

Cechy mechaniczne matryc cementowych i cementowo-asfaltowych z dodatkiem miazła gumowego

Jerzy Kukielka

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

Streszczenie: Matryce cementowe znane są dotychczas z badań betonów. Matryce cementowo-asfaltowe z zaczynu cementowego i emulsji asfaltowej są stosowane w mieszankach mineralno-cementowo-emulsyjnych (MMCE). Wytrzymałość matrycy w mieszankach MMCE nie była dotychczas badana. Matryce cementowo-asfaltowe z dodatkiem miazła gumowego o uziarnieniu 0/1 mm proponowane są przez autora do stosowania w MMCE [3, 26]. W artykule zamieszczono wyniki badania cech mechanicznych wymienionych matryc do celów porównawczych oraz do wstępnej oceny ich przydatności do podbudów z MMCE. Wykonano badania wytrzymałości na pośrednie rozciąganie, wytrzymałości na ściskanie oraz modułów sztywności metodą NAT i 4 PB-PR.

Słowa kluczowe: matryca cementowa, matryca cementowo-asfaltowa, miazł gumowy, mieszanki mineralno-cementowo-emulsyjne.

1. Wstęp

Przepisy dotyczące recyklingu nawierzchni na zimno w wielu krajach zalecają rozwiązanie wyłącznie z cementem lub z emulsją asfaltową albo z cementem i emulsją asfaltową [19, 20, 21, 22, 23]. Polskie przepisy stosowania recyklingu na zimno dotyczą zastosowania łącznie cementu i emulsji asfaltowej [6, 7, 8, 24].

Autor badał początkowo betony asfaltowo-cementowe (BAC) [2, 10, 11], w których stosuje się wyłącznie cement jako środek wiążący, następnie mieszanki mineralno-cementowo-emulsyjne (MMCE), gdzie stosuje się jako środki wiążące cement i emulsję asfaltową [5, 12] i obecnie mieszanki mineralno-cementowo-emulsyjne z dodatkiem miazła gumowego z recyklingu opon samochodowych o uziarnieniu 0/1 mm [3, 26, 27].

Ziarna kruszywa stanowiące np. dodatek do BAC wraz z destruktem asfaltowym powiązane są siłami adhezji przez kruchą matrycę cementową, której cechy są znane [13, 17].

Stos okruszowy MMCE z ziarnami destruktu i kruszywa doziarniającego, stanowią inkluzję w matrycy cementowo-asfaltowej, której cechy mechaniczne nie są dotychczas jednoznacznie rozpoznane.

Dodatek miazła gumowego 0/1 mm do MMCE powinien przyczynić się do zwiększenia trwałości zmęczeniowej i zmniejszenia dynamicznego modułu sztywności sprężystej jak można wnioskować z wstępnie przeprowadzonych badań [3].

Matryca cementowo-asfaltowa obtacza najdrobniejsze cząsteczki miazła gumowego i kruszywa w MMCE co w zasadniczy sposób wpływa na cechy mechaniczne kompozytu. W pracy zamieszczono wyniki badań dotyczących matryc bez i z dodatkiem miazła gumowego o uziarnieniu 0/1 mm.

Stwardniały zaczyn cementowy składa się z następujących związków chemicznych [17]:

- uwodnionych krzemianów wapnia,
- uwodnionych glinianów wapnia, glinożelazianów, siarczanoglinianów,
- wodorotlenku wapnia i węgla wapnia,
- składników śladowych takich jak tlenki wapnia i magnezu, sodu i potasu.

Żel krzemianu wapniowego jako faza C-S-H zajmuje największą objętość struktury matrycy cementowej od 48% do 70%. Fazą słabszą od C-S-H jest C-H a najsłabszą fazą ITZ (Interfacial Transition Zone) na styku matrycy cementowej z kruszywem. Propagacja pęknięć skrzydłowych w matrycy cementowej rozpoczyna się w betonach na powierzchni ziaren [13].

Brak jest badań dotyczących możliwości występowania fazy ITZ na styku matrycy cementowej z destruktem asfaltowym, gdy np. w mieszankach BAC związanych wyłącznie cementem stosowany jest także dodatek drobnego kruszywa doziarniającego (około 7%).

Matryca cementowo-asfaltowa jest fazą wiążącą ziarna destruktu i kruszywa doziarniającego (<50%) w mieszankach MCE.

