



Analiza możliwości zastosowania mieszanek mineralno-asfaltowych porowatych na nawierzchniach obiektów mostowych

RYSZARD CHMIELEWSKI, KRZYSZTOF DUDA, OLGA ZĄBEK

Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Inżynierii Lądowej i Geodezji,
00-908 Warszawa, ul. gen. S. Kaliskiego 2, ryszard.chmielewski@wat.edu.pl;
krzysztof.duda@wat.edu.pl; olga.zabek@gmail.com

Streszczenie. Artykuł przedstawia analizę zastosowania nowoczesnych technologii podczas wykonywania nawierzchni drogowych obiektów mostowych. Analiza ta została przeprowadzona w ramach pracy końcowej współautorki, w której oceniono możliwości zastosowania mieszanek mineralno-asfaltowych porowatych do budowy nawierzchni drogowych obiektów mostowych. Ocenę oparto o wyniki badań laboratoryjnych wybranych mieszanek mineralno-asfaltowych porowatych, przy uwzględnieniu różnych właściwości materiałowych, takich jak określenie: zawartości wolnych przestrzeni w MMA, spływności lepischerza, wrażliwości na działanie wody i mrozu, ubytku ziaren w mieszance. Całość badań laboratoryjnych zakończyła się zaprojektowaniem dwóch mieszanek mineralno-asfaltowych porowatych.

Słowa kluczowe: budowa mostów, nawierzchnie drogowych obiektów mostowych, mieszanki mineralno-asfaltowe porowate, odwodnienie obiektów mostowych

DOI: 10.5604/12345865.1223410

1. Wprowadzenie — zastosowania mieszanek mineralno-asfaltowych porowatych w kraju i na świecie

Mieszanki mineralno-asfaltowe porowate (używane jest również określenie asfalty porowate, co wynika bezpośrednio z tłumaczenia normy PN-EN 13108-7) znalazły zastosowanie w budownictwie komunikacyjnym na całym świecie. Początkowo były traktowane jako propozycja dla obszarów o znaczących opadach deszczu, w celu zwiększenia retencji wodnej konstrukcji nawierzchni. Dopiero po długim okresie eksploatacji i doświadczeń związanych z nawierzchniami otwartymi zdano

sobie sprawę, że posiadają zdolność do redukcji hałasu. Duża zawartość wolnych przestrzeni umożliwia mieszance szybką i sprawną filtrację oraz stanowi pewną alternatywę dla nawierzchni konwencjonalnych. Korzyści płynące z wykorzystania mieszanek mineralno-asfaltowych porowatych to między innymi: redukcja zjawiska aquaplaningu, lepsza widoczność jezdni i poprawa bezpieczeństwa ciągów komunikacyjnych.

Możliwości ułożenia mieszanek mineralno-asfaltowych na nawierzchniach porowatych jest wiele w zależności od celu, w jakim mają być one zastosowane. Kraje zachodnie opracowały zalecenia, dla których nawierzchnie porowate mogą być stosowane w zależności od warunków klimatycznych oraz budżetu. Zebrane doświadczenia świadczą o zróżnicowanych możliwościach mieszanek mineralno-asfaltowych porowatych. Często stosowane są również kombinacje mieszanek mineralno-asfaltowych porowatych w celu uzyskania lepszych efektów odprowadzania wody. Rozwiązania tego typu stanowią pewne wyzwanie dla inżynierów i projektantów mieszanek mineralno-asfaltowych, ponieważ proces projektowania, wbudowania i utrzymania takiej nawierzchni dyktuje odmienne podejście niż w przypadku nawierzchni standardowych.

Obecnie mieszanki asfaltowo-mineralne porowate stosowane są powszechnie w krajach Unii Europejskiej, a także w Stanach Zjednoczonych, Tajlandii, Nowej Zelandii czy też w Japonii, gdzie średnio 60% dróg jest wykonanych z nawierzchniami porowatymi [1, 12, 13].

Po raz pierwszy po nawierzchnie otwarte sięgnęła Wielka Brytania, testując lotniskowe drogi startowe. Celem była likwidacja zastoisk wodnych oraz poprawa odbłaskowości nawierzchni. Dzięki badaniom zauważono dwie dodatkowe funkcje, tj. drenaż i redukcję hałasu. Powyższe właściwości mieszanki porowatej spowodowały jej wykorzystanie na szeroką skalę, szczególnie biorąc pod uwagę wzrastającą liczbę pojazdów na drogach.

Połowę (z tendencją wzrostową) sieci dróg w Danii i Holandii stanowią nawierzchnie porowate. Wynika to z położenia geograficznego tych państw oraz ciągłego rozwoju sieci dróg. Opady oraz dbałość o otaczające środowisko wywarły ogromny wpływ na rozwój badań omawianej mieszanki. Studia i duńskie prace badawcze wskazały ograniczenie hałasu odpowiadające zmniejszeniu natężenia ruchu na konkretnej drodze o 50%, co oznacza ogromne „zyski dźwiękowe”. Potwierdzono, że mieszanki mineralno-asfaltowe porowate drobnoziarniste obniżają hałas drogowy o 3 dB w stosunku do średnioziarnistych [2].

Francja, korzystając z doświadczeń europejskich sąsiadów, większość istniejących autostrad wykonała z mieszanek mineralno-asfaltowych porowatych, zwanych też „cichą nawierzchnią (cichym asfaltem)”. Jednak francuscy naukowcy, po szeregu analiz, zalecają wykorzystanie tego materiału na autostradach składających się z czterech lub więcej pasów ruchu oraz na drogach z jednym pasem ruchu w każdym kierunku, gdzie prędkość projektowa jest wysoka. Zauważono również, że stosowanie

mieszanek mineralno-asfaltowych porowatych na odcinkach skrzyżowań zwykłych i skanalizowanych oraz na ostrych łukach jest ryzykowne ze względu na możliwość szybszej degradacji materiału ze względu na jego charakter [3].

W Szwecji nawierzchnie porowate potwierdziły swoją skuteczność w ciągu pierwszych trzech lat eksploatacji, co jest sporym sukcesem, biorąc pod uwagę warunki klimatyczne. Maksymalna wielkość kruszywa w szwedzkich mieszankach mineralno-asfaltowych porowatych w górnej warstwie wynosi 11 mm. Przeciętnie kraje europejskie, takie jak Włochy czy Belgia, wykonują te warstwy z kruszywa o mniejszym wymiarze oczka.

W Niemczech nawierzchnie porowate funkcjonują jako reduktory hałasu drogowego stosunkowo od niedawna. Zauważono, że podczas budowy nowo projektowanych dróg problem hałasu nie jest uwzględniany, stąd też mieszanek otwartych nie bierze się pod uwagę. W południowej Bawarii wykonano trzy odcinki nawierzchni z mieszanek mineralno-asfaltowych porowatych o łącznej długości 28 km ze 1100 km całej sieci dróg i dąży się do zwiększenia tej liczby [3].

Beton asfaltowy porowaty wykorzystywany w Japonii zawiera około 20% wolnych przestrzeni i wykorzystywany jest jako nawierzchnia drenażowa zarówno na drogach, jak również na obiektach mostowych. Mieszanki porowate zapobiegają zjawisku aquaplaningu, co przy dużym natężeniu ruchu w tamtym rejonie jest bardzo ważne. Likwidacja spreju wodnego, powodowanego przez pojazdy poruszające się w trudnych warunkach, poprawia bezpieczeństwo jazdy na trasach szybkiego ruchu. Ze względu na zwiększający się ruch, Japonia zdecydowała się ułożyć 649 km cienkiego dywanika z mieszanek mineralno-asfaltowych porowatych, co stanowi już 87% obecnych ciągów dróg ekspresowych.

