

Anna CHOMICZ-KOWALSKA\*

Politechnika Świętokrzyska

## ODPORNOŚĆ RECYKLOWANEJ PODBUDOWY DROGOWEJ NA POWSTAWANIE ODKSZTAŁCEŃ PLASTYCZNYCH

**Streszczenie.** W referacie przedstawiono wyniki badań oraz ocenę wpływu rodzaju lepiszcza asfaltowego (asfaltu spienionego oraz emulsji asfaltowej) na właściwości podbudowy wykonanej w technologii recyklingu głębokiego na zimno. Badania wykonano na mieszankach mineralnych recyklowanej podbudowy (kamiennej i asfaltowej) z asfaltem spienionym otrzymanym na bazie asfaltu Nyfoam 80 oraz emulsją asfaltową kationową w ilości 2,0, 2,5 i 3,0%. Zastosowanie asfaltu spienionego wpłynęło korzystniej na właściwości standardowe oraz odporność podbudowy recyklowanej w zakresie powstawania odkształceń plastycznych w porównaniu z zastosowaniem emulsji asfaltowej.

## RESISTANCE TO THE PLASTIC DEFORMATION OF THE RECYCLED BASE COURSE

**Summary.** The paper presents the investigation results and the assessment of an influence of asphalt binder (foamed bitumen and bitumen emulsion) on the properties of the base course in the deep cold recycling technology. The tests were conducted on mineral mixes of the recycled base course (gravel and bituminous road base) with foamed bitumen based on Nyfoam 80 and bitumen emulsion. The content of foamed bitumen based on Nyfoam 80 and bitumen emulsion was 2,0, 2,5 and 3,0%. The test of the recycled pavement structure have shown, that the use of the Nyfoam 80 bitumen ensures its higher standard properties and plastic dedormation resistant than in the case in which bitumen emulsion was applied during recycling.

### 1. Wstęp

Recykling eksploatowanych nawierzchni drogowych w naszym kraju stał się koniecznością nie tylko ze względów technologicznych, ale również ekonomicznych i ekologicznych. Stale zwiększający się udział pojazdów ciężkich w ogólnej strukturze

\* Opiekun naukowy: Dr hab. inż. Marek Iwański, prof. Politechniki Świętokrzyskiej.

ruchu drogowego, wzrost obciążenia na oś pojazdów ze 100 kN na 115 kN, a także starzenie się materiałów konstrukcji nawierzchni spowodowały powstawanie odkształceń plastycznych nawierzchni, w tym kolein, na znacznym obszarze sieci drogowej. 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 zastosować nowoczesne i szybkie metody naprawy (modernizacji) dróg. Jedną z takich metod jest recykling na zimno konstrukcji nawierzchni drogowej, który zapewnia poprawę nośności konstrukcji. W czasie tego rodzaju recyklingu ponownie wbudowywany jest w konstrukcję nawierzchni materiał już raz zastosowany do jej wykonania. Tym samym w znacznym stopniu ogranicza się stosowanie nowych materiałów kamiennych, co przyczynia się do ochrony skalnych zasobów naszego kraju.

Obecnie w Polsce rozpowszechniona jest technologia recyklingu na zimno konstrukcji nawierzchni z zastosowaniem mieszanek mineralno-cementowo-emulsyjnych (M-M-C-E). Jednak kilka lat temu została wdrożona do światowego wykonawstwa drogowego nowa technologia recyklingu na zimno, w której zamiast emulsji asfaltowej stosuje się asfalt spieniony [3].

Asfalt spieniony uzyskuje się dzięki wprowadzeniu małej ilości wody do gorącego asfaltu w temperaturze około 180°C. W wyniku tego procesu asfalt występuje w postaci piany, która charakteryzowana jest przez współczynnik ekspansji oraz czas połowicznego rozpadu [1, 2].

Ta postać asfaltu powoduje, że recyklowany materiał cechuje się dużą nośnością. 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, np. praktycznie w 100% można wykorzystywać do ponownego wbudowania materiał modernizowanych warstw konstrukcyjnych nawierzchni. Pozwala ona również na zmniejszenie grubości asfaltowych warstw jezdnych nawierzchni oraz skrócenie czasu jej realizacji.

