



MAREK IWAŃSKI

Politechnika
Świętokrzyska
iwanski@tu.kielce.pl



ANNA
CHOMICZ-KOWALSKA

Politechnika
Świętokrzyska
akowalska@tu.kielce.pl

Właściwości recyklowanej podbudowy z asfaltem spienionym

W przebudowie dróg w naszym kraju często jest stosowana technologia recyklingu na zimno konstrukcji nawierzchni z zastosowaniem mieszanek mineralno-cementowo-emulsyjnych (m-c-e). Jednak w światowym wykonawstwie drogowym prawie od dziesięciu lat w tego rodzaju technologii coraz częściej zamiast emulsji asfaltowej stosowany jest asfalt spieniony. Zastosowanie tego lepszycza pozwala uzyskać wymierne korzyści technologiczne i ekonomiczne. Technologia recyklingu głębokiego na zimno z asfal-

tem spienionym umożliwia wykorzystywanie materiałów kamiennych o dużym zapyleniu. Zapewnia większą trwałość konstrukcji nawierzchni drogowej niż w przypadku stosowania emulsji asfaltowej przy oddziaływaniu stale wzrastającego obciążenia ruchem konstrukcji nawierzchni. Umożliwia ograniczenie, praktycznie do jednego dnia, okresu pielęgnacji podbudowy po jej wykonaniu, co ma istotne znaczenie ze względu na czas realizacji prac nawierzchniowych [2].

Warunki klimatyczne w naszym kraju są jednak zdecydowanie bardziej niekorzystne zarówno w zakresie oddziaływania na podbudowę wody, jak i mrozu, niż w krajach, gdzie stosuje się tą technologię. W związku z tym, przed jej wdrożeniem do wykonawstwa nieodzowne jest dokonanie oceny odporności materiału recyklowanej podbudowy z zastosowaniem asfaltu spienionego na oddziaływanie obu czynników w szerszym zakresie niż to podają opracowane w ramach tej technologii wymagania [2]. Istotnym czynnikiem jest również wykonanie badań podstawowych w zakresie tego rodzaju podbudowy z asfaltem spienionym. Celem jest również dokonanie porównania właściwości recyklowanej mieszanki mineralno-asfaltowej podbudowy z użyciem asfaltu spienionego i alternatywnie emulsji asfaltowej.

Zastosowanie tej technologii może poprawić trudną sytuację materiałową mineralnych zasobów w wielu regionach Polski, a także przynieść wyraźną poprawę stanu technicznego nawierzchni dróg. W ostatnich latach nastąpił w Polsce znaczny rozwój technologii wykonywania konstrukcji nawierzchni dróg z użyciem nowych materiałów. Ważnym czynnikiem postępu w krajowym drogownictwie jest również wdrażanie nowych technik przebudowy dróg, zapewniają-

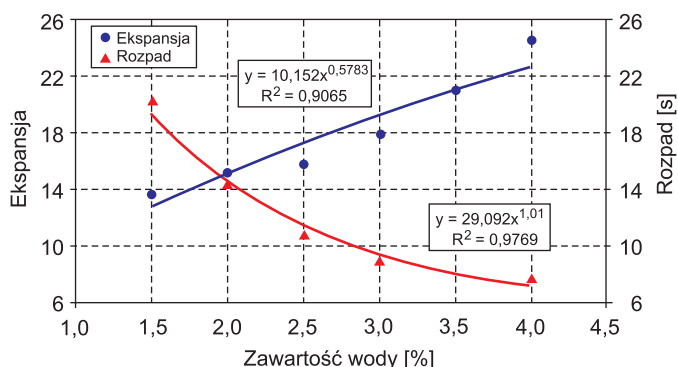
cych lepszą jakość robót, a tym samym dłuższą trwałość konstrukcji dróg.

Recyklowana podbudowa w technologii asfaltu spienionego

W technologii spienienia w światowym drogownictwie stosowane są asfalty o różnej penetracji. Istotnym elementem wykonanych badań było określenie na wstępie przydatności stosowanych w Polsce asfaltów do technologii spienienia. Następnie zaprojektowano mieszankę mineralną recyklowanej podbudowy oraz określono wpływ ilości asfaltu spienionego na podstawowe właściwości oraz jej wodo- i mrozoodporność.

Badania asfaltu spienionego

Badaniu poddano sześć rodzajów asfaltów drogowych, które dodatkowo oznaczono literami w celu zróżnicowania ich pochodzenia: 50/70 (P), 160/220 (T), 70/100 (L), 70/100E (L), 50/70 (N) i 80 (N). Badania oceny przydatności asfaltów obejmowały określenie podstawowych ich właściwości oraz parametrów spienienia. Na podstawie szczegółowo opisanych badań [3] stwierdzono, że asfalt 80 (N) (rys. 1) charakteryzuje się najkorzystniejszymi parametrami spienienia tj. współczynnikiem ekspansji $WE = 15,1$ oraz czasem połowicznego rozpadu piany asfaltowej $t_{1/2} = 14,4$ s. Tym samym zastosowanie tego rodzaju asfaltu podczas recyklingu głębokiego na zimno powinno gwarantować uzyskanie podbudowy o wysokich parametrach fizykomechanicznych.

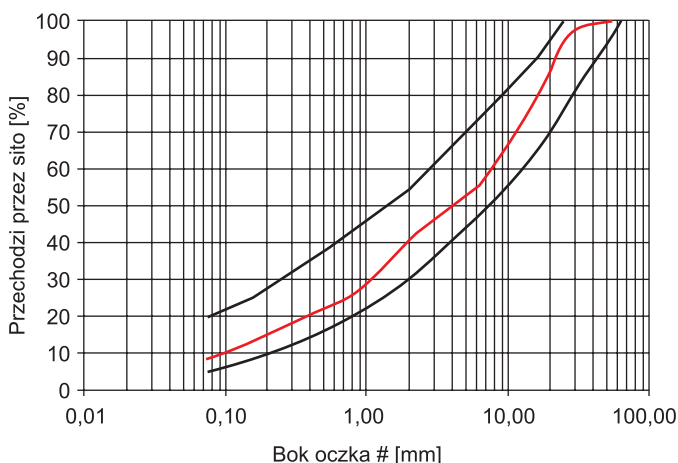


Rys. 1. Charakterystyki asfaltu spienionego wytworzonego z asfaltu 80 (N)

Skład ramowy recyklowanej mieszanki mineralnej podbudowy

W badaniach laboratoryjnych zastosowano mieszankę mineralną pochodzącą z modernizowanych warstw konstrukcyjnych nawierzchni drogowej, spełniającą kryteria uziarnienia zgodnie z wymaganiami [9].

