

Jan B. KRÓL¹
Adam LIPHARDT²
Michał SARNOWSKI³
Karol J. KOWALSKI⁴
Piotr RADZISZEWSKI⁵

ODPORNOŚĆ NA DZIAŁANIE WODY MIESZANEK MINERALNO-ASFALTOWYCH ZE ZWIĘKSZONĄ ILOŚCIĄ DESTRUKTU

W artykule przedstawiono zagadnienie wpływu zwiększonej ilości dodatku destruktu asfaltowego na odporność mieszanek mineralno-asfaltowych na działanie wody. Badaniom poddano mieszanki o ciągłym uziarnieniu typu betonowego i nieciągłym uziarnieniu typu SMA. Zbadano betony asfaltowe o zawartości destruktu do 90% oraz mieszanki mastyksu grysowego o zawartości destruktu do 50%. W zależności od rodzaju badanej mieszanki stosowano destrukta asfaltowy o ciągłym i nieciągłym uziarnieniu z warstw nawierzchni drogowej eksploatowanej nie dłużej niż 20 lat. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że dodatek destruktu asfaltowego nie powoduje utraty odporności mieszanki na działanie wody poza wartości wymagane. Stwierdzono, że niewielka ilość destruktu asfaltowego może wpływać korzystnie na poprawę wartości wskaźnika ITSR.

Słowa kluczowe: recykling, destrukta asfaltowy, mieszanka mineralno-asfaltowa, odporność na działanie wody

1. Wstęp

W ostatnich latach, w związku z rosnącą świadomością potrzeby zrównoważonego rozwoju, zwiększa się zainteresowanie technologią wykorzystania surow-

¹ Autor do korespondencji/corresponding author: Jan Król, Wydział Inżynierii Lądowej, Politechnika Warszawska, Al. Armii Ludowej 16, 00-637 Warszawa, (+48 22) 234-56-74, j.krol@il.pw.edu.pl

² Adam Liphardt, Wydział Inżynierii Lądowej, Politechnika Warszawska, Al. Armii Ludowej 16, 00-637 Warszawa, (+48 22) 234-64-61, a.liphardt@il.pw.edu.pl

³ Michał Sarnowski, Wydział Inżynierii Lądowej, Politechnika Warszawska, Al. Armii Ludowej 16, 00-637 Warszawa, (+48 22) 234-64-61, m.sarnowski@il.pw.edu.pl

⁴ Karol J. Kowalski, Wydział Inżynierii Lądowej, Politechnika Warszawska, Al. Armii Ludowej 16, 00-637 Warszawa, (+48 22) 234-56-74, k.kowalski@il.pw.edu.pl

⁵ Piotr Radziszewski, Wydział Inżynierii Lądowej, Politechnika Warszawska, Al. Armii Ludowej 16, 00-637 Warszawa, (+48 22) 234-64-72, p.radziszewski@il.pw.edu.pl

ców wtórnych w budownictwie drogowym [1]. Destrukt asfaltowy pochodzący z nawierzchni drogowej stanowi bardzo cenne źródło surowca materiałowego, które w zależności od stosowanej technologii można użyć jako dodatek do produkowanej mieszanki mineralno-asfaltowej [2]. Stosując materiał z recyklingu nie można jednocześnie pogorszyć parametrów użytkowych i wytrzymałościowych nowej nawierzchni asfaltowej [3].

Trwałość nawierzchni asfaltowych jest uzależniona od trzech podstawowych czynników, które związane są z ilością i jakością lepiszcza asfaltowego oraz rodzajem kruszywa mineralnego. Do czynników tych należą: odpowiednie właściwości lepkosprężyste lepiszcza zapewniające nawierzchni odporność na odkształcenia trwałe, spękania zmęczeniowe i niskotemperaturowe, wysoka odporność na starzenie technologiczne i starzenie eksploatacyjne mieszanek mineralno-asfaltowych oraz dobra adhezja asfaltu do kruszywa, zapewniająca szczelność nawierzchni, a tym samym, jej odporność na działanie wody [4, 5].

