

Marek IWAŃSKI
Politechnika Rzeszowska

WPLYW ASFALTU SPIENIONEGO NA WŁAŚCIWOŚCI RECYKLOWANEJ PODBUDOWY

W badaniach recyklowanych podbudowy zastosowano asfalt spieniony oraz alternatywnie emulsję asfaltową. Zawartość lepiszcza asfaltowego w recyklowanym materiale podbudowy wynosiła 2%, 2,5%, 3% oraz 3,5%. Badania podstawowych właściwości (stabilności odkształcenia i sztywności według Marshalla, wytrzymałości na pośrednie rozciąganie ITS) wykazały korzystniejszy wpływ asfaltu spienionego niż emulsji asfaltowej na te charakterystyki mechaniczne podbudowy. Wykonane badania odporności na oddziaływanie wody i mrozu według metodyki AASHTO T283 oraz odporności na spękania niskotemperaturowe według metodyki PANK 4302 potwierdziły, że podbudowa w technologii recyklingu na zimno z asfaltem spienionym jest odporna na oddziaływanie tych czynników klimatycznych. Pozwoliły również stwierdzić, że większą odpornością charakteryzuje się podbudowa, w której stosowano asfalt spieniony niż emulsję asfaltową.

1. Wprowadzenie

Stale zwiększający się udział pojazdów ciężkich w ogólnej strukturze krajowego ruchu drogowego, zwiększenie dopuszczalnego obciążenia nawierzchni z 100 kN/oś na 115 kN/oś oraz starzenie się materiałów konstrukcji nawierzchni w ostatnich latach przyczyniło się do znacznej degradacji dróg, które przede wszystkim utraciły nośność. W związku z tym, aby można było w jak najszybszym czasie nie tylko przywrócić sprawność sieci drogowej, ale również znacznie podnieść jej jakość użytkową, należy stosować nowoczesną i szybką metodę modernizacji dróg, jaką jest recykling głęboki na zimno. W czasie recyklingu w konstrukcję nawierzchni ponownie wbudowywany jest materiał już raz zastosowany do jej wykonania. Tym samym w znacznym stopniu ogranicza się stosowanie nowych materiałów kamiennych, przyczyniając się do ochrony skalnych zasobów kraju. Mobilny sprzęt, jakim są recyklery, umożliwia wykonywanie prac modernizacyjnych na drodze, w wyniku czego znacznemu skróceniu ulega czas potrzebny do wykonania niezbędnych prac zapewniających poprawę nośności drogi. W Polsce recykling eksploatowanych nawierzchni drogowych stał się koniecznością nie tylko ze względów technologicznych, ale również ekonomicznych i ekologicznych.

Obecnie w kraju rozpowszechniona jest technologia recyklingu na zimno konstrukcji nawierzchni z zastosowaniem mieszanek mineralno-cementowo-emulsyjnych (M-C-E), która jest stosowana z powodzeniem od połowy lat 90. ubiegłego wieku [1]. Jednak kilka lat temu do światowego wykonawstwa drogowego została wdrożona nowa technologia recyklingu na zimno, w której zamiast emulsji asfaltowej stosuje się asfalt spieniony [2, 3]. Asfalt w tej postaci powoduje, że recyklowany materiał charakteryzuje się dużą nośnością [2]. Dzięki małej zawartości wody w asfalcie spienionym w granicach od 2 do 5% praktycznie od razu wykonana w tej technologii podbudowa może być obciążana następnymi warstwami konstrukcyjnymi nawierzchni. Ponadto technologia ta posiada wiele innych zalet. Materiał modernizowanych warstw konstrukcyjnych nawierzchni praktycznie w 100% można wykorzystywać do ponownego wbudowania. Pozwala ona również na zmniejszenie grubości asfaltowych warstw jezdnych nawierzchni oraz skrócenie czasu jej realizacji [4].

Aby jednak wdrożyć technologię recyklingu głębokiego na zimno z asfaltem spienionym do krajowego wykonawstwa drogowego, niezbędne jest wcześniejsze kompleksowe wykonanie badań oceny jej przydatności oraz efektywności w porównaniu z zastosowaniem lepiszcza tradycyjnego, jakim jest emulsja asfaltowa.

