



ANNA CHOMICZ-KOWALSKA

Politechnika Świętokrzyska
akowalska@tu.kielce.pl

Zastosowanie recyklingu na zimno z asfaltem spionym w regionie świętokrzyskim – Część 1

Obserwowany w ostatnim czasie wzrost natężenia ruchu pojazdów oraz wzrost masy przewożonych ładunków i obciążeń osi wymusza poszukiwania i stosowanie w krajowym wykonawstwie drogowym nowych materiałów i technologii pozwalających wykorzystywać materiały miejscowe oraz z recyklingu istniejących warstw konstrukcji nawierzchni. Wymagania te spełnia technologia recyklingu głębokiego na zimno z użyciem asfaltu spionego, która jest skuteczną metodą obniżania wpływu oddziaływania inwestycji drogowych na środowisko. Wzrost zainteresowania tą technologią wynika z możliwości powtórnego wykorzystania materiałów, ochrony zasobów surowców naturalnych poprzez zmniejszenie zużycia nowych kruszyw i asfaltów oraz ograniczenia energochłonności robót wpływając na obniżenie kosztów budowy i modernizacji odcinków sieci drogowej.

Zaletą recyklingu głębokiego konstrukcji nawierzchni jest to, że asfalt spioniony zawiera niewielką ilość wody (ok. 1,5-3% [1-3]), dzięki czemu następuje szybkie uzyskanie wymaganych parametrów fizyko mechanicznych wbudowanej warstwy podbudowy. Wpływa to na skrócenie okresu pielęgnacji w porównaniu z technologią, w której stosowana jest emulsja asfaltowa. Wobec wzrastającej popularności w stosowaniu materiałów powstałych w technologii recyklingu na zimno, tj. mieszanek mineralno-cementowo-emulsiyjnych (MCE) oraz mieszanek z asfaltem spionym, „Katalog typowych konstrukcji nawierzchni podatnych i półsztywnych” [4] dopuszcza ich stosowanie w nowych konstrukcjach nawierzchni drogowych obciążonych ruchem KR1-KR4 (rys. 1).

Zastosowanie recyklingu na zimno z asfaltem spionym może być szczególnie korzystne w regionach Polski ubogich w surowce mineralne, przyczyniając się do ochrony zasobów naturalnych.

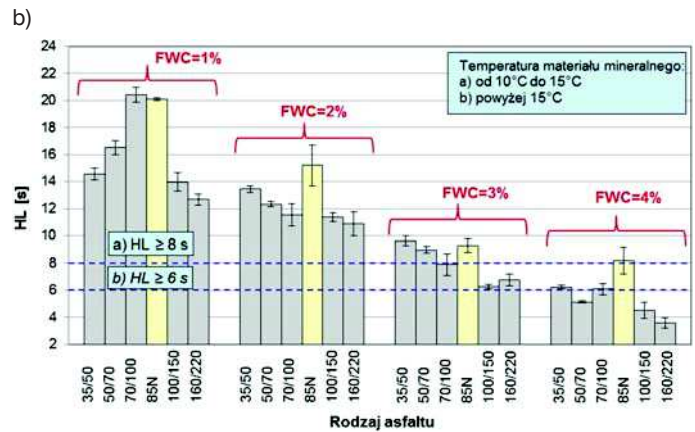
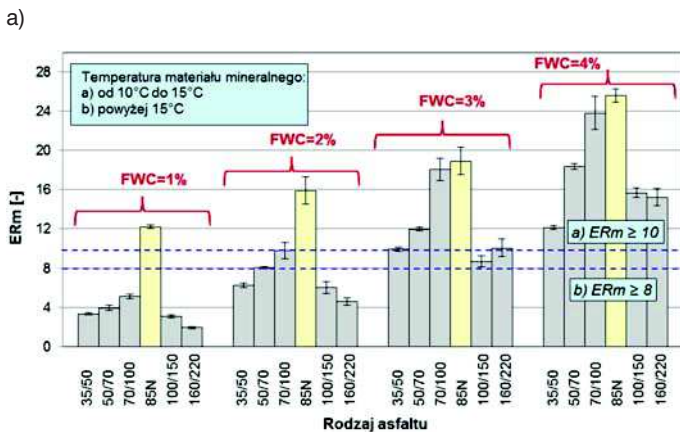
Właściwości wybranych asfaltów spionych

