

Projektowanie i badania mieszanek mineralno-asfaltowych o strukturze otwartej



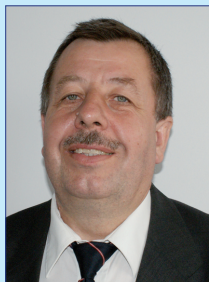
KAROL J. KOWALSKI

Politechnika Warszawska
k.kowalski@il.pw.edu.pl



JAN KRÓL

Politechnika Warszawska
j.król@il.pw.edu.pl



PIOTR RADZISZEWSKI

Politechnika Warszawska
p.radziszewski@il.pw.edu.pl



KAMIL OTKAŁŁO

Mostostal Warszawa SA
k.otkallo@mostostal.waw.pl

Nawierzchnie drogowe, zarówno asfaltowe, jak i wykonane z betonu cementowego, spełniać muszą szereg wymagań. Dla użytkowników drogi niezwykle istotne są kwestie związane z bezpieczeństwem i z komfortem jazdy, dla zarządców dróg zagadnienia związane z kosztami wykonania i utrzymania odcinka drogi, w tym z trwałością, natomiast dla ludności żyjącej i pracującej w sąsiedztwie drogi istotny jest, między innymi, poziom hałasu pochodzącego od przejeżdżających pojazdów samochodowych [7].

Rodzaj mieszanki mineralno-asfaltowej (mma) zastosowanej do wykonania warstwy ścieralnej oraz ogólny stan techniczny nawierzchni mają istotny wpływ na stan klimatu akustycznego w bezpośrednim otoczeniu drogi [1, 8–10]. Stosowanie nawierzchni porowatych, poza zmniejszeniem hałasu emitowanego na styku opona/nawierzchnia przez pojazdy poruszające się z prędkością powyżej około 50 km/h, umożliwia również lepsze odprowadzenie wody z nawierzchni. Zwiększa to bezpieczeństwo ruchu pojazdów, np. poprzez zmniejszenie prawdopodobieństwa wystąpienia tzw. aquaplaningu (ślizgu wodnego) oraz redukcję mgły wodnej powstającej za przejeżdżającym pojazdem.

Charakterystyka mieszanek mineralno-asfaltowych o strukturze porowatej

W ramach realizacji projektu „Innowacyjna technologia nawierzchni drogowych o obniżonej emisji hałasu – CiDRO” prowadzone są prace nad stworzeniem optymalnych rozwiązań materiałowo-technologicznych, dostosowanych do polskich warunków klimatycznych i drogowych materiałów budowlanych stosowanych w Polsce, zapewniających możliwość wykonywania cichych i trwałych nawierzchni asfaltowych. Charakterystyczną właściwością takich na-

wierzchni jest obniżenie poziomu hałasu emitowanego przez poruszające się pojazdy samochodowe (redukcja hałasu o ~3–8 dB).

W projekcie CiDRO warstwy ścieralne nawierzchni wykonane będą z różnych rodzajów mieszanek mineralno-asfaltowych, m.in. z asfaltu porowatego i mieszanki mastykowo grysowej oraz – w celach porównawczych – z betonu asfaltowego. W części projektu CiDRO realizowanej przez Politechnikę Warszawską, w celach porównawczych badaniom poddane zostały mieszanki mineralno-asfaltowe (mma), o zmiennym: uziarnieniu, zawartości wolnych przestrzeni (Va), budowie wewnętrznej oraz teksturze [4].