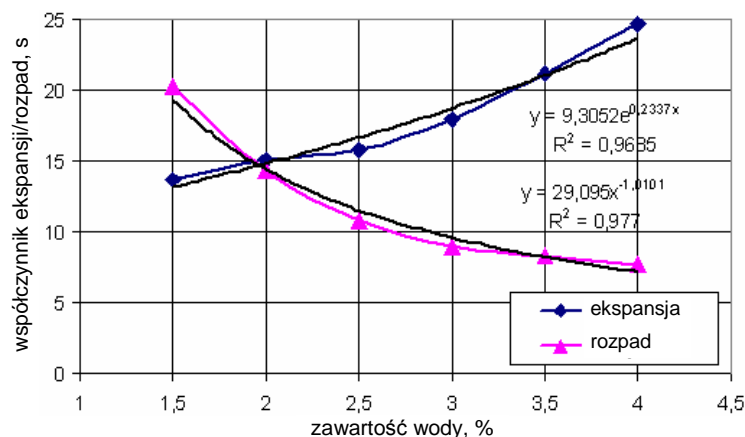
2. Badany materiał

W technologii spienienia w drogownictwie światowym stosowane są asfalty o różnej penetracji. Istotnym elementem wykonanych badań laboratoryjnych było na wstępie określenie przydatności stosowanych w kraju asfaltów do technologii spienienia. Badaniu poddano kilka rodzajów asfaltów drogowych, ponieważ niektóre z nich charakteryzują się tą samą penetracją – oznaczono je w następujący sposób: P 50/70, T 160/220, L 70/100, EL 70/100, N 50/70 i Nyfoam 80. Badania oceny przydatności asfaltów obejmowały określenie podstawowych ich właściwości oraz parametrów spienienia, które zestawiono w tab. 1.

Tabela 1. Parametry asfaltu spienionego dla rekomendowanej ilości wody do spienienia

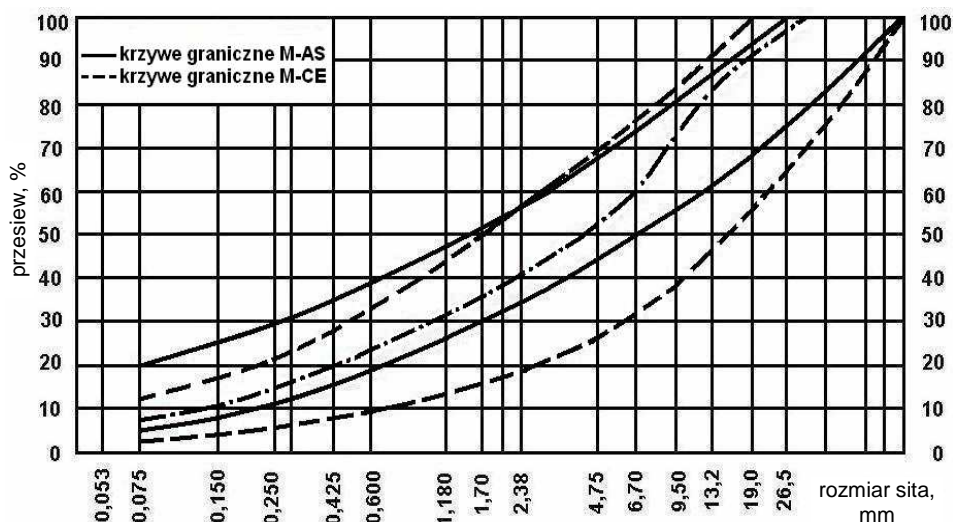
Rodzaj asfaltu	Zawartość wody, %	Współczynnik ekspansji, WE		Czas połowicznego rozpadu, t $\frac{1}{2}$, s	
		określony	zalecany	określony	zalecany
P 50/70	2,5	8,52	15÷20	8,10	10÷15
T 160/220	2,5	6,67		11,39	
L 70/100	2,5	6,14		6,97	
EL 70/100	2,5	8,53		7,14	
N 50/70	2,0	10,38		9,74	
Nyfoam 80	2,0	15,11		14,4	

