

# Przegląd doświadczeń projektowania i wykonywania nawierzchni porowatych

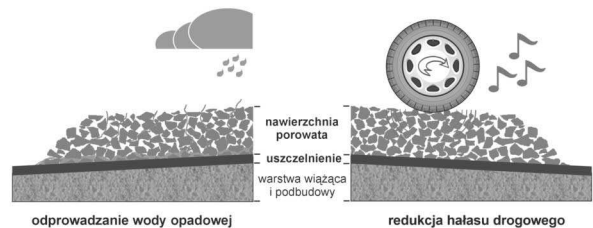
Jacek Olszacki\*

## Wprowadzenie

Stałym dążeniem inżynierii drogowej jest konstruowanie nawierzchni drogowych w taki sposób, aby ruch pojazdów odbywał się po nich w sposób bezpieczny, komfortowy dla użytkownika oraz mało uciążliwy dla otoczenia. Z wymogu bezpieczeństwa ruchu drogowego wynika, że nawierzchnie powinny charakteryzować się odpowiednim współczynnikiem tarcia, równością oraz zapewniać szybkie odprowadzenie wód opadowych z powierzchni jezdni. Zmniejszenie uciążliwości dla otoczenia polega między innymi na ograniczeniu hałasu generowanego na styku opona-nawierzchnia. Jest to jeden z głównych i najbardziej znaczących składników hałasu komunikacji drogowej. „Klasyczne” nawierzchnie drogowe o warstwach ścieralnych z betonu asfaltowego, betonu cementowego, mastyksu grysowego (SMA), asfaltu lanego itd. nie są doskonałe z punktu widzenia emisji hałasu, którego źródłem jest styk toczącej się opony pojazdu po nawierzchni jezdni. Występuje też przy ich stosowaniu problem gromadzących się wód opadowych na powierzchni, które odpowiednio szybko nie odprowadzone na pobocze, stanowią poważne ryzyko wystąpienia poślizgu pojazdu na „klinie wodnym”, zjawiska zwanego *aquaplaning* [1].

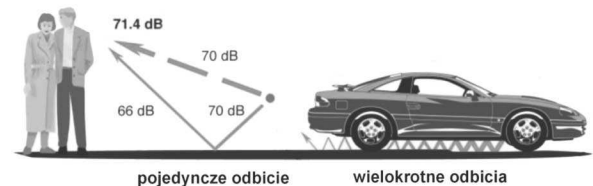
Mając na uwadze powyższe wymagania, drogowcy z wielu krajów od lat dążą do znalezienia rozwiązań, które będą w znacznie mniejszym stopniu obciążone wadami, jakie posiadają nawierzchnie „klasyczne”. Praktycznym rezultatem tych wysiłków jest opracowanie i stosowanie na coraz szerszą skalę warstw ścieralnych nawierzchni o dużej zawartości wolnych przestrzeni. Ich nazewnictwo w polskiej literaturze jest różne. Jedni używają terminów kładących nacisk na ich właściwości wodoprzepuszczalne: „nawierzchnie drenażowe” [2], „nawierzchnie drenujące” [3], inni z kolei zauważają ich znakomite właściwości akustyczne i specyficzną strukturę wewnętrzną, stąd nazwy: „beton asfaltowy porowaty” [4,5,6,7], „nawierzchnie porowate” [4,8], „mieszanki mineralno-asfaltowe porowate” [9]. Fakt niezmienny, jaki przy tym pozostaje, stanowi to, że nawierzchnie te umożliwiają odprowadzenie wody do wnętrza warstwy o dużej porowatości a następnie bezpośrednio pod nią, na pobocze drogi przy jednoczesnej, znaczącej, w porównaniu z nawierzchniami „klasycznymi” redukcji hałasu drogowego. Schemat podstawowych funkcji nawierzchni porowatych stanowiący przyczynę ich stosowania jako warstw ścieralnych nawierzchni drogowych przedstawiono na rys. 1.

Wyjątkowa efektywność w tłumieniu hałasu komunikacyjnego, obniżenie hałasu o 3÷6 dB (A), zawdzięczana jest obecnością w strukturze tych nawierzchni, w objętości 17, nawet do 28÷30% v/v wolnych przestrzeni, stanowiących wzajemnie ze sobą połączoną, przestrzenną sieć porów. Dzięki tej właściwości, nawierzchnie te potrafią skutecznie



Rys. 1. Schematyczne przedstawienie podstawowych funkcji nawierzchni porowatych

tłumić hałas powstający nie tylko w wyniku toczenia się opon po nawierzchni drogi, ale także częściowo tłumić hałas od korpusu poruszającego się pojazdu [10,11]. Praktycznie efekt zmniejszenia hałasu jest taki, jakby nastąpiło zmniejszenie natężenia ruchu komunikacyjnego o połowę [10]. Schematyczne przedstawienie sposobu tłumienia hałasu drogowego przez nawierzchnię porowatą zamieszczono na rys. 2.



Rys. 2. Schematyczne przedstawienie sposobu tłumienia hałasu drogowego przez nawierzchnię porowatą [11]

## Konstrukcje nawierzchni porowatych

W zależności od tego, jaki efekt chce się osiągnąć (dobre odprowadzenie wody, dobre właściwości tłumiące hałas drogowy lub maksymalne własności drenażowe z wymaganym zakresem tłumienia hałasu) w praktyce stosuje się 1- lub 2-warstwowy beton asfaltowy porowaty. Schemat przedstawiający różnicę w przekroju pomiędzy 1- i 2-warstwową nawierzchnią porowatą zaprezentowano na rys. 3.

Nawierzchnie porowate nie są obecnie stosowane na szerszą skalę w polskim drogownictwie. Z tego powodu oczywiste jest, że literatura kra-



Rys. 3. Uproszczony przekrój konstrukcji nawierzchni z zastosowaniem warstwy ścieralnej w postaci 1- i 2-warstwowego betonu asfaltowego porowatego

\* dr inż. Jacek Olszacki, ORLEN Asphalt sp. z o.o.

jowa na ten temat jest raczej znikoma. Nie jest to jednak temat obcy dla drogowców z całego świata, w tym również dla badaczy z krajów europejskich gdzie panuje podobny klimat jak w Polsce. Badania i eksperymenty związane z projektowaniem, wykonywaniem i eksploatacją nawierzchni porowatych trwają tam już od dłuższego czasu. Owocem wiedzy i doświadczenia w obrębie krajów UE jest opracowana i opublikowana przez Europejski Komitet Normalizacyjny (CEN) norma EN 13108-7:2006 *Bituminous mixtures – Material specifications – Part 7: Porous Asphalt*<sup>1</sup>.

W dalszej części artykułu zaprezentowano przegląd najważniejszych informacji dotyczących projektowania, badań i wykonywania nawierzchni porowatych, zaczerpniętych z doświadczeń kilku krajów europejskich (Wielka Brytania, Austria, Niemcy, Hiszpania) oraz Stanów Zjednoczonych Ameryki Północnej i Australii.

### Projektowanie mieszanek mineralno-asfaltowych porowatych

Dobór rodzaju i określenie proporcji poszczególnych składników do wykonywania nawierzchni porowatych polega właściwie na stosowaniu tych samych metod, jakie wykorzystuje się przy projektowaniu tradycyjnych mieszanek mineralno-asfaltowych. **Zmiany w projektowaniu lub konieczność wprowadzenia dodatkowych badań, jest podtykowana przede wszystkim tym, że nawierzchnie porowate mają dużą zawartość wolnych przestrzeni w zagęszczanej mieszance i stanowią one wzajemnie ze sobą połączone otwarte pory.**

Najczęściej stosowane metody projektowania nawierzchni porowatych są, tak jak w przypadku nawierzchni „klasycznych”, metodami stanowiącymi połączenie metod obliczeniowych i doświadczalnych. Przy ustalaniu składu granulometrycznego mieszanki mineralnej, najczęściej wykorzystuje się metodę krzywych granicznych najlepszego uziarnienia, a do określania optimum asfaltu, stabilizatora itp. używa się standardowych do tego celu badań, połączonych z testami „na spływność”, kontroli adhezji asfaltu do kruszywa i bardzo często stosowanego w tym celu, testu „Cantabro”.