Mieszkanką mineralno-asfaltową opracowaną w celu redukcji hałasu generowanego na styku opona/nawierzchnia jest mma typu asfalt porowaty (PA). Zgodnie z [11] *Asfalt porowaty jest to mieszanka mineralno-asfaltowa o bardzo dużej zawartości połączonych wolnych przestrzeni, które umożliwiają przepływ wody i powietrza, co zapewnia właściwości drenażowe i zmniejszające hałas. Właściwości drenażowe asfaltu porowatego umożliwiają szybkie odprowadzenie wody i przyczyniają się do poprawy bezpieczeństwa ruchu pojazdów w czasie opadów deszczu poprzez redukcję mgły wodnej i poprawę przyczepności opony do nawierzchni. Duża zawartość wolnych przestrzeni w PA (zwykle 18–24%) powodować może jednak obawy związane z trwałością warstw porowatych w warunkach klimatu Polski w którym dochodzi do wielokrotnych, powtarzających się zmian temperatury powodujących zamarzanie wody i rozmrażanie lodu (liczba przejść przez zero stopni Celsjusza wynosi w Polsce około 100) [5].*

Stosowanie asfaltu porowatego wiąże się również z obawą stopniowej utraty korzystnych właściwości akustycznych; w wyniku zatykania się wolnych przestrzeni tworzących sieć kanalików w asfalcie porowatym zmniejszają się możliwości redukcji hałasu. Zatykanie się kanalików związane jest z występowaniem zanieczyszczeń, pyłów, drobinami ścierających się opon, itp. W przypadku zastosowania asfaltu porowatego na zamiejskich drogach szybkiego ruchu dochodzi często do korzystnego zjawiska tzw. „samoczyszczenia” się nawierzchni. W innych przypadkach konieczne może być czyszczenie nawierzchni za pomocą specjalnych urządzeń.

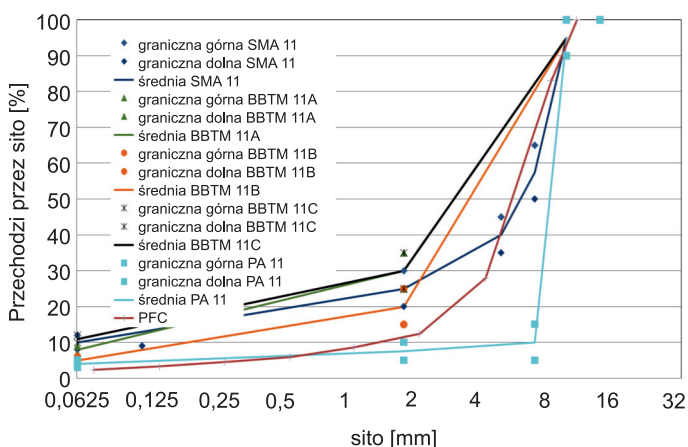
Ze względu na otwartą strukturę o bardzo dużym udziale frakcji grysowej, w mma typu asfalt porowaty zachodzić może zjawisko tzw. „sptywności” lepieszca asfaltowego w czasie procesów technologicznych, głównie związanych z transportem mma. Przy niewłaściwie zaprojektowanej mma, zjawisko to może być znacznie bardziej intensywne w przypadku asfaltu porowatego niż w przypadku SMA.

Dobór materiałów do mieszanek mineralno-asfaltowych o strukturze otwartej

Otwarta struktura mma porowatej powoduje zwiększone zagrożenie czynnikami niszczącymi, stąd też w projektowaniu składu asfaltu porowatego zwrócić należy szczególną uwagę na dobór wysokiej jakości materiałów mineralnych i lepiszczy asfaltowych. Stwierdzić należy, że nie z każdego rodzaju kruszywa jest możliwe uzyskanie pożądanego składu mieszanki mineralnej.

W projekcie CiDRO wykonano mma o strukturze otwartej o uziarnieniu 8 i 11 mm. Zastosowano lepiszcze modyfikowane polimerami PmB 45/80-55, mączkę wapienną, grys z kruszywem gabro, środek adhezyjny oraz stabilizator.

Otwartą strukturę mieszanki mineralnej uzyskuje się poprzez odpowiednie kształtowanie krzywej uziarnienia. Na rysunku 1 przedstawiono porównanie uziarnienia wybranych mieszanek mineralnych.