Mieszanki mineralno-cementowo-emulsyjne (MMCE) są stosowane i badane w wielu krajach [1, 6, 9, 12, 15, 19]. W Polsce badane są np. mieszanki cementowo-asfaltowe o różnych składach i po różnym czasie twardnienia [4, 14]. Od niedawna prowadzone są także prace dotyczące cech zmęczeniowych mieszanek z zastosowaniem cementu i emulsji asfaltowej [9, 15]. Względnie dużą ilość badań wykonano w przypadku past asfaltowo-cementowych przeznaczonych do różnych zastosowań [16]. Własności reologiczne świeżych past, w tym z dodatkiem superplastyfikatorów, mączki wapiennej oraz środków przeciwpieniących, w przypadku użycia emulsji anionowej i kationowej, charakteryzowały się wielkościami naprężeń ścinania przy szybkości ścinania od 1 s^{-1} do 100 s^{-1} w granicach odpowiednio od 80 Pa do 40 Pa gdy $\text{EmA/CEM} = 0,4$ i od 35 Pa do 10 Pa gdy $\text{EmA/CEM} = 1,4$. Dobrą przyczepnością charakteryzują się matryce z emulsją kationową, które posiadają niskie pH [16].

W przypadku matrycy cementowo-asfaltowej w MMCE ważna jest zwłaszcza przyczepność do destruktu i kruszywa doziarniającego, przyrost wytrzymałości w czasie twardnienia cementu oraz wytrzymałość zmęczeniowa.

Matryca cementowo-asfaltowa z dodatkiem miazgu gumowego zapewnia powiązanie ziaren kruszywa i destruktu a ponadto wypełnia wolne przestrzenie w MMCE, które stanowią do 15% objętości w przypadku ruchu średniego KR3-KR4 i do 18% w przypadku ruchu lekkiego KR1-KR2 [24]. Matryca z dodatkiem miazgu gumowego przyczynia się do zmniejszenia sztywności podbudowy z MMCE i zwiększenia trwałości zmęczeniowej [3, 26, 27].

Rozpoczęte przez autora badania matryc cementowo-asfaltowych oraz matryc cementowo-asfaltowych z dodatkiem miazgu gumowego 0/1 mm powinny przyczynić się do pełniejszej oceny podbudów. Jednorodność mieszanek przygotowanych w urządzeniach stacjonarnych nie różni się zasadniczo w przekroju warstwy. Wykonanie podbudowy MMCE metodą „in situ” poprzez wymieszanie składników za pomocą recyklera powinno charakteryzować się możliwie małą zawartością wolnych przestrzeni oraz przygotowaniem jednorodnej matrycy i inkluzji zwłaszcza w spodzie warstwy, gdzie występują największe siły rozciągające od obciążenia ruchem lub z powodu różnicy temperatur. Stosowanie w praktyce skrapianie wodą mieszanki destruktu i kruszywa doziarniającego przed późniejszym rozłożeniem cementu, wstępnym wymieszaniu i skropieniu emulsją asfaltową, powinno zapewnić możliwie optymalną wilgotność w całym przekroju warstwy zwłaszcza na jej spodzie. Grawitacyjne (samoczynne) zagęszczanie matrycy cementowo-asfaltowej w wolnych przestrzeniach w tym na spodzie warstwy, zależy głównie od dokładności dozowania wody i emulsji asfaltowej.

2. Materiały wykorzystane do przygotowania matrycy

Według Instrukcji [24] należy stosować cement portlandzki CEM I lub cement portlandzki wieloskładnikowy CEM II klasy 32,5 lub 42,5 spełniający wymagania PN-EN 197-1 „Cement. Część 1. Skład, wymagania i kryteria zgodności dotyczące cementów powszechnego użytku”. Do wykonania matryc przyjęto cement portlandzki CEM I 42,5 R.

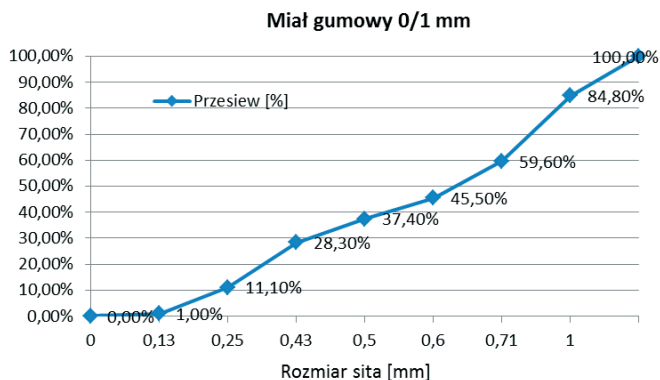
Drogowe kationowe emulsje asfaltowe wytwarzane są w młynkach koloidalnych, gdzie stosuje się jako fazę rozpraszającą emulgator, wodę i kwas solny mieszając składniki w temperaturze 80÷85°C. Asfalt i upłynniacz, jako faza rozproszona, podgrzewany jest do 100÷150°C w zależności od penetracji w celu uzyskania lepkości odpowiadającej wodzie. Temperatura 100°C asfaltu i wody zapobiega pienieniu się emulsji.