W budownictwie drogowym stosowane są różne rodzaje asfaltów, których właściwości fizyczne i reologiczne zależą m.in. od rodzaju ropy naftowej, z której je wyprodukowano, jak i od zastosowanej technologii przeróbki, składu oraz struktury chemicznej czy budowy koloidalnej [5]. Wymienione czynniki istotnie wpływają na jakość wytwarzanej piany asfaltowej [6], dlatego spodziewać się można, że każdy rodzaj asfaltu poddany procesowi spieniania będzie zachowywał się inaczej.

Z uwagi na skłonność twardszych asfaltów do zatykania komory ekspansji i dyszy rozpylającej, do produkcji piany preferowane są asfalty o większej penetracji, gdzie problem ten jest praktycznie wyeliminowany. Użycie bardziej miękkiego asfaltu pozwala ponadto uzyskać korzystniejsze cechy piany [3, 7-8], które zapewniają lepszą dyspersję i obtoczenie lepszemu materiałowi mineralnego. Jednakże w przypadku technologii na półciepło *HWMA* (ang. *Half-Warm Mix Asphalt*) z asfaltem spionym, w której temperatury technologiczne produkcji mieszanki mineralno-asfaltowej (mma) nie przekraczają 100°C a lepszemu obtoczyć powinno wszystkie ziarna mieszanki mineralnej podobnie jak w technologii na gorąco,

Kategoria ruchu	KR1	KR2	KR3	KR4	LEGENDA
Ruch projektowy (mln osi 100 kN)	0,03 - 0,09	0,09 - 0,5	0,5 - 2,5	2,5 - 7,4	
TYP E					<ul style="list-style-type: none"> 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

Rys. 1. Typowe konstrukcje górnych warstw nawierzchni z podbudową zasadniczą z mieszanki wykonanej w technologii recyklingu na zimno (mieszanka MCE lub mieszanka z asfaltem spionym) [4]



Rys. 2. Zestawienie średnich wartości wyników z pomiaru parametrów spieniania wraz z wymaganiami w stosunku do: a) ekspansji b) okresu półtrwania badanych lepiszczy przy zmianie ilości FWC (słupki błędów prezentują odchylenia standardowe)

Tabela 1. Zestawienie właściwości badanych asfaltów

Rodzaj asfaltu	Pen25 [°C]	T _{PIK} [°C]	T _{Fraass} [°C]	IP [-]	η ₉₀ [Pa·s]	η ₁₃₅ [Pa·s]
35/50	44,5	53,9	-9,0	-0,55	26,11	0,902
50/70	62,9	50,4	-9,4	-0,55	14,43	0,506
70/100	82,5	47,4	-11,1	-0,64	8,24	0,451
100/150	122,3	43,4	-13,4	-0,69	4,53	0,286
160/220	185,0	38,6	-15,8	-1,03	2,79	0,220
85N	81,0	48,2	-13,0	-0,46	13,17	0,794

stosowanie zbyt miękkich asfaltów może skutkować spadkiem odporności mma na deformacje trwałe. Aby temu zjawisku zapobiec oraz poprawić pienistość ponaftowych asfaltów drogowych, przed procesem spieniania zaleca się stosować dodatek wosku syntetycznego FT (*Fischeria Tropsha*) [3]. Ponadto niezwykle korzystne parametry spieniania wykazują asfalty wielorodzajowe [3], wdrożone w Polsce w 1999 r. [9-10], których popularność stale wzrasta z uwagi na ich właściwości, tj. polepszone parametry w wysokich i w niskich temperaturach przy niższej cenie, w porównaniu do właściwości asfaltów modyfikowanych polimerami.