Rys. 1. Porównanie uziarnienia wybranych mieszanek mineralnych do mma

Porównując uziarnienie mma typu SMA 11 i PA 11 [wg 11] stwierdzić można, że pole dobrego uziarnienia PA jest znacząco obniżone w zakresie frakcji piaskowej i frakcji ziaren grubych 2–8 mm. Asfalt porowaty PA11 w około 90% skomponowany jest z kruszyw frakcji 8–11,2 mm. W przypadku mma typu SMA zaobserwować można podobne zjawisko, jednak mieszanka SMA charakteryzuje się krzywą uziarnienia mniej „wytężoną” i w związku z tym ta mieszanka jest łatwiejsza do wytworzenia w warunkach produkcji przemysłowej. Mma typu PFC (*porous friction course* – asfalt porowaty stosowany w pewnych częściach USA) stanowi swego rodzaju rozwiązanie pośrednie pomiędzy SMA i PA [3, 6]. W praktyce stwierdzić można duże podobieństwo krzywej uziarnienia SMA 11 i PFC, natomiast zawartość wolnych przestrzeni obydwu mieszanek jest znacząco różna ($V_m = 2,0\text{--}3,5\%(v/v)$ dla SMA11 w porównaniu do $V_m = 18\text{--}20\%(v/v)$ dla PFC). Wydaje się, że mma o właściwościach pośrednich pomiędzy SMA 11 i PFC 11 (czy też zbliżona do PFC) stanowić może optymalną mieszankę mineralno-asfaltową obniżającą hałas toczenia, a jednocześnie zapewniającą trwałość akustyczną i strukturalną w polskich warunkach klimatycznych. Pewną analogię do uziarnienia mma typu PFC stanowi ponadto

BBTM 11 B, czyli uwzględniona w [11] mma o nieciągłym uziarnieniu przeznaczona do cienkich warstw nawierzchni.

Badania mieszanek mineralno-asfaltowych o strukturze porowatej

W większości krajów stosujących technologię asfaltu porowatego, w czasie projektowania wykonuje się badania sprawdzające najbardziej wrażliwe właściwości takiej mma:

- pomiar spływności lepiszcza: w celu zapobiegania rozsegregowaniu mma w czasie procesów technologicznych,
- test Cantabro (wykonywany w bębnie Los Angeles): w celu zapewnienia odpowiedniej spoistości mma i sprawdzeniu jej podatności na ewentualne ubytki ziaren w czasie eksploatacji,
- badanie odporności na działanie wody ITSR (*Indirect Tensile Strength Ratio*) próbek kondycjonowanych w różnym środowisku: w celu zapewnienia odporności mma na oddziaływanie wody i mrozu.

W przypadku mma typu PA nie wykonuje się badania koleinowania. Uzyskiwane przez niektórych badaczy niekorzystne wyniki tego badania nie znajdują zwykle potwierdzenia w czasie eksploatacji odcinków drogowych wykonanych z taką mieszanką. Zaznaczyć należy, że obecnie nie istnieją znormalizowane metody pomiarowe, umożliwiające laboratoryjne określenie i badanie hałasu toczenia generowanego na styku opony z nawierzchnią. Jedną ze stosowanych metod jest metoda pomiaru opracowana w *Purdue University* (stan Indiana, USA), w której mma zagęszcza się w betonowych formach długości około 2 m. Następnie po tak przygotowanych próbkach porusza się koło pomiarowe z prędkością do około 48 km/h. Urządzenie to (nazywane *Tire/Pavement Testing Apparatus*, TPTA), będące swego rodzaju kołowrotem, umożliwi pomiar hałasu w warunkach laboratoryjnych bardzo zbliżonych do warunków rzeczywistych [2].

Po wstępnych badaniach i analizach, w trakcie realizacji pracy badawczej do dalszych badań wybrano sześć mma o różnym uziarnieniu (8 i 11 mm), różnej zawartości wolnych przestrzeni (13–14%(v/v), 18–19%(v/v) i 23–26%(v/v)). Określono następujące właściwości:

- gęstość objętościowa mieszanki mineralno-asfaltowej wg PN-EN 12697-6, metoda D (geometryczna),
- zawartość wolnej przestrzeni w próbkach Marshalla wg PN-EN 12697-8, na podstawie gęstości w wodzie,
- zawartość wolnej przestrzeni w mieszance mineralnej wg PN-EN 12697-8,
- wodoprzepuszczalność pionowa K_v wg PN-EN 12697-19:2009,
- wodoprzepuszczalność pozioma K_h wg PN-EN 12697-19:2009,
- odporność na działanie wody i mrozu wg zał. 1 do WT-2 2010,
- ubytek ziaren wg PN-EN 12697-17,
- spływność lepiszcza wg PN-EN 12697-18:2007 p.5.