Do recyklingu głębokiego na zimno stosuje się obecnie emulsję wolnorozpadową nadstabilną C60B10 MZ/R według PN-EN 13808:2013-10 zastępując poprzednią emulsję C60B5 R według PN-EN 13808:2010. Ponadto zaleca się aby emulsja spełniała dodatkowo następujące warunki [24]:

- rodzaj asfaltu: 50/70 lub 70/100 wg PN-EN 12591 „Asfalty i lepiszcza asfaltowe. Wymagania dla asfaltów drogowych”,
- brak rozpuszczalników i topników,
- emulsja powinna charakteryzować się dobrą tolerancją ze spoiwem.

Do wykonania matrycy cementowo-emulsyjnej zastosowana została emulsja nadstabilna C60B5 R.

Miał gumowy o uziarnieniu 0/1 mm został udostępniony przez Zakład Produkcji Granulatu Gumowego Orzeł S.A. z Poniatowa. Uziarnienie zgodnie z danymi producenta zamieszczono na rys. 1.



Rys. 1. Uziarnienie mialu gumowego 0/1 mm

3. Rodzaje i sposób przygotowania próbek

Przygotowano następujące składy matryc z zaczynu cementowego (CEM), zaprawy cementowo-emulsyjnej (CEM:EmA), cementowo-gumowej (CEM:MG) i cementowo-gumowo-emulsyjnej (CEM:MG:EmA), prezentowane na fot. 1÷2;

A – W:CEM = 0,5

B – CEM:MG = 1,5:1

C – CEM:EmA = 5:3

D – CEM:MG:EmA = 1:1:1

E – CEM:MG:EmA = 1,5:1:1

F – CEM:MG:EmA = 2:1:1

Z każdego składu matrycy wykonano 9 próbek walcowych o wymiarach $\text{Ø}80 \times 80$ mm, 12 próbek $\text{Ø}100 \times 63,5$ mm oraz po 9 beleczek $380 \times 63 \times 50$ mm. Wszystkie składy matryc posiadały W/C w przedziale $0,5 \div 0,6$, tak aby uzyskać konsystencję plastyczną i po wypełnieniu form nie ulegały segregacji. Próbki zagęszczane grawitacyjnie pozostawały w formach przez 24 godz. po czym następowało ich rozformowanie i przechowywanie w temperaturze pokojowej w zabezpieczeniu przed odparowaniem wody przez okres 28 dni.



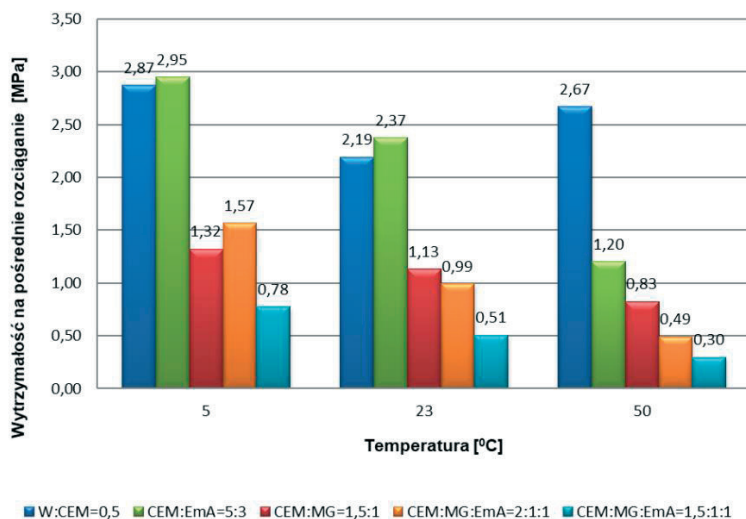
Fot. 1. Próbki $\text{Ø}80 \times 80$ mm po badaniu wytrzymałości na ściskanie osiowe



Fot. 2. Próbki $\text{Ø}100 \times 63,5$ mm po badaniu wytrzymałości na pośrednie rozciąganie

4. Wyniki badań matryc cementowo-asfaltowych

Badania wytrzymałości na pośrednie rozciąganie, na ściskanie oraz modułów sztywności metodą NAT i 4PB-PR przeprowadzono w temperaturach 5°C , 23°C i 50°C . Temperatura 5°C została przyjęta zgodnie z zaleceniami Instrukcji [24], 23°C odpowiada temperaturze przyjmowanej jako średnia w okresie lata w Polsce, natomiast 50°C odpowiada maksymalnej temperaturze jaka może wystąpić w warstwie podbudowy. Próbki były przechowywane przez min. 4 godziny w komorze klimatyzacyjnej przed badaniem, które przeprowadzono niezwłocznie po ich wyjęciu. W trakcie badań stwierdzono, że próbki o składzie matrycy D – CEM:MG:EmA = 1:1:1 mają wyniki kilkakrotnie niższe od próbek matrycy E – CEM:MG:EmA = 1,5:1:1 w związku z czym pominięto je w dalszej analizie.



