

Mieszanki mineralno-cementowo-emulsyjne (MMCE) modyfikowane miałem gumowym

Jerzy Kukielka, Marcin Dębiński

Katedra Dróg i Mostów, Wydział Budownictwa i Architektury, Politechnika Lubelska,
e-mail: jerzy.kukielka@pollub.pl, m.debinski@pollub.pl

Streszczenie: Mieszanki MMCE z dodatkiem mialu gumowego były przedmiotem rozpoznawczych badań laboratoryjnych przeprowadzonych w Politechnice Lubelskiej. Ustalono wstępnie na podstawie przeglądu literatury, dotyczącej stosowania mialu gumowego do mieszanek związanych cementem, jego dodatek w ilości 2%, 4% i 6% w stosunku do kruszywa. Zaprojektowano mieszanki a następnie wykonano próbki i przebadano je pod kątem spełnienia wymagań w zawartych w Instrukcji [9].

Analiza uzyskanych wyników pozwala stwierdzić przydatność mialu gumowego w mieszankach MCE i stanowi postawę do opracowania dalszych szczegółowych prac w celu ustalenia nowych wymagań ilościowych wykraczających poza wymagania zawarte w Instrukcji.

Słowa kluczowe: mieszanki mineralno-cementowo-emulsyjne (MMCE), mial gumowy.

1 Wprowadzenie

W roku 2014 opracowano, w Katedrze Inżynierii Drogowej Politechniki Gdańskiej "Instrukcję projektowania i wbudowywania mieszanek mineralno-cementowo-emulsyjnych" [9], która po rekomendacji Dyrektora Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad zastąpiła dotychczasowe Warunki Techniczne [10].

Porównując wymagania odnoszące się do podbudów z betonów asfaltowych można zauważyć, że np. odporność na działanie wody według Wymagań Technicznych WT-2 [11] odpowiadać powinna $ITSR_{70}$ natomiast w Instrukcji z 2014 r. "pozostała wytrzymałość na pośrednie rozciąganie" powinna być większa od 70% lub 80% w zależności od obciążenia ruchem, jak w tabeli 1.

Tabela 1. Wymagania w odniesieniu do próbek z mieszanek mineralno-cementowo-emulsyjnych [9]

Cecha:	Wymagane wartości:	
	Ruch KR1-KR2	Ruch KR3-KR4
Zawartość wolnych przestrzeni	od 8 do 18 maks. 14 ¹⁾	od 8 do 15 maks. 12 ¹⁾
Wytrzymałość na pośrednie rozciąganie $T = +5\text{ }^{\circ}\text{C}$, po 7 dniach, [MPa]	od 0,40 do 0,80	od 0,50 do 1,00
Wytrzymałość na pośrednie rozciąganie $T = +5\text{ }^{\circ}\text{C}$, po 28 dniach, [MPa]	od 0,60 do 1,40	od 0,70 do 1,60
Moduł sztywności IT-CY $T = +5\text{ }^{\circ}\text{C}$, 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), $T = +5\text{ }^{\circ}\text{C}$ po 28 dniach, [%]	nie mniej niż 70	nie mniej niż 80

¹⁾ - Materiały rozbiórkowe zawierające smołę.

Badania zamieszczone w pracy doktorskiej [13] potwierdziły dużą zmienność wyników badań wodo- i mrozoodporności próbek i tylko jedna z mieszanek zawierająca 3% emulsji asfaltowej i 5% cementu spełniła kryterium $ITSR \geq 70\%$. Pomimo dużej porowatości wykonywanych mieszanek mineralno-cementowo-emulsyjnych, do ok. 16% przy uziarnieniu 0/25 mm, ich nasiąkliwość zawiera się w przedziale 3,5÷5,1%. Próbki dojrzewające przez 3 miesiące charakteryzowały się wzrostem wytrzymałości próbek wysuszonych i znacznie mniejszym przyrostem wytrzymałości po ich nawilżeniu wodą skutkiem, czego było uzyskanie mniejszych od 70% wskaźników wodoodporności. Można, zatem wnioskować, że warunkiem zapewniającym wodo- i mrozoodporność mieszanek mineralno-cementowo-emulsyjnych jest uzyskanie małej nasiąkliwości i porowatości poprzez dodatek odpowiedniego rodzaju i ilości miazgu gumowego.