Woda działająca na nawierzchnię asfaltową może powodować odmywanie błonki lepiszcza z powierzchni kruszywa, utratę kohezji i sztywności cienkiej warstwy asfaltu oraz pękanie nasyconych wodą ziaren kruszywa. W konsekwencji woda wnika w głąb struktury mieszanki mineralno-asfaltowej, co w połączeniu z naprzemiennym procesem zamrażania i odmrażania, prowadzi do degradacji nawierzchni [6, 7]. Zniszczenia nawierzchni w wyniku działania wody i mrozu mogą być w mniejszym lub większym stopniu uzależnione od rodzaju lepiszcza i kruszywa, składu oraz zagęszczenia mieszanki mineralno-asfaltowej [7]. Zastosowanie do mieszanek mineralno-asfaltowych zwiększonej ilości destruktu powoduje wprowadzenie do struktury kompozytu asfaltowego asfaltu o zmienionych w wyniku starzenia właściwościach oraz kruszywa o zróżnicowanej porowatości, mikroteksturze powierzchni i kwasowości. Z tego względu należy ocenić czy dodatek destruktu nie zmieni wrażliwości mieszanki asfaltowej na działanie wody.

Najczęściej stosowaną miarą odporności mieszanek mineralno-asfaltowych na działanie wody jest zmniejszenie średniej wytrzymałości na rozciąganie lub modułu sztywności próbek nasyconych wodą do próbek w stanie suchym [7, 8]. W pracy do oceny wpływu zwiększonej ilości destruktu asfaltowego na właściwości mechaniczne mieszanki mineralno-asfaltowej zastosowano badanie wytrzymałości na rozciąganie pośrednie próbek, określając wskaźnik ITSR wg metody WT-2 2014.

2. Materiały i zakres badań

Badaniom poddano mieszanki mineralno-asfaltowe o ciągłym uziarnieniu AC-W 16 kategorii ruchu KR5-7 oraz mieszanki o nieciągłym uziarnieniu SMA 11 również kategorii ruchu KR5-7. Do mieszanek dodawano na gorąco materiał z recyklingu w postaci destruktu asfaltowego, w ilościach podanych w tabeli 1. Mieszanki SMA projektowano wykorzystując destrukt asfaltowy pochodzący z warstwy SMA której okres eksploatacji był nie dłuższy niż 20 lat. Średnia zawartość lepiszcza w destrukcie z warstwy SMA wynosiła 5,9%. Mieszanki be-

Tabela 1. Zawartość destruktu i lepiszcza w mieszankach mineralno-asfaltowych

Table 1. Reclaimed asphalt pavement and binder content in asphalt mixtures

Beton asfaltowy AC 16 W						
Zawartość destruktu AC<20lat	0% DA mieszanka referencyjna	10% DA	30% DA	50% DA	70% DA	90% DA
Lepiszczce						
Lepiszczce [%]	4,7	4,3	3,4	2,6	1,7	0,8
Lepiszczce z destruktu [%]	0,0	0,4	1,3	2,2	3,0	3,9
WZ [%]	0	9	27	46	64	82
Mastyks grysowy SMA 11						
Zawartość destruktu SMA<20lat	0% DA mieszanka referencyjna	10% DA	20% DA	30% DA	40% DA	50% DA
Lepiszczce						
Lepiszczce [%]	6,5	5,9	5,3	4,7	4,1	3,5
Lepiszczce z destruktu [%]	0,0	0,6	1,2	1,8	2,4	3,0
WZ [%]	0	9	18	27	36	45

WZ - Wskaźnik zastąpienia lepiszcza asfaltowego lepiszczem z destruktu

tonu asfaltowego projektowano z użyciem destruktu asfaltowego o średniej zawartości lepiszcza 4,3% i pochodzącego z warstw konstrukcyjnych nawierzchni drogowej o szacownym okresie eksploatacji nie dłuższym niż 20 lat. Uziarnienie destruktu do betonu asfaltowego charakteryzowało się ciągłą krzywą uziarnienia a do mieszanki SMA krzywą uziarnienia nieciągłą.

Mieszanki z różną zawartością destruktu asfaltowych (tabela 1) projektowano w odniesieniu do mieszanek referencyjnych SMA 11 oraz AC 16 W. Jako stałą w projektowaniu mieszanek przyjęto zawartość asfaltu wynoszącą w mieszance AC 16 W 4,7%, a w mieszance SMA 6,5%. Uziarnienie projektowanych mieszanek z destruktem asfaltowym dobierano tak aby rzędne krzywych uziarnienia tych mieszanek były jak najbardziej zbliżone do krzywej mieszanki referencyjnej.