Zaprojektowana mieszanka mineralna recyklowanej podbudowy (rys. 2) składała się z 48% materiału frezowanych warstw asfaltowych, 22% materiału z istniejącej podbudowy z tłuczni kamiennej oraz 30% nowego materiału doziarniającego – kruszywa dolomitowego frakcji 0/4 mm.



Rys. 2. Uziarnienie mieszanki mineralnej na warstwę podbudowy w technologii recyklingu głębokiego na zimno z asfaltem spienionym

W celu określenia wpływu asfaltu spienionego oraz cementu na właściwości recyklowanej podbudowy zaprojektowano mieszanki mineralno-asfaltowe z różną zawartością obu składników. Zawartość asfaltu spienionego wytworzonego z asfaltu 80 (N) z dodatkiem 2,0% wody wynosiła odpowiednio 2,0%, 2,5%, 3,0% i 3,5%. W celu określenia wpływu ilości cementu na właściwości fizykomechaniczne recyklowanej podbudowy jego zawartość w mieszankach wynosiła 1,0%, 1,5%, 2,0% oraz 2,5% w stosunku do mieszanki mineralnej. Należy dodać, iż głównym zadaniem spoiwa było zwiększenie ilości frakcji mniejszej niż 0,063 mm w recyklowanym materiale.

Metodyka badań

Pierwszy etap badań laboratoryjnych obejmował oznaczenie podstawowych właściwości mechanicznych recyklowanych mieszanek podbudowy w aspekcie ilości zastosowanych materiałów wiążących (asfaltu spienionego oraz cementu). Natomiast podczas drugiego etapu badań dokonano oceny odporności tego rodzaju materiału podbudowy na oddziaływanie wody i mrozu.

Istotnym elementem badań była ocena jednorodności wykonywanych prac. Do badań przyjmowano tylko próbki, w których zawartość wolnych przestrzeni zawierała się w przedziale ($V - 2s$; $V + 2s$), gdzie: V – średnia zawartość wolnych przestrzeni w podbudowie, a s – odchylenie standardowe. Badania wykonano na seriach składających się z 9 prób. Prezentowane wyniki przedstawiają wartości średnie.

W związku z brakiem normowych wymagań, jakie powinna spełniać recyklowana mieszanka podbudowy z asfaltem spienionym założono, że powinna ona charakteryzować się właściwościami zalecanymi w opracowaniu TG2 [4], [8] podstawowym dokumencie wdrażającym tę technologię do światowego wykonawstwa oraz wymaganiami charakterystycznymi wobec mieszanek m-c-e [7].

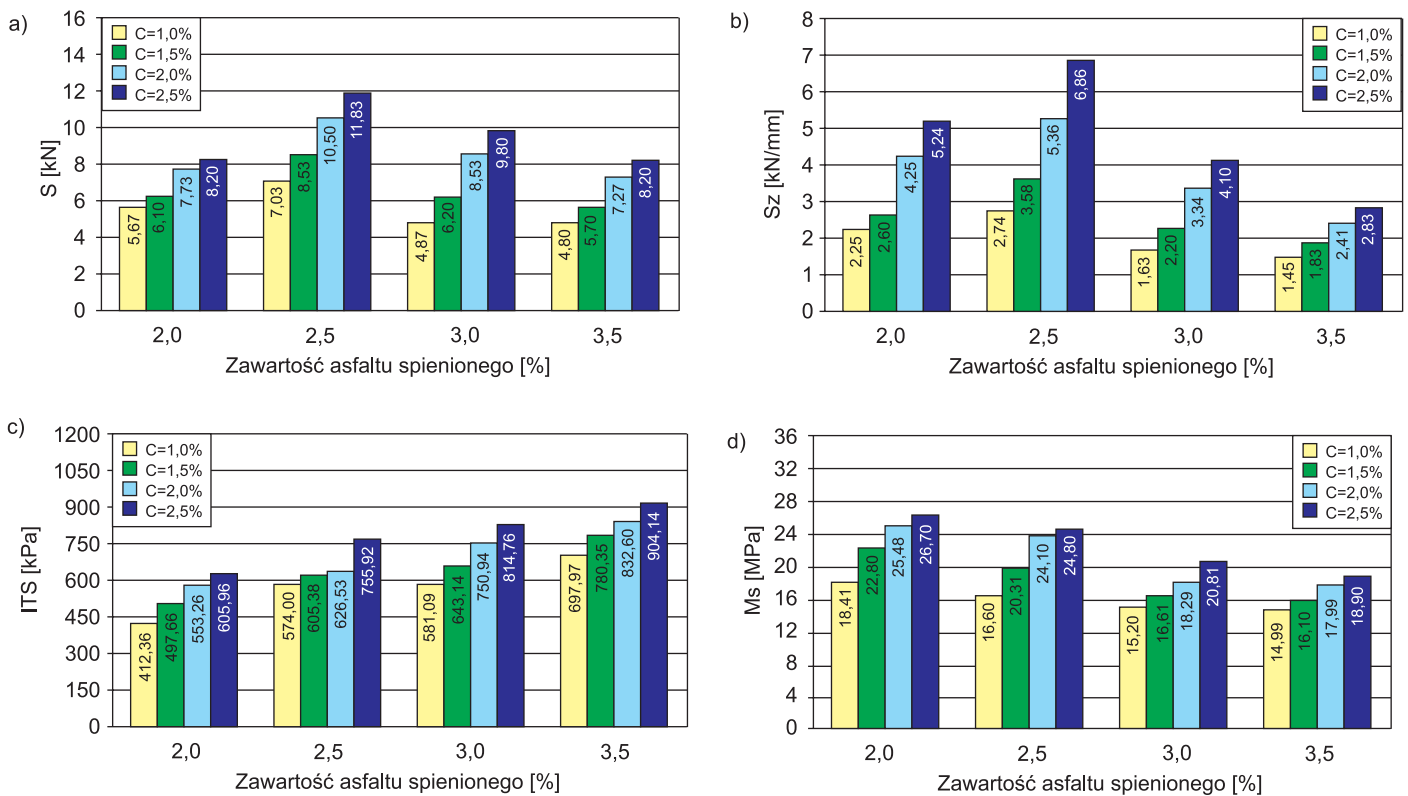
W ramach badań drugiego etapu określono odporność materiału recyklowanej podbudowy na czynniki klimatyczne występujące w Polsce. Program ten rozszerzony został o procedury powszechnie wykorzystywane do oznaczania odporności na oddziaływanie wody i mrozu tradycyjnych mieszanek mineralno-asfaltowych wykonanych w technologii na gorąco. Zastosowano metodykę fińską PANK 4302 umożliwiającą ocenę odporności mieszanki mineralno-asfaltowej na powstawanie spękań niskotemperaturowych oraz zmodyfikowaną metodykę AASHTO T283 uwzględniającą zarówno wpływ oddziaływania wody jak i mrozu na mieszanki mineralno-asfaltowe.