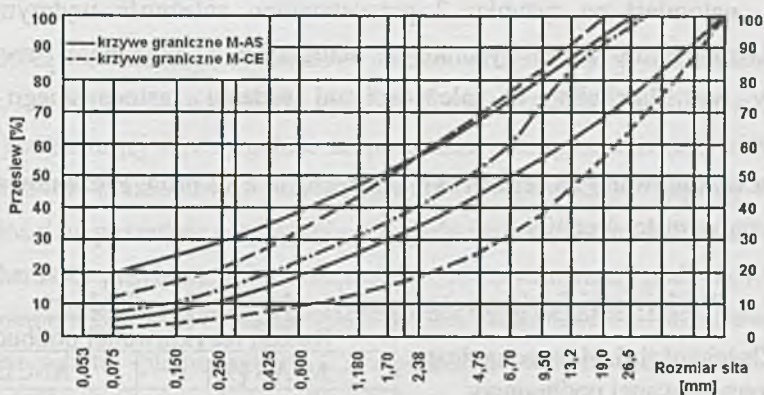
## 2. Badany materiał

W badaniach zastosowano mieszankę mineralną pochodzącą z modernizowanych warstw konstrukcyjnych nawierzchni z dodatkiem asfaltu spienionego i alternatywnie emulsji asfaltowej. Recyklowana mieszanka zawierała również dodatek cementu oraz wody w celu uzyskania optymalnych warunków zagęszczania.



## 2.1. Skład ramowy recyklowanych mieszanek podbudowy

Mieszanka mineralna recyklowanej podbudowy składała się w 48% z materiału frezowanych warstw asfaltowych, w 22% z materiału istniejącej podbudowy kamiennej oraz w 30% z kruszywa dolomitowego frakcji 0/4 mm. W mieszance mineralnej zastosowano również dodatek cementu w ilości 2,0% w stosunku do jej masy. Jego zadaniem było zwiększenie ilości frakcji mniejszej niż 0,075 mm w recyklowanym materiale. Należy zaznaczyć, że zaprojektowana recyklowana mieszanka mineralna spełniała kryteria uziarnienia zarówno dla mieszanek mineralnych w technologii recyklingu z asfaltem spienionym, jak i dla mieszanki M-C-E (rys. 1) [3, 5].



Rys. 1. Uziarnienie mieszanki mineralnej podbudowy w technologii recyklingu z asfaltem spienionym oraz emulsją asfaltową

Fig. 1. Mineral mix for the surface pavement in the recycling technology with foamed bitumen and asphalt emulsion

Badania wykonano na dwóch rodzajach mieszanek mineralno-asfaltowych recyklowanej podbudowy, różniących się rodzajem zastosowanego lepiszcza asfaltowego. W pierwszej mieszance mineralno-asfaltowej recyklowanej podbudowy zastosowano asfalt spieniony otrzymany na bazie asfaltu Nyfoam 80 z dodatkiem 2% wody (M-AS), natomiast w drugiej mieszance (M-CE) wykorzystano kationową emulsję asfaltową wolnorozpadową K3-60. Zawartość asfaltu spienionego oraz emulsji asfaltowej wynosiła odpowiednio 2,0, 2,5 oraz 3,0% (m/m).

## 2.2. Metodyka oraz analiza rezultatów badań

Do oceny właściwości materiału podbudowy w technologii recyklingu głębokiego z asfaltem spienionym oraz emulsją asfaltową opracowano program badawczy składający się z dwóch etapów.

Pierwszy etap badań obejmował oznaczenie podstawowych właściwości fizykomechanicznych recyklowanych mieszanek podbudowy w aspekcie zastosowanego rodzaju lepiszcza asfaltowego, natomiast podczas drugiego etapu badań oznaczono odporność tego rodzaju podbudowy na powstawanie odkształceń plastycznych, określając moduł statyczny pełzania.

Istotnym elementem badań była ocena jednorodności wykonywanych prac. Do badań przyjmowano tylko próbki, w których zawartość wolnych przestrzeni zawierała się w przedziale ( $V \pm 2s$ ), gdzie:  $V$  – średnia wartość wolnych przestrzeni w podbudowie, a  $s$  – odchylenie standardowe.