3. Badania mieszanek mineralno-asfaltowych z destruktem

3.1. Właściwości objętościowe

Składy mieszanek mineralno-asfaltowych z destruktem dobierano tak, żeby uzyskać zawartość wolnych przestrzeni możliwie zbliżoną do wartości w mieszance referencyjnej. Wykonano badania zawartości wolnych przestrzeni na próbkach Marshalla stosując 2x75 uderzeń w przypadku mieszanki AC i 2x50 uderzeń w przypadku mieszanki SMA. Próbkę zagęszczano w temperaturze $135 \pm 5^\circ\text{C}$ (mieszanki z asfaltem 35/50 i 50/70) oraz w temperaturze $145 \pm 5^\circ\text{C}$ (mieszanki z polimeroasfaltem 25/55-60 i 45/80-55). Zestawienie wyników badania zawartości wolnych przestrzeni przedstawiono w tabeli 2.

Otrzymane wyniki badań zawartości wolnych przestrzeni w mieszance typu AC 16 W wykazały, że wraz ze wzrostem udziału destruktu asfaltowego w mieszance następuje spadek zawartości wolnych przestrzeni. Zjawisko to jest zwią-

Tabela 2. Zawartość wolnych przestrzeni w mieszankach mineralno-asfaltowych

Table 2. Air voids content in asphalt mixtures

Zawartość destruktu [%]	AC 16 W		Zawartość destruktu [%]	SMA 11	
	PMB 25/55-60	Asfalt 35/50		PMB 45/80-55	Asfalt 50/70
	Vm, %			Vm, %	
0	5,9	6,1	0	2,9	3,5
10	6,0	5,4	10	2,8	3,2
30	5,8	5,2	20	2,9	2,7
50	4,6	4,7	30	3,0	2,4
70	2,4	2,2	40	2,8	3,4
90	0,7	0,8	50	3,3	2,5

zane z dużym udziałem drobnych frakcji w kruszywie z destruktu, które wypełniają wolne przestrzenie w mieszance. Wraz z wzrostem udziału destruktu do kolejnych mieszanek wprowadzana jest coraz większa ilość drobnych frakcji, przy jednoczesnym braku możliwości korekty uziarnienia frakcją grysową. Wyniki badań zawartości wolnych przestrzeni w mieszance typu SMA 11 wykazały, że w przeciwieństwie do mieszanki AC 16 W zwiększanie udziału destruktu asfaltowego w zakresie 0-50% nie musi powodować spadku zawartości wolnych przestrzeni. Wynika to z faktu, że zastosowany w mieszance SMA destruktu charakteryzuje się znacznie mniejszą (o ok. 18%) zawartością drobnych frakcji <2 mm w porównaniu do destruktu o ciągłym uziarnieniu użytego w mieszance AC 16 W.

Porównując wyniki badań zagęszczenia mieszanek betonu asfaltowego można stwierdzić, że rodzaj lepiszcza w ograniczonym stopniu decyduje o zawartości wolnych przestrzeni. Można zauważyć, że w mieszankach AC zawierających do 30% destruktu, w których jako lepiszcza użyto asfalt drogowy 35/50, zawartość wolnych przestrzeni jest niższa o ok 0,5% w stosunku do takich samych mieszanek, w których jako lepiszcze zastosowano polimeroasfalt 45/80-55. Jest to związane z większą podatnością na zagęszczanie mieszanek z lepiszczem niemodyfikowanym. W mieszankach zawierających od 50% do 90% destruktu różnica ta jest mniej wyraźna ze względu na duży udział w mieszance lepiszcza pochodzącego z destruktu, które charakteryzuje się zazwyczaj większą lepkością niż lepiszcze świeże.