Podstawowe właściwości recyklowanej podbudowy

Zgodnie z przyjętą metodyką, stosując wymagania [6], [7], [8], [9], określono następujące parametry mechaniczne recyklowanej mieszanki podbudowy z asfaltem spienionym: stabilność (S) i sztywność (S_z) wg Marshalla, wytrzymałość na pośrednie rozciąganie (ITS) oraz moduł sztywności pełzania pod obciążeniem statycznym (M_s), które przedstawiono na rysunku 3.

Analizując rezultaty badań, przedstawione na rysunku 3, można stwierdzić, że istotny wpływ na właściwości materiału podbudowy z asfaltem spienionym ma przede wszystkim ilość zastosowanego asfaltu spienionego, a w mniejszym stopniu zawartość cementu.

Dokonując szczegółowej oceny właściwości mechanicznych można zauważyć, że nie wszystkie mieszanki charakteryzują się parametrami spełniającymi wymagane zalecenia [9] oraz warunki techniczne [7] wykonywania warstw podbudowy z recyklowanych mieszanek (m-c-e). Oceniając stabilność wg Marshalla należy zaznaczyć, że mieszanki z użyciem 2,5% asfaltu spienionego charakteryzują się największą wartością tego parametru i uzyskały stabilność większą od minimalnej wynoszącej 8 kN wg [7] przy zastosowaniu tylko 1,5% cementu. Natomiast wartości odkształcenia nie przekroczyły maksymalnej dopuszczalnej 3,5 mm [7]. Dodatkowo zaobserwowano interesującą zależność – zwiększenie zawartości asfaltu spienionego do 2,5% powoduje wzrost stabilności podbudowy, a dalsze kontynuowanie tej tendencji powoduje jej spadek. Przy zawartości 2,5% lepszczą oraz 2,5% cementu zanotowano największą stabilność wynoszącą 11,83 kN. Wskaźnik sztywności wg Marshalla podbudowy zawierającej 2,5% cementu w przedziale zawartości asfaltu spienionego od 2,0% do 2,5% jest większy od 5,0 kN/mm. W recyklowanej podbudowie o takiej zawartości spoiwa i lepszczą mogą powstać spękania, które przeniosą się na wyższe warstwy konstrukcyjne. W związku z tym niecelowe jest stosowanie większej ilości cementu niż 2,0% w recyklowanych mieszankach podbudowy, która może powodować znaczący wzrost ich sztywności, a w konsekwencji powstawanie spękań w warstwie podbudowy. Zastosowanie 2,5% asfaltu spienionego powoduje uzyskanie przez mieszankę recyklowanej podbudowy najkorzyst-



Rys. 3. Zależność właściwości mechanicznych recyklowanych mieszanek podbudowy od ilości asfaltu spienionego i cementu a) stabilność wg Marshalla b) sztywność wg Marshalla c) wytrzymałość na pośrednie rozciąganie d) moduł sztywności pełzania

niejszych charakterystyk mechanicznych. Przy tej zawartości asfaltu spienionego recyklowana podbudowa wykazuje największą stabilność oraz sztywność wg Marshalla bez względu na ilość zastosowanego spoiwa (cementu). Natomiast dalszy wzrost zawartości lepiszcza asfaltowego powoduje spadek obu parametrów. Zależności tej nie obserwuje się w przypadku wytrzymałości na pośrednie rozciąganie recyklowanej podbudowy, gdyż wraz ze wzrostem zawartości asfaltu spienionego oraz cementu wzrasta również wytrzymałość na pośrednie rozciąganie. Wszystkie mieszanki uzyskały wyższą wartość od minimalnej wymaganej wynoszącej 150 kPa, zgodnie z [9].

Dokonując analizy rezultatów badań zamieszczonych na rysunku 3d można stwierdzić, że przede wszystkim ilość lepiszcza asfaltowego oraz w mniejszym zakresie spoiwa wpływa istotnie na wynik modułu sztywności pełzania badanych mieszanek. Zastosowanie większej ilości asfaltu spienionego powoduje spadek wartości badanego parametru, natomiast wraz ze wzrostem zawartości cementu w recyklowanym materiale podbudowy następuje przyrost wartości modułu sztywności. Oceniając wyniki badań można zauważyć, że recyklowana mieszanka z najmniejszą zawartością asfaltu spienionego przy największej zawartości cementu uzyskała najwyższy moduł sztywności pełzania równy 26,7 MPa. Zbyt duża ilość lepiszcza asfaltowego wpływa na zwiększenie odkształcalności recyklowanych mieszanek podbudowy. Natomiast najmniejszą wartość modułu sztywności wynoszącą 14,99 MPa zanotowano przy największej zawartości lepiszcza i najmniejszej ilości spoiwa.