Analizując otrzymane wyniki (tab. 1) zauważyć można, że wraz ze wzrostem zawartości wolnych przestrzeni, wzrasta wodoprzepuszczalność pionowa i pozioma próbek mma. Wodoprzepuszczalność mma stanowi dobry wyznacznik stopnia połączenia wolnych przestrzeni w mma i związana

Tabela 1. Wybrane właściwości zaprojektowanych mma o strukturze porowatej

Symbol mma	Największe ziarna w mma [mm]	Zaw. wolnej przestrzeni [% (v/v)]	Wodoprzepuszczalność (10^{-3} m/s)		Odporność na działanie wody i mrozu [%]	Ubytek ziaren [% (m/m)]	Sptywność lepiszczą [% (m/m)]
			Pionowa Kh	Pozioma Kv			
OGFC 8_13	8	13,8	0,04	0,12	88	2,3	0,1
OGFC 11_13	11	13,2	0,08	0,15	88	3,5	0,1
OGFC 8_18	8	18,3	0,54	0,89	89	4,5	0,2
OGFC 11_18	11	18,6	0,65	0,90	92	6,3	0,2
PA 8	8	23,4	1,56	2,01	84	7,2	0,1
PA 11	11	25,8	3,25	2,25	88	26,2	0,1

jest z właściwościami drenującymi oraz, w większości przypadków, z redukcją hałasu toczenia.

Zauważyć można odporność na działanie wody i mrozu na poziomie 84–92%. Te niekorzystne wartości mogą mieć związek z agresywną metodyką kondycjonowania próbek. Użytko korzystnie niską sptywność i ubytek ziaren (poniżej 10% (v/v) w większości przypadków). Wymagania krajów stosujących mma typu PA ograniczają zwykle wielkość ubytku ziaren do maksymalnie 30% (v/v).

W ramach realizacji projektu CiDRO wykonywane są obecnie odcinki próbne z zaprojektowanych mma. Z uwagi na istniejące ograniczenia logistyczne, do badań w skali półtechnicznej, wytypowano OGFC 8_13, OGFC 11_18, PA 8 i PA 11.

Podsumowanie i wnioski

Najczęściej stosowanym zabiegiem ograniczania hałasu drogowego jest budowa kosztownych ekranów akustycznych. Wykonanie warstwy ścierniczej w technologii „cichych mieszanek” może stanowić właściwą alternatywę do budowy ekranów akustycznych, umożliwiającą ograniczenie hałasu „u źródła”. Nawierzchnie takie zwiększają ponadto bezpieczeństwo ruchu pojazdów, dzięki przyspieszonemu odprowadzeniu wody z nawierzchni. Należy jednak zaznaczyć, że bardzo istotne jest właściwe zlokalizowanie odcinków drogowych z taką warstwą ścierniczą, tj. w takich miejscach gdzie hałas generowany na styku opona/nawierzchnia dominuje nad innymi źródłami hałasu. Niewłaściwa lokalizacja sprzyja ponadto obniżeniu się porowatości w czasie eksploatacji z powodu „zatykania” się wolnych przestrzeni. Lokalizacja w niewłaściwych miejscach (np. w pobliżu skrzyżowań) prowadzić może ponadto do przyspieszonej degradacji nawierzchni.

Na podstawie przeprowadzonych badań laboratoryjnych stwierdzono, że istnieje możliwość zaprojektowania mieszanek mineralno-asfaltowych o strukturze porowatej, stosując powszechnie dostępne w Polsce materiały. W projektowaniu takich mma istnieje pewna specyfika powodująca konieczność stosowania niestandardowych metod badawczych oraz w pewnych przypadkach innej, niż typowa, interpretacji wyników badań (np. badanie koleinowania).

