

Badania mieszanek mineralno-cementowo-emulsyjnych (MCE)

Bohdan Dołżycki

*Katedra Inżynierii Drogowej, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska, Politechnika Gdańska,
e-mail: bohdan.dolzycski@wilis.pg.gda.pl*

Streszczenie: Referat zawiera opis badań związanych z mieszankami mineralno-cementowo-emulsyjnymi (MCE). Zostały opisane dotychczasowe doświadczenia związane z oceną odcinków dróg wykonanych z wykorzystaniem tej technologii, ich stan techniczny oraz występujące uszkodzenia po kilku latach eksploatacji nawierzchni. Przedstawione zostaną wyniki badań mieszanek mineralno-cementowo-emulsyjnych prowadzone w celu optymalizacji składu tych mieszanek. W końcowej części publikacji zostanie przedstawiona nowa instrukcja do projektowania mieszanek MCE, jaka powstała w wyniku prowadzonych prac.

Słowa kluczowe: Mieszanki mineralno-cementowo-emulsyjne, badania terenowe, instrukcja projektowania MCE.

1. Wprowadzenie

Wykorzystanie do przebudów dróg mieszanek mineralno-cementowo-emulsyjnych, jako jednego ze sposobów ponownego wykorzystania materiałów z rozbiórek istniejących nawierzchni, rozpoczęło się w Polsce w latach 90-tych ubiegłego wieku i ze zmienną intensywnością trwa do dnia dzisiejszego. Dotychczas wykorzystuje się wymagania opracowane w latach 90-tych ubiegłego wieku. Po kilkunastoletnim okresie wykorzystywania tej technologii nadszedł czas na ocenę odcinków dróg wykonanych w tej technologii oraz weryfikację dotychczas stosowanych wymagań dla mieszanek mineralno-cementowo-emulsyjnych. W tym celu przeprowadzono obszerne badania terenowe oceniające dotychczas wykonane odcinki oraz badania laboratoryjne mające na celu weryfikację dotychczas stosowanych zasad projektowania mieszanek cementowo-emulsyjnych. Na podstawie dotychczasowych prac zdecydowano się na wprowadzenie korekt wynikających z dotychczasowych doświadczeń w stosowaniu tego typu podbudów, ponadto uwzględniono zmiany związane z wprowadzeniem norm serii PN-EN. Wszystkie zmiany przyczyniły się do opracowania nowej instrukcji do projektowania oraz wbudowywania warstw z mieszanek mineralno-cementowo-emulsyjnych.

2. Mieszanki MCE stosowane w Polsce

Historia wykonywania pierwszych warstw w technologii głębokiego recyklingu w Polsce z mieszanek mineralno-cementowo-emulsyjnych sięga lat 80-tych i 90-tych ubiegłego wieku. Pierwsze wytyczne do wykonywania warstw konstrukcyjnych z mieszanek mineralno-cementowo-emulsyjnych pojawiły się w 1997 roku. Były to „Warunki techniczne wykonania warstw podbudowy z mieszanki mineralno-cementowo emulsyjnej metodą recyklingu na miejscu” autorstwa J. Zawadzkiego i J. Matras wydane przez IBDiM, (zeszyt 53/1997) [1]. W 1999 roku pojawiła się aktualizacja tego opracowania w postaci „Warunków technicznych wykonania warstw podbudowy z z mieszanki mineralno-

cementowo emulsyjnej (MCE) autorstwa J. Zawadzkiego, J. Matras, T. Mechowskiego, D. Sybilskiego wydane przez IBDiM (zeszyt 61/1999) [2]. Wymagania te, zredagowane w formie specyfikacji technicznych są stosowane do dnia dzisiejszego w Polsce. W polskich wymaganiach wyspecyfikowano wymagania dotyczące materiałów składowych stosowanych w mieszankach MCE. Określono wymagania dla następujących materiałów:

- Destruktu, czyli materiału mineralno-bitumicznego lub mineralno-cementowego, powstałego w wyniku frezowania warstw nawierzchni drogowej lub w wyniku kruszenia w kruszarce brył pochodzących z rozbiórki starej nawierzchni.
- Kruszywa doziarniającego czyli materiału mineralnego, którego zadaniem była korekta uziarnienia destruktu.
- Emulsji kationowej wolnorozpadowej K3 lub nadstabilnej K4 wg [3].
- Cementu portlandzkiego CEM I klasy 32,5 wg [4]. Wymagania nie dopuszczały stosowania cementu z dodatkami lub innych rodzajów cementu.
- Wody do betonów i zapraw wg [5].