Na podstawie analizy uzyskanych wyników standardowych właściwości recyklowanych mieszanek mineralnych z róż-

nym udziałem lepiszcza asfaltowego oraz spoiwa można stwierdzić, że najlepszymi parametrami cechuje się mieszanka z zawartością 2,5% asfaltu spienionego oraz 2,0% cementu. Pozytywne rezultaty badań właściwości fizykomechanicznych podbudowy w technologii recyklingu z asfaltem spienionym nie są jednak wystarczające. Nieodzwonnie jest, jak wspomniano wcześniej, dokonanie oceny odporności tego rodzaju podbudowy na oddziaływanie wody i mrozu.

Odporność na oddziaływanie wody i mrozu

W związku z powyższym, do oceny odporności na oddziaływanie wody oraz mrozu mieszanek mineralnych z asfaltem spienionym wykonano następujące oznaczenia:

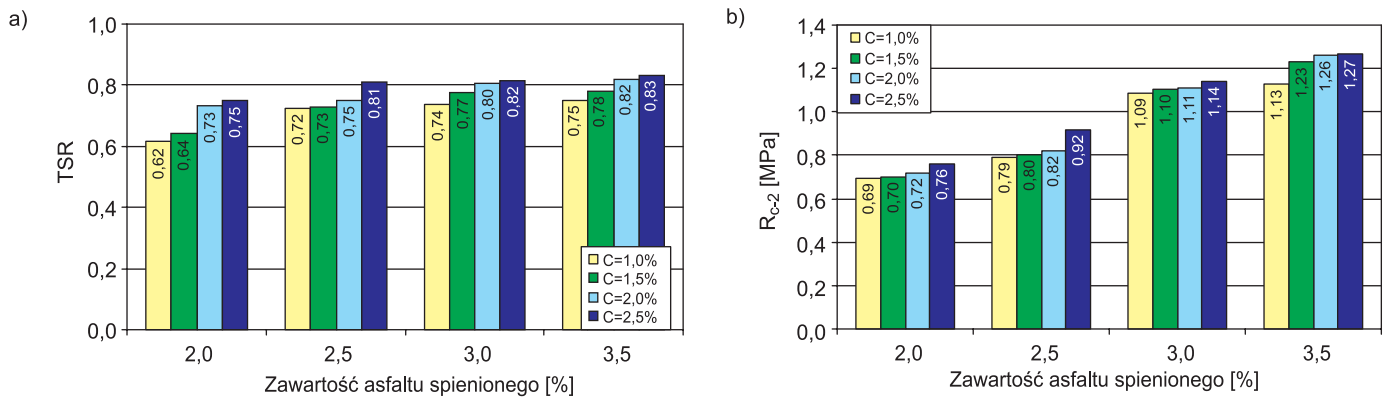
- wskaźnika odporności na oddziaływanie wody TSR [8],
- odporności na spękania niskotemperaturowe zgodnie z fińską normą PANK 4302 [1],
- wskaźnika wytrzymałości na pośrednie rozciąganie po procesie pielęgnacji w wodzie i mrozie zgodnie z procedurami amerykańskimi, wg metody AASHTO T283 [1], [5].

Należy zaznaczyć, że wskaźnik TSR różni się od wskaźnika ITRS określonego wg WT2. Wskaźnik TSR zgodnie z [9] wyznacza się za pomocą wzoru:

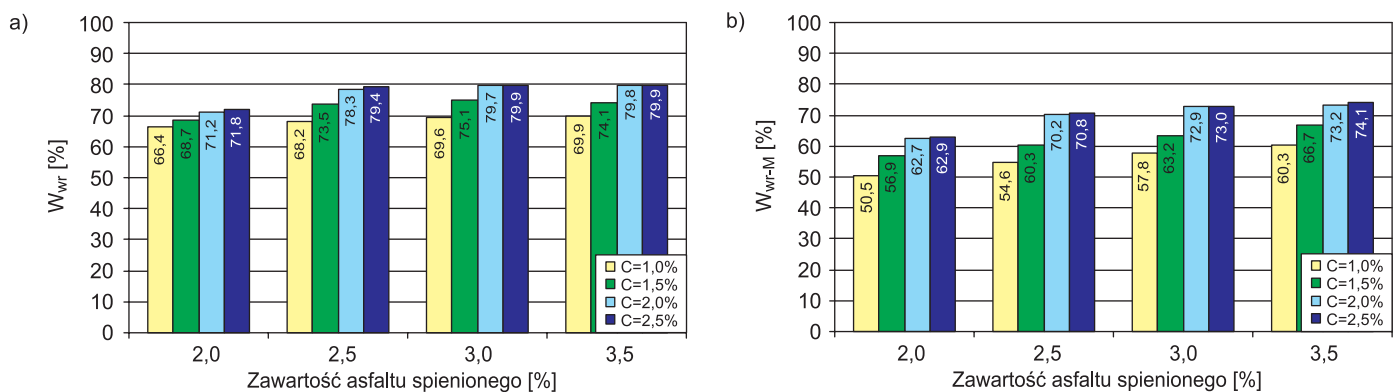
$$TSR = \frac{ITS_{woda}}{ITS} \quad (1)$$

w którym:

ITS – wytrzymałość na rozciąganie pośrednie, oznaczona na próbce normatywnie zagęszczanej, w warunkach powietrzno-suchych,



Rys. 4. Zależność parametrów mechanicznych recyklowanych mieszank podbudowy od ilości asfaltu spienionego i cementu a) wskaźnik odporności na oddziaływanie wody b) wytrzymałość na pośrednie rozciąganie w temperaturze -2°C wg PANK 4302



Rys. 5. Wskaźnik wytrzymałości na rozciąganie pośrednie recyklowanej podbudowy wg AASHTO T283 a) odporność na oddziaływanie wody b) odporność na oddziaływanie wody i mrozu

ITS_{woda} – wytrzymałość na rozciąganie pośrednie, oznaczona na próbce normatywnie zagęszczanej, po nasączeniu jej wodą

Rezultaty badań odporności na oddziaływanie czynników klimatycznych materiału podbudowy z asfaltem spienionym zaprezentowano na rysunkach 4 i 5.