Jedną z istotnych zmian przy projektowaniu nawierzchni porowatych w stosunku do nawierzchni „klasycznych”, jest również sposób zagęszczania próbek. Zmiana ta jest stosowana głównie w tych krajach, gdzie doświadczenie w wykonywaniu nawierzchni porowatych jest największe. Generalnie rzecz biorąc, odchodzi się już od zagęszczania próbek laboratoryjnych nawierzchni porowatych za pomocą popularnego ubijaka Marshalla. Uważa się, że metoda ta źle symuluje warunki statycznego zagęszczania nawierzchni porowatej walcem na drodze. Ubijak Marshalla powoduje dynamiczne zagęszczanie mieszanki, co w przypadku nawierzchni porowatych, prowadzi do rozkruszania ziaren kruszywa, a zatem niszczenia wewnętrznej, szkieletowej struktury zagęszczanej mieszanki mineralno-asfaltowej. Co prawda badacze niektórych krajów próbują ominąć ten problem, obniżając energię zagęszczania próbek z tradycyjnego 2x75 na 2x50, ale i tak ryzyko zniszczenia struktury jest duże.

Znacznie bliższa warunkom rzeczywistego zagęszczania i często stosowana w przypadku wykonywania próbek nawierzchni porowatych jest prasa żyrotorowa. Do zagęszczania próbek w prasie żyrotorowej niezbędne jest przed ich wykonaniem, wygrzewanie mieszanki mineralno-asfaltowej w temperaturze 135°C przez 4 h. Tak przygotowaną mieszankę, odważa się w odpowiedniej porcji i zagęszcza w prasie pod ciśnieniem roboczym 0,6 MPa przy prędkości obrotowej 30-33 obr/min i zaprojektowanej liczbie obrotów formy. Dodatkowo, zaletą takiego urządzenia jest to, że podczas jego pracy, można uzyskiwać pierwsze informacje o projektowanej mieszance [12].

Poniżej przedstawiono bardzo uproszczony przegląd metod, jakie stosuje się przy projektowaniu nawierzchni porowatych w krajach o dużym doświadczeniu w tym zakresie.

### USA

Porowate mieszanki mineralno-asfaltowe, określane w USA jako „Open-Graded Friction Courses” (OGFC), „Porous Friction Courses” (PFC), lub „Porous Asphalt” (PA), projektuje się aktualnie w oparciu o trzy wdrożone w tym celu metody. Najbardziej rozpowszechnioną, stosowaną do tej pory w wielu stanach, metodą projektowania, są wytyczne określone jako „Open-Graded Friction Courses FHWA Mix Design Method” [13], opracowane przez Federalną Administrację Autostrad (*Federal Highway Administration – FHA*).

W wyniku zebrania doświadczeń z Europy i różnych stanów USA oraz badań własnych, w roku 2000 *Narodowe Centrum Technologii Nawierzchni Asfaltowych (National Center for Asphalt Technology – NCAT)* opracowało i wdrożyło metodę projektowania i utrzymania tzw. „nowej generacji nawierzchni porowatych” z użyciem do ich wykonania zarówno asfaltów modyfikowanych jak i zwykłych [14].

Pomimo obowiązujących w Stanach Zjednoczonych już dwóch metod projektowania nawierzchni porowatych, ten specyficzny rodzaj struktury betonu asfaltowego skłonił wielu badaczy amerykańskich do zdobywania dalszego doświadczenia i pogłębiania wiedzy nad tą materią. W rezultacie tych prac w 2005 r. wprowadzono, początkowo tylko w stanie Teksas, metodę projektowania nawierzchni porowatych, określoną jako „Mix design for Permeable Friction Course (TxDOT)”. Podobnie jak metoda opracowana przez NCAT, zawiera ona wytyczne do projektowania nawierzchni w dwóch grupach – na asfaltach drogowych zwykłych i modyfikowanych [15,16].

Obydwie nowoczesne metody projektowania (*NCAT i TxDOT*) opierają się na systemie projektowania nawierzchni *Superpave* i przewidują wyłącznie zagęszczanie próbek w prasie żyrotorowej zwanej *Superpave Gyrotory Compaction (SGC)* z energią zagęszczania równą 50 obrotów. W przypadku wytycznych NCAT, zawartość wolnych przestrzeni w zagęszczanej mieszance mineralno-asfaltowej powinna być większa niż 18% v/v, a według wytycznych TxDOT, powinna zawierać się w przedziale 18 ÷ 22% v/v [14,15,17].

### Australia

Australijczycy definiują nawierzchnię asfaltową porowatą jako „Open-Graded Asphalt” (OGA). Preferują przy tym wykonywanie nawierzchni porowatych w ramach trzech wielkości uziarnienia: OG10, OG14 i OG20. OG10 i OG14 określają jako typ I – przeznaczony dla ruchu lekkiego, OG20 jako typ II – przeznaczony pod ruch ciężki.

<sup>1</sup> Norma EN 13108-7 została wprowadzona do zbioru Polskich Norm jako PN-EN 13108-7:2006 (U) pod tytułem *Mieszanki mineralno-asfaltowe – Wymagania – Część 7: Beton asfaltowy porowaty*.

Sposób przygotowania próbek jest dowolny: w metodzie Marshalla (2x50 uderzeń na stronę próbki), a w przypadku zagęszczania prasą żyratorową (*Australian Gyrotory Compaction – AGC*) z energią zagęszczania równą 80 obrotów. Zawartość wolnych przestrzeni w zagęszczonej mieszance mineralno-asfaltowej musi być większa niż 20% v/v – typ I i 20 ÷ 25% v/v – typ II [18,19].

### **Wielka Brytania**

Beton asfaltowy porowaty, określany w Wielkiej Brytanii jako „*Porous Asphalt*” (PA) projektuje się dotychczas według normy BS 4987-1:2005 [20]. Zawiera ona wymagania dotyczące mieszanki mineralnej, mineralno-asfaltowej, rodzaju i zawartości lepiszcza pod kątem zaprojektowania dwóch rodzajów betonu asfaltowego porowatego: PA 6/20 mm, przeznaczonego na nawierzchnie autostrad i PA 2/10 mm do pozostałych zastosowań. Obecnie normę BS 4987-1:2005 zastąpi nowy przepis, aplikujący postanowienia europejskiej normy EN 13108-7:2006 „*Bituminous mixtures – Material specifications – Part 7: Porous Asphalt*”.

### **Hiszpania**

Hiszpanie w swoich przepisach preferują wykonywanie tylko jednego rodzaju betonu asfaltowego porowatego „*Porous Asphalt*” PA12. Opierają się przy tym dotychczas na doświadczeniach brytyjskich (BS 4987-1:2005). Przy projektowaniu nawierzchni porowatych postępują metodą Marshalla, próbki zagęszczane są z energią 2x50 uderzeń na stronę. Zawartość wolnych przestrzeni w zagęszczonej mieszance mineralno-asfaltowej musi być większa od 20% v/v [21, 22].

### **Niemcy**

W Niemczech, tradycja i doświadczenie w wykonywaniu nawierzchni porowatych zwanych „*offenporiger Asphalt*”, „*Drainasphalt*” czy „*Flüsterasphalt*” jest dosyć znaczna. Wykonywane są nawierzchnie porowate z mieszanek o uziarnieniu: 0/8 mm (OPA 0/8) i 0/11 mm (OPA 0/11). Przy ich projektowaniu wykorzystuje się próbki Marshalla zagęszczane ubijakiem z energią 2x50 uderzeń na stronę. Zawartość wolnych przestrzeni w zagęszczonej mieszance mineralno-asfaltowej powinna zawierać się w przedziale 22 ÷ 28% v/v.