Rys. 2. Wyrztrzymałość na pośrednie rozciąganie próbek $\varnothing 100 \times 63,5$ mm z matryc CEM, CEM:EmA, CEM:MG i CEM:MG:EmA po 28 dniach dojrzewania

Badanie wodoodporności przeprowadzono zgodnie z Instrukcją [24] przy czym, ze względu różny czas niezbędny do uzyskania pełnego nasączenia matryc zastosowano metodę polegającą na ważeniu próbki po każdej dobie nasączenia do uzyskania stałej masy. Odporność na działanie wody jako pozostała wytrzymałość na pośrednie rozciąganie po przechowywaniu próbek w wodzie obliczono według wzoru [25]:

$$ITSR = 100 \times \frac{ITS_w}{ITS_d} \quad (1)$$

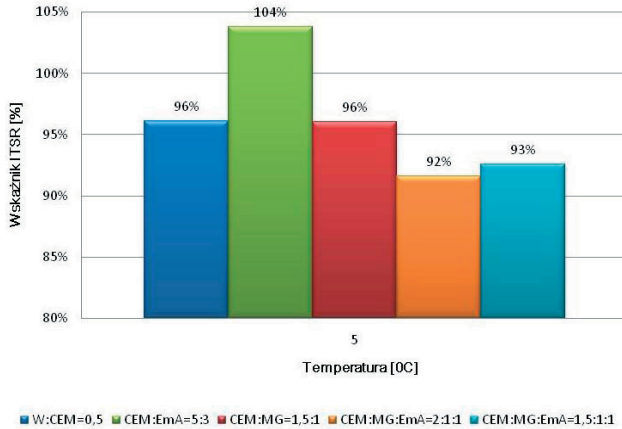
w którym: $ITSR$ – wskaźnik wytrzymałości na rozciąganie pośrednie po nasączeniu próbek wodą [%], ITS_w – średnia wytrzymałość na rozciąganie pośrednie próbek nasączonych wodą [MPa], obliczona za pomocą wzoru:

$$ITS_w = \frac{2 \times P_w}{\pi \times D \times h} \quad (2)$$

ITS_d – średnia wytrzymałość na rozciąganie pośrednie próbek suchych [MPa], obliczona za pomocą wzoru:

$$ITS_d = \frac{2 \times P_d}{\pi \times D \times h} \quad (3)$$

P_w , P_d – maksymalna wartość siły ściskającej [N], D – średnica próbki w zaokrągleniu do 0,1 mm, h – wysokość próbki w zaokrągleniu do 0,1 mm.

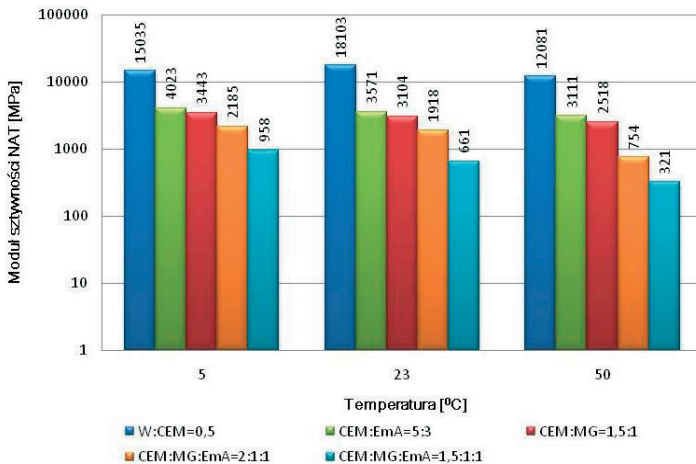


Rys. 3. Wskaźniki wodoodporności próbek $\varnothing 100 \times 63,5$ mm z matryc CEM, CEM:EmA, CEM:MG i CEM:MG:EmA w temperaturze 5°C po 28 dniach dojrzewania

Badanie modułu sztywności sprężystej przeprowadzono metodą NAT, która polega na przyłożeniu takiego obciążenia aby uzyskać zadane przemieszczenie na czujnikach umieszczonych prostopadle do niego, pozwalając na uzyskanie informacji o odkształceniu co pozwala obliczyć wartość modułu według wzoru [19]:

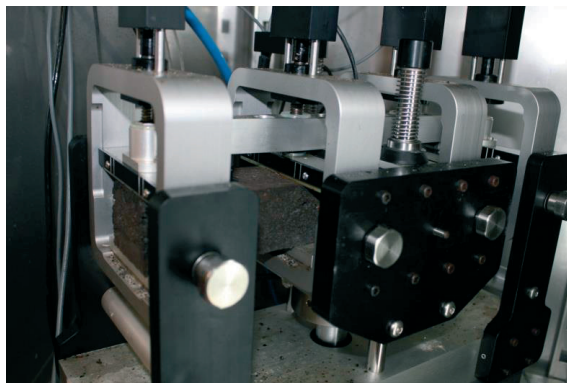
$$E = \frac{L \cdot (\nu + 0,27)}{D \cdot t} \quad (4)$$

w którym: E – moduł sztywności sprężystej NAT badanej próbki [MPa], L – największa wartość przykładanej siły do próbki [N], ν – współczynnik Poissona zależny od temperatury, D – największe przemieszczenie poziome próbki [mm], t – grubość próbki [mm].

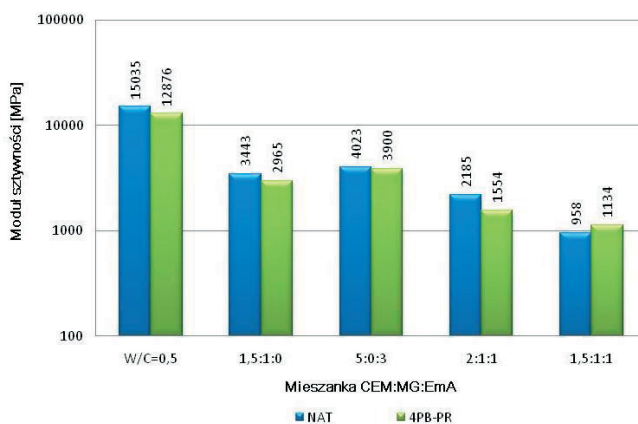


Rys. 4. Moduły sztywności sprężystej NAT próbek $\varnothing 100 \times 63,5$ z matryc CEM, CEM:EmA, CEM:MG i CEM:MG:EmA badanych w temperaturach 5°C, 23°C, 50°C, po 28 dniach dojrzewania

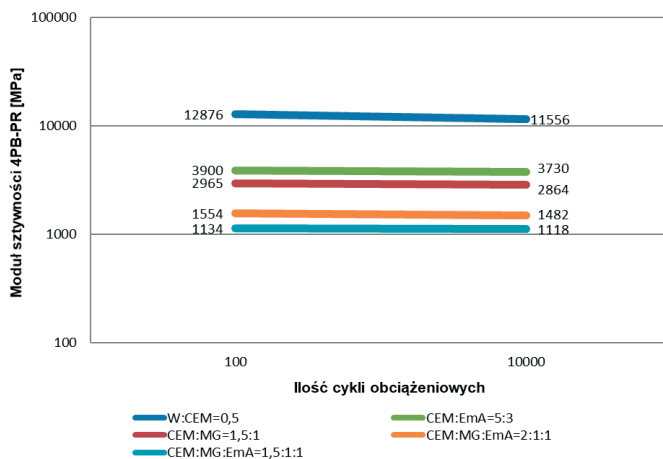
Badanie modułu sztywności metodą 4PB-PR wykonano zgodnie z normą PN-EN 12697-26:2003 (fot. 4)



Fot. 3. Badanie modułu sztywności beleczek 380×63×50 mm z matrycy CEM:MG:EmA metodą 4PB-PR



Rys. 5. Porównanie wyników badania modułów sztywności sprężystej na próbkach $\varnothing 100 \times 63,5$ z matrycy CEM, CEM:EmA, CEM:MG i CEM:MG:EmA, mm metodą NAT i beleczek 380×63×50 mm metodą 4PB-PR w temperaturze 5°C, po 28 dniach dojrzewania



Rys. 6. Porównanie wyników wstępnych badań zmężeńiowych beleczek 380×63×50 mm z matrycy CEM, CEM:EmA, CEM:MG i CEM:MG:EmA w temperaturze 5°C, po 28 dniach dojrzewania