Okazuje się, że mieszanki mineralno-asfaltowe porowate mimo zastrzeżeń dotyczących układania nawierzchni, na łukach też znajdują swoje miejsce. Na japońskim torze wyścigowym Formuły 1 Suzuka wykonano na wybranych łukach 1, 3, 6, 7, 13 i 18 nakładek porowatych. Przyczyną wyboru tego rozwiązania był śmiertelny wypadek jednego z kierowców spowodowany nieefektywnym odprowadzeniem nadmiaru wody z nawierzchni oraz zastoisk wodnych znajdujących się w przekroju poprzecznym toru. Zadaniem nakładek jest natychmiastowe zlikwidowanie nadmiaru wody, usunięcie zjawiska spreju wodnego, a przez to poprawienie bezpieczeństwa kierowców na torze. Dodatkowo wprowadzono systemy drenujące typu odwrócone U, odbierające wodę z nawierzchni [1].

Stany Zjednoczone, korzystając z badań europejskich również pokusiły się o wykorzystanie nawierzchni porowatych. Dla ograniczenia hałasu drogowego wykorzystywano ekrany dźwiękochłonne, jednak z biegiem czasu zauważono znaczny koszt ich budowy i utrzymania. Rozwiązaniem stała się analiza problemu hałasu u źródła, czyli propozycja cichej nawierzchni i przyjaznej technologii ogumienia kół samochodowych, które na styku opona-nawierzchnia generują mniejszy odczuwalny hałas. Dwie amerykańskie federacje — Federal Highway Administration (FHWA)

American Association of State and Highway Transportation Officials (AASHTO) — zaproponowały analizy hałasu i wdrożenie projektu cichych nawierzchni na terenie USA. Oprócz stosowania mieszanek mineralno-asfaltowych porowatych na nawierzchniach drogowych, stosuje się je również na ścieżki rowerowe, aleje parkowe, a także duże parkingi z warstwowym systemem drenażowym zaopatrzonym w separatory zanieczyszczeń ponaftowych.

Po przystąpieniu Polski do Unii Europejskiej rozpoczął się proces rozwoju infrastruktury drogowej, co było przyczynkiem do zajęcia się nawierzchniami porowatymi. Dyrektywy i programy ochrony środowiska wymuszają nowe rozwiązania redukujące nadmierny hałas, a także poprawiające bezpieczeństwo na drogach. W Polsce coraz częściej z dobrym rezultatem wykonuje się nawierzchnie porowate. Na początku kariery polskich mieszanek mineralno-asfaltowych porowatych wykonywano drogowe odcinki próbne mające na celu sprawdzenie możliwości mieszanki w naszym warunkach. Zespół Technologii Materiałów i Nawierzchni Drogowych Wydziału Inżynierii Lądowej Politechniki Warszawskiej, a także Instytut Badań Technicznych TPA oraz Instytut Badawczy Dróg i Mostów wraz ze specjalistami z Politechniki Białostockiej i Gdańskiej, a także Akademia Górniczo-Hutnicza z Politechniką Krakowską zaangażowały się w autorskie projekty wykorzystania nawierzchni porowatych na drogach naszego kraju. Podczas badań i szeregu konferencji rozważano problemy projektowe i technologiczne oraz utrzymaniowe omawianej nawierzchni [10, 12].

W rejonie Małopolski na drodze nr 780 wykonano eksperymentalny odcinek próbny z użyciem mieszanek mineralno-asfaltowych porowatych o zawartości wolnych przestrzeni > 20% wraz z użyciem modyfikatora tecRoad — granulatu gumowo-asfaltowego. Dodatkowo na tym odcinku wykorzystano po raz pierwszy na świecie Flexigum HP, tj. specjalne uszczelnienie pod mieszanki mineralno-asfaltowe porowate [4].

Na podstawie pilotażowych odcinków z czasem zarządy dróg wojewódzkich rozważały podjęcie kolejnych działań związanych z wykorzystaniem mieszanek mineralno-asfaltowych porowatych. Krakowski Zarząd zdecydował się na wykonanie odcinka próbnego we wsi Kryspinów oraz zaproponował ułożenie cichej nawierzchni na 23 km dróg wojewódzkich, tj. DW 993 — 1 km, DW 946 — 2 km, DW 773 — 2,4 km, DW 780 — 2,2 km, DW 965 — 1,5 km, DW 948 — 2,1 km, DW 964 — 2,8 km, DW 957 — 1,1 km, DW 969 — 2,4 km, DW 781 — 1,5 km, DW 783 — 700 m, DW 975 — 2 km, DW 780 — 600 m [5].

Województwo wielkopolskie, a właściwie miasto Poznań, może pochwalić się już jedenastoma odcinkami dróg miejskich z wykorzystaniem mieszanek mineralno-asfaltowych porowatych. Ze względu na rosnący hałas samochodowy, tramwajowy, kolejowy oraz lotniczy w konkretnych punktach miasta wykorzystano nawierzchnię drenażową zamiast ekranów akustycznych. Z wykorzystaniem mieszanek mineralno-asfaltowych porowatych wykonano również obwodnicę Gdowa, gdzie połączono

drogi wojewódzkie nr 967 i 966 oraz umożliwiono dostęp do dróg krajowych DK 75, DK 4 i DK 7 [6].

Eksperymentalny odcinek z nawierzchnią porowatą o długości 790 m wykonano w województwie mazowieckim na obwodnicy Mszczonowa. Opierając się na technologii krajów zachodnich oraz doświadczeń z drogi nr 780, mniejsze miejscowości, np. Włocławek czy Dąbrowa Górnicza, sięgają po ekologiczne rozwiązania drogowe. Ciche nawierzchnie mają zostać wykonane w ramach remontów dróg i ulic na terenie miasta Włocławek zgodnie z rozpisany Programem Ochrony Środowiska w celu osiągnięcia zysku akustycznego o 2-3 dB [11, 13]. Proponuje się wykonanie nakładek na drogach o prędkości potoku ruchu ponad 60 km/h [7].

2. Metodyka oceny mieszanek mineralno-asfaltowych porowatych do zastosowań drogowych

Zarówno w przypadku standardowych mieszanek mineralno-asfaltowych, jak i mieszanek otwartych dostępnych jest wiele wytycznych, które określają parametry, jakie powinny spełniać tego typu mieszanki.

Pierwszym standardem określającym właściwości mieszanki porowatej na etapie projektowania jest norma PN-EN 13108-7 *Mieszanki mineralno-asfaltowe. Wymagania. Część 7: Asfalt porowaty*. Zawarte w niej informacje dotyczą wymagań materiałów do produkcji, a także wymagań dla mieszanki. Kolejnymi dokumentami są: WT-1 2014 *Kruszywa. Wymagania techniczne* oraz WT-2 2014. Część I. *Mieszanki mineralno-asfaltowe*.

Wymagania techniczne opracowane zostały przez Generalną Dyрекcyję Dróg Krajowych i Autostrad. Wytyczne te są zbiorem wymagań wybranych spośród badań określonych w normie PN-EN 13108-7.

Norma dotycząca mieszanek mineralno-asfaltowych porowatych pozwala na zastosowanie kombinacji wymagań w celu określenia jakości mieszanki, skutkiem czego jest możliwość wykonania części (z możliwych do wykonania) badań. Kombinacje mają za zadanie zapobiec nadmiernej ilości wymagań, które w konsekwencji mogą być sprzeczne.