Dotychczas projektowanie i wykonywanie nawierzchni porowatych odbywało się według instrukcji wydanej w 1998 r. „*Merkblatt für den Bau offenporiger Asphaltdeckschichten*” [24]. Przepis ten zastąpi w Niemczech, podobnie jak w innych krajach UE, nowy dokument wprowadzający postanowienia normy EN 13108-7.

### **Austria**

Austriacy korzystają dotychczas przy projektowaniu mieszanek mineralno-asfaltowych porowatych z wytycznych zawartych w tzw. *Technische Vertragsbedingungen (TVS)*, opracowanych przez organizację *Austriackie Stowarzyszenie Badawcze Drogownictwa i Komunikacji* (Österreichische Forschungsgemeinschaft Straße und Verkehr). Na drogach Austrii stosowany jest beton asfaltowy porowaty „*Drainasphalt*”, tylko o uziarnieniu do 11 mm (DA 11), który projektuje się metodą Marshalla, próbki zagęszcza się z energią 2x50 uderzeń na stronę. Zawartość wartości wolnych przestrzeni w zagęszczonej mieszance mineralno-asfaltowej powinna być większa bądź równa 17% v/v [23].

W Austrii, podobnie jak innych krajach UE, dotychczasowe przepisy zastąpią nowe, uwzględniające postanowienia normy EN 13108-7.

## **Składniki betonu asfaltowego porowatego**

### **Kruszywa**

Mieszanki mineralne, stosowane do wykonywania nawierzchni porowatych charakteryzują się, podobnie jak mieszanki do produkcji SMA itp., krzywą o nieciągłym charakterze uziarnienia. Jest to warunek konieczny do tego, aby uzyskać charakterystyczną dla tych nawierzchni – zawartość wolnych przestrzeni w zagęszczonej mieszance mineralno-asfaltowej w przedziale 17 ÷ 30% v/v. Osiągnięcie tak dużej porowatości jest możliwe tylko i wyłącznie wtedy, gdy „odciąży się”, maksymalnie jak to możliwe (jeszcze bardziej niż dla SMA) stos okruszowy o udział frakcji pośrednich kruszyw.

Aby taka mieszanka, tworzyła stabilny, odporny na odkształcenia mechaniczne „szkielet”, musi być wykonana z najlepszej jakości materiałów mineralnych. Użyte do jej wykonania kruszywo, musi dobrze wzajemnie się klinować i być odporne na rozkruszenia ziaren. W przypadku nawierzchni porowatych, na skutek charakteryzującej tą nawierzchnię „szorstkiej makrotekstury”, kruszywo wierzchnie jest o wiele bardziej narażone na ścieranie pod ruchem samochodowym niż jest to w przypadku wierzchniej warstwy nawierzchni szczelnych. Dlatego też, użyte kruszywa, oprócz tego, że muszą być wysokiej klasy kruszywami łamanymi, muszą charakteryzować się odpowiednim kształtem, odpornością na ścieranie, polerowalnością itp.

Jednym z podstawowych testów oceny przydatności kruszyw do nawierzchni porowatych stosowanym w tym celu przez wiele krajów, jest badanie w bębnie Los Angeles. Rozpatrując kryteria, jakie obowiązują w poszczególnych krajach, można stwierdzić, że najwyższe wymagania dotyczące wskaźnika Los Angeles postawione są w Wielkiej Brytanii. Wskaźnik ten nie może przekraczać 12% [20]. Średnie wymagania stawiają takie kraje jak Austria, Niemcy i Hiszpania (LA ≤ 20%) [22, 23,25]. Kruszywo najmniej odporne na rozdrabnianie i ścieralność, dopuszcza się w Stanach Zjednoczonych, gdzie wskaźnik LA może dochodzić nawet do 30% [14,15,17].

Jest jeszcze wiele innych kryteriów dobierania kruszyw do wykonywania nawierzchni porowatych, przyjętych przez poszczególne, analizowane kraje. Przykładowo należą do nich: wymagania w stosunku do kanciastości kruszywa drobnego, odporności na polerowanie, zawartości związków chemicznych tj. węgla wapnia czy wodorotlenku wapnia itp.

W tabeli 1 zestawiono dotychczasowe wymagania poszczególnych krajów w stosunku do najlepszego pola uziarnienia mieszanek mineralnych w betonie asfaltowym porowatym.

### **Asfalt, dodatki, i modyfikatory**

Rodzaje lepiszczy asfaltowych stosowanych do wykonywania nawierzchni porowatych są bardzo różne i zależne od parametrów asfaltów obowiązujących w danym kraju, jako mierników ich klasyfikacji. Przeważająca część drogowców z Europy i nie tylko, posługuje się podziałem lepiszczy opartym na pomiarze penetracji w 25°C. Z kolei w USA (stary system podziału, obecnie wypierany przez Superpave) przewiduje podział lepiszczy na podstawie ich lepkości w temperaturze 60°C. W tym przypadku pozostałe właściwości asfaltów tj. temperatura mięknięcia, temperatura łamliwości są przypisywane do konkretnej klasy asfaltu.

Przy doborze optymalnej ilości asfaltu w mieszance mineralno-asfaltowej porowatej stosowane są te same, co najwyższej rozszerzone lub zmodernizowane metody badań, które wykorzystuje się przy projektowa-

**Tabela 1. Przegląd wymagań w stosunku do najlepszego pola uziarnienia mieszanek mineralnych w betonie asfaltowym porowatym, stosowanym w USA, Australii, Wielkiej Brytanii, Hiszpanii, Austrii i Niemczech [14,15,17,18,20,22,23,24]**

mm	USA [14,15,17]						Australia [18]				Wielka Brytania [20]				Hiszpania [22]		Austria [23]		Niemcy [24]			
	Metoda NCAT		metoda TxDOT				OG 10		OG 14		PA 6/20		PA 2/10		PA 12		DA 11		OPA 0/8		OPA 0/11	
	OGFC		PFC asfalt PG 76-XX		PFC Asfalt A-R																	
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
45																						
31,5																						
26,5																						
22,4																						
20																						
19	100		100		100					100												
16																						
14																						
13,2																						
12,5	80	100	80	100	95	100																
11,2																						
10																						
9,5	35	60	35	60	50	80	85	100	45	70												
8																						
6,7																						
6,3																						
5,6																						
5																						
4,75	10	25	1	20	0	8	20	45	10	25												
4																						
2,36	5	10	1	10	0	4	10	20	7	15												
2																						
1,18																						
1																						
0,6																						
0,5																						
0,3																						
0,25																						
0,15																						
0,09																						
0,075	2	4	1	4	0	4	2	5	2	5												
0,063																						

niu innych mieszanek. Jedne z nich oparto na doświadczeniach, inne wykorzystują prace badawcze, a jeszcze inne uwzględniają właściwości mechaniczne mieszanek.

Najbardziej popularną metodą określania optymalnej zawartości asfaltu w mieszankach mineralno-asfaltowych tradycyjnych jest metoda Marshalla. Konieczna do osiągnięcia w przypadku mieszanki porowatej

znaczna zawartość wolnych przestrzeni w zagęszczonej mieszance mineralno-asfaltowej (17 ÷ 30% v/v) wymusza kontrolę doboru optimum zawartości asfaltu i stabilizatora poprzez dodatkowe badania sprawdzające trwałość porowatej struktury mieszanki w warunkach obciążenia dynamicznego i działania wody na wewnętrzną strukturę nawierzchni.

Typowymi przykładami badań często stosowanymi do określania optimum zawartości lepiszcza, stabilizatora i innych dodatków, np. polepszających adhezję kruszywa do asfaltu są testy:

- ❖ „Cantabro”,
- ❖ „na spływność”,
- i
- ❖ „na odmycie”.

