

dr inż. Jerzy Kukielka¹⁾

Recykling głęboki na zimno nawierzchni asfaltowych dróg samorządowych

Deep cold recycling on local asphalt road

DOI: [dx.doi.org/10.15199/33.2014.12.03](https://doi.org/10.15199/33.2014.12.03)

Streszczenie. W artykule opisano technologie mieszanek mineralno-cementowo-emulsyjnych (MMCE), betonów asfaltowo-cementowych (BAC) i mieszanek mineralnych z zastosowaniem cementu i asfaltu spienionego (MMCAS). Wieloletnie doświadczenia z realizacji podbudów z mieszanek MCE na drogach krajowych, jak również badania laboratoryjne przeprowadzone w ośrodkach naukowo-badawczych pozwoliły na znowelizowanie dotychczasowych wytycznych i specyfikacji. Podobne wymagania należałoby opracować w przypadku pozostałych dwóch technologii.

Słowa kluczowe: mieszanka mineralno-cementowo-emulsyjna MMCE, beton asfaltowo-cementowy (BAC), mieszanka mineralno-cementowa z asfaltem spienionym (MMCAS).

Abstract. The article described technologies of mineral-cement-emulsion mixture (MCEM), asphalt-cement concrete (ACC) and mineral mixtures with cement and foamed bitumen (MMCFA). Multiannual experience with the implementation of the MCEM in national roads as well as laboratory tests carried out in scientific research centers, made it possible to revise the existing guidelines and the specifications. Similar guidelines should also be developed for the other two mentioned technologies which do not have yet such elaborations.

Keywords: asphalt recycling, mineral mixture with cement and asphalt emulsion (MMCE), asphalt-cement concrete (ACC), mineral mixture with cement and foamed asphalt (MMCFA).

Drogi samorządowe stanowią ok. 95% dróg publicznych, w tym: wojewódzkie 7,8%; powiatowe 32,9%; gminne 54,9%. Jednym ze sposobów naprawy i wzmocnienia nawierzchni dróg asfaltowych jest recykling na zimno, który może być wykonany w technologii: mieszanek mineralno-cementowo-emulsyjnych (MMCE); betonów asfaltowo-cementowych (BAC) lub mieszanek mineralnych z asfaltem spienionym (MMCAS).

Recykling na zimno jest jednym z rodzajów ciągłego procesu technologicznego recyklingu na drodze. Składa się on z następujących, podstawowych czynności:

- frezowania istniejącej warstwy lub warstw nawierzchni;
- dodania nowej mieszanki mineralnej wraz z emulsją asfaltową lub asfaltem spienionym i/lub cementu oraz ewentualnie innych dodatków;
- wymieszania wszystkich składników przy wilgotności optymalnej;
- rozłożenia mieszanki przetworzonej;
- zagęszczenia warstwy.

Recykling głęboki na zimno z użyciem cementu, emulsji asfaltowej lub asfaltu spienionego wykonywano dotychczas najczęściej na odcinkach dróg krajowych.

Mieszanki mineralno-cementowo-emulsyjne (MMCE)

Analizując rozmieszczenie poszczególnych elementów składowych struktury MMCE i ich wzajemne relacje, możemy wyodrębnić strefy kontaktowe pomiędzy [7]:

- mastyksem a ziarnami kruszywa starej MMA;
- mastyksem a stwardniałym zaczynem cementowym;

- mastyksem a ziarnami kruszywa doziarniającego;
- asfaltem z emulsji asfaltowej a nowym kruszywem;
- asfaltem z emulsji asfaltowej a mastyksem otaczającym destruk;
- asfaltem z emulsji asfaltowej a stwardniałym zaczynem cementowym;
- stwardniałym zaczynem cementowym a nowym kruszywem.