Badaniom laboratoryjnym poddano następujące ponaftowe asfalty drogowe pochodzące od jednego producenta w zakresie penetracji od 35 do 220 [0,1 mm], tj.: 35/50, 50/70, 70/100, 100/150 i 160/220. Ponadto w celach porównawczych zestawiono wyniki badań lepiszcza 85N [11] spełniającego wymagania PN-EN 12591 w odniesieniu do asfaltu 70/100 stanowiącego produkt specjalnie opracowany do technologii spieniania, który stosowano na pierwszych trzech zadaniach drogowych w regionie świętokrzyskim (tabela 3) podczas wykonywania podbudowy z mieszanki mineralno-cementowej z asfaltem spienionym (MCAS).

Zakres prac badawczych związanych z ustaleniem przydatności wybranych asfaltów do wykorzystania ich przy produkcji mieszanek MCAS w technologii na zimno z przeznaczeniem do górnych warstw nawierzchni (na warstwę podbudowy) podzielono na dwa etapy. Pierwszy obejmował określenie podstawowych parametrów asfaltów przed spienieniem (tabela 1), tj. penetracji w 25°C (*Pen25*), temperatury mięknięcia (*T_{PIK}*), temperatury łamliwości (*T_{Fraass}*), indeksu penetracji oraz lepkości dynamicznej w temperaturze 90°C (*η₉₀*) i w 135°C (*η₁₃₅*). Natomiast drugi etap badań dotyczył pomiaru i oceny cech

piany asfaltowej (rys. 2): *ERm* – maksymalnej ekspansji (ang. *Maximum Expansion Ratio*) oraz *HL* – okresu półtrwania (ang. *Half life*) przy zmianie ilości wody spieniającej (*FWC* – ang. *foaming water content*). W celu prawidłowej oceny właściwości piany oraz wyznaczenia optymalnego poziomu *FWC*, pomiar jej cech wykonano przy zmianie ilości dozowania wody spieniającej wynoszącej: 1%, 2%, 3% i 4%. Na podstawie uzyskanych wyników opracowano zależności pomiędzy cechą *ERm* i *HL* a *FWC*, a następnie do każdego rodzaju lepiszcza wyznaczono zgodnie z zaleceniami (na podstawie miejsca przecięcia się krzywej ekspansji i okresu półtrwania) optymalne zawartości wody spieniającej (tabela 2).

Tabela 2. Właściwości asfaltów spienionych przy optymalnej zawartości wody spieniającej

Rodzaj asfaltu	FWC [%]	ERm [-]	HL [s]
35/50	3,0	10,0	9,6
50/70	2,5	10,6	10,7
70/100	2,5	14,2	11,5
100/150	2,5	8,4	9,0
160/220	2,5	8,0	8,5
85N	2,0	15,9	15,2

Wszystkie badane asfalty spełniły wymagania PN-EN 12591 w zakresie podstawowych cech reologicznych. Na podstawie uzyskanych wyników z pomiaru cech piany asfaltowej stwierdzić można, iż zwiększanie zawartości wody dozowanej podczas procesu spieniania (z 1% do 4%) wyraźnie wpłynęło na analizowane parametry (*ERm*, *HL*) w przypadku wszystkich badanych lepiszczy, zwiększając wartości wskaźników ekspansji oraz odwrotnie działając na okresy półtrwania. Zauważyć można, że idąc w kierunku asfaltów bardziej miękkich o zakresie penetracji z 35/50 do 70/100 następowała poprawa parametrów spieniania (zwiększenie *ERm* i wydłużenie *HL*). Natomiast już w asfaltach 100/150 i 160/220 zanotowano niższą zdolność do pienienia się, w tym przypadku zbyt niska ich lepkość wpłynęła na przedwczesny rozpad piany przed

osiągnięciem ich maksymalnej ekspansji. Najwyższe wartości parametru *ERM* i *HL* osiągnęło lepsze 85N niezależnie od ilości aplikowanej wody spieniającej. Przy wyznaczonej optymalnej *FWC* = 2,5% asfalt 70/100 a następnie 50/70 uzyskał najkorzystniejsze, zalecane wg [12] do technologii na zimno wartości parametrów *ERM* i *HL*,