Projektowanie polegało na dobraniu materiałów tak aby uziarnienie wynikowe mieściło się w polu dobrego uziarnienia wyznaczonego przez krzywe graniczne oraz aby osiągnąć wymagane dla gotowej mieszanki mineralno-cementowo-emulsyjnej parametry. Wymagania polskie [2] oparto o następujące parametry:

- Zawartości wolnych przestrzeni w próbkach zagęszczonych w warunkach laboratoryjnych,
- Stabilność wg Marshalla,
- Odształcenie wg Marshalla.

Praktyka stosowania polskich wymagań była różna, często odbiegała od założeń zawartych w wymaganiach [2]. Aby przekonać się jak wygląda stosowanie mieszanek mineralno-asfaltowych w praktyce przeprowadzono badania ankietowe na temat stosowania podbudów z mieszankami MCE oraz oceniono wybrane odcinki dróg pod kątem oceny stanu nawierzchni. W badaniach ankietowych zebrano informacje o 91 odcinkach dróg wykonanych z podbudowami z MCE. Wśród nadesłanych ankiet 65 zawierało dane na temat składu mieszanek MCE.

Analizując ankiety skupiono się na składzie stosowanych mieszanek MCE. Oceniając skład mieszanki MCE pod względem cementu stwierdzono, że:

- Mieszanki zawierają bardzo mało emulsji. Na 16 odcinkach wykonano mieszankę MCE z mniejszą niż 3% zawartością emulsji, na 41 odcinkach wykonano z zawartością emulsji równą 3%, czyli z minimalną zawartością wg [2], na 9 odcinkach wykonano z zawartością emulsji większą niż 3%.
- Mieszanki zawierają dużo cementu. Na 29 odcinkach zastosowano mieszankę MCE z dodatkiem do 4% cementu, na 24 odcinkach zastosowano 4% cementu, czyli największą zalecaną ilość według warunków technicznych [2], na 13 odcinkach użyto więcej niż 4% cementu.
- Mieszanki zawierają dość dużo kruszywa doziarniającego. Na 9 odcinkach była ona mniejsza od 25%, na 43 odcinkach kruszywo doziarniające stanowiło od 25 do 50% mieszanki mineralnej, a na 12 odcinkach od 50 do 75%. W dwóch przypadkach było to ponad 75% mieszanki mineralnej.

Aby ocenić jaki jest stan nawierzchni dróg z podbudową z mieszanki MCE oceniono stan nawierzchni na 16 wybranych odcinkach dróg krajowych. Były to odcinki o długości 2 km. Ocena polegała na inwentaryzacji uszkodzeń oraz ocenie ich szkodliwości. Inwentaryzowano spękania poprzeczne, spękania o charakterze zmęczeniowym, spękania podłużne, uszkodzenia szwu podłużnego oraz ewentualne ubytki. W oparciu o przeprowadzoną ocenę stwierdzono, że:

- Nawierzchnie z podbudową z mieszanki MCE są równe, nie wykazują zapadnięć ani kolein.
- Nawierzchnie z podbudową z mieszanki MCE wykazują spękania poprzeczne, jest to najczęściej spotykane uszkodzenie. Liczba spękań rośnie wraz z wiekiem nawierzchni, im starsza nawierzchnia tym więcej spękań. Spękania poprzeczne na części odcinków nie były uszczelniane, co wskazuje na brak należytego bieżącego utrzymania nawierzchni.
- Pozostałe uszkodzenia występują sporadycznie i są typowe dla tego typów remontowanych odcinków dróg.

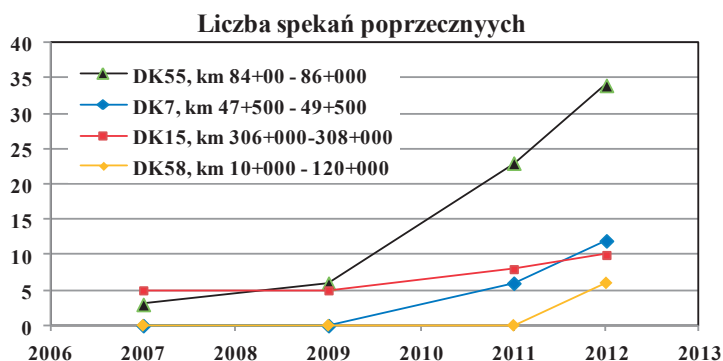
Typowy wygląd spękań na drogach z podbudową z mieszanki MCE przedstawiono na fotografiach 1 i 2. Rysunek nr 1 przedstawia propagację spękań na wybranych drogach krajowych. Propagacja spękań na różnych drogach postępuje, przy czym postęp jest dość zmienny.