„Warunki techniczne wykonania warstw podbudowy z mieszanki mineralno-cementowo-emulsyjnej (MMCE) metodą recyklingu na miejscu” wydane w Zeszytach 53 IBDiM z 1997 r., znowelizowano w 1999 r. (Zeszyt nr 61). Na ich podstawie w 2001 r. opracowane zostały Ogólne Specyfikacje Techniczne 04.10.01. W 2013 r. w Politechnice Gdańskiej na zlecenie GDDKiA opracowano „Instrukcję projektowania i wbudowywania mieszanek mineralno-cementowo-emulsyjnych (MCE)”. Wprowadzono wówczas nowe krzywe uziarnienia, uwzględniające zmiany w wymiarach oczek sit w mieszankach mineralnych oraz dostosowano wymagania dotyczące kruszyw do PN-EN 13043.

Emulsja asfaltowa C60B5 R powinna być dozowana w ilości 2 ÷ 6%, cement CEM I lub CEM II klasy 32,5 lub 42,5 w ilości 1 ÷ 4%. Dopuszcza się inny dodatek środków wiążących niż zalecany pod warunkiem spełnienia wymagań, a ilość cementu należy przyjmować możliwie najmniejszą tak, aby zminimalizować możliwość powstania spękań odbitych.

Dodatek wody powinien być ustalony zgodnie z normą PN-EN 13286-2, zmodyfikowaną metodą Proctora. Określenie ilości wody do mieszanki MCE musi uwzględniać wilgotność naturalną (destruktu i kruszyw) oraz wodę pochodzącą z emulsji asfaltowej. Wymagania dotyczące kruszyw do mieszanek MCE, próbek z MMCE i wykonania warstw podbudowy podano w instrukcji [3]

¹⁾ Politechnika Lubelska, Wydział Budownictwa i Architektury; e-mail: jerzy.kukielka@pollub.pl

Typowe konstrukcje nawierzchni z podbudową z MMCE wykorzystywano dotychczas głównie w projektowaniu przebudowy dróg krajowych, także w przypadku ruchu KR5 i wyjątkowo KR6. W projekcie nowego Katalogu Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych [8] przyjęto możliwość stosowania podbudów z MMCE lub z asfaltem spienionym tylko w przypadku ruchu KR1 ÷ 4. (tabela). W Katalogu [8] jest tylko krótka informacja o możliwości stosowania asfaltu spienionego do wykonania podbudów i całkowicie pominięto betonu asfaltowo-cementowego (BAC), znacznie mniej kosztowne od MMCE.

Typowe konstrukcje nawierzchni podatnej z podbudową z mieszanki MCE lub z asfaltem spienionym [8]

Kategoria ruchu	KR1	KR2	KR3	KR4	KR5	KR6	KR7
Ruch projektowy (min. osi 100 kN)	0,03 – 0,09	0,09 – 0,5	0,5 – 2,5	2,5 – 7,4	7,4 – 22,0	22,0 – 52,0	> 52,0
TYP E					nie stosuje się		

- warstwa ścierna z mieszanki mineralno-asfaltowej
- warstwa wiążąca z betonu asfaltowego
- warstwa podbudowy zasadniczej z betonu asfaltowego
- warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki wykonanej w technologii recyklingu na zimno
- ▲ wymagany wótorny moduł odkształcenia E₂

Beton asfaltowo-cementowy (BAC)

Technologia betonów asfaltowo-cementowych, opracowana w Politechnice Lubelskiej, polega na zastosowaniu do destruktu asfaltowego zaprawy cementowo-piaskowej w ilości ok. 15%, w której zawartość cementu wynosi 7,5%. Przeprowadzone prace badawcze pozwoliły na uzyskanie trzech patentów, z których jeden sprzedano. Pierwsze odcinki doświadczalne wykonano w 1995 r. na wybranych przystankach autobusowych w Lublinie, a w 2003 r. na odcinku ok. 2 km drogi krajowej nr 12.