Można przyjąć, że wykonywane dotychczas podbudowy z mieszanek mineralno-cementowo-emulsyjnych spełniały niekiedy warunki zwiększających się wymagań w zakresie wodo- i mrozoodporności, ale mogą ich nie spełnić w przypadku ruchu KR3 i KR4 według nowej Instrukcji z 2014 r.

Zasadnicza zmiana w Instrukcji z 2014 r., w stosunku wcześniejszych wymagań, polega na rezygnacji z oceny mieszanek mineralno-cementowo-emulsyjnych na podstawie badań stabilności według Marshalla oraz ustaleniu wytrzymałości na pośrednie rozciąganie w granicach $0,7 < R_f < 1,6$ MPa po 28 dniach twardnienia, modułu sztywności w temperaturze 5°C w granicach $2000 \text{ MPa} < E_s < 7000 \text{ MPa}$ oraz odporności na działanie wody nie mniej niż 80% dla kategorii obciążenia ruchem KR3 i KR4.

Zastosowanie miazgu gumowego do wykonywania wzmocnień podłoża gruntowego opisano w patencie nr 391 572 z roku 2010 r. [14] Miazg powinien posiadać uziarnienie najkorzystniej $D < 2$ mm i być dodawany do piasku, żwiru lub pospółki w stosunku wagowym do 10%. Miesza się go z optymalną ilością wody tak, aby wskaźnik wodnocementowy wynosił $0,4 < w/c < 0,8$ a następnie zagęszcza się konwencjonalnymi metodami w temperaturze $> 5^\circ\text{C}$, najkorzystniej $> 15^\circ\text{C}$.

Kolejny patent z zastosowaniem miazgu gumowego przyznany w roku 2012 [15] dotyczy jego zastosowania w ilości do 4% wagowo do mieszanki składającej się z kruszywa po frezowaniu warstw asfaltowych nawierzchni w ilości 70÷80%, zaprawy cementowo-piaskowej w ilości $\geq 20\%$, wody w ilości optymalnej ustalonej metodą Proctora oraz zbrojenia rozproszonego w ilości do 5 % w stosunku do mieszanki. Mieszanki te zalecane są do stosowania np. w przypadku napraw pęknięć klawiszujących lub przełomów nawierzchni asfaltowych.

Analizując wyniki prac badawczych dotyczących stosowania miazgu gumowego można wnioskować, że wpływa on korzystnie np. na:

- zawartość wolnych przestrzeni, która w przypadku MMCE powinna być mniejsza od 15% przy obciążeniu ruchem średnim oraz 18% w podbudowach obciążonych ruchem lekkim,
- trwałość zmęczeniową podbudów w tym z mieszanek mineralno-cementowo-emulsyjnych, która powinna być przedmiotem dalszych badań.

2 Miazg gumowy

Zużyte opony samochodowe są pełnowartościowym materiałem możliwym do stosowania w różnych gałęziach gospodarki zgodnie z Konwencją Bazylejską Narodów Zjednoczonych pt. „Identyfikacja i postępowanie ze zużytymi oponami” (1998), w której stwierdzono, że nie są one materiałem ani niebezpiecznym, ani stwarzającym ryzyko, o ile przetwarzają się je w odpowiedni sposób, transportuje i magazynuje. Do produkcji opon używa

się obecnie w większości kauczuki syntetyczne wytwarzane z surowców otrzymywanych z ropy naftowej. Charakteryzują się one odpornością na niektóre oleje, wiele rozpuszczalników, kwasy i inne chemikalia, ponadto są odporne na wilgoć, pleśń i wykazują bardzo wolny rozkład w środowisku naturalnym. Zużyte opony są w związku z tym uciążliwym odpadem, gdyż nie ulegają degradacji nawet przez okres 100 lat. Z tego powodu zostały zakwalifikowane do kategorii odpadów, które powinno się wykorzystywać przemysłowo i nie można pozostawiać ich na składowiskach. Zgromadzone w dużych ilościach w jednym miejscu stanowią potencjalne zagrożenie pożarowe. Opony można przetwarzać w 100% [7]. Własności opon samochodowych czynią je atrakcyjnym surowcem do zastosowania, w całości, czy też w postaci rozdrobnionej w budownictwie drogowym.