Doświadczenia z wykonanych odcinków próbnych w innych krajach o zbliżonym klimacie pokazują, że mieszanka mineralno-asfaltowa typu asfalt porowaty może z powodzeniem zostać zastosowana w Polsce jako jedna z metod umożliwiających obniżenie hałasu drogowego o około 3–8 dB. Krótkie odcinki doświadczalne, realizowane w dalszej

części projektu CiDRO, pozwolą na właściwe rozpoznanie tej technologii w celu zminimalizowania problemów związanych z niewłaściwym stosowaniem, utrzymaniem zimowym etc. Wyniki kolejnych badań, zarówno terenowych, jak i laboratoryjnych, stanowić będą podstawę kolejnych publikacji.

Podziękowania

Niniejszy artykuł opracowano na podstawie wyników badań zrealizowanych w ramach przedsięwzięcia IniTech przy wsparciu finansowym Narodowego Centrum Badań i Rozwoju oraz firmy Mostostal Warszawa S.A. przy realizacji projektu pt. „Innowacyjna technologia nawierzchni drogowych o obniżonej emisji hałasu”. Projekt realizowany jest przez konsorcjum w składzie: Politechnika Warszawska, Mostostal Warszawa S.A. oraz Instytut Badawczy Dróg i Mostów.

Bibliografia

- [1] W. Gardziejczyk, *Wpływ nawierzchni drogowych na hałas od ruchu samochodowego w modelach prognozowania jego poziomu*, tom V, pięćdziesiąta jubileuszowa konferencja naukowa Komitetu Inżynierii Lądowej i Wodnej, PAN i Komitetu Nauki PZITB, „Krynica 2004”, Krynica, 12-17.09.2004 r.
- [2] K.J. Kowalski, T. Dare, R. McDaniel, J. Olek, R. Bernhard, *Exploration of Laboratory Technique for Tire-Pavement Noise Assessment of Hot-Mix Asphalts*, Transportation Research Board 90th Annual Meeting, Washington D.C., January 2011
- [3] K.J. Kowalski, R.S. McDaniel, A. Shah, J. Olek, *Long Term Monitoring of the Noise and Frictional Properties of PFC, SMA and DGA Pavements*, Transportation Research Record (TRR), Journal of the Transportation Research Board (TRB), vol. 2127, 2009, str. 12-19
- [4] K.J. Kowalski, P. Radziszewski, J. Piłat, J. Król, *Metody kształtowania cichych i bezpiecznych nawierzchni drogowych w monografii „Ochrona środowiska i estetyka a rozwój infrastruktury drogowej”*, Lublin, Poland, 2011, str. 177-188
- [5] K.J. Kowalski, J. Piłat, J. Król, M. Sarnowski, *Ciche i bezpieczne nawierzchnie porowate w warunkach klimatu Europy Środkowo-Wschodniej*, Magazyn Autostrady, nr 8-9, 2009, str. 98-101
- [6] R.S. McDaniel, K.J. Kowalski, A. Shah, J. Olek, *Long Term Performance of a Porous Friction Course*, final report, Joint Transportation Research Program, West Lafayette, Indiana, October 2010
- [7] J. Piłat, P. Radziszewski, *Nawierzchnie asfaltowe*, WKiŁ, Warszawa 2010
- [8] U. Sandberg, J.A. Ejsmont, *Tyre/Road Noise Reference Book*, Informex, Kisa, Sweden, 2002
- [9] D. Sybilski, R. Horodecka, M. Maliszewski, *Możliwości stosowania cichych nawierzchni drogowych w Polsce*, Materiały Budowlane, nr 8, 2011, str. 32-34
- [10] W. Bańkowski, *Ciche nawierzchnie drogowe na świecie*, Materiały Budowlane, nr 11, 2011, str. 51-53
- [11] WT-2 Nawierzchnie asfaltowe na drogach publicznych – Wymagania Techniczne 2010 ■