Ocena struktury BAC na poziomie makro pozwala na wyodrębnienie następującego układu [5]:

- inkluzja (szkielet) z ziaren kruszywa tworzy charakterystyczny układ typu betonowego, który w zależności od wielkości i zawartości poszczególnych frakcji składowych wpływa np. na jednorodność i urabialność;
- matryca – stwardniała zaprawa cementowa i asfalt, w którym wzajemny stosunek tych składników jest głównym czynnikiem wpływającym na własności wytrzymałościowe;
- pory i pustki powstałe w wyniku wyparowania wody lub podczas mieszania i rozkładania;
- rysy i pęknięcia powstałe w wyniku procesów hydratacji, twardnienia i eksploatacji (np. na skutek oddziaływania zmiennej temperatury i wilgotności otoczenia, jak również powstałe w wyniku przeciążenia).

Na rysunku przedstawiono wyniki badań mieszanki BAC zawierającej 15% zaprawy cementowo-piaskowej, w której wzajemny stosunek cementu do piasku wynosił 1 : 1. Wytrzymałość i stabilność próbek z różnym dodatkiem wody

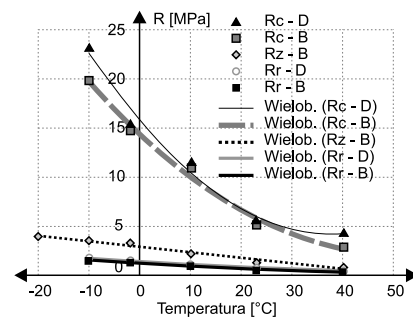
(w/c = 0,4 ÷ 0,7) jest najkorzystniejsza, gdy wskaźnik wodno-cementowy w/c = 0,6.

Temperatura dojrzewania ma duży wpływ na wytrzymałość i stabilność mieszanki BAC, która charakteryzuje się także dużą zawartością wolnych przestrzeni i nasiąkliwością. Analiza wyników badań próbek dojrzewających w różnej temperaturze może stanowić podstawę do wnioskowania, aby warstwy z mieszanki BAC były wykonywane latem w możliwie wysokiej temperaturze.

Krzywe uziarnienia mieszanki BAC w zależności od kategorii ruchu powinny się mieścić w polu dobrego uziarnienia, wyznaczonego przez krzywe graniczne opracowane dla mieszank MCE. Orientacyjna zawartość cementu CEM I 52,5 w mieszance wynosi 6,0 – 10,0%, natomiast kruszywa łamanego lub naturalnego 8 – 15%. Łączna zawartość dodatku zaprawy kruszywowo-cementowej w BAC to 15 – 20%. Zawartość wody w mieszance powinna odpowiadać wilgotności optymalnej wg zmodyfikowanej próby Proctora lub największej gęstości próbek wykonanych wg metody Marshalla, zagęszczanych przez 50 uderzeń na stronę próbki. Próbkę należy wykonać z destruktu o uziarnieniu 0/25 mm po odsianiu nadziarna na sicie o oczkach 25 x 25 mm.

Badania istniejącej nawierzchni powinny być wykonane także na próbkach-odwiertach. W każdej z nich należy określić: grubość i rodzaj warstw konstrukcyjnych starej nawierzchni; materiał tworzący poszczególne warstwy oraz zawartość starego asfaltu. Liczba pobranych próbek z danego miejsca musi być wystarczająca do sporządzenia z nich próbki analitycznej w związku z ustaleniem receptury i określeniem cech fizyczno-wytrzymałościowych zaprojektowanej mieszanki BAC.

Na podstawie wieloletnich badań laboratoryjnych oraz odcinków doświadczalnych nawierzchni zaproponowano wymagania dotyczące podbudów z mieszank z betonów asfaltowo-cementowych [5].