Na próbkach walcowych $\text{Ø}80 \times 80$ mm wykonano badanie wytrzymałości na ściskanie osiowe dwuetapowo. Pierwsze badanie przeprowadzono do momentu uzyskania maksymalnej siły i automatycznego zatrzymania procesu dalszego ściskania. Na tych samych próbkach wykonano powtórne badanie ściskania również do uzyskania maksymalnej siły i automatycznego zatrzymania prasy. Na podstawie uzyskanych wyników obliczono wskaźniki wtórnej wytrzymałości na ściskanie próbek z matryc według wzoru:

$$I_{f_{cm}} = 100 \times \frac{f_{cm1}}{f_{cm2}} \quad (5)$$

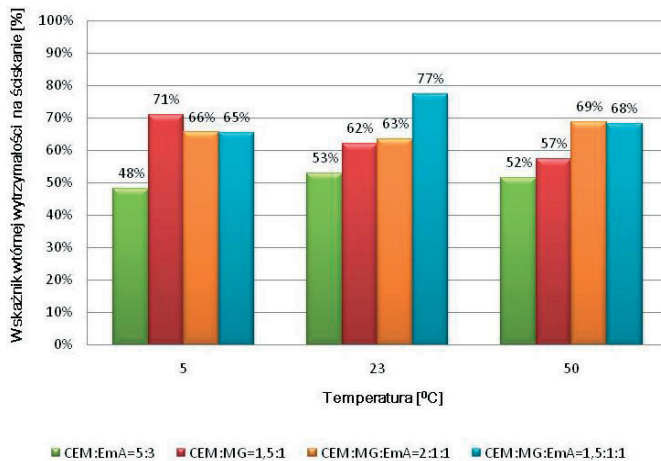
w którym: $I_{f_{cm}}$ – wskaźnik wtórnej wytrzymałości na ściskanie [%], f_{cm1} – pierwotna średnia wytrzymałość na ściskanie [MPa], obliczona za pomocą wzoru:

$$f_{cm1} = \frac{4 \times P_1}{\pi \times D^2} \quad (6)$$

f_{cm2} – wtórna średnia wytrzymałość na ściskanie próbek po pierwszym obciążeniu [MPa], obliczona za pomocą wzoru:

$$f_{cm2} = \frac{4 \times P_2}{\pi \times D^2} \quad (7)$$

P_1 – maksymalna wartość siły ściskającej przy pierwotnym obciążeniu [N], P_2 – maksymalna wartość siły ściskającej przy wtórnym obciążeniu [N], D – średnica próbki w zaostrzeniu do 0,1 mm.



Rys. 7. Wskaźniki wytrzymałości na ściskanie osiowe próbek walcowych $\text{Ø}80 \times 80$ mm z matryc CEM, CEM:EmA, CEM:MG i CEM:MG:EmA, po 28 dniach dojrzewania

5. Analiza wyników badań

Przeprowadzone badania wytrzymałości na pośrednie rozciąganie próbek z matryc pozwalają stwierdzić, że dodatek emulsji asfaltowej do zaczynu cementowego nie wpływa znacząco na wytrzymałość w temperaturach od 5°C do 23°C natomiast w 50°C powoduje około 50% jej spadek. Dodatek wyłącznie miazgi gumowej do zaczynu cementowego

powoduje spadek wytrzymałości na pośrednie rozciąganie i w niewielkim stopniu zależy od temperatury. Wpływ temperatury na gumę jest znacznie mniejszy niż na asfalt z emulsji.

Badania odporności próbek na działanie wody zgodnie z metodą zalecaną w Instrukcji [24] wykazały bardzo dobrą wodoodporność matryc, najkorzystniejszą w przypadku zaczynu cementowego z emulsją asfaltową.

Badania modułów sztywności próbek z matryc metodą NAT wykazały, że dodatek tylko miazgu gumowego lub tylko emulsji asfaltowej powoduje około czterokrotne zmniejszenie wielkości E_s w stosunku do zaczynu cementowego. Połączenie obu dodatków do zaczynu cementowego powoduje około ośmiokrotny spadek modułu sztywności w stosunku do zaczynu cementowego. Tylko skład matrycy CEM:MG:EmA = 2:1:1 zapewnia uzyskanie wielkości powyżej minimalnej $E_s = 1500$ MPa zalecanej w Instrukcji [24].

Wyniki badań modułów sztywności próbek z matryc metodą 4PB-PR wykonane w temperaturze 5°C są mniejsze o około 10% od uzyskanych metodą NAT.

Wstępne badania zmęczeniowe przy zadanym odkształceniu 50 $\mu\text{m/m}$ po 10^4 cyklach obciążeń jak na rys. 6. wykazały, że beleczki z matrycy cementowej charakteryzowały się spadkiem modułu sztywności o 10,2%, z matrycy CEM:MG:EmA = 2:1:1 o 4,6%, natomiast najmniejszy dotyczył matrycy CEM:MG:EmA = 1,5:1:1 o 1,4%.