Uwzględniając uzyskane wyniki z badań laboratoryjnych oraz doświadczenie w tym zakresie [1-3], w przypadku warunków klimatycznych i ruchowych występujących w naszym kraju do wytwarzania mieszanki MCAS przeznaczonej do górnych warstw nawierzchni, niezależnie od kategorii obciążenia ruchem, zaleca się stosowanie asfaltu 50/70 lub 70/100. Jednakże należy pamiętać, że czynnikiem decydującym o użyciu danego rodzaju lepiszczka powinno być uzyskanie wymaganych parametrów przez zaprojektowaną mieszankę a następnie wykonaną warstwę podbudowy.

Zastosowanie technologii asfaltu spienionego w regionie świętokrzyskim

Technologia recyklingu na zimno z asfaltem spienionym stosowana jest w regionie świętokrzyskim od 2010 r. Charakterystykę odcinków dróg wykonanych z podbudową z mieszanki MCAS zamieszczono w tabeli 3.

Pierwszą w regionie świętokrzyskim podbudowę z mieszanki MCAS zrealizowano na przełomie lipca i sierpnia

2010 r. podczas przebudowy nawierzchni drogi powiatowej Nr 0382T. Kolejny odcinek wykonano dwa miesiące później na odcinku drogi powiatowej Nr 0325 T. W ramach wymienionych inwestycji zastosowano technologię recyklingu głębokiego na zimno istniejących warstw asfaltowych wraz z podbudową kamienną. W roku 2011 na drodze wojewódzkiej Nr 753 zastosowano odmienne rozwiązanie materiałowe polegające na wykonaniu warstwy podbudowy z mieszanki MCAS wyłącznie na bazie kruszyw mineralnych (bez udziału destruktu asfaltowego).

Wymagania dotyczące materiałów na etapie projektowania ich składu oraz kontroli właściwości wykonanej warstwy podbudowy na przedmiotowych odcinkach dróg (A, B i C – zgodnie z tabelą 1) opracowano na podstawie dokumentów technicznych [14-19] i doświadczeń własnych [1-3] uwzględniając krajowe warunki klimatyczne. Procedurę projektowania oraz charakterystykę materiałów stosowanych podczas realizacji trzech pierwszych zadań drogowych w regionie świętokrzyskim z podbudową z mieszanki MCAS przedstawiono w drugiej części artykułu.

Projekt składu mieszanki MCAS

Na analizowanych odcinkach dróg wykonano warstwę podbudowy metodą *in situ* z zaprojektowanych mieszanki mineralno-cementowych z asfaltem spienionym o uziarnieniu

Tabela 3. Zestawienie wybranych informacji dotyczących inwestycji drogowych z podbudową z mieszanki MCAS wykonanych w województwie świętokrzyskim