Na podstawie analizy wyników badań przedstawionych na rysunkach 4 i 5 można stwierdzić, podobnie jak w przypadku właściwości mechanicznych, że istotny wpływ na wodo- i mrozoodporność materiału podbudowy z asfaltem spienionym ma jego ilość, jak również w pewnym stopniu zawartość cementu. Wraz ze wzrostem zawartości lepiszcza oraz spoiwa następuje podwyższenie wartości badanych parametrów.

Zwiększenie zawartości materiałów wiążących w recyklowanych mieszankach podbudowy powoduje wzrost wartości wskaźnika TSR. Przy zawartości 2,0% asfaltu spienionego i 2% cementu w recyklowanym materiale podbudowy zapewniona jest szczelność i odporność na oddziaływanie wody, ponieważ uzyskany wskaźnik TSR ma wyższą wartość od wymaganej, wynoszącej 0,7 wg [4]. W związku z tym, niecelowe jest stosowanie większej ilości cementu, która może powodować powstawanie spękań w warstwie podbudowy.

Wytrzymałość na pośrednie rozciąganie w temperaturze -2°C recyklowanej podbudowy z asfaltem spienionym nie przekroczyła wartości granicznej wynoszącej 4,8 MPa zgodnie z normą fińską PANK 4302 [1] niezależnie od ilości mate-

riałów wiążących. W związku z tym można wnioskować, że podbudowa będzie odporna na spękania niskotemperaturowe w okresie zimy.

Kompleksową ocenę wodo- i mrozoodporności mieszank recyklowanej podbudowy dokonano zgodnie z procedurą AASHTO T283. Kiedy wskaźnik wytrzymałości na pośrednie rozciąganie jest większy od 70%, wówczas przyjmuje się, że mieszanki mineralno-asfaltowe odporne są na oddziaływanie wody i mrozu. Analizując rezultaty badań wodo- i mrozoodporności mieszank podbudowy można stwierdzić, że nie wszystkie one spełniały stawiane im wymagania. Należy zaznaczyć, że dopiero przy zawartości 2,5% lepiszcza asfaltowego i 2,0% cementu uzyskano wymagane wartości charakterystyk wytrzymałościowych badanego materiału, tj. którego wskaźniki wytrzymałości są większe od wartości minimalnej ($WR_{\text{w}}=78,3\%$, $WR_{\text{w+M}}=70,2\%$), zapewniające jego odporność na oddziaływanie wody i mrozu.

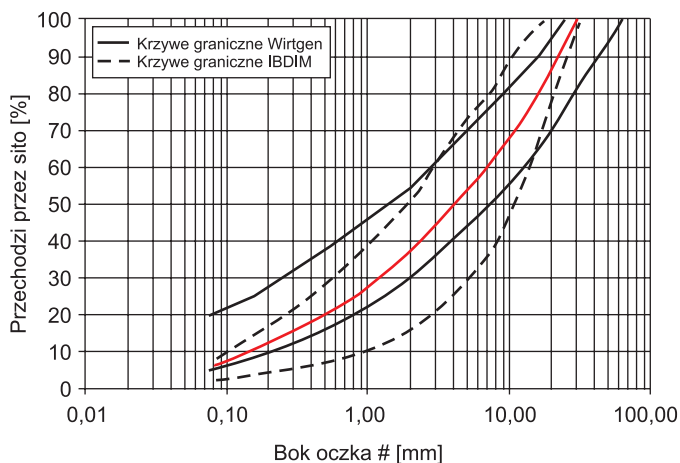
Reasumując można stwierdzić, że najkorzystniejsze właściwości mieszanka recyklowanej podbudowy uzyskała przy zawartości 2,5% asfaltu spienionego i 2,0% cementu.

Na podstawie wykonanych badań laboratoryjnych można stwierdzić, że w warunkach klimatycznych naszego kraju celowe jest dokonywanie oceny odporności recyklowanej podbudowy na oddziaływanie wody nie tylko na podstawie wskaźnika TSR, ale również w oparciu o zaproponowaną metodykę AASHTO T283 i PANK 4302.

Wpływ rodzaju lepiszcza na właściwości recyklowanej podbudowy

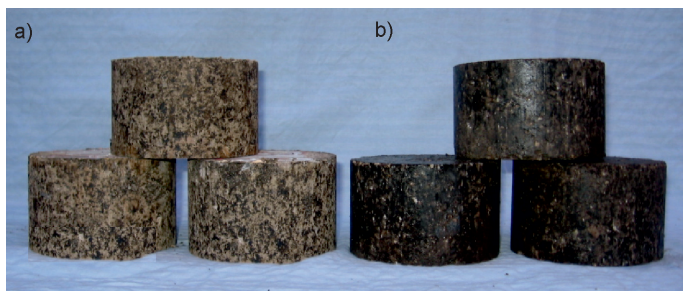
Istotnym elementem badań było porównanie właściwości recyklowanej podbudowy w zależności od rodzaju zastosowanego lepiszcza asfaltowego – emulsji asfaltowej i asfaltu spienionego.

Na tym etapie badań zastosowano mieszankę mineralną, opracowaną w pierwszej fazie badań. Spełniała ona w zakresie uziarnienia (rys. 6) wymagania zarówno wobec mieszanek z asfaltem spienionym oraz wobec mieszanek m-c-e [7]. W pierwszej mieszance zastosowano asfalt spieniony w ilości jak na początku badań. Została ona oznaczona (m-c-a_{sp}). Natomiast w drugiej – kontrolnej (m-c-e), wykorzystano kationową emulsję asfaltową wolnorozpadową K3-60. Zawartość asfaltu spienionego oraz asfaltu wytrąconego z emulsji asfaltowej wynosiła odpowiednio 2,0% 2,5% 3,0% oraz 3,5%, a zawartość cementu portlandzkiego 2,0%. Zawartość cementu odpowiadała rekomendowanej ilości ustalonej na podstawie badań rozpoznawczych recyklowanej podbudowy z asfaltem spienionym.