Wyraźniejszy wpływ rodzaju lepiszcza na zawartość wolnych przestrzeni stwierdzono w przypadku mieszanek SMA z destruktem, w których jako lepiszcza użyto asfalt drogowy 50/70. W zakresie zawartości granulatu od 0% do 30% można zauważyć wyraźną tendencję spadkową wolnych przestrzeni w mieszankach z tym asfaltem (tabela 2). Zjawisko to, podobnie jak w mieszance AC 16 W, jest związane z większą podatnością na zagęszczanie mieszanek z większym udziałem lepiszcza niemodyfikowanego. W mieszankach SMA zawierających od 40% do 50% destruktu nie zaobserwowano dalszego spadku zawartości wolnych przestrzeni, co wynika z mniejszego udziału świeżego asfaltu drogowego

o niższej lepkości. W tym przypadku, w większym stopniu asfalt 50/70 zastąpiony został lepiszczem modyfikowanym pochodzącym z destruktu. Wszystkie z zaprojektowanych mieszanek SMA z polimeroasfaltem PMB 45/80-55 charakteryzują się zbliżonymi zawartościami wolnych przestrzeni w granicach 2,8% do 3,3%.

Oceniając zaprojektowane mieszanki mineralno-asfaltowe pod względem wymaganej zawartości wolnych przestrzeni (kryteria wg WT-2 2014) można stwierdzić, że wszystkie mieszanki SMA mieszczą się w wymaganym zakresie od 2,0% do 3,5%. Ocena mieszanek betonu asfaltowego (AC) w zakresie wymagań (V_m od 4,0% do 7,0%) pokazuje, że maksymalny udział analizowanego destruktu w mieszance typu AC 16 W, pozwalający spełnić wymagania wolnych przestrzeni, wynosi 50%. Wykorzystując stosowany destruk asfaltowy w ilości powyżej 50% nie ma możliwości spełnienia tych wymagań.

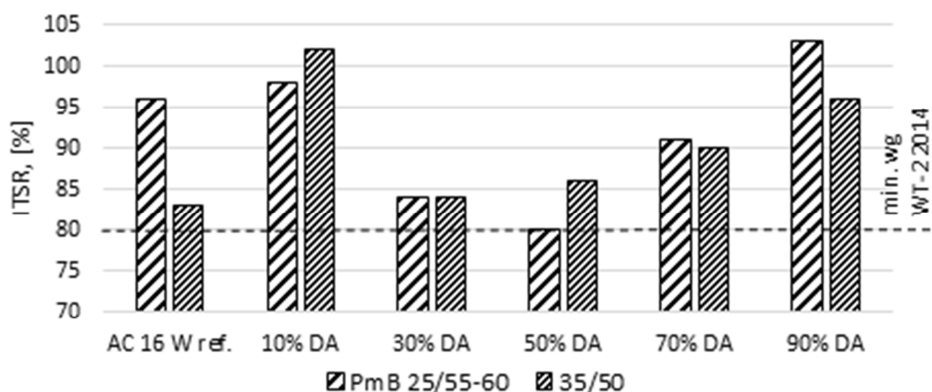
3.2. Odporność na działanie wody

Odporność na działanie wody mieszanek mineralno-asfaltowych jest niezwykle istotnym parametrem warunkującym trwałość nawierzchni asfaltowej w warunkach klimatu środkowoeuropejskiego. Istnieje szereg metod poprawy odporności na działanie wody mieszanek mineralno-asfaltowych, między innymi przez zastosowanie odpowiednich środków adhezyjnych, wapna hydratyzowanego oraz poprzez zwiększenie ilości lepiszcza asfaltowego i zmianę proporcji pomiędzy poszczególnymi frakcjami mieszanki mineralnej [9,10].

Odporność na działanie wody określono metodą ITSR z jednym cyklem zamrażania i odmrażania według procedury podanej w WT-2 2014. Próbkę do badań zagęszczano ubijakiem Marshalla stosując 2x35 uderzeń w temperaturze $135\pm 5^{\circ}\text{C}$ (mieszanki z asfaltem 35/50 i 50/70) oraz w temperaturze $145\pm 5^{\circ}\text{C}$ (mieszanki z polimeroasfaltem 25/55-60 i 45/80-55).

Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, że wszystkie mieszanki betonu asfaltowego spełniają wymaganie dotyczące minimalnej wartości wskaźnika ITSR, wynoszące w warstwie wiążącej 80% (rys. 1). Niższe niż w przypadku mieszanki referencyjnej wartości wskaźnika ITSR mieszanek z polimeroasfaltem zawierających od 30% do 70% destruktu asfaltowego świadczą o niekorzystnym wpływie tej ilości dodatku destruktu na odporność mieszanek na działanie wody. Efekt ten może być spowodowany zauważalnym (>25%) zastąpieniem świeżego polimeroasfaltu lepiszczem z destruktu, w coraz większym stopniu, w kolejnych mieszankach. Należy stwierdzić, że w mieszankach z asfaltem 35/50 nie występuje obniżenie wskaźnika ITSR w odniesieniu do mieszanki referencyjnej.