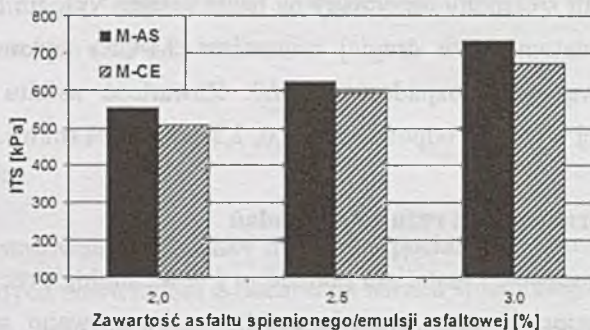
Rezultaty badań podstawowych właściwości fizykomechanicznych zestawiono w tabeli 1, natomiast na rysunku 2 przedstawiono zależność wytrzymałości na pośrednie rozciąganie, a na rysunku 3 stabilności i sztywności recyklowanej podbudowy wg Marshalla, w zależności od rodzaju zastosowanego lepiszcza asfaltowego.

Badania wykonywano na seriach składających się z 12 prób. Prezentowane wyniki przedstawiają wartości średnie.

Tabela 1

Właściwości fizykomechaniczne recyklowanej podbudowy

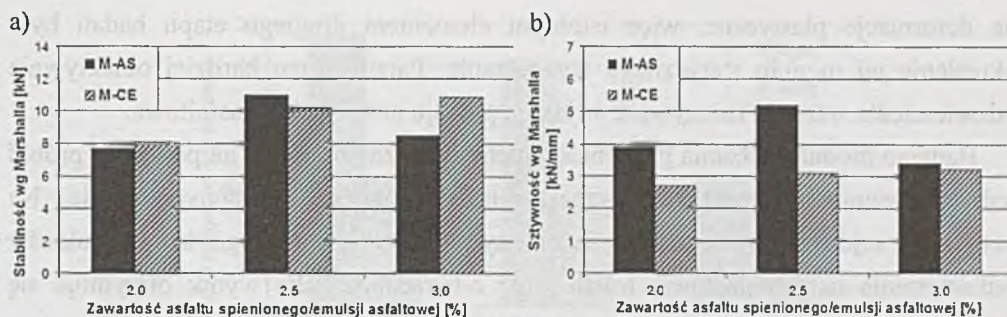
Lp.	Właściwości fizykomechaniczne recyklowanej podbudowy	Rodzaj recyklowanej podbudowy					
		M-AS [%]			M-CE [%]		
		2,0	2,5	3,0	2,0	2,5	3,0
1	Stabilność wg Marshalla [kN]	7,7	11,0	8,5	8,1	10,2	10,9
2	Odształcenie wg Marshalla [mm]	2,0	2,1	2,5	3,0	3,3	3,5
3	Sztywność wg Marshalla [kN/mm]	3,9	5,2	3,4	2,7	3,1	3,2
4	Wytrzymałość na pośrednie rozciąganie ITS [kPa]	553	625	734	506	594	672
5	Zawartość wolnych przestrzeni [%]	14	12	9,7	12,6	11,5	10,2



Rys. 2. Wytrzymałość na pośrednie rozciąganie recyklowanej podbudowy

Fig. 2. Indirect tensile strength of the recycled pavement structure





Rys. 3. Zależność właściwości mechanicznych recyklowanej podbudowy: a) stabilności wg Marshalla, b) sztywności wg Marshalla

Fig. 3. Dependency of the mechanical properties of the recycled pavement structure: a) Marshall stability, b) Marshall rigidity

Na podstawie analizy rezultatów badań recyklowanej podbudowy można stwierdzić, że wraz ze wzrostem ilości lepiszcza (asfaltu spienionego i emulsji asfaltowej) wzrasta jej wytrzymałość na pośrednie rozciąganie. Należy zaznaczyć, że zastosowanie w podbudowie asfaltu spienionego powoduje większy wzrost jej wytrzymałości na pośrednie rozciąganie niż kiedy stosowano emulsję asfaltową.

Inny charakter przybiera zależność stabilności recyklowanej podbudowy od ilości asfaltu spienionego, gdzie zanotowano istotną zależność, a mianowicie wzrost koncentracji asfaltu spienionego do 2,5% powoduje wzrost stabilności podbudowy, a dalsze jego zwiększenie powoduje obniżenie wartości badanej charakterystyki. Natomiast zastosowanie emulsji asfaltowej powoduje, że stabilność podbudowy wzrasta wraz ze zwiększeniem koncentracji lepiszcza. Należy zaznaczyć, że przy zawartości 2,5% asfaltu spienionego podbudowa uzyskuje największą stabilność i jest ona większa niż w przypadku zastosowania nawet 3,0% emulsji asfaltowej w jej składzie.