Wpływ temperatury badania na wytrzymałość na ściskanie osiowe (R_c), rozciąganie przy zginaniu (R_z) i rozciąganie pośrednie (R_r) po 28 dniach twardnienia [2, 5, 6]

Mieszanki mineralno-cementowe z asfaltem spienionym (MMCAS)

Asfalty spienione stosowane są w następujących mieszankach [9]:

- typowe mieszanki mineralno-asfaltowe w technologii na zimno z zastosowaniem kruszywa dobrej jakości i kruszywa będącego materiałem odpadowym;

- mineralno-asfaltowe w technologii na zimno z wykorzystaniem materiału ze starych warstw nawierzchni asfaltowych (destruktu asfaltowego);

- mineralno-asfaltowe w technologii na ciepło (podgrzewanie kruszywa);

- mineralno-asfaltowe w technologii na zimno z wykorzystaniem materiałów zawierających szkodliwe substancje, takie jak smoła i azbest, w celu ich ekologicznego zagospodarowania.

Zagęszczalność mieszanki z asfaltem spienionym zależy od jej wilgotności, która powinna być bliska optymalnej. Woda może być dodawana do mieszalnika lub do destruktu asfaltowego w czasie frezowania nawierzchni. Przed rozpoczęciem robót należy wyrównać istniejącą nawierzchnię przez frezowanie garbów i wypełnienie zagłębień destruktem. W profilu i przekroju musi być zapewniona zgodność rzędnych z projektem, co zapewnia większą jednorodność mieszanki destruktu i kruszywa doziarniającego.

W przypadku budowy nowych i remontu istniejących nawierzchni dróg dla kategorii ruchu KR1 i KR2 można wykorzystywać do obtoczenia asfaltem spienionym np. mieszanki mineralne 0/22,4 mm o zawartości wypełniacza większej od 5%. Grube ziarna kruszywa są słabiej obtaczane asfaltem spienionym, a korzystne cechy mieszanki zależą przede wszystkim od ilości i jakości cząstek <0,075 mm. Często stosowany jest mały dodatek cementu, wapna lub popiołów lotnych (1%) do suchej mieszanki (do mieszalnika). Ważne jest także równomierne uziarnienie frakcji poniżej 2 mm. Zawartość asfaltu w mieszance żwirowej wynosi 3,0 ÷ 4,5% i wzrasta wraz z ilością cząstek <0,075 mm [9].

Odcinki doświadczalne zrealizowane przez GDDKiA w 2006 r. na drogach krajowych DK 50 i DK 3 posłużyły do opracowania zaleceń stosowania mieszanek mineralnych z asfaltem spienionym MMCAS. Prace przeprowadzone w IBDiM w Warszawie dotyczyły laboratoryjnych i terenowych badań mieszanek MMCAS i MCE [10]. Pole dobrego uziarnienia mieszanki z asfaltem spienionym jest mniejsze od przyjmowanego w przypadku mieszanek z emulsją asfaltową. Mieszanka z asfaltem spienionym może zawierać do 20% frakcji mniejszych od 0,075 mm, a z emulsją asfaltową do 12%.

W 2010 r. wykonano na drodze powiatowej kl. Z nr 0382 w regionie świętokrzyskim wzmocnienie nawierzchni sposobem recyklingu głębokiego asfaltem spienionym [4]. Projektowana warstwa podbudowy grubości 20 cm składała się z 45% destruktu asfaltowego i 40% destruktu z kruszywa 0/31,5 mm oraz nowych materiałów: 10% kruszywa wapiennego 0/4 mm; 2% cementu i 3% pyłów z odpylania kruszywa przy produkcji MMA. Ponadto dodano 3% i 2,5% asfaltu 85N, a do spienienia zastosowano 2% wody. Krzywe graniczne uziarnienia i wymagania przyjęto wg zaleceń Wirtgena [12].

Na kilku ocenianych odcinkach dróg uzyskano następujące wyniki badań [4]:

- zawartość wolnych przestrzeni 8,05 ÷ 9,77%;
- stabilność wg Marshalla 8,82 ÷ 12,85%;
- wytrzymałość na pośrednie rozciąganie 0,43 ÷ 0,57 MPa;
- wytrzymałość na pośrednie rozciąganie po nasączeniu wodą 0,33 ÷ 0,51 MPa;

- moduł sztywności sprężystej w pośrednim rozciąganiu 3052 ÷ 3823 MPa;

- wtórny moduł odkształcenia badany płytą VSS wynosił 183 ÷ 267 MPa.