Rok realizacji	Nazwa inwestycji	Inwestor	Klasa drogi	Kategoria ruchu	Długość odcinka	Grubość warstwy podbudowy z mieszanki MCAS	Rodzaj asfaltu
2010 r.	„Wzmocnienie nawierzchni drogi powiatowej nr 0382T w miejscowości Tokarnia – Wolica - Łukowa - Chmielowice - Chatupki na odcinku od drogi krajowej nr 7 do miejscowości Wolica, wraz z budową chodnika i kanalizacji deszczowej” (odcinek A)	PZD Kielce	Z	KR3	1 650 mb	20 cm	85N
2010 r.	„Przebudowy drogi powiatowej nr 0325T Bieliny Poduchowne – Makoszyń – Etap I, odcinek Bieliny Poduchowne – Zofiówka od km: 0+180,00 do km 2+449,40” (odcinek B)	PZD Kielce	Z	KR3	2 269,40 mb	23 cm	85N
2011 r.	„Mała Pętla Świętokrzyska etap 2, w tym: przebudowa drogi wojewódzkiej nr 753 na odcinku Huta Nowa – Wólka Milanowska od km 13+796,16 do km 14+847,75” (odcinek C)	ŚZDW Kielce	G	KR3	1 051,59 mb	23 cm	85N
2013 r.	„Przebudowa drogi wojewódzkiej Nr 744 Radom-Wierzbica-Starachowice od km 26+650 do km 30+000”	ŚZDW Kielce	G	KR3	3 350 mb	20 cm	50/70
2013 r.	„Przebudowa drogi wojewódzkiej nr 764 Staszów-Połaniec od km 54+123,00 do 70+690,00 odc. 54+188,00 do km 66+250,00”	ŚZDW Kielce	G	KR3	12 062 mb	25 cm	50/70*
2014 r.	„Przebudowa drogi wojewódzkiej Nr 744 Radom - Wierzbica-Starachowice na terenie gminy Mirzec od km 21+450 do km 24+800”	ŚZDW Kielce	G	KR3	3 350 mb	20 cm	50/70*

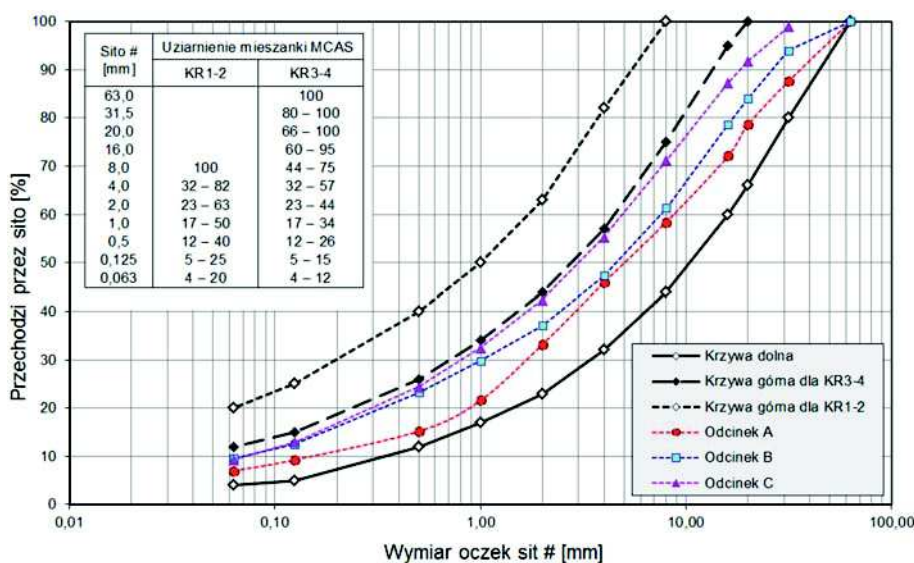
Planowane inwestycje drogowe na rok 2015* (Inwestor: ŚZDW Kielce)

- DW nr 744 Radom-Wierzbica-Starachowice na terenie gminy Mirzec - III etap od km 24+800 do km 26+650
- DW nr 728 Małogoszcz – Gnieździska na odcinku od km 128+300 do km 135+673
- DW nr 767 ul. Bohaterów Warszawy w Busku Zdroju
- DW nr 752 Przejście przez SPN II, odcinek Św. Katarzyna - Podgórze