Wyniki badań wytrzymałości na ściskanie osiowe pierwotne i wtórne pozwoliły określić w jakim stopniu miało gumowy wpływa na możliwość przenoszenia obciążeń po przekroczeniu naprężeń krytycznych. Próbki matrycy z udziałem miazgu gumowego i emulsji asfaltowej mogą przenosić około 65%, natomiast próbki z zaczynu cementowego około 50% pierwotnego naprężenia krytycznego po wtórnym obciążeniu, gdy po uzyskaniu maksymalnej siły następowało automatyczne wyłączenie prasy.

6. Wnioski końcowe

1. Przeprowadzone badania cech mechanicznych próbek z matryc cementowych i cementowo-asfaltowych z dodatkiem miazgu gumowego pozwalają stwierdzić, że wpływa on istotnie na obniżenie wytrzymałości na pośrednie rozciąganie oraz modułu sztywności sprężystej.
2. Wymagania minimalne dla dróg o obciążeniu ruchem KR1-KR2 wprowadzone w Instrukcji [24] dotyczące wytrzymałości na pośrednie rozciąganie i modułu sztywności wynoszą odpowiednio $ITS = 0,6$ MPa i $E_s = 1500$ MPa, co pozwala zakwalifikować jako przydatny skład matrycy z miazgiem gumowym CEM:MG:EmA = 2:1:1. Odpowiada to np. dodatkowi 4% cementu, 2% miazgu gumowego i 2% emulsji asfaltowej w MMCE.
3. Największą wytrzymałość na pośrednie rozciąganie w temperaturze 5°C $ITS = 2,95$ MPa posiadały próbki z matrycy CEM:EmA = 5:3, która jest większa od wartości maksymalnej dla ruchu KR3-KR4 według Instrukcji [24] wynoszącej $ITS = 1,6$ MPa. Wytrzymałość matrycy CEM:MG:EmA = 2:1:1 wynosząca $ITS = 1,57$ MPa odpowiada wymienionym wymaganiom.
4. Dodatek miazgu gumowego, przyczynia się do zmniejszenia modułu sztywności i wytrzymałości na pośrednie rozciąganie, natomiast na podstawie wstępnych badań korzystnie wpływa na trwałość zmęczeniową.

Ocena matrycy jest pomocniczą do określenia przydatności dodatku miazgu gumowego do MMCE według obecnych wymagań.