Rys. 6. Uziarnienie mieszanki mineralnej podbudowy w technologii recyklingu głębokiego na zimno z asfaltem spienionym i emulsją asfaltową

Po wykonaniu próbek z recyklowanych mieszanek mineralno-asfaltowych zaobserwowano istotną różnicę w ich wyglądzie (fot. 1).



Fot. 1. Widok próbek recyklowanej mieszanki mineralnej z lepiszczem asfaltowym a) asfalt spieniony b) emulsja asfaltowa (fot. A. Chomicz-Kowalska)

W próbkach typu a) widać otoczone asfaltem spienionym tylko najdrobniejsze ziarna mieszanki mineralnej. Natomiast w próbkach b) wykonanych z zastosowaniem emulsji asfaltowej otoczone lepiszczem są wszystkie ziarna mieszanki mineralnej. W związku z tym, można stwierdzić, że zastosowanie asfaltu spienionego w inny sposób wpływa na budowę struktury wewnętrznej recyklowanego materiału podbudowy niż emulsja asfaltowa.

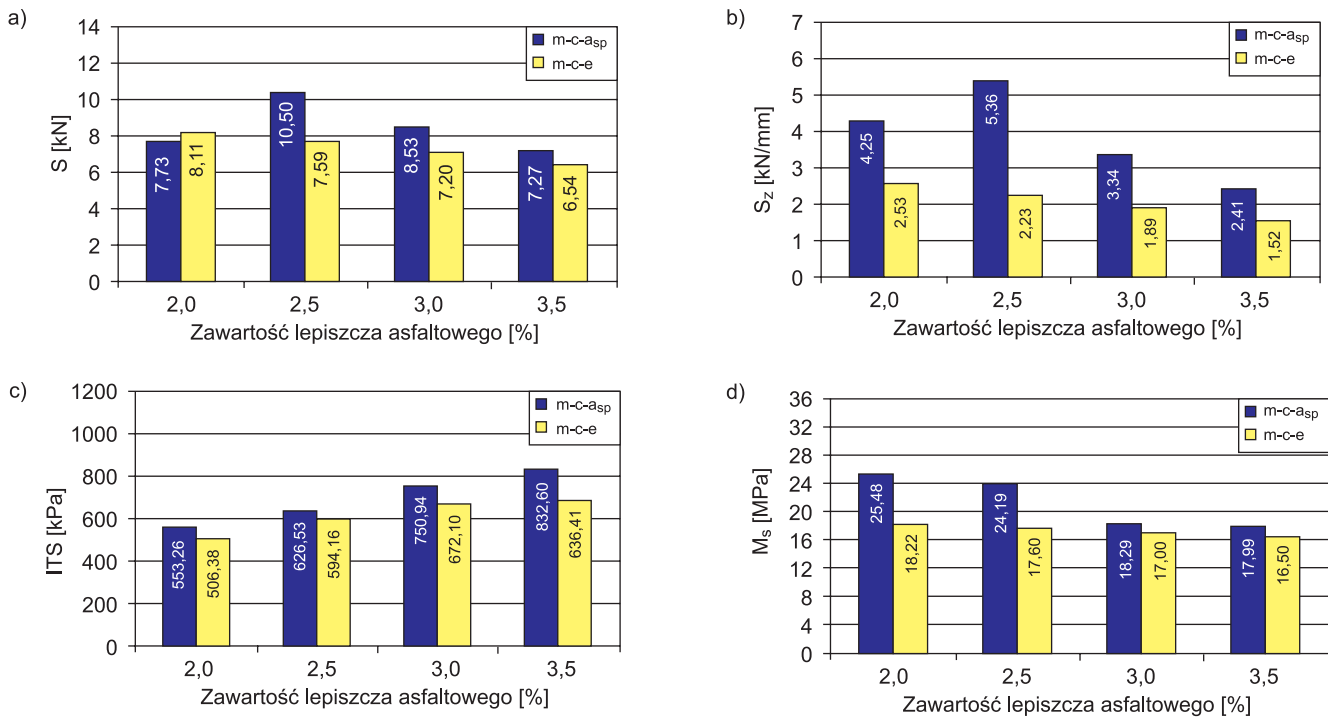
Właściwości fizykomechaniczne podbudowy a rodzaj lepiszcza

Program badań porównawczych recyklowanych mieszanek mineralno-asfaltowych w aspekcie rodzaju lepiszcza był analogiczny z tym, jaki zastosowano w czasie badań rozpoznawczych recyklingu głębokiego na zimno w technologii asfaltu spienionego. Na wstępie określono podstawowe właściwości fizykomechaniczne badanych recyklowanych mieszanek podbudowy (rys. 7).

Analiza rezultatów badań przedstawionych na rysunku 7 pokazuje, że znaczący wpływ na parametry fizykomechaniczne recyklowanych mieszanek podbudowy ma rodzaj oraz ilość stosowanego lepiszcza asfaltowego. Należy zwrócić szczególną uwagę, że nie wszystkie recyklowane mieszanki charakteryzują się parametrami spełniającymi wymagania [4], [8] oraz zalecenia [7]. Wraz ze wzrostem ilości asfaltu spienionego i emulsji asfaltowej wzrasta wytrzymałość na pośrednie rozciąganie. Zastosowanie w podbudowie asfaltu spienionego powoduje około 10% wzrost jej wytrzymałości na pośrednie rozciąganie, przy takiej samej zawartości lepiszcza, niż kiedy stosowano emulsję asfaltową. Inny charakter przybiera zależność stabilności recyklowanej podbudowy od ilości asfaltu spienionego. Wzrost ilości asfaltu spienionego do 2,5% powoduje wzrost stabilności podbudowy, zaś dalsze jego zwiększenie powoduje jej spadek. Natomiast w mieszankach z emulsją asfaltową stabilność podbudowy maleje wraz ze zwiększeniem zawartości tego lepiszcza.