* informacje pozyskane od Inwestora

Tabela 4. Składy ramowe mieszanek mineralnych na analizowanych odcinkach dróg

Składniki		Skład ramowy mieszanek mineralnych [%]		
		Odcinek A	Odcinek B	Odcinek C
Surowce wtórne	Destrukt asfaltowy	45	17	–
	Destrukt kamienny	40	12	–
	Pyły wapienne	3	4	–
Kruszywa naturalne	Kruszywo drobne łamane o ciągłym uziarnieniu (wapień) 0/4 mm	12	–	–
	Kruszywo drobne łamane o ciągłym uziarnieniu (wapień) 0/2 mm	–	–	18
	Kruszywo o ciągłym uziarnieniu 0/31,5 mm	–	67	82



Rys. 3. Uziarnienie zaprojektowanych mieszanek mineralnych w technologii asfaltu spienionego na warstwę podbudowy nawierzchni obciążonej ruchem KR3 wraz z wymaganiami w zależności od kategorii obciążenia ruchem

Tabela 5. Zawartości materiałów wiążących w składzie mieszanek MCAS

Materiały wiążące	Zawartość materiałów wiążących [%]			Zalecane wymagania	
	Odcinek A	Odcinek B	Odcinek C		
Lepiszczce asfaltowe: 85N	2,5	3,0	4,0	Destrukt asfaltowy/kruszywo łamane (mieszanka 50/50)	1,5 - 3,0%
				Kruszywo łamane o ciągłym uziarnieniu	2,5 - 4,0%
Spoivo hydrauliczne: CEM I 32,5	2,0	2,0	2,0	CEM I lub CEM II klasy 32,5 lub 42,5	1-3%

0/31,5 mm o składach ramowych i uziarnieniu przedstawionym w tabeli 4 i na rysunku 3, na którym zamieszczono wymagany obszar uziarnienia.

W mieszankach stosowanych na odcinku A i B wykorzystano materiały pochodzące z przetworzenia istniejących warstw konstrukcji nawierzchni drogowej, tj. destrukt asfaltowy oraz destrukt kamienny. W obu przypadkach, w składach

recyklowanych mieszanek stosowano pyły wapienne powstałe w procesie odpylania kruszywa w wytwórni mma oraz nowy materiał doziarniający – kruszywo wapienne. Celem stosowania pyłów mineralnych było dokonanie korekty uziarnienia (zwiększenie ilości frakcji < 0,063 mm), poprawy szczelności oraz cech mechanicznych podbudowy. Jednakże zalecane jest, aby ilość dozowanych pyłów mineralnych była ograniczona, aby zminimalizować ryzyko przeszywnienia warstwy z mieszanki MCAS oraz konieczność zwiększenia dodatku asfaltu spienionego. Warto dodać, iż dopuszczalne jest zaprojektowanie mieszanki mineralnej bez dodatku nowego kruszywa doziarniającego, jeżeli osiągnięte zostaną założone wymagania przez mieszankę MCAS w zakresie cech fizycznych i mechanicznych. Średnia zawartość asfaltu w destryku asfaltowym oznaczona zgodnie z PN-EN 12697-1 wynosiła 5,8% oraz 4,4% (m/m) (odpowiednio na odcinku A i B).

Odmiennym składem charakteryzowała się mieszanka MCAS wbudowana na odcinku C, gdzie wykonana została z kruszyw naturalnych (0/2 mm i 0/31,5 mm).

We wszystkich mieszankach stosowano asfalt spieniony wytworzony z lepiszcza 85N z dodatkiem 2,0% wody, natomiast jako spoiwo hydrauliczne stosowano cement portlandzki CEM I 32,5 spełniający wymagania PN-EN 197-1. W celu uzyskania wymaganej wilgotności zapewniającej prawidłowe warunki zagęszczania recyklowanych mieszanek stosowano wodę (spełniającą wymagania jak w przypadku wody zarobowej do betonu, pitną, wodociągową), której optymalną zawartość ustalono w badaniu metodą Proctora wg PN-EN 13286-2. Ilość użytych materiałów wiążących w mieszankach podbudowy wraz z zalecanymi wymaganiami w tym zakresie zestawiono w tabeli 5.