Fot. 1. Nieregularne spękanie poprzeczne wywołane podbudową z mieszanki MCE



Fot. 2. Spękanie poprzeczne wywołane podbudową z mieszanki MCE



Rys. 1. Wzrost liczby spękań poprzecznych na wybranych drogach z podbudową z mieszanki MCE

Podsumowując informacje zebrane w ankietach jak i biorąc pod uwagę dane zebrane podczas oględzin odcinków dróg z podbudowaniami z mieszanki MCE można stwierdzić, że:

- Dotychczas stosowane w Polsce wymagania gwarantują powstanie nośnej, trwałej podbudowy która zapewnia nawierzchni dobrą nośność ale równocześnie naraża warstwy wyżej leżące na powstawianie spękań odbitych.
- W trakcie projektowania mieszanek MCE powszechnie stosowano dużą zawartość cementu, małą zawartość emulsji asfaltowej oraz stosunkowo dużą ilość kruszywa doziarniającego. Powstawał materiał mało efektywny ekonomicznie, podatny na spękania.
- Zasadniczo nie wykorzystywano emulsji jako podstawowego środka wiążącego a jej dodatek miał jedynie za zadanie pozwolić na nazywanie powstałego materiału mieszanką cementowo-emulsyjną. W rzeczywistości powstawał materiał związany cementem z dodatkiem emulsji.

Obserwacje terenowe oraz zebrane doświadczenia przyczyniły się do rozpoczęcia studiów oraz badań mieszanek mineralno-cementowo-emulsyjnych. Celem dalszych prac było dążenie do optymalizacji wymagań aby z jednej strony mieszanki MCE stały się bardziej podatne a z drugiej strony bardziej atrakcyjne pod względem ekonomicznym.

3. Stosowanie mieszanek MCE na świecie

Wykorzystywanie materiałów pochodzących z rozbiórki istniejących nawierzchni do wytworzenia nowych warstw w konstrukcji nawierzchni jest dość powszechną praktyką. W zakresie podbudów wytwarzanych w recyklingu na zimno z wykorzystaniem cementu lub emulsji nie ma jednej powszechnie akceptowanej metody projektowania tego typu materiałów, każdy z krajów wypracował własną metodologię bazującą na lokalnych doświadczeniach oraz potrzebach [6, 7, 8, 9, 10]. Podsumowując te doświadczenia można stwierdzić, że:

- Projektowanie mieszanek wytwarzanych w technologii recyklingu na zimno przeprowadza się na wiele sposobów. Różnice występują na każdym z etapów projektowania i badania mieszanek.
- W trakcie projektowania mieszanek wytwarzanych w recyklingu na zimno dąży się do maksymalnego wykorzystania przetworzonych materiałów przy niewielkim dodatku kruszywa doziarniającego oraz materiałów wiążących.
- Większość wymagań wytrzymałościowych bazuje na wytrzymałości na pośrednie rozciąganie, bada się oddziaływanie wody na badany materiał, niekiedy określa się moduł sztywności. Badania stabilności wg Marshalla stosuje się sporadycznie, poza tym zmienia się warunki jego wykonania.

Porównując wymagania stosowane w innych krajach z dotychczas stosowanymi w Polsce można zaobserwować bardziej racjonalne podejście do materiałów powtórnie przetworzonych oraz dążenie do badania cech istotnych dla danego charakteru materiału.

4. Badania mieszanek MCE

Badania mieszanek MCE na etapie poszukiwań modyfikacji dotychczas stosowanych rozwiązań miały pokazać między innymi jak zmieniają się parametry w potencjalnych metodach oceny mieszanek MCE. W tym celu przeprowadzono badania w których:

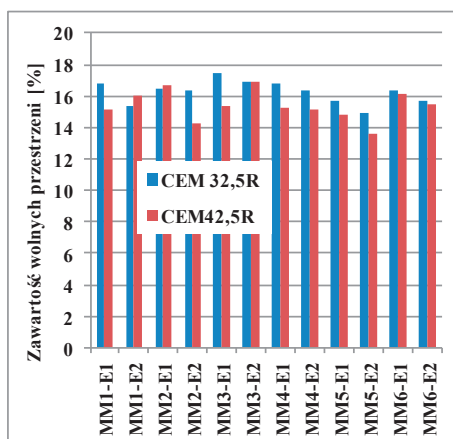
- Zaprojektowano sześć różniących się składem mieszanek mineralnych (MM). W projekcie składów mieszanek mineralnych uwzględniono dwie zawartości cementu.