Istotnym efektem badań jest stwierdzenie, że w zakresie stosowanych ilości lepiszcza podbudowa z asfaltem spienionym charakteryzuje się mniejszym odkształceniem wg Marshalla od podbudowy z emulsją asfaltową. Tym samym będzie ona bardziej odporna na deformacje plastyczne pod wpływem oddziałującego na powierzchnię obciążenia ruchem pojazdów. Właściwość tą potwierdza również analiza sztywności wg Marshalla recyklowanej podbudowy. Określone w badaniach wartości sztywności wg Marshalla podbudowy z różną zawartością asfaltu spienionego wskazują jednoznacznie, że zastosowanie tego rodzaju lepiszcza asfaltowego pozwala uzyskać większą odporność recyklowanej podbudowy na oddziaływanie ruchu pojazdów, w porównaniu z odpornością, gdy zastosowano w jej składzie emulsję asfaltową. Należy podkreślić, że przy zawartości w podbudowie 2,5% asfaltu spienionego wskaźnik Marshalla wyniósł 5,2 kN/mm w porównaniu z największą wartością 2,5 kN/mm, jaką uzyskano przy zastosowaniu 2,0% emulsji asfaltowej.

Podbudowa wykonana w technologii recyklingu z asfaltem spienionym w badanym zakresie zawartości lepiszcza charakteryzuje się wyższym modułem sztywności pełzania,



Rys. 7. Zależność właściwości mechanicznych recyklowanych mieszanek podbudowy od rodzaju i ilości lepiszcza asfaltowego a) stabilność wg Marshalla b) sztywność wg Marshalla c) wytrzymałość na pośrednie rozciąganie d) moduł sztywności pełzania

w porównaniu do podbudowy, w której zastosowano emulję asfaltową. Należy zaznaczyć, że wartości modułu sztywności pełzania maleją wraz ze wzrostem ilości lepiszcza asfaltowego niezależnie od jego rodzaju. Przy zawartości 3% asfaltu spienionego i emulsji asfaltowej w recyklowanym materiale podbudowy parametr ten praktycznie nie zależy od rodzaju zastosowanego lepiszcza. Natomiast zwiększenie jego ilości powoduje znaczący spadek modułu sztywności pełzania recyklowanej podbudowy zawierającej asfalt spieniony w porównaniu z zastosowaniem w jej składzie emulsji asfaltowej.

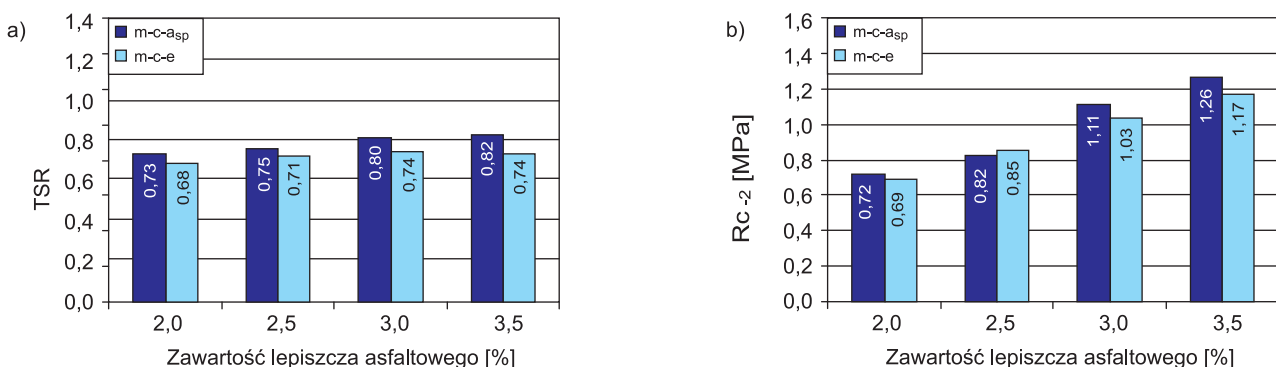
Badania pierwszego etapu pozwoliły stwierdzić, że zastosowanie asfaltu spienionego pozwala uzyskać korzystniejsze właściwości recyklowanej podbudowy, w porównaniu do podbudowy, w której składzie stosuje się emulję asfaltową.

Wodoodporność i mrozoodporność recyklowanej podbudowy

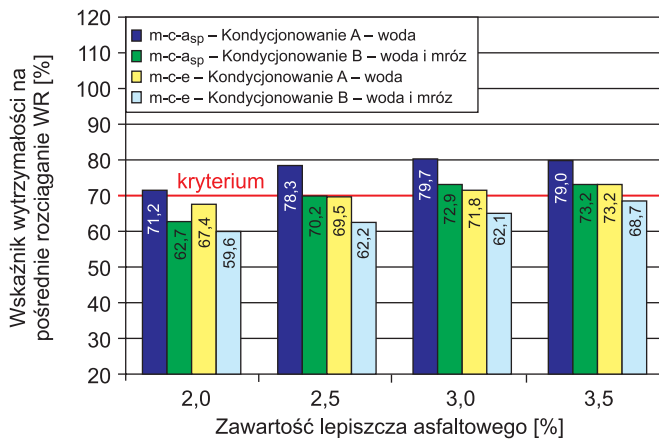
Badania oceny wpływu wody i mrozu na właściwości materiału recyklowanej podbudowy z asfaltem spienionym i alternatywnie z emulcją asfaltową wykonano zgodnie z programem badań rozpoznawczych.

Odporność na oddziaływanie czynników klimatycznych recyklowanych podbudów w aspekcie rodzaju lepiszcza asfaltowego przedstawiono na rysunkach 8 i 9.

Podbudowa wykonana w technologii recyklingu z asfaltem spienionym w badanym zakresie zawartości lepiszcza charakteryzuje się większymi wartościami wskaźnika TSR niż kiedy stosowano emulję asfaltową. Wartości wskaźnika wzrastają wraz ze zwiększeniem ilości asfaltu spienionego.