W Polsce ustawa z dnia 11 maja 2001 roku o obowiązkach przedsiębiorców w zakresie gospodarowania niektórymi odpadami oraz o opłacie produktowej i opłacie depozytowej [8] nałożyła na producentów opon obowiązek odzysku z rynku większości wyprodukowanych opon, a na przedsiębiorców z branży motoryzacyjnej obowiązek ewidencji, składowania i przekazywania do odzysku zużytych opon. Istotny wpływ na sposób wykorzystania gumy ma stopień jej rozdrobnienia, w wyniku którego otrzymujemy wg [2]:

- pył gumowy ($< 0,2$ mm)
- miął gumowy (0,2 – 1,0 mm),
- granulaty gumowy (1,0 – 10,0 mm),
- grys (> 10 mm).

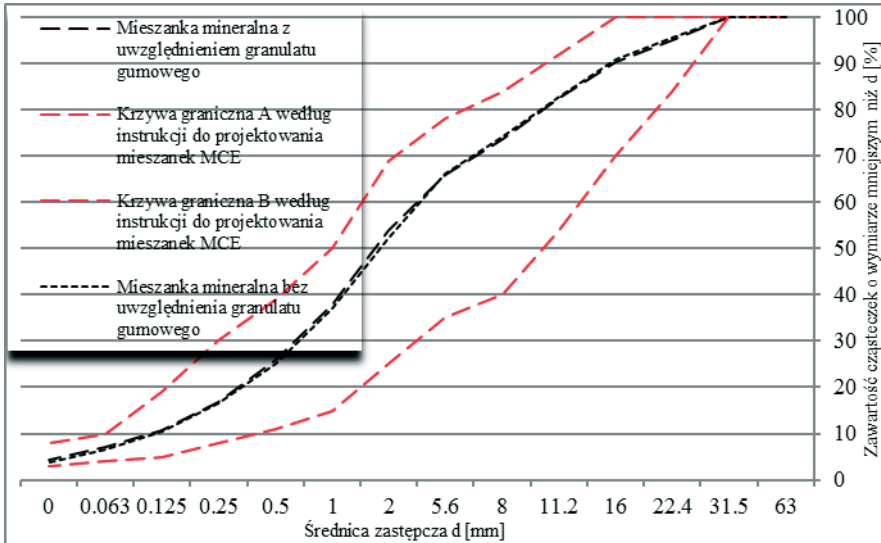
Przykładem powtórnego wykorzystania opon samochodowych w postaci rozdrobnionej jest ich zastosowanie także np. do produkcji betonu cementowego. Badania naukowe prowadzone w kilku ośrodkach wykazały, że obecność rozdrobnionych odpadów gumowych w betonie, niezależnie od ich ilości, pogarsza pewne właściwości mechaniczne betonu tradycyjnego. Badaniom wytrzymałościowym (wytrzymałość na ściskanie, wytrzymałość na zginanie) poddawano próbki różnych rozmiarów i kształtów. Najmniejsze spadki wytrzymałości, zarówno na ściskanie jak i na zginanie, zaobserwowano przy minimalnych zawartościach frakcji gumowych, co spowodowało, że autorzy [1], po przeprowadzonych doświadczeniach, zasugerowali by ilość gumy w betonie została ograniczona w stosunku do masy kruszywa. Obniżenie wytrzymałości mieszanek betonowych może być spowodowane słabą przyczepnością cząstek gumy do zaczynu cementowego. W literaturze nie ma jednoznacznych wyników dotyczących szczepności strefy stykowej i stopnia przyczepności zaczynu do cząstek gumowych. Obserwowano zarówno adhezję słabą, jak i bardzo silną. Obecność gumy w betonie, jak wykazały przeprowadzone badania [3] wpływa korzystnie na niektóre właściwości fizyczne betonów [4, 5].

3 Projektowanie MMCE z dodatkiem miału gumowego

Skład mieszanek mineralno-cementowo-emulsyjnych ustalono na podstawie wymagań zawartych w Instrukcji [9]. Zaprojektowano skład granulometryczny, w którym destruk o zawartości asfaltu 5,5% stanowił 50%, kruszywo doziarniające – 33%, cement 42,5–6%. Jako materiały stanowiące pozostały skład mieszanek MCE przyjęto emulsję asfaltową Jasbit C60 B5R w ilości 3% oraz wodę na podstawie badania Proctora w ilości 8%.