Zawartość lepiszcza dodanego (asfaltu spienionego) uzależniona była od wyników badań uzyskanych na etapie

projektowania składu mieszanek MCAS oraz ilości i składu stosowanego destryku asfaltowego (tj. zawartości lepiszcza asfaltowego). Zalecane jest, aby łączna zawartość lepiszcza asfaltowego (nowego i starego) w mieszance MCAS nie przekraczała 6,0%. W przypadku spoiwa hydraulicznego, główną jego rolą w mieszankach MCAS jest zapewnienie odpowiedniej odporności na działanie wody oraz przyspie-

szanie procesu dojrzewania mieszanki. Wytyczne techniczne [12, 16] zalecają dozowanie spoiwa hydraulicznego w granicach 1%, co ma na celu uniknięcie wystąpienia pęknięcia warstwy podbudowy. W polskich warunkach klimatycznych takie ilości spoiwa hydraulicznego nie zapewniają mieszankom MCAS wystarczającej odporności na działanie wody i mrozu, w związku z czym musi być ono często stosowane w większych ilościach. Należy jednak dążyć do tego, aby zawartość asfaltu spienionego była większa niż zawartość cementu, w przypadku niespełnienia tego warunku rośnie ryzyko pęknięcia podbudowy i tworzenia się spękań odbitych w wyżej ułożonych warstwach asfaltowych.

Podsumowanie

W artykule przedstawiono doświadczenia w zakresie zastosowania asfaltu spienionego do wykonywania podbudowy w technologii recyklingu na miejscu metodą na zimno w regionie świętokrzyskim. Opisany sposób wykonywania wzmocnień nawierzchni ma szereg zalet, wśród których wymienić można niewielkie zużycie nowych materiałów (przy możliwym dużym udziale materiałów z recyklingu istniejących nawierzchni), niską energochłonność, szybki postęp robót, możliwość natychmiastowego wbudowywania kolejnych warstw przy ograniczeniu dozowania spoiw hydraulicznych i zmniejszeniu w ten sposób ryzyka powstawania spękań odbitych w wyżej leżących warstwach asfaltowych. Na podstawie przeprowadzonych badań lepszyci stwierdzono, że do technologii recyklingu na zimno z asfaltem spienionym stosować można krajowe ponafkowe asfalty drogowe, które w badaniach uzyskiwały korzystne parametry spieniania. Zastosowane na opisywanych odcinkach dróg różne składy mieszanek MCAS świadczą o szerokim spektrum stosowania tej technologii i możliwości przetwarzania różnych materiałów wejściowych. Planowane przebudowy kolejnych odcinków dróg w regionie świętokrzyskim z zastosowaniem podbudowy z mieszanki MCAS są dowodem na efektywność stosowania tej technologii w krajowym wykonawstwie drogowym.

Autorka artykułu pragnie podziękować Kieleckiemu Przedsiębiorstwu Robót Drogowych Sp. z o.o., Świętokrzyskiemu Zarządowi Dróg Wojewódzkich w Kielcach oraz Powiatowemu Zarządowi Dróg w Kielcach za współpracę przy realizacji odcinków dróg z podbudową z mieszanki MCAS.