Literatura

1. Bocci M., Grilli A., Cardone F., Graziani A. *A study on the mechanical behaviour of cement-bitumen treated materials*. Construction and Building Materials 25 (2011) 773–778.
2. Chałabis J., Firlej S., Kukiela J. *Ocena konstrukcji nawierzchni o podbudowach z betonu asfaltowo-cementowego – BAC*. V Międzynarodowa Konferencja "Trwałe i bezpieczne nawierzchnie drogowe", Kielce, maj 1999 r.
3. Dębiński M., Kukiela J. *Mieszanki mineralno-cementowo-emulsyjne (MMCE) modyfikowane miazem gumowym*. Budownictwo i architektura 15(1) (2015) 115-121.
4. Dołżycki B., Jaczewski M., Szydłowski C. *The influence of binding agents on stiffness of mineral-cement-emulsion mixtures*. Modern Building Materials, Structures and Techniques, Procedia Engineering 172 (2017).
5. Firlej S., Kukiela J., Kukiela J. *Odkształcalność podbudów z mieszanek mineralno-cementowo emulsyjnych (MCE)*. VIII Międzynarodowa Konferencja Trwałe i bezpieczne nawierzchnie drogowe, Kielce 8-9 maj 2002, Kielce 7-8 maja 2002, s. 367-374.
6. Judycki J., Dołżycki B., Hutnik K., Stienss M. *Weryfikacja zasad projektowania mieszanek mineralno-cementowo-emulsyjnych*. Zlecenie GDDKiA 2005. Praca naukowo-badawcza Politechniki Gdańskiej 2006 r.
7. Judycki J., Dołżycki B., Wiśniewska Z. *Opracowanie procedury doprojektowania mieszanek mineralno-cementowo-emulsyjnych (MMCE)*. Zlecenie GDDKiA 2011. Raport I. Praca naukowo-badawcza Politechniki Gdańskiej 2011 r.
8. Judycki J., Dołżycki B., Szydłowski C., Ossowski B. *Opracowanie procedury doprojektowania mieszanek mineralno-cementowo-emulsyjnych (MMCE)*. Zlecenie GDDKiA 2011. Raport II. Praca naukowo-badawcza Politechniki Gdańskiej 2012 r.
9. Kavussi A., Modarres A. *Laboratory fatigue models for recycled mixes with bitumen emulsion and cement*. Construction and Building Materials 24 (2010) 1920–1927.
10. Kukiela J., Kukiela J. *Podbudowy z betonów asfaltowo-cementowych jako alternatywa dla MMCE w Polsce*, II Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna Nowoczesne technologie w budownictwie drogowym, Poznań 6-7 września 2001, s. 148-156.
11. Kukiela J., Kukiela J. *Wpływ temperatury na cechy mechaniczne betonów asfaltowo-cementowych (BAC)*, XLVIII Konferencja Naukowa Komitetu Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN i Komitetu Nauki PZITB Krynica 2002. Problemy naukowo-badawcze budownictwa: vol.4, Inżynieria komunikacyjna: Mosty: Sesja grantów KBN: Zagadnienia różne, Opole Krynica 15-20 września 2002, s. 83-90.
12. Kukiela J., Sybilski D. *Cechy reologiczne mieszanki mineralno-cementowo-emulsyjnej na podstawie krzywej wiodącej*. I Polski Kongres Drogowy, Warszawa, 04-06 października 2006 r. str. 461-468.
13. Kurdowski W., Trybalska B. *Skład fazowy zaczynu cementowego a właściwości betonu*. Konferencja Naukowo-Techniczna Dni Betonu, Stowarzyszenie Producentów Cementu, Wisła 2004, s. 66–78.
14. Kuźniewski J. *Wpływ wybranych parametrów na moduły sztywności mieszanek mineralno-cementowo-emulsyjnych*. Drogownictwo 11 (2010).
15. Kuźniewski J., Skotnicki Ł., Szydło A. *Fatigue durability of asphalt-cement mixtures*. Bulletin of the Polish Academy of Sciences. Technical sciences 63(1) (2015).
16. Ouyang J., Li H., Han B. *The rheological properties and mechanisms of cement asphalt emulsion paste with different charge types of emulsion*. Construction and Building Materials 147 (2017) 566–575.
17. Golewski G. L. *Procesy pękania w betonie z dodatkiem krzemionkowych popiołów lotnych*. Politechnika Lubelska 2015.
18. Piłat J., Radziszewski P. *Nawierzchnie asfaltowe*. WKŁ Warszawa. Wydanie III 2010 r.
19. *The Wirtgen Cold Recycling Manual I* wydanie 1998 r., II wydanie 2004 r., III wydanie w 2009 r. i IV wydanie 2012 r.
20. *A guide to the use and specification of cold recycled materials for the maintenance of road pavements*. TRL Report 611 Crowthorne, UK 2004.

21. *Guidelines for Recycling Pavement Materials*. Epps, J.A., Little D.N., Holmgren R.J., Terrel, R.L. NCHRP Report No. 224, Transportation Research Board, Washington, DC, 1980.
22. *Guide technique Retraitement des chaussées et recyclage des matériaux bitumineux de chaussées*, Service d'Études Techniques des Routeset Autoroutes, Juillet 2004.
23. *Merkblatt für Kaltrecycling in situ im Strassenoberbau*, Köln 2002.
24. *Instrukcja projektowania i wbudowywania mieszanek mineralno-cementowo-emulsyjnych*. Politechnika Gdańska. Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad, Warszawa 2014 r.
25. WT-2 2014 część I. *Mieszanki mineralno-asfaltowe*. Wymagania Techniczne.
26. P. 410929 – *Mieszanka do podbudów nawierzchni drogowych* – 13.01.2015 r. BUP 2016, 15(1110), s. 26.
27. P. 412072 – *Mieszanka betonu asfaltowo-cementowego do podbudów nawierzchni asfaltowych*. 20.04.2015 r. BUP 2016, 22(1117), s. 26.

Mechanical properties of cement and cement-asphalt matrices with rubber powder

Jerzy Kukielka

*Chair of Roads and Bridges, Faculty of Civil Engineering and Architecture,
Lublin University of Technology, e-mail: jerzy.kukielka@pollub.pl*

Abstract: Cement matrices are known from concrete testing. Cement-asphalt matrices made of cement and asphalt emulsion are used in mineral-cement-emulsion mixes (MCEM). The matrix strength in MCEM mixtures has not been studied so far. Cement-asphalt matrices with 0/1 mm rubber powder are proposed by the author for use in the MCEM [3, 26]. In this paper the results of the investigation of the mechanical properties of matrices are presented for comparative purposes and for the preliminary evaluation of their suitability for MCEM. The following tests were made: indirect tensile strength, bending strength, compressive strength and rigidity modules in NAT and 4 PB-PR.

Keywords: cement matrix, cement-asphalt matrix, rubber powder, mineral-cement-emulsion mix.