Na podstawie wykonanych oznaczeń stwierdzono, że asfalt Nyfoam 80 charakteryzuje się najkorzystniejszymi parametrami spienienia, takimi jak współczynnik ekspansji $WE = 15,1$ oraz czas połowicznego rozpadu piany asfaltowej $t_{1/2} = 14,4$ s, a wymagana ilość wody do spieniania wynosi 2,0% (rys. 1.). Zastosowanie tego rodzaju asfaltu do technologii spieniania podczas recyklingu głębokiego na zimno powinno gwarantować uzyskanie podbudowy o wymaganych parametrach fizykomechanicznych.



Rys. 1. Określenie wymaganej ilości wody do spienienia asfaltu Nyfoam 80

Aby możliwa była ocena wpływu rodzaju lepiszcza asfaltowego na właściwości recyklowanej podbudowy, zaprojektowano mieszankę mineralno-asfaltową. Wykonano ją z materiałów pochodzących z modernizowanych warstw konstrukcyjnych nawierzchni asfaltowej. Składała się ona z 48% materiału frezowanych warstw asfaltowych, 22% materiału istniejącej podbudowy tłuczniowej oraz 30% kruszywa dolomitowego frakcji 0/4 mm. Zastosowano również dodatek cementu w ilości 2,0% w stosunku do masy mieszanki mineralnej. W mieszance, w której stosowano asfalt spieniony (M-A-S), cement pełni przede wszystkim rolę bardzo drobnego kruszywa wypełniającego, przy zwiększeniu jego ilości w zakresie frakcji mniejszej niż 0,075 mm, której w mieszance powinno być od 5 do 20%. Natomiast w mieszance M-C-E zadaniem cementu jest zapewnienie wymaganych właściwości fizykomechanicznych. Należy zaznaczyć, że zaprojektowana recyklowana mieszanka mineralna spełniała kryteria uziarnienia zarówno dla mieszanek mineralnych w technologii recyklingu z asfaltem spienionym, jak i dla mieszanek M-C-E (rys. 2.), zgodnie z wymaganiami przedstawionymi w pracach [1, 5].



Rys. 2. Uziarnienie mieszanki mineralnej podbudowy w technologii recyklingu z asfaltem spienionym oraz emulsją asfaltową

W pierwszej mieszance mineralno-asfaltowej recyklowanej podbudowy zastosowano asfalt spieniony otrzymany ze spienienia asfaltu Nyfoam 80, a w drugiej mieszance (M-C-E) wykorzystano kationową emulsję asfaltową wolnorozpadową K3-60. Zawartość asfaltu spienionego wynosiła odpowiednio 2, 2,5, 3 oraz 3,5% (m/m) w recyklowanym materiale. Ze względu na bardzo małą zawartość wody w asfalcie spienionym, wynoszącą tylko 2,0% w stosunku do masy asfaltu, nie uwzględniono jej wpływu na masę asfaltu spienionego.

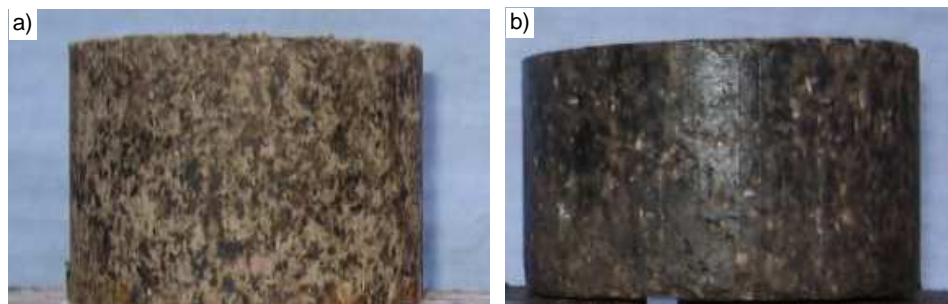
Emulsję asfaltową K3-60 (60% asfaltu w emulsji) dozowano zgodnie z warunkami technicznymi [1] w ilości 3,4, 4,2, 5 oraz 5,8%, co w konsekwencji odpowiada zawartości asfaltu 2, 2,5, 3 oraz 3,5%, czyli takiej zawartości, jak w przypadku zastosowania asfaltu spienionego w recyklowanej mieszance mineralno-asfaltowej.