Kombinacja numer 1 wg normy PN-EN 13108-7 została ujęta w wytycznych WT-2 2014 do projektowania i wstępnej oceny mieszanki mineralno-asfaltowej porowatej do wbudowania. Ze względu na małą popularność nawierzchni porowatych w Polsce i brak doświadczeń w doborze odpowiednich materiałów, w projektowaniu oraz wykonawstwie kombinację nr 1 ujęto jako propozycję badawczą. Celem wykonanych badań było m.in. sprawdzenie, w warunkach laboratoryjnych, przy wykorzystaniu dostępnych na polskim rynku asfaltów, kruszyw oraz dodatków, czy określone w WT-1 oraz WT-2 2014 wymagania dla materiałów i mieszanek mineralno-asfaltowych są realne do osiągnięcia.

TABELA 1

Dopuszczalne kombinacje wymagań wg normy PN-EN 13108-7

Wymaganie	Kombinacje		
	1	2	3
Zawartość lepiszcza	X	X	X
Uziarnienie	X	X	X
Minimalna zawartość wolnych przestrzeni	X		
Maksymalna zawartość wolnych przestrzeni	X	X	X
Pozioma przepuszczalność		X	
Pionowa przepuszczalność			X
ITSR	X	X	X
Utrata ziaren	X	X	X

3. Wyniki badań laboratoryjnych wybranych mieszanek mineralno-asfaltowych porowatych

Zakres prac obejmował zaprojektowanie mieszanek mineralno-asfaltowych PA 8 oraz PA 11 zgodnie z Wytocznymi technicznymi WT-2 2014 oraz normą PN-EN 13108-7, a także sprawdzenie parametrów fizyko mechanicznych, tj.:

- zawartości wolnych przestrzeni w MMA zgodnie z PN-EN 12697-8 na podstawie gęstości — metoda A w wodzie (wg PN-EN 12697-5) i gęstości objętościowej metodą D (wg PN-EN 12697-6). Ze względu na niewielkie możliwości manipulacji uziarnieniem mieszanki mineralnej z powodu wąskiego pola „dobrego uziarnienia”, pozostawała kwestia zastosowania odpowiedniej ilości asfaltu oraz środka stabilizującego w celu uzyskania wymaganej zawartości wolnych przestrzeni w MMA oraz osiągnięcia odpowiednich parametrów spływności lepiszcza,
- spływności lepiszcza zgodnie z PN-EN 12697-18,
- określenie wrażliwości na działanie wody i mrozu zgodnie z PN-EN 12697-12 oraz załącznikiem 1 do WT-2 2014,
- ubytku ziaren (test Cantabro w bębnie Los Angeles) według normy PN-EN 1269717.

Mając na uwadze zastosowanie warstwy porowatej na obiekcie mostowym, zaproponowano również autorskie recepty dla warstwy ochronnej, tj. asfaltu lanego i betonu asfaltowego. Mieszanekę porowatą wykonano w dwóch wersjach — jako PA 8 i PA 11.

Zestawienie materiałów użytych do mieszanki PA 11 dla KR 6:

- piasek łamany Graniczna frakcji 0/2,
- gąbrosz Braszowice frakcji 8/11,

- mączka wapienna Wolica,
- wapno hydratyzowane,
- lepiszcze asfaltowe MODBIT 45/80-55 Lotos Asphalt,
- środek stabilizujący Viatop Premium.

Analogicznie jak w przypadku mieszanek zamkniętych ustosunkowano się do minimalnej zawartości lepiszcza i określono zgodnie ze wzorami przedstawionymi w wytycznych WT-2 2010 i tabelą z WT-2014. Poniżej znajduje się przygotowana recepta mieszanki mineralno-asfaltowej porowatej PA 11.

TABELA 2

Recepta PA-11

Material	Gęstość	Zawartość procentowa poszczególnych materiałów w MMA	Zawartość procentowa poszczególnych materiałów w MM
Mączka wapienna	2,700	2%	2,1%
Wapno hydratyzowane	2,970	2%	2,1%
Piasek łamany granitowy 0/2	2,670	4%	4,2%
Grys gablo 8/11	2,970	86,2%	91,2%
Viatop Premium	–	0,7%	0%
Lepiszczce asfaltowe PMB 45/80-55	1,020	5,8%	0%
SUMA		100%	≈ 100%
Gęstość mieszanki mineralnej ρ_{α} [Mg/m ³]		2,943	
Współczynnik do wyznaczenia zawartości asfaltu α		0,90	
Minimalna zawartość lepiszcza B_{\min}		5,4%	

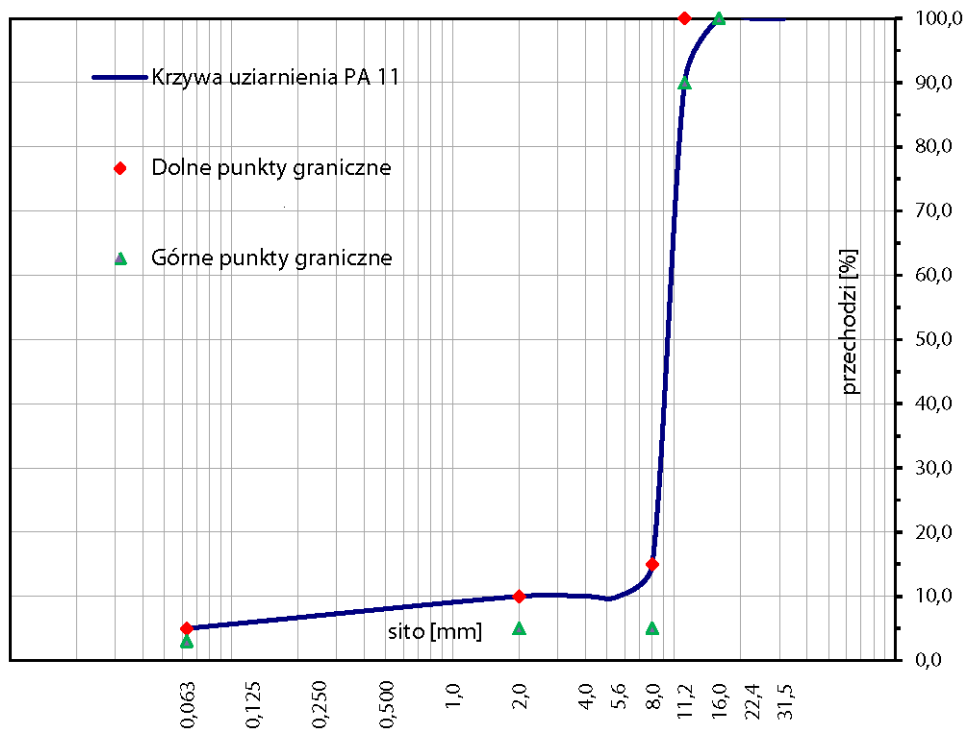
Pomimo że B_{\min} obliczone na podstawie gęstości mieszanki mineralnej wynosiło 5,4%, w projektowanej MMA zwiększono zawartość asfaltu całkowitego do 5,8%.

Pole „dobrego” uziarnienia dla PA mieści się w bardzo wąskich granicach, zatem nie ma możliwości dużego manewrowania składem mineralnym.

3.1. Zawartość wolnych przestrzeni w MMA zgodnie z PN-EN 12697-8

W celu określenia zawartości wolnych przestrzeni w MMA wykonano oznaczenie gęstości metodą A w wodzie (wg PN-EN 12697-5) i gęstości objętościowej metodą D (wg PN-EN 12697-6 — metoda geometryczna).