**Test „Cantabro”** polega na określeniu ubytku masy zagęszczonej próbki mieszanki porowatej włożonej do bębna Los Angeles (bez kul), po 300 jego obrotach z prędkością 30-33 obr/min. Próbki mogą być przygotowane w ubijaku Marshalla lub prasie żyatorowej, poddawane lub nie wcześniejszemu działaniu wody przez określony czas. Temperatura badania nie powinna być większa niż 35°C. Za wynik testu, podobnie jak w przypadku badania kruszyw metodą Los Angeles, przyjmuje się procentowy udział masy mieszanki mineralno-asfaltowej oddzielonej od próbki na skutek poddawania jej „torturom” uderzania o ścianki obracającego się bębna [27]. Wynik tego testu, w metodach wielu krajów jest podstawą do ostatecznego stwierdzenia, czy optimum zawartości asfaltu zaprojektowano prawidłowo, czy też nie.

**Test „na spływność”**, polega na wykonaniu próbki niezagęszczonej mieszanki mineralno-asfaltowej i umieszczeniu jej w zlewce szklanej. Po 60 minutach wygrzewania próbki razem ze zlewką w suszarce w temperaturze 170°C, należy próbkę „wysypać” ze zlewki. Wynikiem testu jest procentowy udział mastyksu, który pozostał na dnie i ściankach naczynia w stosunku do całej mieszanki mineralno-asfaltowej porowatej [12].

**Test „na odmycie”** asfaltu od kruszywa jest subiektywną metodą polegającą na wizualnej ocenie oddzielenia lepiszcza od kruszywa na niewielkiej próbce niezagęszczonej mieszanki mineralno-asfaltowej. Próbki przed badaniem są kondycjonowane w wodzie w okresie 10 minut, a niekiedy w czasie 24 godzin. Wynik badania stanowi procentowe oszacowanie udziału kruszywa, od którego nastąpiło odmycie mastyksu [12, 28].

Poniżej przedstawiono informacje dotyczące doboru rodzaju, ilości lepiszcza i innych modyfikatorów do betonu asfaltowego porowatego w poszczególnych krajach.

## USA

W USA obowiązuje dobór rodzaju lepiszcza do mieszanek mineralno-asfaltowych (w tym porowatych) uwzględniający warunki klimatyczne na danym terenie, gdzie wykonana będzie nawierzchnia. Dobór optimum zawartości lepiszcza według metody *Superpave* opiera się w pierwszej kolejności na analizie zawartości wolnych przestrzeni, jaką powinna posiadać zagęszczona mieszanka mineralno-asfaltowa, zawartości wolnych przestrzeni w mieszance mineralnej, zawartości wolnych przestrzeni wypełnionych asfaltem oraz relacji pomiędzy zawartością wypełniacza a efektywną zawartością lepiszcza [12].

Trzy metody projektowania mieszanek mineralno-asfaltowych w Stanach Zjednoczonych (*FHWA*, *NCAT* i *TxDOT*) proponują różne kryteria doboru asfaltu i jego zawartości w mieszankach mineralno-asfaltowych porowatych. Według najstarszej z tych metod, (wprowadzonej w roku 1990 przez *FHA* i obecnie wypieranej przez pozostałe, nowocze-

śniejsze metody) określa się optymalną zawartość asfaltu metodą obliczeniową – używając do tego celu wzorów empirycznych [13].

Według metody *NCAT*, asfalty jakie należy stosować do wykonywania nawierzchni porowatych obciążonych ruchem średnim i ciężkim muszą być lepszymi od dużej sztywności i sklasyfikowanymi według *Superpave* (PG x-y). W przypadku nawierzchni przeznaczonych dla ruchu lekkiego do średniego dopuszcza się jeszcze asfalty modyfikowane polimerami sklasyfikowane według starych oznaczeń [14].

Określenie optimum zawartości asfaltu wg *NCAT* bazuje na przeprowadzeniu serii testów laboratoryjnych, używając do tego celu zagęszczonych i niezagęszczonych próbek mieszanki mineralno-asfaltowej z różną zawartością asfaltu i stabilizatora w postaci włókien celulozowych bądź mineralnych w ilości 0,2 ÷ 0,5% m/m. Próbki należy zagęszczać w *SGC* z energią zagęszczania równą 50 obrotów. Optimum asfaltu będą zawierały próbki, które pozytywnie przejdą test spływności (< 0,3), będą miały zawartość wolnych przestrzeni większą od 18% v/v, oraz wynik testu „Cantabro” mniejszy niż 20 [14, 29].

Metoda *TxDOT* dopuszcza dwa rodzaje asfaltów do wykonywania mieszanek mineralno-asfaltowych porowatych. Pierwszy rodzaj reprezentują asfalty typu I i II modyfikowane minimum 15% m/m dodatkiem miazgi gumowej (ang. *Asphalt Rubber*, w skrócie *AR*). Drugi rodzaj, to asfalty oparte na funkcjonalnej klasyfikacji *Superpave*. Należą do nich asfalty modyfikowane polimerami rodzaju funkcjonalnego PG x-y gdzie minimum wartości x (oznaczający średnią, 7-dniową maksymalną temperaturę nawierzchni) wynosi 76. Wobec tego, muszą to być asfalty klasy PG 76-y lub wyższej. Zastosowanie asfaltu PG 76-y w mieszance betonu asfaltowego porowatego powinno następować z udziałem 1,0 ÷ 2,0% m/m wapna hydratyzowanego w celu polepszenia adhezji asfaltu do kruszywa i 0,2 ÷ 0,5% m/m stabilizatora w postaci włókien celulozowych bądź mineralnych [15].

W celu oznaczenia optimum zawartości lepiszcza wg metody *TxDOT*, przygotowuje się próbki w *SGC* z energią zagęszczania równą 50 obrotów. Optimum zawartości asfaltu w mieszance określa się w oparciu o wymaganą zawartość wolnych przestrzeni w mieszance mineralno-asfaltowej oraz wykonując testy „na spływność”, „odmycie”, a następnie trwałość na uszkodzenia mechaniczne – test „Cantabro”- na próbkach które przeszły dwa pierwsze testy z wynikiem pozytywnym [30,31]. W przypadku badania spływności, wynik nie może być większy od 0,2. W przypadku testu „Cantabro”, optimum zawartości lepiszcza będą reprezentowały próbki, których wynik będzie mniejszy od 20 [15,29,30,31].

Szacunkowa zawartość asfaltu w przypadku zastosowania asfaltów sklasyfikowanych wg *Superpave* opartej na wytycznych *TxDOT* wynosi 6,0 ÷ 7,0% m/m, a tam gdzie stosuje się asfalt modyfikowany miazgą gumową (*AR*) ilość ta powinna wynosić aż 8,0 ÷ 10,0% m/m! [15].

## Australia

Proces projektowania optimum zawartości lepiszcza w mieszance mineralno-asfaltowej porowatej według wytycznych australijskich, przebiega po wstępnym jego oszacowaniu tradycyjnym sposobem obliczeniowym, w oparciu o test „na spływność”. Jego wynik w tym przypadku nie może być większy niż 0,3. Badaniu temu poddaje się próbki niezagęszczonej mieszanki mineralno-asfaltowej z dodatkiem stabilizatora w postaci włókien celulozowych w ilości 0,3 ÷ 0,5% m/m. Następnie, z mieszanek mineralno-asfaltowych o trzech różnych zawartościach asfaltu i parametrach spełniających wymagania testu spływności, wyko-

nuje się próbki zagęszczane z energią 80 obrotów w odpowiedniku amerykańskiej prasy żyratorowej, urządzeniu zwanym AGC (*Australian Gyrotory Compactor*). Próbkę te poddawane są następnie testowi na wytrzymałość mechaniczną [18].

Badanie odporności na ścieranie i rozdrabnianie betonu asfaltowego porowatego odbywa się, podobnie jak w innych krajach, wykonując test „Cantabro”. Optimum asfaltu będzie zawierać mieszanka mineralno-asfaltowa spełniająca przyjęte pod tym względem przez Australijczyków kryteria, które wynoszą odpowiednio: próbki kondycjonowane < 25 dla typu I (ruch lekki) i < 20 dla typu II (ruch ciężki); próbki niekondycjonowane < 35 (typ I) i < 30 (typ II). Maksymalną ilość asfaltu w mieszance mineralno-asfaltowej ogranicza również wymagana zawartość wolnych przestrzeni w zagęszczonej mieszance mineralno-asfaltowej. Według wymagań australijskich musi być ona większa od 20% v/v – dla mieszanek typu I i zawierać się w przedziale 20 ÷ 25% v/v – dla mieszanek typu II [18].