Bibliografia

- [1] M. Iwański, A. Chomicz-Kowalska, *Właściwości recyklowanej podbudowy z asfaltem spienionym*. Drogownictwo 9 (2011), s. 271-277
- [2] M. Iwański, A. Chomicz-Kowalska, *Application of recycled aggregates to the road base mixtures with foamed bitumen in the cold recycling technology*. 9th ICEE, 22-23 May 2014, Vilnius, Lithuania, DOI:10.3846/enviro.2014.155
- [3] A. Chomicz-Kowalska, *Statistical methods for evaluating associations between selected foamed bitumen parameters*. 6th International Conference Bituminous Mixtures and Pavements. Thessaloniki, Greece, 10-12 June 2015
- [4] J. Judycki, P. Jaskuła, M. Pszczoła, J. Alenowicz, B. Dołycki, M. Jaczewski, D. Ryś, M. Stienss, *Katalog typowych konstrukcji nawierzchni podatnych i półsztywnych*. GDDKiA, czerwiec 2014 r.
- [5] I. Gaweł, M. Kalabińska, J. Piłat, *Asfalty drogowe*. Warsaw, Poland: WKŁ; 2001, s. 255
- [6] K.J. Jenkins, *Mix Design Considerations for Cold and Half-Warm Bituminous Mixes with Emphasis on Foamed Bitumen*. PhD Dissertation, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Stellenbosch, Stellenbosch, South Africa, 2000
- [7] A.F. Bissada, *Structural Response of Foamed-Asphalt-Sand Mixtures in Hot Environments*. Asphalt materials and mixtures 1115: 134-149. TRR, 1987
- [8] F. Abel, *Foamed asphalt base stabilization*. 6th Annual Asphalt Paving Seminar, Colorado State University, 1978
- [9] D. Sybilski, R. Mularzuk, *Właściwości betonu asfaltowego z asfaltem wielorodzajowym (multigrade)*. V Międzynarodowa Konferencja „Trwałe i bezpieczne nawierzchnie drogowe”, Kielce 11-12 maja 1999 r.
- [10] D. Sybilski, R. Mularzuk, M. Pałys, J. Kaczycka, *Pierwsze w Polsce zastosowanie asfaltu drogowego wielorodzajowego (multigrade)*. VI Międzynarodowa Konferencja „Trwałe i bezpieczne nawierzchnie drogowe”, Kielce 9-10 maja 2000 r.
- [11] <http://www.nynas.com>
- [12] Wirtgen. *Wirtgen Cold Recycling Technology*. Wirtgen GmbH, 2012
- [13] Wirtgen. *Podręcznik recyklingu na zimno*. Wirtgen GmbH, 2004
- [14] GDDKiA. OST D-04.10.01a Szczegółowa specyfikacja techniczna: *Podbudowa z mieszanki mineralno-cementowej z asfaltem spienionym (MCAS) wykonana w technologii recyklingu gębokiego na zimno*. Warszawa, 2013
- [15] Asphalt Academy. *The Design and Use of Foamed Bitumen Treated Materials. Interim Technical Guideline (TG2)*. Asphalt Academy, Pretoria, South Africa, 2002
- [16] Asphalt Academy. *Technical Guideline TG2: Bitumen Stabilised Materials, A Guideline for the Design and Construction of Bitumen Emulsion and Foamed Bitumen Stabilised Materials*. South Africa, 2009
- [17] B. Dołycki, *Instrukcja projektowania i wbudowywania mieszanki mineralno-cementowo-emulsyjnych (MCE)*. Wersja z dnia 10.09.2014. Politechnika Gdańska, Katedra Inżynierii Drogowej

Zapraszamy do prenumerowania DROGOWNICTWA w 2015 roku

cena 1 egzemplarza 19 zł }
prenumerata roczna 216 zł } (w tym 5% VAT)

Dla studentów 50% niżki

Uprzejmie informujemy Szanownych Prenumeratorów, że egzemplarze „Drogownictwa” oraz faktury będą wysyłane po przesłaniu zamówienia na adres prenumerata@sitk.org oraz po wpłaceniu należnej kwoty na nasze konto:

38 1160 2202 0000 0000 2741 3872

Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Komunikacji RP, Zarząd Krajowy
ul. Czackiego 3/5, 00-043 Warszawa

Redakcja