiednik opony stosowanej w samochodach osobowych, oraz dla opony AAV4 odpowiednika opony stosowanej w samochodach ciężarowych. Dodatkowo dla celów badawczych

wykonano badania z zastosowaniem dwóch typów opon zimowych stosowanych w samochodach osobowych (WTR 1, WTR 2). Ze względów prawnych oraz bezpieczeństwa wykonawców, badanie na odcinku prototypowym w Uścięcicach przeprowadzono przy dwóch prędkościach - 50 i 80 km/h. Na autostradzie badanie przeprowadzono przy prędkościach 50, 80 i 100 km/h. Zestawienie wyników przedstawiono w tabelicy 2.

Tablica 2
Zestawienie badań hałasu przeprowadzonych w Uścięcicach i na odcinku autostrady A2

Nawierzchnia	SRTT			AAV4			WTR1			WTR2			CPX Index		
	Prędkość [km/h]			Prędkość [km/h]			Prędkość [km/h]			Prędkość [km/h]			Prędkość [km/h]		
	50	80	100	50	80	100	50	80	100	50	80	100	50	80	100
A2 N. Tomyśl-Trzciel*	93.4	99.4	102.3	92.7	98.6	101.4	91.7	97.4	100.9	89.1	96.0	100.1	93.1	99.0	101.8
Uścięcice OGFC 8	89.3	95.4	-	90.2	96.0	-	88.4	94.3	-	86.3	93.1	-	89.7	95.7	-
Uścięcice PA 8	88.3	93.0	-	88.5	93.9	-	87.1	92.8	-	85.3	91.4	-	88.4	93.4	-

* nawierzchnia porównawcza - nawierzchnia z betonu cementowego

5. Podsumowanie

Obecnie najpowszechniejszym zabiegiem ograniczania hałasu drogowego w Polsce jest budowa ekranów akustycznych. Wykonanie warstwy ścieralnej w technologii „cichych mieszank” może stanowić właściwą alternatywę do budowy ekranów. Tego rodzaju nawierzchnie zwiększają bezpieczeństwo ruchu pojazdów, dzięki przyspieszonemu odprowadzeniu wody. Ponadto wpływają również korzystnie na wzrost komfortu jazdy podczas opadów deszczu, niwelując w znaczny sposób ograniczającą widoczność tzw. „spray wodny” za poprzedzającym pojazdem. Dodatkowo wykonuje się je z tych samych materiałów co nawierzchnie „klasyczne”, powszechnie dostępnych na terenie Polski.

Należy jednak zaznaczyć, że bardzo istotne jest właściwe zlokalizowanie odcinków drogowych z warstwą ścieralną o otwartej strukturze. Nie ma uzasadnienia wykonywanie takich nawierzchni na odcinkach, gdzie dozwolona prędkość pojazdów wynosi poniżej 50 km/h, ponieważ redukcja emisji hałasu do otoczenia jest niezauważalna. Takie odcinki powinny być zlokalizowane w miejscach, gdzie hałas generowany na styku opona-nawierzchnia dominuje nad innymi źródłami hałasu. Niewłaściwa lokalizacja sprzyja ponadto obniżeniu porowatości w czasie eksploatacji z powodu zapychania wolnych przestrzeni, np. przez pojazdy rolnicze. Nie należy również wykonywać tego typu nawierzchni w pobliżu skrzyżowań, ponieważ może to prowadzić do przyspieszonej degradacji nawierzchni, spowodowanej np. przez gwałtowne hamowanie pojazdów.

Bardzo ważnym aspektem jest właściwe utrzymanie nawierzchni porowatych, zarówno w warunkach letnich jak i w zimowych. Utrzymanie zimowe wymaga szczególnej staranności i należytej uwagi, ponieważ cechą charakterystyczną nawierzchni z asfaltu porowatego jest jej mniejsza bezwładność termiczna. W porównaniu do innych nawierzchni szybciej się nagrzewają i szybciej ochładzają. Niedopuszczalne jest używanie środków mogących zanieczyścić pory, np. piasku (można jedynie stosować solankę o podwyższonej zawartości soli).

Na podstawie doświadczeń zebranych podczas realizacji projektu można stwierdzić, że „ciche” mieszanki mineralno-asfaltowe mogą być z powodzeniem stosowane również w Polsce jako jedna z metod umożliwiających obniżenie hałasu drogowego o nawet 6 dB. Docelowo najlepszym rozwiązaniem wydają się być wykonywanie tego typu nawierzchni na obwodnicach dużych miast

(problem hałasu drogowego w terenach miejskich przy wysokiej dopuszczalnej prędkości pojazdów).

Należy pamiętać, że obniżanie hałaśliwości przez nawierzchnię jest przede wszystkim alternatywą do stosowania, a przynajmniej ograniczenia skali stosowania ekranów i innych elementów dźwiękochłonnych. Najlepsze efekty są możliwe do uzyskania w wyniku efektywnego połączenia „cichych” nawierzchni z ekranami akustycznymi.



ISBN: 978-83-939898-1-2