Według zaleceń australijskich, w mieszankach typu I tj. przeznaczonych na nawierzchnie obciążone ruchem lekkim można stosować asfalty drogowe z ich zawartością w stosunku do masy mieszanki mineralnej: OG10 – 4,5 ÷ 5,5% m/m, OG14 – 4,0 ÷ 5,0% m/m. Natomiast w mieszance typu II tj. dla ruchu ciężkiego, przewiduje się stosowanie wyłącznie asfaltów modyfikowanych z ich zawartością OG20 – 4,5% ÷ 5,5% m/m [18].

### **Wielka Brytania**

W Wielkiej Brytanii do obydwu mieszanek PA 6/20 mm i PA 2/10 mm stosuje się asfalty modyfikowane oraz asfalty zwykłe 100/150 lub 160/220. Anglicy zakładają z góry, ile asfaltu powinna zawierać dana mieszanka mineralno-asfaltowa porowata. W przypadku PA 6/20 ilość lepiszcza w mieszance powinna wynosić 3,7 lub 4,5% m/m a dla PA 2/10 – 5,2% [20].

Mając w ten sposób sprecyzowane wymagania, tak dobiera się ilość modyfikatorów w postaci włókien organicznych, mineralnych bądź kauczuku naturalnego lub sztucznego, aby spełnić warunki testu „na spływność” i specyficzne, laboratoryjne badania wodoprzepuszczalności. W celu zmniejszenia ryzyka odmywania lepiszcza od agregatu mineralnego, Anglicy preferują dodatek wapna hydratyzowanego w ilości 2% w stosunku do masy mieszanki mineralnej [32,33].

### **Hiszpania**

Minimalną zawartość asfaltu w warunkach hiszpańskich określa się na podstawie przeprowadzonego testu „Cantabro”. Do badań wykorzystywane są próbki Marshalla zagęszczone z energią 50 uderzeń na stronę. Z kolei maksymalną zawartość lepiszcza wymusza wymagana, minimalna zawartość wolnych przestrzeni w zagęszczonej mieszance, wynosząca 20% v/v.

Od 2001 roku wymaga się w Hiszpanii wykonywania testu „Cantabro” zarówno na próbkach suchych jak i wilgotnych (po sezonowaniu 1 dzień w wodzie w temperaturze 60°C). Wymagania pod tym względem regulują wytyczne hiszpańskie, gdzie wynik testu „Cantabro” próbek suchych badanych w temperaturze 25°C musi być: < 20 – dla kategorii ruchu T00-T1, < 25 – dla kategorii ruchu T2-T3; natomiast próbek wilgotnych: < 35 dla T00-T1, < 40 dla T2-T3. Kategorie T00, T1, T2 i T3 są kategoriami ruchu ciężkiego [21,22].

Lepiszczem stosowanym przez Hiszpanów do wykonywania nawierzchni porowatych są wyłącznie asfalty modyfikowane o penetracji:

60/70 i 80/100. Optymalna zawartość asfaltu według zaleceń hiszpańskich powinna zawierać się w granicach 4,5 ÷ 5,5% m/m [21,22].

### **Austria**

W Austrii dopuszcza się do wykonywania mieszanek mineralno-asfaltowych porowatych DA 11 zarówno asfalty drogowe zwykłe (50/70, 70/100, 160/220) jak i modyfikowane (PmB 15-35, PmB 30-50, PmB 50-90S, PmB 60-90, PmB 90-140). Wynik testu „Cantabro” decydujący o przyjęciu zawartości optimum asfaltu w mieszance musi być mniejszy bądź równy 35. Według zaleceń austriackich, minimalna zawartość asfaltu w mieszance mineralno-asfaltowej porowatej wynosi 5,2% m/m [23].

### **Niemcy**

Niemieckie przepisy zalecają stosowanie do mieszanek mineralno-asfaltowych porowatych OPA 0/11 i OPA 0/8 wyłącznie asfaltów modyfikowanych (PmB 45 lub PmB 65). Dopuszcza się stosowanie również innych lepiszczy, pod warunkiem spełnienia przez mieszanki tych samych warunków normowych jak z zastosowaniem asfaltów modyfikowanych.

Jako stabilizator należy stosować włókna mineralne bądź celulozowe w ilości większej bądź równej 0,5% m/m. Zagęszczanie próbek może być wykonywane ubijakiem Marshalla bądź przy pomocy prasy żyratorowej. Przy określaniu optimum zawartości lepiszcza Niemcy, podobnie jak to jest w innych krajach, posługują się testem „Cantabro”. Wynik badania mieszanki mineralno-asfaltowej porowatej z przyjętym optimum zawartości asfaltu nie może być większy jak 35. Zalecana zawartość asfaltu w mieszance zawiera się w granicach 5,3 ÷ 6,5% m/m w mieszance OPA 0/11 i 5,5 ÷ 6,8% m/m w OPA 0/8 [24].

## **Ogólne wskazówki dotyczące zastosowania nawierzchni porowatych**

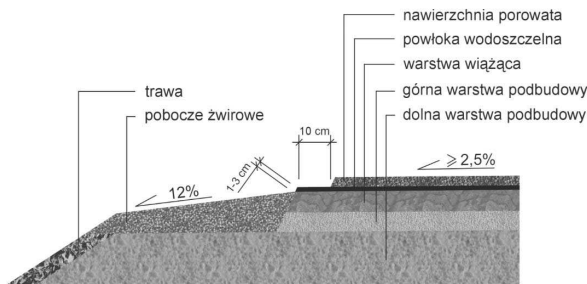
Istotą rozwiązania konstrukcyjnego drogi z nawierzchnią porowatą jest zastosowanie wierzchniej warstwy lub warstw z betonu asfaltowego porowatego, oddzielonej od pozostałych warstw nośnych nawierzchni (wiążącej, podbudowy) powłoką wodoszczelną. W ten sposób woda wnikać w otwartą strukturę porowatej warstwy ścieralnej odprowadzana jest, dzięki spadkowi poprzecznemu, bezpośrednio na pobocze lub do liniowego systemu odwodnienia kanalizacji deszczowej.

Sposobów rozwiązań konstrukcyjnych z zastosowaniem tych nawierzchni wraz z systemem odwodnienia jest wiele. Znajdują one zastosowanie w miastach (na placach parkingowych, ulicach i ścieżkach rowerowych), jak i też poza miastem (na trasach szybkiego ruchu, autostradach itp.). Jeden z typowych przykładów rozwiązania konstrukcyjnego drogi zamiejsciej z 1-warstwową nawierzchnią porowatą przedstawiono na rys. 4.

Należy zwrócić uwagę na to, że konstrukcja tej nawierzchni nie zawiera nic szczególnego w porównaniu z tradycyjną konstrukcją, za jednym małym wyjątkiem – porowatej warstwy ścieralnej w postaci swego rodzaju cienkiej „nakładki”.

**Aby konstrukcja nawierzchni z porowatą warstwą ścieralną mogła dobrze funkcjonować muszą być spełnione następujące warunki:**

- ❖ należy układać warstwę ścieralną nawierzchni porowatej z dość dużym spadkiem poprzecznym, gdzie wg zaleceń niemieckich, nie może być on mniejszy niż 2,5% [24].