Istotnym efektem badań jest stwierdzenie, że w zakresie stosowanych koncentracji lepiszcza asfaltowego 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 nawierzchnię obciążenia ruchem pojazdów. Właściwość tę dla stosowanych w badaniach koncentracji potwierdza również analiza sztywności podbudowy z asfaltem spienionym wg Marshalla. Zastosowanie tego rodzaju lepiszcza asfaltowego zapewnia większe wartości badanej charakterystyki recyklowanej podbudowy w porównaniu z zastosowaniem emulsji asfaltowej.

Ponieważ stabilność i odkształcenie wg Marshalla recyklowanej podbudowy nie są w pełni obiektywnymi parametrami opisującymi odporność tego rodzaju podbudowy

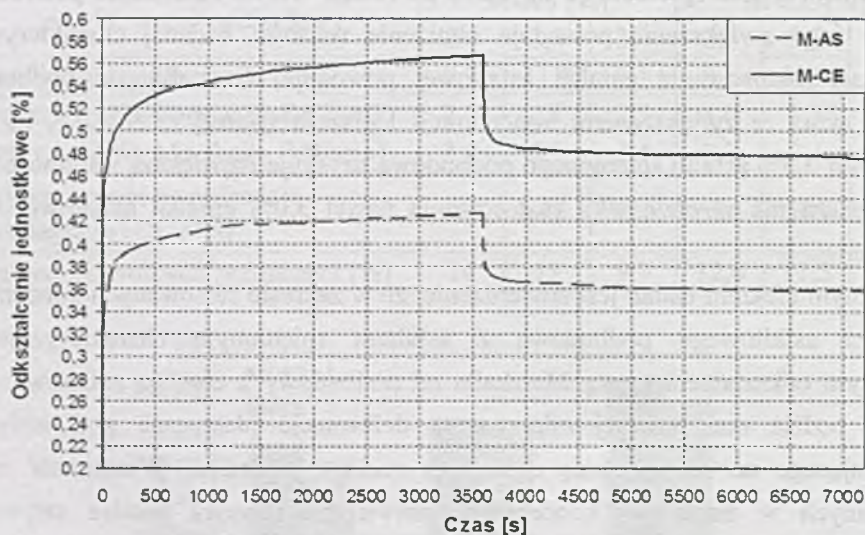
na deformacje plastyczne, więc istotnym elementem drugiego etapu badań było określenie jej modułu statycznego wg pełzania. Parametr ten bardziej obiektywnie odzwierciedla warunki rzeczywiste w jakich pracuje nawierzchnia asfaltowa.

Badanie modułu pełzania pod obciążeniem statycznym polega na poddaniu próbki jednoosiowemu ściskaniu i rejestracji odkształcenia w określonym czasie. Na podstawie rejestrowanych danych tworzony jest wykres, którego krzywa określa odkształcenia natychmiastowe, trwałe oraz odwracalne. Jako wynik otrzymuje się wartość modułu statycznego wg pełzania, określaną za pomocą wzoru [4]:

$$M_s = \frac{\delta_s}{\varepsilon_{\max}} \quad (1)$$

gdzie:  $M_s$  – moduł statyczny wg pełzania [MPa],  $\delta_s$  – naprężenie ściskające równe 0,1 [MPa],  $\varepsilon_{\max}$  – odkształcenie jednostkowe po 1 godzinie obciążenia próbki, wyrażone ułamkiem dziesiętnym.

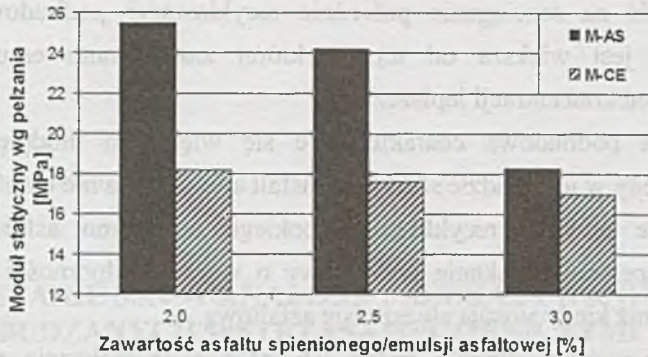
Przykładowe charakterystyki procesu pełzania badanych mieszanek mineralnych dla 2,5% koncentracji lepiszcza asfaltowego w recyklowanych podbudowach M-AS i M-CE, pokazano na rysunku 4, natomiast wyniki badań modułu statycznego pełzania recyklowanej podbudowy w aspekcie zastosowanego lepiszcza asfaltowego przedstawiono na rysunku 5.