Zaprojektowano cztery receptury, w tym jedną niemodyfikowaną miałem gumowym jako referencyjną. Z doświadczeń badawczych wynika, że po dodaniu miału gumowego następuje spadek wytrzymałości betonu, w związku z tym przyjęto zwiększony dodatek cementu w ilości 6%.

Poprawna interpretacja analizy sitowej jest utrudniona w przypadku dozowania miazła gumowego ze względu na jego odkształcalność. Miazł gumowy pod wpływem zagęszczania zmienia swój kształt. Teoretycznie powinien on powrócić do swoich pierwotnych rozmiarów, jednak związany przez spoiwo może pozostać w odkształconej postaci.



Rys. 1. Krzywe uziarnienia MMCE z dodatkiem 6% miazła gumowego [12]

Na powyższym wykresie przedstawiono wpływ 6% dodatku miazła gumowego na krzywą uziarnienia mieszanki mineralnej. Można zauważyć nieznaczny wzrost ilości frakcji drobnych, także poniżej 1 mm po dodaniu miazła gumowego.

4 Wyniki badań próbek z MMCE z dodatkiem miazła gumowego i ich analiza

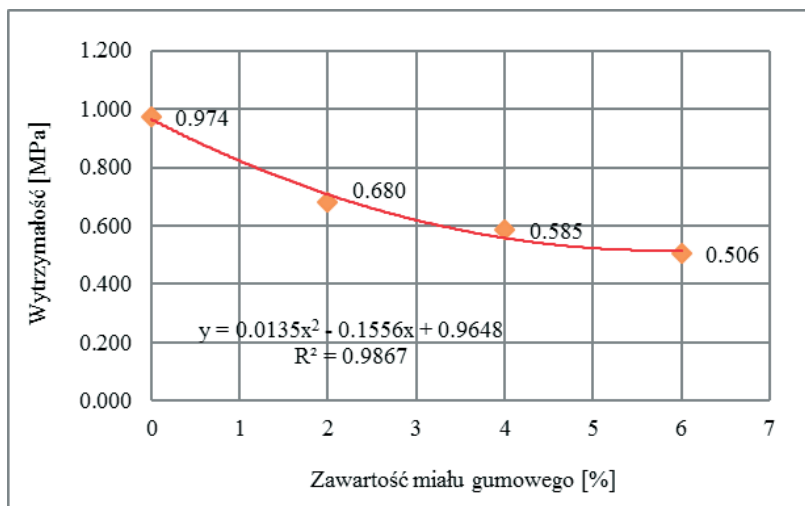
Jako miazł gumowy przyjęto mieszankę trzech frakcji 2÷4 mm, 0,8÷2 mm i poniżej 0,8 mm w stosunku 1:1:1, dodawaną w ilości 2%, 4% i 6% do masy mieszanki mineralnej.

Tabela. 2. Zawartość wolnej przestrzeni w próbkach MMCE w zależności od wielkości dodatku miazła gumowego [12]

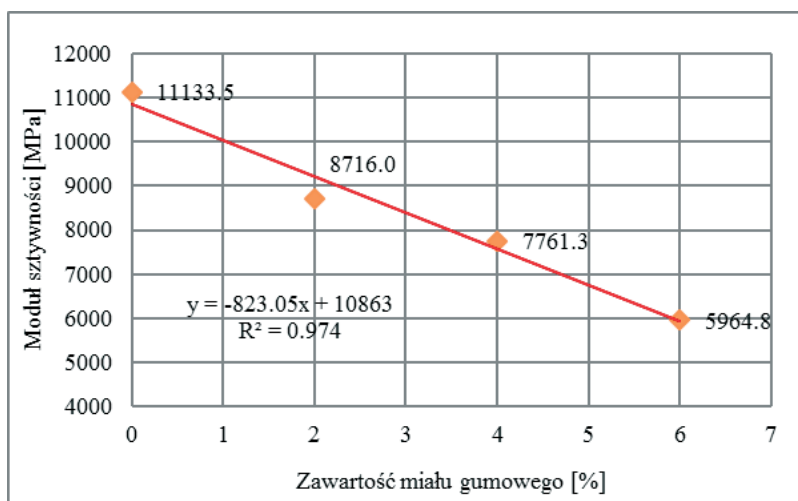
Miazł gumowy [%]	6	4	2
Wolne przestrzenie w mieszance MCE [%]	2,94	3,14	3,69

Na podstawie wyników badań wywnioskować można, że zwiększenie dodatku miazła gumowego z 4% do 6% nie zmieniło w istotny sposób zawartości wolnych przestrzeni w mieszance MCE.