Rys. 8. Zależność parametrów mechanicznych recyklowanych mieszanek podbudowy od rodzaju i ilości lepiszcza asfaltowego a) wskaźnik odporności na oddziaływanie wody b) wytrzymałość na pośrednie rozciąganie w temperaturze -2°C wg PANK 4302



Rys. 9. Wskaźniki wytrzymałości na rozciąganie pośrednie wg AASHTO T283

Należy zaznaczyć, że recyklowana podbudowa, zgodnie z kryterium opracowanym przez prof. Jenkinsa, jest odporna na oddziaływanie wody, gdy wskaźnik TSR jest większy od 0,70. Kryterium to spełnia podbudowa wykonana z zastosowaniem asfaltu spienionego w całym badanym zakresie zawartości tego lepiszcza. Natomiast zastosowanie emulsji asfaltowej w ilości dopiero 2,5% pozwala na jego spełnienie.

Wykonane badania pozwoliły stwierdzić, że wytrzymałość na powstawanie spękań niskotemperaturowych wg PANK 4302 recyklowanej podbudowy zarówno z asfaltem spienionym, jak i emulsją asfaltową jest porównywalna przy takich samych zawartościach lepiszcza. Kompleksową ocenę odporności na oddziaływanie wody i mrozu badanych podbudów uzyskano na podstawie oznaczeń wg AASHTO T283 [5]. Podbudowa z asfaltem spienionym okazała się odporna na oddziaływanie wody w całym zakresie ilości stosowanego asfaltu spienionego. Natomiast podbudowa z emulsją asfaltową spełniała wymagane kryterium dopiero przy zawartości 3,0% asfaltu wytrąconego z emulsji asfaltowej. 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%, niezależnie od ilości zastosowanej emulsji. Należy podkreślić, że przy maksymalnej zawartości emulsji asfaltowej wskaźnik ten wynosił tylko 65,1%. Natomiast zastosowanie w recyklowanej podbudowie 2,5% asfaltu spienionego zapewniło jej odporność na oddziaływanie wody i mrozu. Wraz ze zwiększeniem zawartości asfaltu spienionego odporność podbudowy na badane czynniki klimatyczne wzrasta.

Wykonane badania oddziaływania wody i niskich wartości temperatury na recyklowaną podbudowę pozwalają stwierdzić, że zastosowanie asfaltu spienionego zapewnia na wyższym poziomie jej odporność w tym zakresie niż w przypadku zastosowania emulsji asfaltowej.

Podsumowanie

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

- wraz ze zwiększeniem zawartości asfaltu spienionego od 2,0% do 3,0% następuje wzrost wytrzymałości na pośrednie rozciąganie recyklowanej podbudowy, natomiast stabilność uzyskuje największą wartość przy ilości 2,5% tego lepiszcza, dalsze zwiększenie jego zawartości powoduje spadek stabilności recyklowanej podbudowy,
- recyklowana podbudowa z asfaltem spienionym przy jego zawartości 2,5% charakteryzuje się większą stabilnością i sztywnością wg Marshalla niż w przypadku, kiedy zastosowano emulsję asfaltową,
- asfalt spieniony wpływa korzystnie na właściwości mechaniczne recyklowanej podbudowy (wytrzymałość na pośrednie rozciąganie oraz moduł sztywności petzania) niż w przypadku, kiedy zastosowano emulsję asfaltową,
- użycie podczas recyklingu głębokiego na zimno asfaltu spienionego powinno zapewnić uzyskanie podbudowy o wyższej odporności na deformacje plastyczne, niż w przypadku kiedy stosuje się emulsję asfaltową,
- asfalt spieniony zapewnia odporność na oddziaływanie wody i mrozu recyklowanej podbudowy na znacznie wyższym poziomie w porównaniu do podbudowy z emulsją asfaltową.

Istotnym elementem pozwalającym na weryfikację rezultatów badań laboratoryjnych jest rozpoczęcie w 2010 r. w województwie świętokrzyskim prac terenowych. Pozwolą one na zgromadzenie bazy danych umożliwiających kompleksowe rozpoznanie technologii recyklingu głębokiego z asfaltem spienionym.

W artykule przedstawiono wyniki badań naukowych, które zostały wykonane w ramach realizacji projektu „Innowacyjne środki i efektywne metody poprawy bezpieczeństwa i trwałości obiektów budowlanych i infrastruktury transportowej w strategii zrównoważonego rozwoju” współfinansowanego przez Unię Europejską z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka.

Bibliografia

- Iwański M.: *Wodo- i mrozoodporność betonu asfaltowego z kruszywem kwarcytowym*, V Międzynarodowa Konferencja „Trwałe i bezpieczne nawierzchnie drogowe”, Kielce, 11-12 maja 1999
- Iwański M.: *Podbudowa z asfaltem spienionym*, „Drogownictwo” Nr 3, 2006
- Iwański M., Chomicz A.: *Przydatność do spienienia asfaltów drogowych stosowanych w Polsce*, „Drogownictwo” Nr 8, 2006
- Jenkins K.J., Collings D.C., Thesey H.L., Long F.M.: *Interim Technical Guideline: Design and Use of Foamed Bitumen Treated Materials*. Edited by Les Sampson of Asphalt Academy. ISBN 0-7988-7743-6. Asphalt Academy, Pretoria, South Africa, 2003
- Judycki J., Jaskała J.: *Badania odporności betonu asfaltowego na oddziaływanie wody i mrozu*, „Drogownictwo” Nr 12, 1997
- Rafalski L.: *Podbudowy drogowe*, Zeszyt nr 59, IBDiM, 2007
- Zawadzki J., Matras J., Mechowski T., Sybilski D.: *Warunki techniczne wykonywania warstw podbudowy z mieszanki mineralno-cementowo-emulsyjnej (MCE)*, Zeszyt nr 61, IBDiM, Warszawa 1999
- Wirtgen Cold Recycling Manual. Wirtgen GmbH, Windhagen, Germany, 2004
- Asphalt Academy. *Bitumen Stabilised Materials. A Guideline for the Design and Construction of Bitumen Emulsion and Foamed Bitumen Stabilized Materials. Technical Guideline 2 (TG2)*. Second Edition, ISBN 978-0-7988-5582-2, Asphalt Academy, Pretoria, South Africa, May 2009 ■