3. Metodyka i analiza wyników badań

Do oceny wpływu asfaltu spienionego oraz emulsji asfaltowej na właściwości podbudowy w technologii recyklingu głębokiego opracowano program badawczy, który obejmował oznaczenie podstawowych jej właściwości fizykomechanicznych oraz odporności na oddziaływanie wody i mrozu. Badania wykonywano na seriach składających się z 14 prób, których liczba została określona na podstawie planowania eksperymentu uwzględniającego ilość i rodzaj zastosowanego lepiszcza asfaltowego.

Podczas wykonywania próbek recyklowanych mieszanek podbudowy zaobserwowano interesujące różnice w ich wyglądzie, wynikające z zastosowanego

rodzaju asfaltu. Próbkę recyklowanej mieszanki zawierającą emulsję asfaltową posiadały jednorodną barwę brązowo-czarną. Emulsja asfaltowa była bardzo dobrze wymieszana z materiałem mineralnym. Zastosowanie asfaltu spienionego spowodowało, że struktura uzyskanej mieszanki była inna. Na powierzchni recyklowanej mieszanki wyraźnie było widać cząsteczki asfaltu porzucane po całej mieszance. Asfalt spieniony występował w recyklowanej mieszance jako swoiste „zbrojenie rozproszone” (rys. 3.).

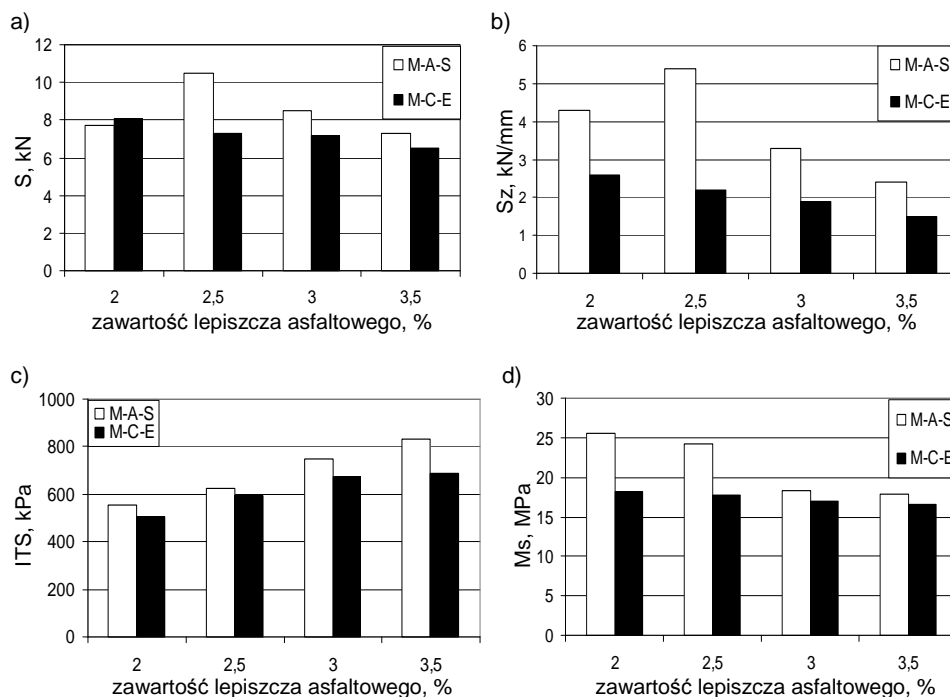


Rys. 3. Widok próbek recyklowanego materiału z lepiszczem asfaltowym: a) asfalt spieniony, b) emulsja asfaltowa

Aby zapewnić jednorodność wykonywanych oznaczeń, do badań przyjmowano tylko próbki, w których zawartość wolnych przestrzeni zawierała się w przedziale $(V - 2s; V + 2s)$, gdzie: V – średnia wartość wolnych przestrzeni w podbudowie, s – odchylenie standardowe. Wyniki badań przedstawiające wartości średnie podstawowych właściwości fizykomechanicznych zestawiono w tab. 2. Zależność wytrzymałości na pośrednie rozciąganie ITS, modułu sztywności E_s oraz stabilności i sztywności według Marshalla recyklowanej podbudowy od rodzaju zastosowanego lepiszcza asfaltowego przedstawiono na rys. 4.