Rys. 4. Typowy przykład rozwiązania konstrukcyjnego drogi zamiejscowej z 1-warstwową nawierzchnią porowatą pełniącą funkcję warstwy ścieralnej [24]

**Jest to konieczne po to, aby zapewnić maksymalnie szybkie i pewne odprowadzenie wody wchłoniętej przez nawierzchnię porowatą na pobocze drogi lub do odwodnienia liniowego. Wyeliminuje się w ten sposób ryzyko zalegania wody w porach, a w zimie może to doprowadzić do nadmiernego oblodzenia nawierzchni,**

- ❖ **musi być zapewnione bardzo dobre uszczelnienie pomiędzy warstwą wiążącą a warstwą ścieralną nawierzchni porowatej [24], aby nie następowało wnikanie wody w głąb konstrukcji nawierzchni.**

Wykonanie uszczelnienia według przepisów niemieckich [24], polega na spryskaniu podłoża emulsją asfaltową modyfikowaną bądź asfaltem modyfikowanym w ilości 1,5 do 2,2 kg/m<sup>2</sup>. Następnie, po aplikacji lepiszcza, należy posypać nawierzchnię czystym bądź lekko otoczonym asfaltem kruszywem łamanym 5/8 lub 8/11, dozowanym w ilości:

- ❖ 5 ÷ 8 kg/m<sup>2</sup> w przypadku użycia kruszywa 5/8 mm lub
- ❖ 7 ÷ 10 kg/m<sup>2</sup> w przypadku użycia kruszywa 8/11 mm.

Warstwę kruszywa należy dobrze wgnieść walcem w zagruntowane lepiszczem podłożem. Ilości użytego lepiszcza, kruszywa i jego uziarnienie powinny być tak dobrane, aby po przygotowanym w ten sposób uszczelnionym podłożu mogły się poruszać maszyny drogowe bez ryzyka przyklejania się lepiszcza i grys do kół pojazdów roboczych. Dopiero na tak przygotowanym podłożu, po ponownym spryskaniu go emulsją lub asfaltem należy układać i zagęszczać mieszankę mineralno-asfaltową porowatą [24].

W przypadku układania porowatej warstwy ścieralnej w postaci 2 różnoziarnistych mieszanek, należy to wykonywać metodą kompaktową, która nie wymaga stosowania środków do sklejania międzywarstwowego. Zastosowanie emulsji polepszającej szczepność warstw, spowodowałaby bowiem zatkanie porów w dolnej strukturze nawierzchni, a zatem 2-warstwowa nawierzchnia porowata przestałaby istnieć [24].

Nawierzchnie porowate charakteryzują stosunkowo małą w porównaniu z nawierzchniami „klasycznymi”, odporność na działanie sił ścinających. Nie wskazane jest zatem ich stosowanie na krętych drogach, pochyłościach większych od 5% i skrzyżowaniach (także o ruchu okrężnym). Unika się także ich zastosowań na placach, gdzie istnieje konieczność manewrowania ciężkiego sprzętu, w zatokach parkingowych i autobusowych itp. [34].

Ze względu na przyspieszone ryzyko zatykania porów w strukturze betonu asfaltowego porowatego, wskazane jest tylko stosowanie go w miejscach gdzie istnieje wysoka kultura czystości poruszających się pojazdów

(autostrady, drogi szybkiego ruchu) oraz tam gdzie bezpośrednie otoczenie drogi nie wpłynie na przyspieszoną kolmatację porów a więc wszędzie tam, gdzie ryzyko zanieczyszczenia nawierzchni jest minimalne. Bezcelowe jest więc układanie tych nawierzchni na drogach gdzie odbywa się ruch pojazdów rolniczych i drogach, w obrębie których rośnie dużo drzew liściastych (zatykanie porów przez opadające głównie jesienią, liście) [34].

Natomiast ze względu na większą podatność tych nawierzchni na uszkodzenia mechaniczne, niewskazane jest ich stosowanie również tam, gdzie obowiązuje ruch z łańcuchami na koła w okresie zimy [34].

### Ogólne wskazówki dotyczące wykonywania nawierzchni porowatych

Poniżej zaprezentowano kilka praktycznych wskazówek opartych na doświadczeniach niemieckich w bezpośrednim wykonywaniu nawierzchni porowatych na budowie [34]:

- ❖ należy zadbać o dobre uszczelnienie podłoża pomiędzy nawierzchnią porowatą a konstrukcją, na której jest ona układana. Zapewni to ochronę przed wnikaniem wilgoci i w związku z tym odpowiednią trwałość konstrukcji;
- ❖ należy zapewnić ciągłość dostaw mieszanki na plac budowy i odpowiednio krótki czas przechowywania od chwili jej wyprodukowania do wbudowania (nie więcej niż 1,0h);
- ❖ dozwolone jest zagęszczanie mieszanki mineralno-asfaltowej porowatej wyłącznie w sposób statyczny (zagęszczanie dynamicznie jest niedopuszczalne);
- ❖ temperatura wbudowania mieszanki powinna oscylować w granicach 130 ÷ 160°C;
- ❖ walce do zagęszczania mieszanki powinny być zaopatrzone w system grzewczy wału, każdorazowo poddany kontroli jego funkcjonowania przed rozpoczęciem zagęszczania;
- ❖ należy dążyć do tego aby wbudowywanie mieszanki następowało w pełnej szerokości nawierzchni (np. stosować maszyny z możliwością regulacji szerokości układania);
- ❖ należy dążyć do maksymalnego ograniczania szwów technologicznych, a jeżeli takie wystąpią, nie należy ich powlekać środkami uszczelniającymi typu masy zalewowe, emulsja itp.;
- ❖ należy w miarę możliwości unikać chodzenia po świeżo wbudowanej mieszance;
- ❖ dopuszczenie nawierzchni do ruchu, powinno nastąpić dopiero po dobrze wychłodzonej nawierzchni (około 24 godzin od zakończenia zagęszczania);
- ❖ do wykonania nawierzchni, produkcji i dostaw mieszanki na plac budowy należy dobrać firmy mające duże doświadczenie;
- ❖ ważne jest, aby do połączenia górnej i dolnej 2-warstwowej nawierzchni porowatej nie stosować żadnych środków polepszających przyczepność jak np. asfalt lub emulsja asfaltowa;
- ❖ wskazana jest bieżąca kontrola zagęszczania wbudowanej mieszanki za pomocą specjalistycznej aparatury (np. aparatury izotopowej) w celu osiągnięcia optymalnego zagęszczenia;
- ❖ układanie i zagęszczanie poszczególnych warstw nawierzchni (w tym wiążącej i górnej podbudowy) może nastąpić po wykonaniu odwodnień i odbiorze systemu odwodnień liniowych nawierzchni;
- ❖ należy dbać o to, aby odwodnienia liniowe były dokładnie oczyszczone przed ułożeniem warstw nawierzchni porowatych;

- ❖ ułożenie i zagęszczenie warstw nawierzchni porowatych powinno stanowić jeden z ostatnich etapów realizacji projektu. Inne prace tj. ekrany akustyczne, kładki dla pieszych itp. powinny być wykonane przed pracami nawierzchniowymi, w celu maksymalnego zmniejszenia ryzyka zabrudzenia nawierzchni w trakcie prowadzonych robót.

### Podstawowe wady i zalety nawierzchni porowatych

Zastosowanie w warstwie ścieralnej połączonego w jeden „systemu powierzchniowego odwodnienia i pochłaniania hałasu komunikacyjnego”, zawartego w nawierzchni porowatej, jak każde inne rozwiązanie techniki drogowej, oprócz zalet, nie jest pozbawione znaczących wad w stosunku do nawierzchni „klasycznych”. Oprócz wymienionych na wstępie artykułu, podstawowych zalet tego rozwiązania, istnieją także i jego wady. Z jedną z nich, czytelnik miał już okazję zaznajomić się w niniejszym artykule, a dotyczyła ona poważnych ograniczeń w stosunku do miejsc zastosowania asfaltowego betonu porowatego w praktyce. Poniżej, zaprezentowano inne pluse i minusy, jakie przypisywane temu specyficznemu rodzajowi nawierzchni, oparte na doświadczeniu z Niemiec [34].