Norma PN-EN 12697-6 określa procedurę badawczą do badania gęstości objętościowych mieszanek mineralno-asfaltowych. Mieszanki o zawartości powyżej 15% wolnych przestrzeni należy oznaczać metodą D. Norma traktuje tę metodę



Rys. 3.1. Krzywa uziarnienia mieszanki mineralnej

jako najdokładniejszą dla mieszanek mineralno-asfaltowych porowatych, ponieważ wolne przestrzenie tekstury traktowane są jako część wewnętrznych wolnych przestrzeni. Istnieje jednak ryzyko niedoszacowania wolnych przestrzeni.

Procedura badawcza w metodzie D ogranicza się do określenia wymiarów próbki mieszanki mineralno-asfaltowej zgodnie z PN-EN 12697-29 oraz jej masy. Badanie wykonuje się na próbkach cylindrycznych uprzednio zagęszczonych przez ubijanie 2×50 uderzeń w ubijaku Marshalla zgodnie z normą PN-EN 12697-30.

Obliczenia wykonuje się zgodnie z poniższym wzorem:

$$\rho_{bdim} = \frac{m_1}{\frac{\pi}{4} \cdot h \cdot d^2} \cdot 10^6, \quad (1)$$

gdzie: ρ_{bdim} — gęstość objętościowa mieszanki mineralno-asfaltowej na podstawie „wyników geometrycznych” [mg/m^3],
 m_1 — masa suchej próbki [g],
 h — wysokość próbki [mm],
 d — średnica próbki [mm].

Na podstawie badań laboratoryjnych zawartość wolnych przestrzeni określono na 22,7%. Wolna przestrzeń dla mieszanki PA 11- KR 6 została osiągnięta na poziomie wymagań WT-2 2014 i mieści się w dopuszczalnych granicach pomiędzy V18 a V24.

3.2. Spływność lepiszcza zgodnie z PN-EN 12697-18

Przeprowadzono badania spływności i uzyskano wyniki na poziomie 0,01. Duża zawartość asfaltu podyktowała zastosowanie większej ilości środka stabilizującego. Mimo to, projektowana mieszanka mineralno-asfaltowa nie powinna ulegać segregacji, co gwarantują osiągnięte wyniki badań.



Rys. 3.2. Rozdrobniona mieszanka PA 11 — metoda A

3.3. Określenie wrażliwości na działanie wody i mrozu

Zgodnie z PN-EN 12697-12 oraz załącznikiem 1 do WT-2 2014 przeprowadzono badanie wrażliwości na działanie wody, uzyskano ITRS równy 76,2%.

Wyniki z badania nie są zadowalające, ponieważ nie osiągnęły wartości ITRS90. Wytyczne dopuszczają różnicę między wartościami otrzymanymi do kilkunastu procent. Jednak dla mieszanki tego typu oczekuje się wartości najwyższych. Badanie należało powtórzyć dla zmienionej recepty, przedstawionej w tabeli 3.

3.4. Ubytek ziaren

Oznaczono również ubytek ziaren (test Cantabro) według normy PN-EN 12697-17. Badanie przeprowadzono w bębnie Los Angeles na czterech próbkach mieszanki PA 11.

Próbki przed badaniem były kondycjonowane przed okres czterech godzin w temperaturze $25 \pm 2^\circ\text{C}$. Prędkość pracy bębna to 30-33 obroty na minutę, przy czym jeden test to 300 obrotów w ciągu 10 minut. Ubytek ziaren wyliczono z różnicy mas, korzystając ze wzoru:

$$P_L = 100 \cdot \frac{W_1 - W_2}{W_1}, \quad (2)$$

gdzie: P_L — ubytek ziaren [%],
 W_1 — masa próbki przed testem [g],
 W_2 — masa próbki po teście [g].

W trakcie badania uzyskano średni ubytek ziaren na poziomie 9,1%. Wyniki testu są zadowalające. Zgodnie z normą PN-EN 13108-7 zaprojektowana mieszanka należy do najwyższej kategorii PL10, co może świadczyć o wysokiej odporności mieszanki porowatej na ubytek ziaren, a co za tym idzie, o większej wytrzymałości mieszanki.



Rys. 3.3. Ubytek ziaren — próbka po teście Cantabro



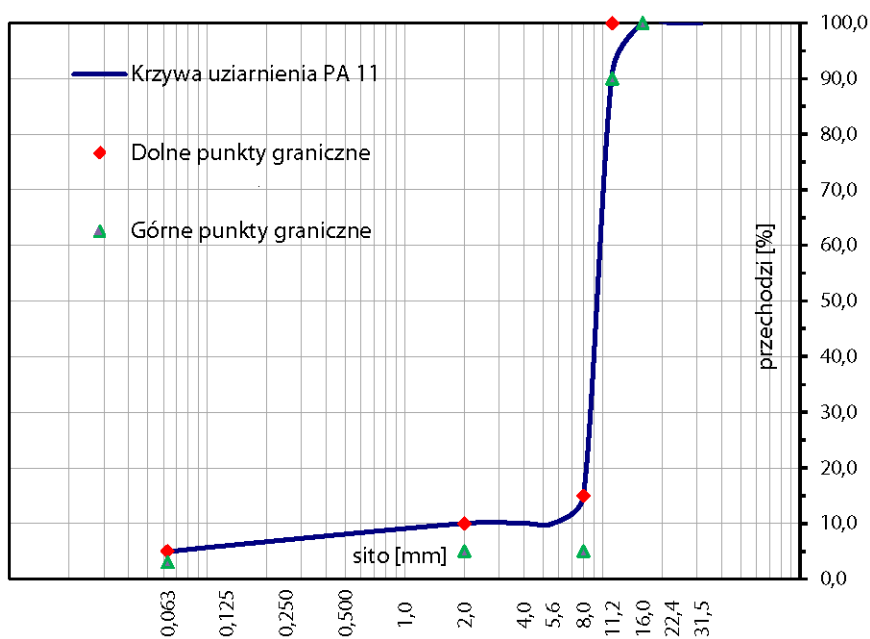
Rys. 3.4. Porównanie — próbka przed i po badaniu

W związku z tym, że mieszanka PA 11 nie spełniła jednego z wymagań określonych przez normę oraz WT-2 2014, po weryfikacji wyników sporządzono kolejną receptę. Dla uzyskania wyższych wartości ITSR wprowadzono do recepty Melafir 8/11.

TABELA 3

Nowa recepta PA 11

Materiał	Gęstość [mg/m ³]	Zawartość procentowa poszczególnych materiałów w MMA	Zawartość procentowa poszczególnych materiałów w MM
Mączka wapienna	2,700	3%	3,2%
Wapno hydratyzowane	2,970	1,1%	1,2%
Piasek łamany granitowy 0/2	2,670	4,1%	4,4%
Melafir 8/11	2,720	14,1%	14,9%
Grys gabro 8/11	2,970	71,6%	75,9%
Viatop Premium	–	0,9%	0%
Lepiszcze asfaltowe PMB 45/80-55	1,020	6,0%	0%
SUMA		100%	≈ 100%
Gęstość mieszanki mineralnej ρ_α [mg/m ³]		2,720	
Współczynnik do wyznaczenia zawartości asfaltu α		0,97	
Minimalna zawartość lepiszcza B_{\min}		5,8%	



Rys. 3.5. Krzywa uziarnienia mieszanki mineralnej

Na podstawie tej recepty sporządzono małe zaroby w wielkości 1200 g, w celu sprawdzenia parametrów wyjściowych, a następnie wykonano duży zarób w wielkości 16 000 g. Uzyskano zawartość wolnych przestrzeni 20,02%. Badając wrażliwości na działanie wody i mrozu, uzyskano ITRS 82,8%.