Próbki według zaprojektowanych receptur poddano badaniom po 28 dniach dojrzewania w celu określenia wpływu dodatku miazła gumowego na wytrzymałość na rozciąganie pośrednie według normy PN-EN 12697-23 i moduł sztywności mieszanek MCE badany metodą NAT zgodnie z procedurą podaną w Instrukcji [9] (rys. 2 i 3)



Rys. 2. Wpływ zawartości miazgu gumowego na wytrzymałość na rozciąganie pośrednie próbek z MMCE po 28 dniach twardnienia w temperaturze pokojowej [12]



Rys. 3. Wpływ zawartości miazgu gumowego na moduły sztywności próbek z MMCE badane w temperaturze 5°C po 28 dniach twardnienia [12]

Analizując wymagania w odniesieniu do próbek z MMCE wg Instrukcji [9] można zauważyć potrzebę zapewnienia kompromisu pomiędzy minimalną wytrzymałością na pośrednie rozciąganie (0,6 MPa lub 0,7 MPa po 28 dniach twardnienia) i maksymalną wielkością modułu sztywności (5000 MPa lub 7000 MPa po 28 dniach dojrzewania). Zapewnienie minimalnej wytrzymałości na rozciąganie pośrednie może być np. powodem przekroczenia dopuszczalnej wielkości modułu sztywności.

W praktycznych doświadczeniach uzyskiwano dawniej warstwy podbudowy z MMCE o względnie dużej sztywności z powodu potrzeby spełnienia wymagań odnoszących się do kryterium stabilności wg Marshalla. W Instrukcji [9] zastąpiono stabilność Marshalla wytrzymałością na rozciąganie pośrednie, która pozostaje w korelacji z modułem sztywności.

Dodatek miazgu gumowego do MMCE wpływa korzystnie na zmniejszenie modułu sztywności, ale jest też powodem zmniejszenia wytrzymałości na rozciąganie pośrednie.

Korzystnym efektem dodatku miazgu gumowego do MMCE może być zwiększenie wytrzymałości zmęczeniowej, którą badano w przypadku innych mieszanek [6].

Spełnienie wymagań Instrukcji [9] ułatwić może praktyczne zastosowanie miazgu gumowego do MMCE z możliwością wprowadzenia zmian ilościowych w wymaganiach po przeprowadzeniu dalszych badań.

W przypadku badanej mieszanki MMCE z dodatkiem 2% miazgu gumowego spełnione są wymagania dotyczące minimalnej wytrzymałości na rozciąganie pośrednie dla ruchu KR3 i KR4, 4% dodatku może być stosowane tylko do dróg o ruchu KR1 i KR2 a w przypadku 6% nie jest spełnione to wymaganie.

Analizując wyniki badań modułów sztywności możemy zaobserwować, że dodatek 2% miazgu gumowego nie zapewnia spełnienia wymagania dotyczącego nie przekroczenia maksymalnej dopuszczalnej wartości 7000 MPa co oznacza, że jego dodatek powinien być większy. Możemy zaobserwować także, że dodatek 6% miazgu gumowego powoduje około 2-krotne obniżenie wielkości modułu sztywności próbek MMCE w stosunku do próbek referencyjnych bez jego dodatku.

5 Wnioski

Dotychczasowe badania stanowią przesłankę do wykonania pełnego zakresu badań zalecanych w Instrukcji zwłaszcza dotyczących wodoodporności.

Dodatkowe badania zmęczeniowe mogą przyczynić się do korekty wymagań ilościowych w Instrukcji, gdy dodawany jest miazg gumowy do MMCE.

Proponuje się dozowanie miazgu gumowego o drobniejszym uziarnieniu np. < 2 mm i zmniejszenie zawartości emulsji asfaltowej w mieszance MCE poniżej 3%.

Dozowanie cementu 42,5 w ilości 6% do próbek MMCE z dodatkiem miazgu gumowego wpłynęło znacząco na wielkość modułu sztywności. Z badań praktycznych podbudów z MMCE wiadomym jest, że ich sztywność początkowa często jest większa od wyników badań podanych w tej publikacji.