#### Wady:

- ❖ **podwyższone koszty w stosunku do nawierzchni tradycyjnych**; wysokie wymagania w stosunku do techniki projektowania, użytych materiałów, technologii budowy, kontroli w trakcie budowy itp.;
- ❖ **znaczące utrudnienia w naprawach cząstkowych**; naprawa uszkodzeń nawierzchni jest możliwa tylko poprzez wymianę fragmentów o dużych powierzchniach;
- ❖ **duża wrażliwość na błędy wykonawcze**; w przypadku popełnienia błędów wykonawczych istnieje duże ryzyko braku możliwości osiągnięcia spodziewanych właściwości akustycznych i drenażowych;
- ❖ **podwyższone wymagania utrzymaniowe**; konieczność natychmiastowej interwencji i użycia specjalistycznego sprzętu w przypadku rozlania się na nawierzchnię cieczy destrukcyjnie na nią działających oraz zwiększających ryzyko powstania wypadku drogowego (np. oleje, benzyny itp.), konieczność okresowego czyszczenia struktury porów w nawierzchni a także systemu odwodnienia liniowego za pomocą specjalistycznego sprzętu (zaleca się 2 razy w roku), w trakcie utrzymania zimowego – nie można używać środków mogących zanieczyścić pory w nawierzchni np. piasku itp. (można stosować jedynie solankę o podwyższonej zawartości soli);
- ❖ **krótsza żywotność nawierzchni w stosunku do nawierzchni „klasycznych”**; wskutek otwartej struktury występuje przyspieszone starzenie eksploatacyjne lepszcza spajającego porowatą strukturę nawierzchni.

#### Zalety:

- ❖ **znaczna redukcja hałasu w porównaniu z nawierzchniami „klasycznymi”**; nawet o 10 dB (A) w przypadku ruchu samochodów osobowych, i o 8 dB (A) w przypadku transportu ciężkiego;
- ❖ **poprawa klimatu akustycznego w szeroko pojętym otoczeniu drogi**; zastosowanie nawierzchni porowatej zabezpiecza pod względem akustycznym także wysoko usytuowane piętra obiektów stojących w pobliżu drogi (co nie do końca zapewnia zasto-

sowanie ekranów akustycznych);

- ❖ **oszczędność kosztów w świetle całego projektu, dzięki redukcji bądź eliminacji innych zabezpieczeń dźwiękochłonnych**; dzięki znacznej redukcji hałasu w źródle jego powstawania, umożliwia redukcję dodatkowych zabezpieczeń akustycznych tj. ekrany akustyczne bądź je całkowicie je eliminuje;
- ❖ **skuteczna redukcja hałasu przy małych prędkościach ruchu**; dzięki zastosowaniu dwuwarstwowej nawierzchni porowatej następuje skuteczna redukcja hałasu pojazdów samochodowych w przedziale częstotliwości charakteryzujących ruch pojazdów przy prędkościach do 40 km/h;
- ❖ **skuteczna redukcja dźwięków o wysokiej częstotliwości**; nawierzchnie porowate skutecznie tłumią dźwięki w granicach 1000 Hz, tj. częstotliwości, w której hałas jest szczególnie uciążliwy dla człowieka;
- ❖ **podwyższenie komfortu jazdy**; podczas jazdy po nawierzchni porowatej powstaje dźwięk o natężeniu i częstotliwości przyjemnej dla ludzkiego ucha;
- ❖ **redukcja hałasu podczas jazdy na mokrej nawierzchni**; brak hałasu tzw. „syczenia” występującego podczas jazdy na mokrej nawierzchni „klasycznej”;
- ❖ **zwiększenie bezpieczeństwa jazdy**; znacznie zmniejszone ryzyko *aquaplaningu*, znaczna redukcja mgły wodnej za poruszającym się pojazdem, skrócenie drogi hamowania, zmniejszenie zjawiska oślepiania podczas jazdy po zmroku;
- ❖ **zwiększenie komfortu jazdy dla innych uczestników dróg**; eliminacja ochlapywania innych użytkowników drogi (rowerzyści, piesi) wodą zalegającą na nawierzchni w trakcie lub bezpośrednio po opadach deszczu. Na prawidłowo wykonanej nawierzchni porowatej kałuże się nie tworzą;
- ❖ **dobre właściwości mechaniczne nawierzchni**; duża odporność na deformacje, niewielkie ryzyko powstawania kolein, dobra szorstkość nawierzchni.

### Podsumowanie i wnioski

Od ponad 20 lat widoczny jest trend rozwojowy w zakresie badań i zastosowań nawierzchni porowatych, zwłaszcza w krajach wysokorozwiniętych. Działania te wydają się tam być zrozumiałe ze względu na znaczący problem hałasu komunikacyjnego i bezpieczeństwa ruchu, który niestety ma tą tendencję, że zwiększa się stopniowo w miarę przyrostu środków komunikacji.

Nawierzchnie porowate zdają się niwelować ten problem w sposób najbardziej wyraźny w porównaniu z nawierzchniami pozostałych typów nawierzchni, określonych mianem „klasyczne”. Znacznie redukują hałas w porównaniu z nawierzchniami „klasycznymi” oraz niwelują ryzyko poślizgu pojazdu na klinie wodnym tzw. *aquaplaningu*. W konsekwencji zmniejsza to znacznie ryzyko wypadków drogowych, które jak wiadomo, połączone z dużymi, autostradowymi prędkościami są najczęściej tragiczne. Nawierzchnie porowate wpływają również korzystnie na wzrost komfortu i bezpieczeństwa jazdy podczas opadów deszczu niwelując w znacznym stopniu ograniczającą widoczność „mgłę wodną” za przedzającym pojazdem.

Są to główne czynniki powodujące to, że zainteresowanie badaczy tego rodzaju rozwiązaniem konstrukcyjnym jest coraz większe. Warunkiem

sprzyjającym rozwojowi wiedzy na ten temat jest również to, iż w miarę upływu czasu, doskonalone są metody badań, produkcji materiałów i projektowania nawierzchni. W rezultacie mamy do dyspozycji coraz lepsze asfalty, lepszej jakości kruszywa oraz inne środki poprawiające jakość mieszanek mineralno-asfaltowych. Doskonalone są też techniki wykonywania i bieżącej kontroli wbudowywanych mieszanek bezpośrednio na budowie. Znacząca dla stosowania nawierzchni porowatych jest również wciąż unowocześniana technologia zimowego utrzymania, a konkretnie rodzaj używanych środków zapobiegających oblodzeniu nawierzchni.

Pomimo wymienionych tu wyżej wielu czynników stymulujących rozwój nawierzchni porowatych, są też elementy, które skutecznie potrafią stawić „opór” powyższym i „przyhamować” nieco działania w tym zakresie. Takim „oporem” jest **wysoka cena**<sup>2</sup> materiałów, bezpośredniego wykonania i utrzymania nawierzchni porowatych.

**Przy kalkulacjach należy jednak pamiętać o tym, że rozwiązanie będzie warte każdej ceny, jeżeli tylko wpłynie na poprawę bezpieczeństwa ruchu i ocali przynajmniej jedno ludzkie życie.** Aby chociaż częściowo rozwiązać problem, w pierwszej kolejności należałoby zastosować nawierzchnie porowate wszędzie tam, gdzie pilna jest konieczność poprawy bezpieczeństwa ruchu (problem z odprowadzeniem wody z powierzchni) czy też poprawy komfortu akustycznego otoczenia.

Dobrym pomysłem jest wbudowywanie nawierzchni porowatych, jeśli nie na całej długości, to w miejscach szczególnie narażonych na zbieranie się wody lub gdzie jej obecność wywołuje szczególne zagrożenie bezpieczeństwa ruchu drogowego. Z punktu widzenia komfortu akustycznego należy pamiętać również o tym, że obniżanie hałaśliwości przez nawierzchnię jest alternatywą do stosowania elementów dźwiękochłonnych w pasie drogowym. Beton asfaltowy porowaty może być zatem idealnym rozwiązaniem wszędzie tam, gdzie zależy na minimalnym poziomie hałasu drogowego – np. w obszarach osiedli mieszkaniowych [4].