Praktyczne próby stosowania w Polsce asfaltu spienionego mogą być szczególnie przydatne do recyklingu nawierzchni dróg samorządowych.

Wnioski

W niemieckich przepisach [11] dotyczących stosowania środków wiążących w recyklingu nawierzchni drogowych określone zostały wzajemne proporcje zawartości spoiw hydraulicznych i asfaltu z podziałem na grupy. Podano w nich wymagania dotyczące wydłużenia przy zginaniu i modułu sztywności w zależności od rodzaju wiązania (np. tylko asfalt w grupie A lub cement w grupie C). Polskie przepisy odpowiadają w przybliżeniu grupom B1 i B2 wg przepisów niemieckich [11] w zależności od stosunku cementu i asfaltu w mieszankach. Kryteria oceny różnią się w przypadku MMCE, BAC i MMCAS, co utrudniało dotychczas opracowanie jednolitych specyfikacji technicznych.

Projektanci dróg stosują najczęściej rozwiązania posiadające wzorcowe opisy technologiczne. Brak zalecanych instrukcji i specyfikacji technicznych w przypadku mieszanek MCAS i BAC może być powodem ograniczonego ich projektowania.

Literatura

- [1] Chałabis J.: Struktura, wytrzymałość i odkształcalność betonów asfaltowo-cementowych. Prace Naukowe Politechniki Lubelskiej. Wydawnictwo Liber. Lublin, 2002.
- [2] Chałabis J., Firlej S., Kukielka J.: Ocena konstrukcji nawierzchni o podbudowach z betonu asfaltowo-cementowego – BAC. V Międzynarodowa Konferencja pt. Trwałe i bezpieczne nawierzchnie drogowe, Kielce 1999.
- [3] Dołżycki B.: Instrukcja projektowania i wbudowywania mieszanek mineralno-cementowo-emulsyjnych (MCE). Politechnika Gdańska, Gdańsk 2013.
- [4] Iwański M., Chomicz-Kowalska A.: Recykling głęboki konstrukcji nawierzchni w technologii asfaltu spienionego – doświadczenia praktyczne. Konferencja Ochrona środowiska i estetyka a rozwój infrastruktury drogowej. SITK O/Lublin 2011 r.
- [5] Kukielka Jan: Betony asfaltowo-cementowe i ich zastosowanie. Prace Naukowe Politechniki Lubelskiej, Lublin 2002 r.
- [6] Kukielka Jan, Kukielka Jerzy: Wpływ temperatury na cechy mechaniczne betonów asfaltowo-cementowych. Konferencja Naukowa Krynica 2002, tom 4, Inżynieria Komunikacyjna
- [7] Kukielka Jerzy: Trwałość podbudów z mieszanek mineralno-cementowo-emulsyjnych (MMCE). Praca doktorska. Politechnika Lubelska 2006 r.
- [8] Katalog Typowych Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych. Politechnika Gdańska 2013 r.
- [9] Piłat J., Radziszewski P.: Nawierzchnie asfaltowe. WKŁ, Warszawa 2010 r.
- [10] Sybilski D., Bańkowski W., Horodecka R., Wróbel A.: Zastosowanie asfaltu spienionego w technologii recyklingu na zimno. IBDiM, Warszawa 2006 r.
- [11] Radenberg M.: Merkblatt für Kaltrecycling in situ im Strassenoberbau Essen, 1998.
- [12] Weinert F.: Merkblatt für Kaltrecycling in situ. Betonstrassentagung 2001, Heft 25 (FGSV: Merkblatt für Kaltrecycling in situ im Straßenoberbau) Entwurf 2002, Köln 2002 r.

Otrzymano 09.05.2014 r.