Wyniki wskazują, że warto było zmodyfikować uziarnienie mieszanki, przełamując kruszywem melafirowym, ze względu na wyższe wyniki ITRS. Jednocześnie mieszanka w dalszym ciągu w 3/4 zbudowana jest z jasnego kruszywa o wysokich parametrach użytkowych oraz dużym współczynniku tarcia.

3.5. Wyniki badań dla mieszanki mineralno-asfaltowej porowatej PA 8

Zestawienie materiałów użytych do mieszanki PA 8 dla KR 6:

- piasek łamany Graniczna frakcji 0/2,
- gąbrosz Braszowice frakcji 5/8,
- mączka wapienna Wolica,
- wapno hydratyzowane,
- lepiszcze asfaltowe MODBIT 45/80-55,
- Viatop Premium.

Do recepty na PA 8 kruszywo gąbrosz 4/8 przesiano, by uzyskać frakcję 5/8.



Rys. 3.6. Przesiew gąbrosz 4/8 w celu uzyskania uziarnienia 5/8 do mieszanki PA 8

Mieszanka mineralno-asfaltowa porowata okazała się trudniejsza do zaprojektowania. Pomimo wpisywania się krzywej uziarnienia w krzywe graniczne nie spełniała ona warunku zawartości wolnych przestrzeni w próbce. Receptę z użyciem piasku łamanego 0/2 odrzucono i zaprojektowano dwie kolejne recepty. Pierwsza bazowała na około 90% kruszywa łamanego gąbrosz 5/8, a drugą zaprojektowano z przełamaniem kruszywem melafirowym.

TABELA 4

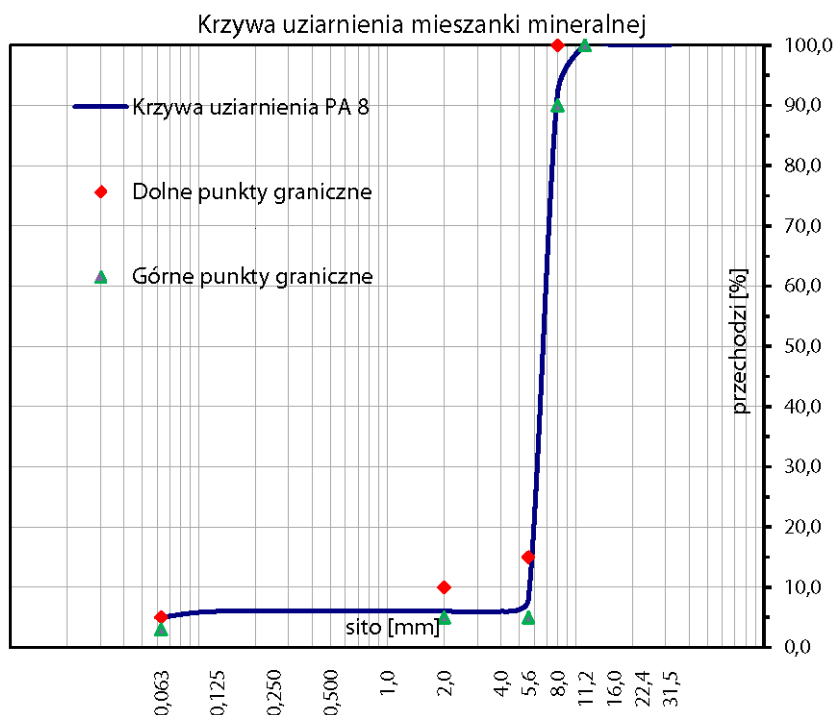
Recepty mieszanki PA 8

Materiał	Gęstość [mg/cm ³]	Recepta 1		Recepta 2	
		% MMA	% MM	% MMA	% MM
Mączka wapienna	2,700	2,3%	2,5%	4,1%	4,4%
Wapno hydratyzowane	2,970	2,3%	2,5%	1,0%	1,1%
Melafir 5/8	2,670	–	–	18,7%	19,9%
Grys gabro 5/8	2,970	89,1%	94,7%	69,9%	74,6%
Viatop premium	–	1,1%	0%	1,1%	0%
Lepiszczce asfaltowe PMB 45/80-55	1,020	6,3%	0%	6,3%	0%
SUMA	100%	≈ 100%	≈ 100%	≈ 100%	≈ 100%
Gęstość mieszanki mineralnej ρ_α [mg/cm ³]	–	2,956		2,901	
Współczynnik do wyznaczenia zawartości asfaltu α	–	0,90		0,91	
Minimalna zawartość lepiszcza B_{\min}	–	5,9%		5,9%	

Sugerując się ostatnią receptą PA 11 z użyciem kruszywa melafirowego, do dalszych badań wybrano receptę 2 z ponad 18% zawartością tego kruszywa. Wykres krzywej uziarnienia mieszanki PA 8 — recepta z melafirem przedstawiono na rysunku 3.7.

Badania wykonywano dla docelowego zarobu 16 000 g, uprzednio sporządzając małe zaroby w wielkości 1100 g, dla sprawdzenia parametrów wyjściowych recepty roboczej. Wyniki badań były zadowalające, stąd też przeprowadzono analogiczne badania dla próbek z dużego zarobu przygotowanego w mieszarce. Uzyskano zawartość wolnych przestrzeni 23,34%. Badając wrażliwość na działanie wody i mrozu, uzyskano ITRS 85,9%.

Wynik ITRS, jaki uzyskano po badaniu odporności na działanie wody, jest wyższy niż w przypadku PA 11, zarówno z recepty gabro, jak i z recepty gabro/melafir. Można sądzić, że wynik jest zadowalający, choć względem wytycznych nieosiągnięty. Wykonane badania wykazały, że uzyskanie wymaganych parametrów, zwłaszcza odporności na działanie wody i mrozu, dla mieszanki mineralno-asfaltowej porowatej nie jest proste i potrzeba wielu prób, aby osiągnąć zadowalające rezultaty. Można również zastanowić się nad wprowadzeniem innych badań określających parametry fizykomechaniczne mieszanek mineralno-asfaltowych porowatych, które umożliwią ich stosowanie na szerszą skalę również w Polsce.



Rys. 3.7. Krzywa uziarnienia mieszanki PA 8

Dodatkowo dla dwóch mieszanek wykonano badanie wodoprzepuszczalności pionowej. Uzyskane średnie wyniki badań próbek cylindrycznych wskazują, że zaprojektowane mieszanki porowate PA 8 oraz PA 11, zgodnie z normą PN-EN 13108-7, należą do najwyższej kategorii Kv4,0 wg tabeli dotyczącej wodoprzepuszczalności pionowej. Oznacza to, że nawierzchnia wykonana z zaprojektowanych mieszanek mineralno-asfaltowych PA 8 oraz PA11 będzie zdolna do odprowadzania maksymalnej ilości wód opadowych, czyli jeden z celów projektu został osiągnięty. Kombinacja numer 1 według normy PN-EN 13108-7 wybrana w WT-2 2014 nie przewidywała wykonania badania przepuszczalności. Oznaczenie wykonano w celu weryfikacji i wykorzystania wyników do celów obliczeń odwodnienia.