Należy także pokreślić, że nawierzchnie porowate spotykają się także w Polsce z coraz większym zainteresowaniem. Pierwsze odcinki eksperymentalne z zastosowaniem tego rodzaju nawierzchni w Polsce wybudowano w roku 1999 na dwóch ulicach Poznania, głównie w celu redukcji hałasu komunikacyjnego. Nawierzchnie te do chwili obecnej nie wykazują istotnych uszkodzeń mechanicznych. Ponadto, do roku 2002 nie utraciły właściwości drenażowych pomimo standardowego systemu zimowego utrzymania [35]. Jak wskazują źródła internetowe, do końca 2005 roku na terenie Poznania wykonano już ponad 77 000m<sup>2</sup> nawierzchni z betonu asfaltowego porowatego [36]. W związku z tym, można przypuszczać, że za przykładem Poznania pójdą też inne nasze miasta i nawierzchnie porowate znajdą coraz szersze zastosowania w ruchu miejskim i autostradowym Polski.

#### Literatura:

1. OLSZACKI, J. Określenie wodoprzepuszczalności i dźwiękochłonności betonów asfaltowych stosowanych w nawierzchniach drenażowych. Rozprawa doktorska, Politechnika Świętokrzyska, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, 2005
2. PIŁAT, P.; RADZISZEWSKI, P. Nawierzchnie asfaltowe. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, 2005

3. ROLLA, S. Nawierzchnie drenażowe. *Drogownictwo* 10/1993
4. GŁOWACKA, A. Porowatość nawierzchni – zaleta czy wada?. *Drogownictwo* 3/2002 5.
5. CHAŁACZKIEWICZ, E. Zmniejszenie hałasu na nawierzchni wykonanej z porowatego betonu asfaltowego. Nowości zagranicznej techniki drogowej. 131/1997. IBDiM, Warszawa
6. SYBILSKI, D. Długowieczne nawierzchnie asfaltowe w świecie i w Polsce. *Drogownictwo* 3/2004
7. EJSMONT, J. A. Hałas opon samochodowych – wybrane zagadnienia. *Zeszyty Naukowe Politechniki Gdańskiej. Mechanika* Nr 68, Gdańsk 1992
8. Nawierzchnie porowate. <http://www.road.pl/porowate.htm>. Dostęp na dzień 07.11.2006
9. PIŁAT, P.; RADZISZEWSKI, P. Mieszanki mineralno-gumowo-asfaltowe Konferencja „Asphalt Rubber 2003. *Drogownictwo* 5/2004
10. EJSMONT, J. A. Ciche nawierzchnie drogowe. IV Koszalińska Konferencja Naukowo-Techniczna Hałas-Profilaktyka-Zdrowie 2000. Kołobrzeg 15-17 listopada 2000
11. SANDBERG, U.; EJSMONT, J. A. Tyre/Road Noise Reference Book. Informex, SE-59040 Kisa
12. BŁĄŻEJOWSKI, K.; STYK, S. Technologia warstw asfaltowych. *Poradnik. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności*. Warszawa 2004
13. FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION. Open-Graded Friction Courses FHWA Mix Design Method. Technical Advisory T 5040.31. Federal Highway Administration, U. S. Department of Transportation, Washington D. C. 1990
14. KANDHAL, P. Design, Construction, and Maintenance of Open-Graded Asphalt Friction Courses. Information series 115. National Asphalt Pavement Association. Lanham, MD, 2002
15. TEXAS DEPARTMENT OF TRANSPORTATION. Standard Specifications for Construction and Maintenance of Highways, Streets, and Bridges Adopted by the Texas Department of Transportation. Austin, TX, 2004
16. TEXAS DEPARTMENT OF TRANSPORTATION. 200-F, Bituminous Test Procedures Manual. Chapter 6 – Tex-204-F, Design of Bituminous Mixtures. Section 7 – Part V, Mix Design for Permeable Friction Course (OGFC) Mixtures Using the Superpave Gyrotory Compactor (SGC). Austin, TX, 2005
17. WATSON, D. E.; COOLEY, Jr. L. A.; MOORE, K. A.; WILLIAMS, K. Laboratory Performance Testing of Open-Graded Friction Course Mixtures. In Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 1891, TRB, National Research Council, Washington, D. C., 2004, s. 40-47
18. AUSTRALIAN ASPHALT PAVEMENT ASSOCIATION (AAPA), ARRB Transport Research Ltd. Selection & Design of Asphalt Mixes: Australian Provisional Guide. Australian Asphalt Pavement Association, April 2004
19. BRITISH STANDARDS INSTITUTE (BSI). Coated Macadam (Asphalt Concrete) for Roads and Other Paved Areas-Part 1: Specification for Constituent Materials and for Mixtures. BS 4987-1:2005. 2005
20. KHALID, H.; PEREZ, F. Performance Assessment of Spanish and British Porous Asphalts. Performance and Durability of Bituminous Materials, 1996, s 137-157. Published by E & FN Spon, London
21. PEREZ, F.; MIRO, R.; MARTINEZ, A. Capas de rodadura: mezclas porosas y micros en caliente. Curso sobre Estudio, Diseño y Control de Mezclas Bituminosas, Universidad Politecnica de Catalunya. 2005
22. RVS 85. 01.41. Technische Vertragsbedingungen. Asphalt. Anforderungen an Asphaltmischgut. Änderungsblatt 1
23. FORSCHUNGSGESELLSCHAFT F-R STRASSEN- UND VERKEHRSWESEN. Merkblatt für den Bau offen-poriger Asphaltdeckschichten. Ausgabe 1998
24. ASPHALT INSTITUTE. The Asphalt Handbook. Manual Series No. 4. (MS-4), 1989 Edition
25. HERRINGTON, P.; REILLY, S.; COOK, S. Porous Asphalt Durability Test. Opus International Consultants Ltd. Central Laboratories, Lower Hutt, New Zealand
26. TEXAS DEPARTMENT OF TRANSPORTATION. 200-F, Bituminous Test Procedures. Chapter 31 – Tex-235-F, Determining Draindown Characteristics in Bituminous Materials. 2005
27. WATSON, D. E.; COOLEY, Jr. L. A.; MOORE, K. A.; WILLIAMS, K. Refinement of New-Generation Open-Graded Friction Course Mix Design. In Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 1832, TRB, National Research Council, Washington, D. C., 2003, s. 78-85
28. TEXAS DEPARTMENT OF TRANSPORTATION. 200-F, Bituminous Test Procedures Manual. Austin, TX, 2004
29. TEXAS DEPARTMENT OF TRANSPORTATION. 500-C, Asphalt Test Procedures Manual. Austin, TX, 2004
30. THE HIGHWAYS AGENCY. THE SCOTTISH OFFICE DEVELOPMENT DEPARTMENT. THE WELSH OFFICE Y SWYDDFA GYMREIG. THE DEPARTMENT OF THE ENVIRONMENT FOR NORTHERN IRELAND. Design Manual for roads and Bridges. Volume 7. Pavement Design and Maintenance Bituminous Surfacing Materials and Techniques. 1999
31. SPECIFICATION FOR HIGHWAY WORKS. Manual of Contract Documents for Highway Works. Volume 1. Series 900. Road Pavements – Bituminous Bound Materials. United Kingdom, 2005
32. Stadt Ingolstadt. Westliche Ringstraße. Pilotprojekt zweischichtiger offenerporiger Asphalt. Projektdokumentation mit Hinweisen für weitere Anwendungen
33. ZALEWSKI, M.; POLJUS, S. Wodoprzepuszczalność nawierzchni drenażowych. Praca dyplomowa, Politechnika Łódzka, Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska, Łódź 2002
34. ZARZĄD DRÓG MIEJSKICH m. POZNANIA. Osiągnięcia. <http://www.zdm.poznan.pl/about.php?site=osiagnienia>. Dostęp na dzień 07.11.2006

<sup>2</sup> Czynnikiem ten, skutecznie potrafi „zablokować” niejedno nowoczesne rozwiązanie, nie tylko w drogownictwie i nawierzchniach porowatych nie są tu wyjątkiem.