Rys. 4. Krzywe pełzania mieszanek mineralnych recyklowanych podbudów M-AS i M-CE pod obciążeniem statycznym (dla 2,5% lepiszcza asfaltowego)

Fig. 4. Curves of the creep for the recycled pavement structure M-AS and M-CE under the statistic loading (for 2,5% asphalt binder)





Rys. 5. Moduł statyczny pełzania recyklowanych mieszanek podbudów M-AS i M-CE  
 Fig. 5. Creep static modulus of the recycled pavement structure M-AS and M-CE

Podbudowa wykonana w technologii recyklingu z asfaltem spienionym w badanym zakresie lepiszcza charakteryzuje się wyższym modułem statycznego pełzania niż w wypadku zastosowania emulsji asfaltowej. Należy zaznaczyć, że wartości modułu statycznego pełzania maleją wraz ze wzrostem lepiszcza asfaltowego niezależnie od jego rodzaju. Przy zawartości 3% asfaltu spienionego i emulsji asfaltowej w recyklowanej podbudowie moduł pełzania praktycznie nie zależy od rodzaju zastosowanego lepiszcza, natomiast zwiększenie jego koncentracji powoduje znaczący wzrost modułu stycznego pełzania recyklowanej podbudowy zawierającej asfalt spieniony w porównaniu z zastosowaniem w jej składzie emulsji asfaltowej.

### 3. Wnioski

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

- wraz ze zwiększeniem koncentracji asfaltu spienionego od 2,0% do 3,0% 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,
- recyklowana podbudowa z asfaltem spienionym, przy jego zawartości w wysokości 2,5%, charakteryzuje się większą stabilnością i sztywnością wg Marshalla niż w przypadku zastosowania emulsji asfaltowej,

- wytrzymałość na rozciąganie pośrednie recyklowanej podbudowy z asfaltem spienionym jest większa od tej, w której zastosowano emulsję asfaltową niezależnie od koncentracji lepiszcza,
- recyklowana podbudowa charakteryzuje się większym modułem statycznym pełzania, kiedy w jej składzie stosuje się asfalt spieniony, a nie emulsję asfaltową,
- zastosowanie podczas recyklingu głębokiego na zimno asfaltu spienionego powinno zapewnić uzyskanie podbudowy o wyższej odporności na deformacje plastyczne, niż kiedy stosuje się emulsję asfaltową.

Uzyskane pozytywne wyniki badań laboratoryjnych wskazują na konieczność kontynuowania prac w zakresie trwałości recyklowanej podbudowy z asfaltem spienionym, a zwłaszcza w zakresie badań terenowych. Pozwoli to na zgromadzenie bazy danych umożliwiających wdrożenie tej technologii do krajowego wykonawstwa.

## BIBLIOGRAFIA

1. Iwański M.: Podbudowa z asfaltem spienionym. *Drogownictwo*, nr 3, 2006, s. 97-106.
2. Iwański M, Chomicz A.: Przydatność do spienienia asfaltów drogowych stosowanych w Polsce. *Drogownictwo*, nr 8, 2006, s. 267-271.
3. Zawadzki J., Matras J., Mechowski T., Sybilski D.: Warunki techniczne wykonywania warstw podbudowy z mieszanki mineralno-cementowo-emulsyjnej (MCE). Instytut Badawczy Dróg i Mostów, z. 61, Warszawa 1999.
4. Zawadzki J., Kłós M.: Zasady projektowania betonu asfaltowego zwiększonej odporności na odkształcenia trwałe. Wytyczne oznaczania odkształcenia i modułu sztywności mieszanek mineralno-bitumicznych metodą pełzania pod obciążeniem statycznym. Instytut Badawczy Dróg i Mostów, z. 48, Warszawa 1995.
5. Wirtgen Cold Recycling Manual. Wirtgen GmbH. Windhagen. Germany 2004.

Recenzent: Dr hab. inż. Kazimierz Kłósek, prof. w Politechnice Śląskiej