Wyłączone badanie określa nie tylko przepływ pionowy i poziomy przez nawierzchnię drenażową, lecz także wskazuje na przepuszczalność wody w kanałkach mieszanek mineralno-asfaltowych porowatych. Należy zaznaczyć, że ziarna kruszywa układają się i klinują w różny sposób, czego nie można przewidzieć. W związku z tym, powyższe badanie powinno być traktowane jako jedno z podstawowych.

4. Możliwość zastosowania nawierzchni porowatych na obiekcie mostowym

Ogólnie odwodnienie obiektów mostowych można podzielić na odwodnienie ustroju nośnego oraz odwodnienie w obrębie przyczółków. Odwodnienie już na etapie projektowania jest bardzo ważne i rozpoczyna się od ukształtowania płyty pomostowej, pochyłeń podłużnych i poprzecznych nawierzchni warstw jezdni oraz chodników. W dalszej kolejności zabezpiecza się płytę pomostu hydroizolacją,



Rys. 4.1. Szwecja, podwójna warstwa nawierzchni porowatej (dwa lata eksploatacji) na autostradzie E4 na południowy zachód od Sztokholmu podczas jazdy w deszczową pogodę, odwodnienie liniowe przy krawędzi jezdni — brak charakterystycznej mgiełki za pojazdami



Rys. 4.2. System odwodnienia nawierzchni porowatej w Danii. Wzdłuż krawężnika ułożono kostkę umożliwiającą filtrację odcieków do systemu drenarskiego

wykonuje się system drenażowy, rozmieszcza się wpusty mostowe oraz sączki, a także urządzenia dylatacyjne.

W celu skutecznego odprowadzania wody z obiektu mostowego oprócz zabezpieczeń płyty pomostu oraz izolacji przeciwwodnej niezbędna jest poprawnie wykonana kanalizacja. Zarówno pod powierzchnią warstw bitumicznych, jak i powierzchniowo drenaż ma działać skutecznie i efektywnie.

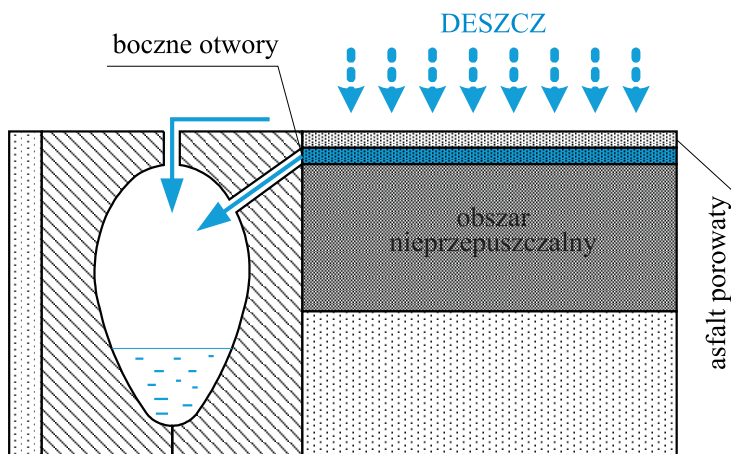
W przypadku gdy drenaż jest zaprojektowany lub wykonany niepoprawnie, tworzą się zastoiska wodne, których obecność może spowodować wiele niepożądanych skutków. Na jezdni może też wystąpić zjawisko mgły wodnej, co w połączeniu z zastoiskami wodnymi prowadzi do spowolnienia ruchu. Poprzez zły odbiór wody i zanieczyszczeń cała konstrukcja może ulec korozji. Często gdy woda skumulowana przez nawierzchnie mineralno-asfaltowe dostaje się pod wodoodporne membrany hydroizolacji, przy zmianach temperaturowych i ciągłym ruchu pojazdów doprowadza to do dewastacji pomostu, a w dalszej kolejności całej konstrukcji. Hydroizolacja ma zapobiec destruktywnemu wpływowi płynów oraz środków odładzających, które mogą przedostać się do części konstrukcyjnych, a w efekcie doprowadzić do korozji. Zdarza się również, że w dobrym środowisku dla tych środków podczas zmian temperatury płyny, migrując, uszkadzają elementy konstrukcyjne i przy dostępie CO₂ osłabiają mosty zarówno stalowe, jak i betonowe. W pełni uszczelnione pomosty w systemie dwuwarstwowym usuwają lokalne wady i całkowicie odcinają konstrukcję od dostępu wody.

Najczęściej stosowanym materiałem do wykonania warstwy ochronnej pomostu jest asfalt lany. Warstwa MA (*mastic asphalt*) stanowi drugą warstwę hydroizolacji w przypadku obiektów mostowych stalowych. MA elastycznie przenosi obciążenia z górnych warstw nawierzchni na pomost stalowy, dobrze rozkłada siły rozciągające oraz zabezpiecza przed korozją. MA jest odporny na oleje, smary, wodę, minerały i mało podatny na warunki zewnętrzne. Z różnych powodów w niektórych krajach pierwszeństwo mają tradycyjne asfalty, które zabezpieczają pomost betonowy.

Efektywnym rozwiązaniem odwodnienia jest technologia liniowa przy wykorzystaniu nawierzchni porowatych na obiektach mostowych. Koryta skrzynkowe tego typu wykonane z betonu lub polimerbetonu doskonale usuwają nadmiar wody z jezdni, przekazując ją dalej. Firmy, dbając o rozwój odwodnienia liniowego, produkują koryta z odpowiednio dobraną wytrzymałością, wykorzystując różne systemy i materiały. W praktyce koryta mają długości od 500 do 1000 mm, łączone są z rusztem za pomocą śrub, sworzni lub zatrzasków.

Japończycy, oprócz standardowych korytkowych odwodnień liniowych, proponują betonowe korytka o przekroju jajowym. Toyota Kohki Co., twórca tego rozwiązania, przedstawia możliwości wykorzystania go na drogach i autostradach (rys. 4.3).

Proces obliczeń hydraulicznych obiektu mostowego rozpoczyna się w momencie realizacji jego projektu. Przyjmując, że dane hydrologiczne są znane, kolejno wyznaczamy natężenie deszczu oraz czas jego trwania przy określonym



Rys. 4.3. Propozycja liniowego systemu odwodnienia nawierzchni porowatej na drodze w formie odwodnienia liniowego (wykonanego z betonu) o przekroju jajowym [8]

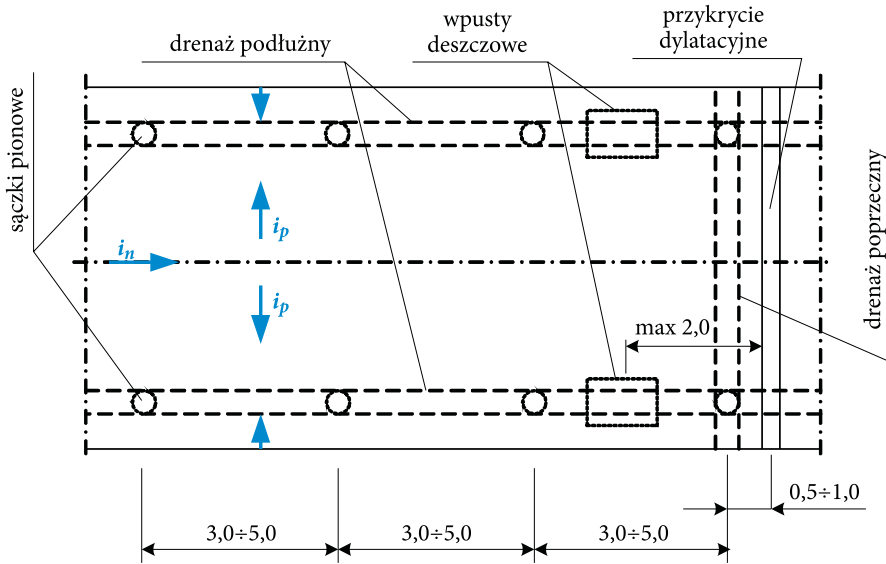
prawdopodobieństwie p . Zgodnie z zaleceniami, przy projektowaniu instalacji odprowadzającej parametry deszczu obliczeniowego muszą mieć co najmniej następujące wartości: natężenie $q_{15} = 115 \text{ dm}^3/(\text{s} \cdot \text{ha})$, czas trwania $t_d = 15 \text{ min}$.