Tabela 2. Właściwości fizykomechaniczne recyklowanej podbudowy

Właściwości fizykomechaniczne recyklowanej podbudowy	Rodzaj recyklowanej podbudowy							
	M-A-S				M-C-E			
	zawartość asfaltu, %				zawartość asfaltu, %			
	2,0	2,5	3,0	3,5	2,0	2,5	3,0	3,5
Stabilność wg Marshalla, kN	7,7	10,5	8,5	7,3	8,1	7,3	7,2	6,5
Odkształcenie wg Marshalla, mm	1,8	1,9	2,6	3,0	3,1	3,4	3,8	4,3
Sztywność wg Marshalla, kN/mm	4,3	5,4	3,3	2,4	2,6	2,2	1,9	1,5
Wytrzymałość na pośrednie rozciąganie ITS, kPa	553	625	750	832	506	594	672	686
Zawartość wolnych przestrzeni, %	14	12	9,7	8,7	12,6	11,5	10,2	9,4
Moduł sztywności pełzania, MPa	25,5	24,2	18,3	17,9	18,2	17,8	17,0	16,5



Rys. 4. Zależność właściwości mechanicznych recyklowanych mieszanek podbudowy od rodzaju i ilości lepiszcza asfaltowego: a) stabilność według Marshalla b) sztywność według Marshalla, c) wytrzymałość na pośrednie rozciąganie, d) moduł sztywności według pełzania

Analiza wyników badań recyklowanej podbudowy pozwala stwierdzić, że wzrost ilości lepiszcza (asfaltu spienionego i emulsji asfaltowej) powoduje zwiększenie jej wytrzymałości na pośrednie rozciąganie ITS. Należy zaznaczyć, że zastosowanie w podbudowie asfaltu spienionego powoduje większy wzrost jej wytrzymałości na pośrednie rozciąganie, niż kiedy stosowano emulsję asfaltową, zwłaszcza gdy koncentracja lepiszcza asfaltowego jest większa od 3%.

Inny charakter przybiera zależność stabilności recyklowanej podbudowy od ilości asfaltu spienionego. Stwierdzono istotną zależność: wzrost zawartości asfaltu spienionego do 2,5% powoduje wzrost stabilności podbudowy, a dalsze jego zwiększenie – obniżenie wartości badanej charakterystyki. Zastosowanie emulsji asfaltowej powoduje natomiast, że stabilność podbudowy maleje wraz ze zwiększeniem zawartości lepiszcza. Należy zaznaczyć, że przy zawartości 2,5% asfaltu spienionego podbudowa uzyskuje największą stabilność i jest ona większa niż w przypadku zastosowania tylko 2% emulsji asfaltowej (w przeliczeniu na czysty asfalt) w jej składzie.

Istotnym wynikiem badań jest stwierdzenie, że w zakresie stosowanych zawartości lepiszcza asfaltowego podbudowa z asfaltem spienionym charakteryzuje się mniejszym odkształceniem według Marshalla od podbudowy z emul-

sją asfaltową. Tym samym będzie ona bardziej odporna na deformacje plastyczne powstałe pod wpływem oddziałującego na nawierzchnię obciążenia ruchem pojazdów. Właściwość tą potwierdza również analiza sztywności według Marshalla podbudowy z asfaltem spienionym w zakresie stosowanych zawartości lepiszcza asfaltowego. Zastosowanie tego rodzaju lepiszcza asfaltowego zapewnia większe wartości badanej charakterystyki recyklowanej podbudowy w porównaniu z emulsją asfaltową.