- Dla każdej z mieszanek zastosowano dwa różne cementy, różniące się między sobą wytrzymałością (CEM 32,5R ORAZ CEM 42,5R).
- Dla każdej z mieszanek zastosowano dodatkowo dwie różniące się między sobą rodzajem asfaltu emulsje asfaltowe (emulsja z asfaltem 50/70 oraz 100/150).

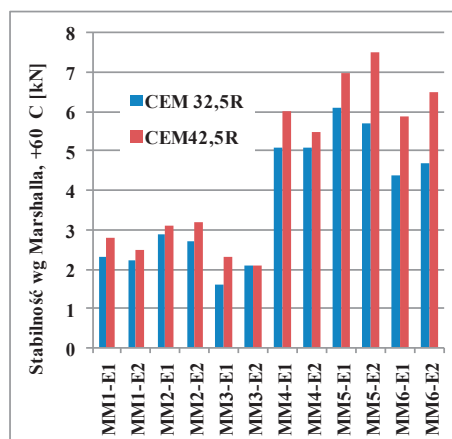
Łącznie przebadano 24 kombinacje mieszanki mineralno-cementowo-emulsyjnej. Skład mineralny poszczególnych mieszanek podano w tabelicy 1. Wyniki wybranych badań przedstawiono na rysunkach 2, 3, 4 i 5.

Tabela 1. Skład mineralny badanych mieszanek MCE

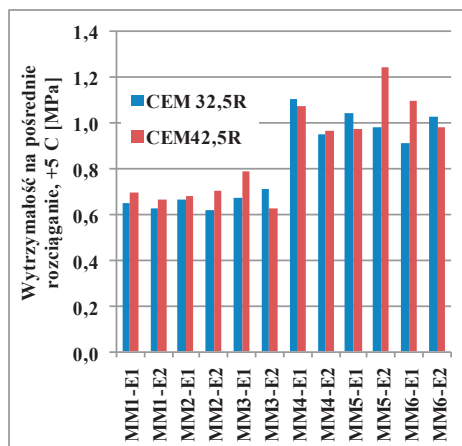
Składnik:	MM 1	MM 2	MM 3	MM 4	MM 5	MM 6
Destrukt	65	55	75	63,7	53,9	73,5
Kruszywo o uziarnieniu 0/31,5 (C _{90/3})	15	23	0	14,7	22,5	22,5
Kruszywo drobne, niełamane 0/2	18	20	23	17,6	19,6	0
Cement	2	2	2	4	4	4



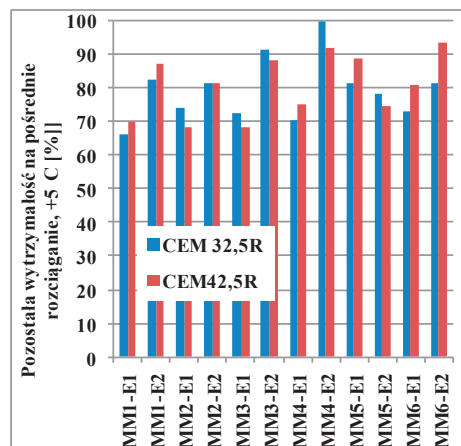
Rys. 2. Zawartość wolnych przestrzeni



Rys. 3. Stabilność wg Marshalla, T = +60°C



Rys. 4. Wytrzymałość na pośrodknie rozciąganie T = +5°C.



Rys. 5. Pozostała wytrzymałość na pośrodknie rozciąganie po działaniu wody.