Jeżeli nieznanne jest natężenie deszczu uzyskane na podstawie obserwacji meteorologicznych lub dodatkowych opracowań, to należy przyjąć wartości pomierzone. Dla przewodu zbiorczego prędkość przepływu powinna być dobrana w taki sposób, że dla deszczu o natężeniu $q_{\text{min}} = 115 \text{ dm}^3/(\text{s} \cdot \text{ha})$ i czasie trwania $t_d = 15 \text{ min}$ nie powinna być mniejsza niż $0,5 \text{ m/s}$. Pozwala to na ochronę przewodu przed zamulaniem przez wytrącanie się osadów na jego dnie [9].

Drenaż projektuje się w osi odwodnienia, gdzie układane są sączi oraz wpusty mostowe. Sączi według zaleceń powinny znajdować się w odległości od 3 do 5 m . Przy użyciu asfaltu drenażowego sączi mogą znajdować się bliżej siebie. Powinny być również układane w punktach najniższych, gdzie występują drenaże poprzeczne. Rysunek 4.4 przedstawia ogólne rozmieszczenie elementów odwodnienia na płycie pomostu.

Przewody zbiorcze dobiera się o średnicy nie mniejszej niż $\text{DN} = 200 \text{ mm}$. W szczególnych przypadkach dopuszczalne jest użycie rur o średnicach mniejszych. Z reguły przewody zbiorcze powinny mieć pochylenie nie mniejsze niż 2% . Może być mniejsze niż 1% , jednak pod warunkiem, że średnica rury zostanie zwiększona.

Projektowane wpusty mostowe powinny znajdować się w odległości nie mniejszej niż $0,2 \text{ m}$ od lica krawężnika, przeważnie poza jezdnią. W przypadku zastosowania nawierzchni porowatej wpusty powinny być obniżone w stosunku do poziomu nawierzchni o jej grubość ze względu na przepuszczalność pionową i poziomą mieszanki. W przeciętnym projekcie drogowym obniżone są od $0,01$ do $0,02 \text{ m}$. Przyjmuje się, że droga wody opadowej do wpustu nie powinna przekraczać 30 m i w związku z tym odległości między wpustami przyjmowane są w granicach 25 m .



Rys. 4.4. Płyta pomostu z elementami odwodnienia (i_n — pochylenie podłużne; i_p — pochylenie poprzeczne)

Jednak dla nawierzchni porowatej proponuje się skrócenie tych odległości do nawet 15 m dla sprawniejszego odbioru wód opadowych oraz niedoprowadzenia do sytuacji zastoisk na poboczach.

5. Zasadność stosowania nawierzchni z mieszanek porowatych

W krajach wysokorozwiniętych od ponad dwudziestu lat widoczny jest postępujący trend w zakresie badań i zastosowań mieszanek mineralno-asfaltowych porowatych. Biorąc pod uwagę szereg zalet, jakie mają mieszanki porowate, można ocenić, że są to nawierzchnie przyszłościowe z ogromnym potencjałem. W miarę upływu czasu doskonalone są metody projektowania i produkcji opisywanych mieszanek. Właściwości drenażowe prezentowane przez mieszankę stanowią pożądaną cechę dla obiektów mostowych, a także dróg, kłopotem niestety jest ich utrzymanie. Mieszanki mineralno-asfaltowe porowate pod ciśnieniem opon samochodowych ulegają samooczyszczeniu, ale tylko do pewnego stopnia, stąd istnieje potrzeba czyszczenia mechanicznego nawierzchni. W porównaniu z nawierzchniami zamkniętymi, niewymagającymi czyszczenia, koszt utrzymania jest od 1,2 do 1,5 raza wyższy, a jednocześnie poziom trwałości jest niższy.

Pomysł wykonania nawierzchni porowatej na obiekcie mostowym nie jest innowacyjny z punktu widzenia Japonii czy Niemiec. Mieszanki porowate są

wykorzystywane wszędzie tam, gdzie mogą rozwiązać pewien problem, np. hałasu, nieporównanego odwodnienia czy dużej liczby wypadków drogowych. Przy użyciu mieszanek mineralno-asfaltowych porowatych na moście można redukować hałas drogowy, a także ograniczać jego rozprzestrzenianie w otoczeniu trasy. Mniej odczuwalna jest także temperatura nawierzchni zarówno dla kierowców, jak i pieszych, ponieważ dzięki swojej strukturze wolniej się on nagrzewa. Wykorzystując mieszanki mineralno-asfaltowe porowate jako nawierzchnię zamykającą, można zmniejszyć koszty inwestycji, eliminując zabezpieczenia dźwiękochłonne w postaci ekranów akustycznych.

Na podstawie przeprowadzonych badań laboratoryjnych zgodnie z wytycznymi technicznymi WT-2 2014 oraz normami serii PN-EN można stwierdzić, że zaprojektowanie powszechnie stosowanych betonów asfaltowych AC oraz stosowanych na obiektach mostowych asfaltów lanych MA nie sprawia większych problemów. Uzyskanie parametrów zgodnych z wytycznymi WT-2 2014, przy wykorzystaniu asfaltów modyfikowanych oraz kruszyw o sprawdzonych właściwościach, nawet dla najwyższych kategorii ruchu KR 5-7 nie jest problematyczne. Powszechne stosowanie określonych mieszanek mineralno-asfaltowych powoduje, że w kolejnych wydaniach WT-2 pojawiają się zmiany w zapisach, które eliminują ryzyko błędów popełnianych podczas projektowania recept i wykonywania badań typu. Wiele parametrów dotychczas deklarowanych w kolejnych wydaniach WT-2 uzyskuje stosowne wymaganie, które poparte jest wieloletnim doświadczeniem w projektowaniu, produkcji i wykonywaniu mieszanek mineralno-asfaltowych. Do mieszanek mineralno-asfaltowych porowatych zaproponowanych w tym opracowaniu „środowisko drogowo-mostowe” w Polsce odnosi się negatywnie, ze względu na brak polskich doświadczeń, na których można by się oprzeć. Oczywiście istnieją odcinki próbne nawierzchni porowatych, np. w ramach kontraktu budowy obwodnicy Gdowa w okolicach Krakowa (2014). Niemniej jednak jest to nawierzchnia drogowa. Próby zastosowania mieszanek mineralno-asfaltowych porowatych w wielu częściach świata kończyły się sukcesami, w zależności od potrzeb modyfikuje się mieszanki porowate, by poprawić określone funkcje. Mieszanka posiada pewne ograniczenia, które można wyeliminować, stosując ją w konkretnych miejscach, np. odcinkach prostych, wolnych od nadmiaru zanieczyszczeń, m.in. przydrożnej zieleni. Wszędzie tam, gdzie wskazane jest wykonywanie nawierzchni z mieszanek mineralno-asfaltowych porowatych, należy to zrobić, aby przekonać się, czy rzeczywiście jest to nawierzchnia dobra dla warunków polskich, czy też nie. Kwestie zastosowania tego typu nawierzchni na mostach należy dokładnie przemyśleć, ponieważ pojawia się problem technologiczny ułożenia nawierzchni. W Polsce klimat umiarkowany może generować pewne kłopoty, jeśli chodzi o zimowe utrzymanie, jednak mimo to nie ma przeciwwskazań do stosowania PA na konstrukcjach mostowych.