Podbudowa wykonana w technologii recyklingu z asfaltem spienionym w badanym zakresie lepiszcza charakteryzuje się wyższym modułem statycznego pełzania niż podczas stosowania emulsji asfaltowej. Należy zaznaczyć, że wartości modułu statycznego pełzania maleją wraz ze wzrostem lepiszcza asfaltowego niezależnie od jego rodzaju. Przy zawartości 3% lepiszcza asfaltowego (asfaltu spienionego, emulsji asfaltowej) w recyklowanej podbudowie moduł pełzania praktycznie nie zależy od rodzaju zastosowanego lepiszcza. Zmniejszenie jego zawartości powoduje natomiast znaczący wzrost modułu statycznego pełzania recyklowanej podbudowy zawierającej asfalt spieniony w porównaniu z emulsją asfaltową zastosowaną w jej składzie. Reasumując, można stwierdzić, że wykorzystanie w mieszance mineralno-asfaltowej recyklowanej podbudowy asfaltu spienionego zapewnia jej lepsze parametry fizykomechaniczne niż zastosowanie emulsji asfaltowej.

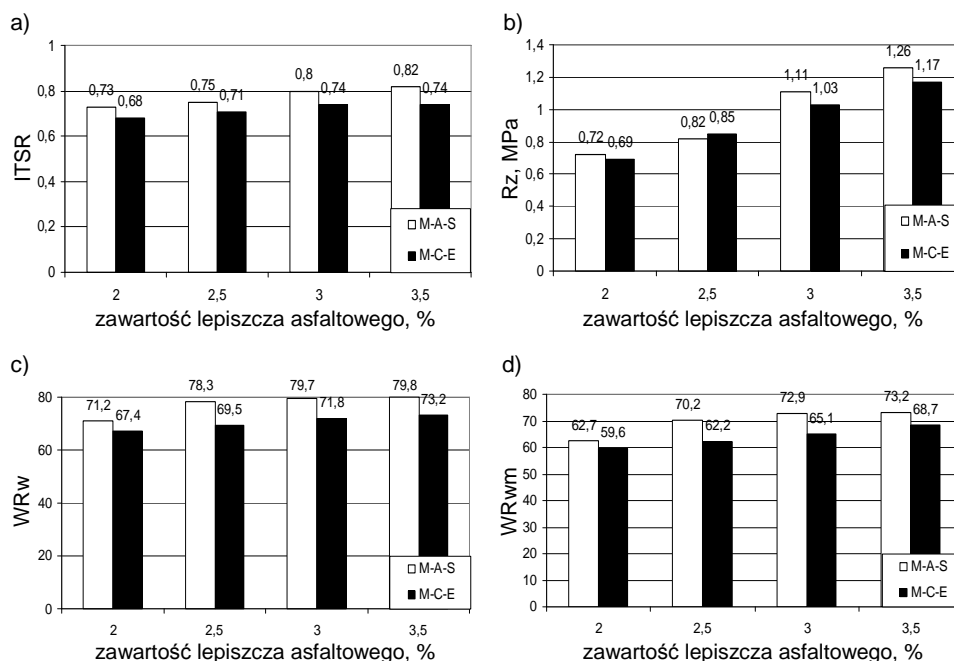
Kolejny etap badań dotyczył oceny odporności recyklowanych mieszanek podbudowy na oddziaływanie wody oraz wody i mrozu w aspekcie zastosowanego rodzaju lepiszcza asfaltowego. Polegał on na oznaczeniu następujących parametrów recyklowanych mieszanek mineralno-asfaltowych:

- wskaźnika odporności na oddziaływanie wody TSR [5] lub oznaczanego jako ITSR według normy PN-EN 13108-1,
- odporności na spękania niskotemperaturowe, zgodnie z fińską normą PANK 4302 [6],
- wskaźnika wytrzymałości na pośrednie rozciąganie po procesie pielęgnacji w wodzie i mrozie, zgodnie z procedurami amerykańskimi, według metody AASHTO T283 [7].