Z przedstawionych wyników badań, można wywnioskować między innymi że:

- Najbardziej wrażliwym badaniem na zmiany składu badanych mieszanek MCE, szczególnie zawartości cementu jest badanie Marshalla. W pozostałych badaniach te różnice nie były tak widoczne. Jest to jedna z przyczyn dodawania dużej ilości cementu do dotychczas wykonywanych mieszanek MCE – dążenie do uzyskania wysokiej stabilności wg Marshalla.
- Klasa wytrzymałości cementu ma niewielki wpływ na uzyskane wyniki. Stosując cement o wytrzymałości 32,5 oraz 42,5 uzyskano zasadniczo podobne wartości badanych cech. Potwierdza to powszechne przekonanie o drugorzędnej roli cementu w prawidłowo zaprojektowanych mieszankach MCE.
- Badania odporności na działanie wody pokazało, że zaprojektowane mieszanki MCE zasadniczo powinny być odporne na działanie wody. Lepszą odporność na działanie wody wykazały mieszanki z emulsją zawierającą asfalt o penetracji 100/150. Wyraźnego wpływu rodzaju zastosowanego cementu lub jego zawartości nie zaobserwowano.

Przedstawione badania były jednymi z wielu jakie prowadzono podczas prac związanych z poszukiwaniem metod optymalizacji składu mieszanek MCE oraz metod służących do oceny zaprojektowanych mieszanek MCE.

5. Instrukcja projektowania i wbudowania mieszanek MCE

Badania terenowe, przeprowadzone studia literatury oraz liczne badania laboratoryjne pozwoliły na opracowanie „Instrukcji do projektowania i wbudowania mieszanek mineralno-cementowo-emulsyjnych (MCE)” [11]. Instrukcja została tak pomyślana aby w maksymalnym stopniu wykorzystać materiał rozbiórkowy, przy jak najmniejszym dodatku środków wiążących oraz nowego kruszywa, przy jednoczesnym zbliżeniu się cechami materiału do dotychczas stosowanych mieszanek MCE. W opracowanej instrukcji ujęto następujące elementy:

- Określono zakres stosowania poprzez opisanie przeznaczenie mieszanki MCE oraz ograniczeń jakie wynikają z jej charakteru. Ze względu na dość dużą niejednorodność materiału ograniczono stosowanie mieszanki MCE do dróg obciążonych ruchem KR1 – KR4.
- Opisano materiały stosowane do mieszanek MCE oraz sprecyzowano wymagania dla nich. Wymagania, w miarę możliwości oparto na normach serii PN-EN.
- Określono wymagania dla sprzętu wykorzystywanego do wytwarzania i wbudowania podbudowy z mieszanki MCE. Opisano też ogólne zasady transportu niezbędnych materiałów składowych oraz samej mieszanki MCE w przypadku wytwarzania jej w wytwórni stacjonarnej.
- Szczegółowo określono procedurę projektowania mieszanki MCE, tak aby jednoznacznie określić wszystkie kluczowe etapy projektowania. W procedurze zapisano jednoznacznie co należy wykonać, jak przechowywać próbki oraz jak badać mieszankę MCE. W maksymalnym stopniu wykorzystano procedury opisane w normach serii PN-EN. Określono wymagania bazujące na dotychczasowych doświadczeniach oraz przeprowadzonych badaniach weryfikujących. Wymagania określone w Instrukcji [11] przedstawiono w tabelicy 2.

Tabela 2. Skład mineralny badanych mieszanek MCE

Cecha:	Wymagane wartości:	
	Ruch KR1÷KR2	Ruch KR3÷KR4
Zawartość wolnych przestrzeni [%]	od 8 do 18 maksymalnie 14*	od 8 do 15 maksymalnie 12*
Wytrzymałość na pośrednie rozciąganie, T = +5°C, po 7 dniach, [MPa]	od 0,40 do 0,80	od 0,50 do 1,00
Wytrzymałość na pośrednie rozciąganie, T = +5°C po 28 dniach, [MPa]	od 0,60 do 1,40	od 0,70 do 1,60
Moduł sztywności IT-CY, T = +5°C po 28 dniach, [MPa]	od 1500 do 5000	od 2000 do 7000
Odporność na działanie wody (pozostała wytrzymałość na pośrednie rozciąganie po przechowywaniu próbek w wodzie), T = +5°C po 28 dniach, [%]	nie mniej niż 70	nie mniej niż 80

*- Materiały rozbiórkowe zawierające smołę.

- Określono wymagania jakie powinny być przestrzegane podczas wbudowywania mieszanki MCE oraz podano jakie wymagania ma osiągnąć prawidłowo wbudowana warstwa. Określono jak postępować, kiedy konieczne jest wcześniejsze dopuszczenie ruchu pojazdów po wykonanej warstwie.
- W punkcie poświęconym kontroli robót określono zakres badań przed przystąpieniem do robót, podczas wykonywania warstwy oraz zakres badań wymaganych dla wykonanej warstwy. Biorąc pod uwagę dużą, naturalną, niejednorodność materiałów stosowanych do wytworzenia mieszanki MCE podano procedurę postępowania w przypadku niewielkich przekroczeń wymagań określonych w instrukcji przez wytworzony materiał. Pozwoli to na racjonalne wykonywanie podbudów z mieszanek MCE.