Literatura

1. Biel T.D., Lee H., 1996. Magnesium oxychloride cement concrete with recycled tire rubber. Transportation Research Record No. 1561, 6–12,
2. Horodecka R., Kalabińska M., Piłat J., Radziszewski P., Sybilski D.: Wykorzystanie zużytych opon samochodowych w budownictwie drogowym, Instytut Badawczy Dróg i Mostów, Warszawa, 2002.
3. Kaloush K.E, Way G.B., Zhu H. 2005. Properties of crumb rubber concrete. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, vol. 1914, 8–14., 10 Savas B.Z., Ahmad S., Fedroff D. 1996. Freeze-thaw durability of concrete with ground waste tire rubber. Transportation Research Record No. 1574, 80–88.
4. Ołdakowska E: Ocena wybranych właściwości betonów zwykłych z rozdrobnioną gumą ze zużytych opon samochodowych Inżynieria Ekologiczna / Ecological Engineering. Vol. 43, 2015,
5. Radziszewski P., Ołdakowska E.: Właściwości betonów cementowych zawierających rozdrobnione odpady gumowe pochodzące ze zużytych opon samochodowych. Zeszyty Naukowe Politechniki Białostockiej. Budownictwo nr. 32/2008
6. Sadowski T, Pietras D.: Description of degradation process of rubberized lean concrete. Solid State Phenomena Vol. 2016 (2014) pp 67-72. Trans Tech Publications, Switzerland 2014.

7. Stowarzyszenie Przemysłu Gumowego EKOGUMA: Wprowadzenie do recyklingu opon: 2004, Instytut Przemysłu Gumowego „STOMIL”, Piastów, 2004
8. Ustawa z dnia 11 maja 2001 r. o obowiązkach przedsiębiorców w zakresie gospodarowania niektórymi odpadami oraz o opłacie produktowej i opłacie depozytowej., Dz.U. 2001 nr 63 poz. 639;
9. Instrukcja projektowania i wbudowywania mieszanek mineralno-cementowo-emulsyjnych. Politechnika Gdańska. Opracowanie na zlecenie Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad. 2014 r.
10. Warunki Techniczne Wykonywania warstw podbudowy z mieszanki mineralno-cementowo-emulsyjnej, Zeszyt 61, Wyd. II uzup., Warszawa 1999.
11. Wymagania techniczne WT-2. Nawierzchnie asfaltowe na drogach krajowych – Mieszanki mineralno-asfaltowe. Opracowane w IBDiM pod kierunkiem Sybilskiego D. do zarządzenia nr 102 Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad z 19 listopada 2010 r.
12. Dębiński M.: Praca magisterska - Właściwości mieszanek mineralno-cementowo-emulsyjnych (MMCE) z dodatkiem miazgi gumowego, Politechnika Lublin, 2014;
13. Kukielka J. Praca doktorska - Trwałość podbudów z mieszanek mineralno-cementowo-emulsyjnych MMCE. Politechnika Lubelska, 2006 r.
14. P.391572 – Sposób wykonywania wzmocnień podłoża gruntowego – 21.06.2010 r. BUP 2012, vol. 40, 1 (992), s. 25-25
15. P.400999 – Mieszanka kompozytowa do nawierzchni drogowych– 10.04.2012 r. BUP 2014, vol. 42, 8, s. 36-36.

Mineral-cement-emulsion mixtures (MCEM) modified with fine rubber

Jerzy Kukielka, Marcin Dębiński

*Department of Road and Bridges, Faculty of Civil Engineering and Architecture,
Lublin University of Technology, e-mail: jerzy.kukielka@pollub.p, m.debinski@pollub.p*

Abstract: MCE mixtures fortified with fine rubber were the subject of research in laboratory tests in Lublin University of Technology. As a basic literature review shows, an amount of fine rubber in mixtures with cement in MCEM should be 2%, 4% and 6% of the aggregate. The mixtures were designed planned and prepared as samples for tests assessing the fulfillment of the requirements contained in the Manual [9].

Analysis of the results allows to assess the usefulness of fine rubber in MCE mixtures and is a basis for further detailed studies that are aimed at setting new quantitative requirements, going beyond the requirements included in the Manual.

Keywords: mineral-cement-emulsion (MMCE), fine rubber.