Zależności wskaźnika odporności na oddziaływanie wody (ITSR), wytrzymałości na rozciąganie pośrednie w temperaturze -2°C według PANK 4302, wskaźnika wytrzymałości na rozciąganie pośrednie według AASHTO T283 po pielęgnacji w wodzie oraz wodzie i mrozie recyklowanej podbudowy od rodzaju lepiszcza asfaltowego przedstawiono na rys. 5.

Podbudowa wykonana w technologii recyklingu z asfaltem spienionym w badanym zakresie lepiszcza charakteryzuje się większymi wartościami wskaźnika ITSR niż podczas stosowania emulsji asfaltowej. Wartości wskaźnika wzrastają wraz z koncentracją asfaltu spienionego. Należy zaznaczyć, że recyklowana podbudowa, zgodnie z kryterium opracowanym przez prof. Jenkinsa, jest odporna na oddziaływanie wody, gdy wskaźnik ITSR jest większy od 0,7. Kryterium to jest spełnione dla podbudowy wykonanej w technologii z zastoso-

waniem asfaltu spienionego, niezależnie od jego koncentracji, oraz w przypadku zastosowania emulsji asfaltowej w ilości większej od 2% (w przeliczeniu na czysty asfalt).



Rys. 5. Zależności parametrów odporności na oddziaływanie wody i mrozu recyklowanych mieszanek podbudowy od rodzaju i ilości lepiszcza asfaltowego: a) wskaźnika odporności na oddziaływanie wody TSR, b) wytrzymałości na pośrednie rozciąganie w temperaturze -2°C według PANK 4302, c) wskaźnika wytrzymałości WR_w według AASHTO T283, d) wskaźnika wytrzymałości WR_{wm} według AASHTO T283

Na podstawie uzyskanych wyników badań można stwierdzić, że wytrzymałość na powstawanie spękań niskotemperaturowych recyklowanej podbudowy, zarówno z asfaltem spienionym, jak i emulsją asfaltową, jest porównywalna przy takich samych koncentracjach lepiszcza. Kompleksową ocenę odporności na oddziaływanie wody i mrozu badanych podbudów uzyskano na podstawie oznaczeń według normy AASHTO T283 [3]. Podbudowa z asfaltem spienionym okazała się odporna na oddziaływanie wody, a podbudowa z emulsją asfaltową spełniała wymagane kryterium dopiero przy koncentracji emulsji asfaltowej powyżej 2,5%. Podbudowa z emulsją asfaltową wykazała brak odporności na oddziaływanie wody i mrozu, gdyż wartości wskaźnika wytrzymałości na rozciąganie pośrednie były mniejsze od wymaganej wartości 70%. Należy podkreślić, że przy maksymalnej koncentracji emulsji asfaltowej wynosił on tylko 68,7%, natomiast zastosowanie w recyklowanej podbudowie co najmniej 2,5% asfaltu spienionego zapewniło jej odporność na oddziaływanie wody i mrozu.

Wraz ze wzrostem zawartości asfaltu spienionego odporność podbudowy na badane czynniki klimatyczne rośnie.

Na podstawie wykonanych badań w zakresie oddziaływania wody i niskich wartości temperatury na recyklowaną podbudowę można stwierdzić, że zastosowanie w składzie tej podbudowy asfaltu spienionego pozwala zapewnić na wyższym poziomie jej odporność na czynniki niszczące niż zastosowanie emulsji asfaltowej. Można również wnioskować, że kryterium odporności recyklowanej podbudowy na oddziaływanie wody tylko na podstawie wskaźnika ITSr jest niewystarczające i należy je uzupełnić o zaproponowaną metodykę AASHTO T283.