Ze względu na niewielkie doświadczenie w stosowaniu PA, brakuje też zmian w zapisach dla mieszanek mineralno-asfaltowych porowatych, które ułatwiłyby jego

projektowanie, wprowadziłyby wymagania lub je zmieniły, doprowadzając do ich optymalizacji. Na podstawie niewielkiej ilości badań dla mieszanek mineralno-asfaltowych porowatych (ze względu na brak większych możliwości) nasuwa się kilka wniosków, nad którymi należy się zastanowić przy kolejnych wydaniach WT-2, np. dotyczących: zagęszczania próbek do określania zawartości wolnej przestrzeni w MMA wyłącznie w prasie żyratorowej oraz stosowania mieszaniny kruszyw grubych.

Zastosowanie jednego, nawet bardzo dobrego kruszywa, asfaltu modyfikowanego, dodatku wapna hydratyzowanego nie gwarantuje uzyskania odporności na działanie wody i mrozu ($\geq 90\%$). Zalecane byłoby również wprowadzenie dodatkowych badań, np. testu Cantabro lub innych badań, które pozwoliłyby na szerszą analizę możliwości zastosowania mieszanek mineralno-asfaltowych porowatych w polskich warunkach.

Zwiększająca się liczba dróg, wymagania ochrony środowiska dotyczące hałasu oraz zwiększenie komfortu i bezpieczeństwa jazdy mogą przekonać polskie środowisko drogowe do sięgnięcia po innowacyjne technologie drogowe, w tym po mieszanki mineralno-asfaltowe porowate.

6. Wnioski końcowe

Nawierzchnie porowate służą do ograniczenia hałasu od ruchu kołowego, wobec czego stosowane są jako cienkie dywaniki. Jednocześnie, pracując jako warstwa zamykająca, pełnią funkcje drenażowe, co jest bardzo ważne na obiektach mostowych oraz trasach szybkiego ruchu. Te dwie cechy połączone w jednej mieszance mogą spowodować na danym odcinku drogi mniej ekranów akustycznych. Dodatkowo zmniejszają liczbę wypadków poprzez likwidację filmu wodnego na jezdni.

Nawierzchnie porowate, wbrew przesłankom, mogą być trwałe, ale należy dokładnie przeanalizować mieszankę i poczynić szereg działań, aby zebrać informacje dotyczące jej zachowań w odpowiednich warunkach. Działania dotyczą szerszej analizy mieszanki dla oceny jej pracy w warunkach polskich. Uznaje się, że dobrze zaprojektowana, wyprodukowana i utrzymana porowata nawierzchnia jest w stanie cyklicznie wytrzymać okresy zimowe, w polskim klimacie również jest to możliwe. Doświadczenie w tym wypadku jest bardzo potrzebne, stąd też można posłużyć się efektami działań krajów UE lub Stanów Zjednoczonych. W przypadku recept mieszanek porowatych ich ujednolicanie dla wszystkich krajów mija się z celem i warto zaproponować wytyczne dla konkretnego klimatu, w Polsce szczególnie pod kątem przejść temperaturowych przez 0°C .

Przeprowadzone powyżej analizy odzwierciedlają faktyczne problemy i pozwalają na przedstawienie propozycji kształtowania rozwiązań krajowych.

Z punktu widzenia przeprowadzonych badań można skłonić się też ku tezie, że warto skorzystać z nowoczesnych technologii i wykonać nawierzchnię porowatą

na obiekcie mostowym. Przedstawiona wyżej analiza nie wyczerpuje w pełni tematu możliwości zastosowania nawierzchni porowatych na obiektach mostowych, jakkolwiek bazuje na przeprowadzonych badaniach laboratoryjnych. Nakreślono problem stworzenia odpowiedniej mieszanki na nawierzchnię obiektów mostowych.

Źródło finansowania pracy — działalność statutowa uczelni.

Artykuł wpłynął do redakcji 28.06.2016 r. Zweryfikowaną wersję po recenzjach otrzymano 15.09.2016 r.

LITERATURA

- [1] <http://www.motorsportgp.pl/aktualnosci-formula-1/1355-suzuka-dokonuje-kilku-zmian-w-celu-poprawy-bezpieczenstwa-na-torze>, 2016.
- [2] <http://www.lotosasfalt.pl/PL/Wydarzenia/wiecej/93.html>, 2016.
- [3] Winter service of Poros asphalt. Technical note, Vejdirektoratet, 2012.
- [4] www.autostrady.elamed.pl, 2016.
- [5] <http://www.radiokrakow.pl/wiadomosci/krakow/14-drog-w-regionie-dostanie-cicha-nawierzchnie>, 2016.
- [6] <http://www.malopolskie.pl/Wydarzenia/?id=12396>, 2016.
- [7] *Program Ochrony Środowiska przed hałasem dla miasta Włocławek*, część 3, Włocławek, 2015, 60-61.
- [8] Toyota Co., Ltd., *Różne typy odwodnień*, Zakłady Betonowe International, Japonia, Tokio, 2011, 126.
- [9] EDEL R., *Odwodnienie dróg*, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, wyd. 3, Warszawa, 2006.
- [10] BAŃKOWSKI W., KOWALSKI J.K., KRÓL J.B., GAJEWSKI M., HORODECKA R., ŚWIEŻEWSKI P., *Selection of quiet pavement technology for Polish climate conditions on the example of CiDRO Project*, 6th Transport Research Arena, April 18-21, Transport Research Procedia 2016, vol. 14, 2016, 2724-2733.
- [11] BAŃKOWSKI W., HORODECKA R., GAJEWSKI M., MIRSKI K., SAREK S., OTKAŁŁO K., ŚWIEŻEWSKI P., KOWALSKI K., KRÓL J., RADZISZEWSKI P., PIŁAT P., SARNOWSKI M., LIPHARDT A., POKORSKI P., *Innowacyjna technologia nawierzchni drogowych o obniżonej emisji hałasu*, Mostostal, Warszawa, 2015.
- [12] BAŃKOWSKI W., *Ciche nawierzchnie drogowe na świecie*, Materiały Budowlane, 11, 2011, 51-53.
- [13] SYBILSKI D., BAŃKOWSKI W., WRÓBEL A., *Ciche nawierzchnie asfaltowe z zastosowaniem granulatu gumowo-asfaltowego*, monografia „Ochrona środowiska i estetyka a rozwój infrastruktury drogowej”, SITK, Lublin, 2011.

R. CHMIELEWSKI, K. DUDA, O. ZĄBEK

Analysis of using porous asphalt on the surfaces of bridges

Abstract. The article concerns the analysis of the use of modern technology while paving the road bridges. It shall assess the possibility of using porous asphalt paving of road bridges. Based on the results of laboratory tests of selected porous asphalt, such as: determination of free space in the mixture of mineral-asphalt, runoff of the binder, sensitivity to water and frost, the loss of grains in the mixture, the design of porous asphalt mixture has been completed.

Keywords: construction of bridges, road bridges pavements, porous asphalt, dehydration of the bridges

DOI: 10.5604/12345865.1223410