6. Podsumowanie

Biorąc pod uwagę dotychczasowe doświadczenia oraz wiedzę zdobyta podczas prac związanych z opracowaniem instrukcji należy zwrócić uwagę na następujące aspekty:

- Wykonując podbudowę z mieszanki MCE należy dążyć do wykonania jak najbardziej podatnej podbudowy, aby zminimalizować ryzyko powstania spękań odbitych, które mogą pojawić się na takiej nawierzchni.
- Mieszanka mineralno-cementowo-emulsyjna jest mieszanką dość wrażliwą ze względu na wykonywanie jej w technologii mieszania na miejscu oraz zastosowanie materiałów z recyklingu. W trakcie jej wykonywania należy bezwzględnie przestrzegać reżimów technologicznych i zasad dobrej praktyki inżynierskiej.
- Nawierzchnie z podbudowami z mieszanki MCE są narażone na powstawanie spękań poprzecznych. O trwałości takiej nawierzchni w dużym stopniu decyduje odpowiednie utrzymanie bieżące. W przypadku pojawienia się spękań należy je jak najszybciej uszczelnić.

Nowa instrukcja jest zwieńczeniem kilkuletnich prac mających na celu optymalizację projektowania i wbudowania mieszanek MCE co powinno przyczynić się do ich szerszego stosowania. Jest to technologia szczególnie predysponowana do przebudów lokalnych dróg, których degradacja jest już dość mocno zaawansowana i ich wzmocnienia nie przyniesie wymiernych korzyści.

Literatura

- 1 Zawadzki J., Matras J. *Warunki techniczne wykonania warstw podbudowy z mieszanki mineralno-cementowo emulsyjnej metodą recyklingu na miejscu*. IBDiM, Zeszyt 53, Warszawa 1997.
- 2 Zawadzki J., Matras J., Mechowski T., Sybilski D. *Warunków technicznych wykonania warstw podbudowy z mieszanki mineralno-cementowo emulsyjnej (MCE)*. IBDiM, Zeszyt 61, Warszawa 1999.
- 3 Szczepaniak Z. Majewski J. *Warunki techniczne. Drogowe kationowe emulsje asfaltowe EmA-99*. IBDiM, Zeszyt 60, Warszawa 1999.
- 4 PN-B-19701:1997 *Cement. Cement powszechnego użytku*.
- 5 PN-B-32250:19898 *Materiały budowlane. Woda do betonów i zapraw*.
- 6 *FGSV, Merkblatt für Kaltrecycling in situ im Straßenoberbau, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen Arbeitsgruppe Mineralstoffe im Straßenbau*, Köln, 2005.
- 7 *Road Pavement Rehabilitation Techniques Using Enhanced Asphalt Mixtures*. Final Technical Report PARAMIX. 2004.
- 8 Westergren P., *Handbok för återvinning av asfalt*. 2004.
- 9 Marti M., Mielke A. *Synthesis of Asphalt Recycling in Minnesota*. Minnesota Local Road Research Board. 2002.
- 10 Merrill D., Nunn M.E., Carswell I., *A guide to the use and specification of cold recycled materials for the maintenance of road pavements*. TRL Report 611, Transport Research Laboratory, Crowthorne, 2004.
- 11 *Instrukcje do projektowania i wbudowania mieszanek mineralno-cementowo-emulsyjnych (MCE)*. Politechnika Gdańska, GDDKiA 2013.

Researches of mineral-cement-emulsion mixes (MCE)

Bohdan Dołżycki

Gdańsk University of Technology,
e-mail: bohdan.dolzycki@wilis.pg.gda.pl

Abstract: The paper describes the researches related to mineral-cement-emulsion mixes (MCE). Previous experiences related to the assessment of road sections made using this technology are described, their technical condition and damage occurring after a few years of exploitation are discussed. In the paper will be presented the results of researches of mineral-cement-emulsion carried out in order to optimize the composition of these mixtures. In the final part of the publication will be presented the new standard method to design mineral-cement-emulsion mixes (MCE), which is the result of work carried out.

Keywords: mineral-cement-emulsion mixes (MCE), in-situ measurements, design method.