4. Podsumowanie

Na podstawie wykonanych badań laboratoryjnych recyklowanej podbudowy z asfaltem spienionym oraz emulsją asfaltową sformułowano następujące wnioski:

1. Wraz ze zwiększeniem koncentracji asfaltu spienionego od 2 do 3,5% następuje wzrost wytrzymałości na pośrednie rozciąganie recyklowanej podbudowy, natomiast stabilność uzyskuje największą wartość przy koncentracji 2,5% lepiszcza; dalsze zwiększenie jego zawartości powoduje spadek stabilności recyklowanej podbudowy.
2. Recyklowana podbudowa z asfaltem spienionym przy jego zawartości 2,5% charakteryzuje się większą stabilnością i sztywnością według Marshalla niż w przypadku zastosowania emulsji asfaltowej.
3. Asfalt spieniony wpływa korzystniej na właściwości mechaniczne recyklowanej podbudowy (wytrzymałość na pośrednie rozciąganie oraz moduł statyczny według pełzania) niż przy stosowaniu emulsji asfaltowej.
4. Zastosowanie podczas recyklingu głębokiego na zimno asfaltu spienionego powinno zapewnić uzyskanie podbudowy o wyższej odporności na deformacje trwałe niż podczas stosowania emulsji asfaltowej.
5. Asfalt spieniony zapewnia odporność na oddziaływanie wody i mrozu recyklowanej podbudowy na znacznie wyższym poziomie niż przy stosowaniu emulsji asfaltowej.
6. Kryterium odporności recyklowanej podbudowy na oddziaływanie wody na podstawie wskaźnika ITSr należy uzupełnić o zaproponowaną metodykę AASHTO T283.
7. Istotnym czynnikiem wpływającym na właściwości recyklowanej mieszanki w przypadku zastosowania asfaltu spienionego jest specyficzny sposób, w jakim występuje w strukturze materiału, tworząc w nim fazę rozproszoną.

Pozytywne wyniki badań laboratoryjnych wskazują na uzasadnione kontynuowanie dalszych prac w zakresie trwałości recyklowanej podbudowy z asfaltem spienionym. Nieodzowna jest również weryfikacja wyników badań labo-

ratoryjnych w terenowych warunkach pracy tego rodzaju podbudowy. Pozwoli to na zgromadzenie bazy danych umożliwiających wdrożenie tej technologii do krajowego wykonawstwa.

Literatura

1. Zawadzki J., Matras J., Mechowski T., Sybilski D.: Warunki techniczne wykonania warstwy podbudowy z mieszanki mineralno-cementowo-emulsyjnej (MCE), IBDiM, z. 61, Warszawa 1999.
2. Jenkins K.J., Collings D.C., Thesey H.L., Long F.M.: Interim technical guideline: Design and use of foamed bitumen treated materials, Les Sampson of Asphalt Academy, Pretoria, South Africa 2003.
3. Piłat J., Radziszewski P.: Nawierzchnie asfaltowe, WKŁ, Warszawa 2007.
4. Iwański M.: Podbudowa z asfaltem spienionym, Drogownictwo, nr 3, 2006, s. 97÷106.
5. Wirtgen Cold Recycling Manual, Wirtgen GmbH, Windhagen, Germany 2004.
6. Iwański M.: Wodo- i mrozoodporność betonu asfaltowego z kruszywem kwarcytowym, mat. V Międzynarodowej Konferencji „Trwałe i bezpieczne nawierzchnie drogowe”, Kielce, 11÷12 maja 1999, s. 77÷84.
7. Judycki J., Jaskuła J.: Badania odporności betonu asfaltowego na oddziaływanie wody i mrozu, Drogownictwo, nr 12, 1997, s. 374÷378.

INFLUENCE OF FOAMED BITUMEN ON THE PROPERTIES OF THE RECYCLED BASE

Summary

Foamed bitumen and alternatively, bitumen emulsion were used for the research tests of the base pavements. The bitumen binder content in the recycled material was 2%, 2,5%, 3% and 3,5%. The tests into the standard properties (stability against deformation, Marshall stiffness and indirect tensile strength ITS) proved that the use of foamed bitumen is more advantageous than bitumen emulsion in terms of these mechanical properties of pavement. The measurements of resistance to the effects of water and frost according to the AASHTO T283 method and the resistance to low temperature cracking according to the PANK 4302 methods confirmed that base pavement produced with the cold recycling technology is resistant to these climatic factors. The tests also showed that pavement produced with foamed bitumen is more resistant than base pavement with bitumen emulsion.

Złożono w Oficynie Wydawniczej w kwietniu 2010 r.