Widoczny na rysunku 1 wzrost odporności na działanie wody następujący wraz ze wzrostem udziału destruktu w przedziale od 50% do 90 % spowodowany jest stopniowo zmniejszającą się zawartością wolnych przestrzeni w tych mieszankach (tabela 2). W przypadku zastosowanego destruktu można przyjąć, że jedynie w mieszankach z jego niewielkim udziałem (10%) powoduje on poprawę odporności na oddziaływanie wody w stosunku do mieszanki referencyjnej. Na-

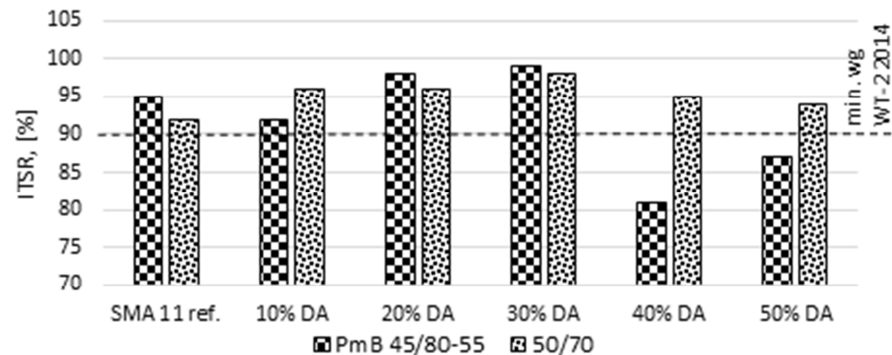


Rys. 1. Odporność na działanie wody metodą ITSR betonów asfaltowych z różną zawartością destruktu asfaltowego

Fig. 1. Water and frost resistance by ITSR method of asphalt concrete contain different amount of reclaimed asphalt pavement

leży podkreślić, że w mieszankach z destruktem nie do końca wyjaśnione jest zjawisko mieszalności lepiszcza świeżego z lepiszczem z destruktu. Analizując wyniki badań widać dużą różnicę pomiędzy zachowaniem się betonu asfaltowego z polimeroasfaltem i asfaltem drogowym. Można przypuszczać, że w przypadku betonu asfaltowego wytrzymałość na rozciąganie pośrednie w badaniu ITSR zależy nie tylko od wpływu wody i procesu zamrażania ale także od kohezji dominującej warstwy lepiszcza.

Mieszanki SMA ze względu na dużą zawartość lepiszcza asfaltowego i mastyksu charakteryzują się wysoką odpornością na czynniki atmosferyczne. Jest to jedna z tych właściwości, które predestynują tę mieszankę do powszechnego stosowania w warstwie ścieralnej nawierzchni drogowej. Na podstawie uzyskanych wyników odporności na działanie wody stwierdzono, że większość z zaprojektowanych mieszanek spełnia wymagania dotyczące minimalnej wartości wskaźnika ITSR wynoszące w przypadku warstwy ścieralnej 90% (rysunek 2). Jedynie mieszanki z polimeroasfaltem PMB 45/80-55 o zawartości destruktu wynoszącej 40% i 50% nie spełniły wymagań. Prawdopodobną przyczyną tego zjawiska może być również niewystarczająca mieszalność obydwu polimeroasfaltów (świeży PMB 45/80-55 oraz PMB z destruktu). W przypadku mieszanek z asfaltem niemodyfikowanym 50/70 można zauważyć, że wraz ze wzrostem zawartości destruktu, wartość wskaźnika ITSR znacząco się nie zmienia. Można przypuszczać, że asfalt niemodyfikowany zostaje stopniowo zastąpiony asfaltem modyfikowanym z destruktu, co poprawia kohezję całej mieszaniny.



Rys. 2. Odporność na działanie wody metodą ITSR mieszanek SMA z różną zawartością destruktu asfaltowego

Fig. 2. Water and frost resistance by ITSR method of stone mastic asphalt contain different amount of reclaimed asphalt pavement

4. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że:

- 1) Możliwe jest zaprojektowanie mieszanek mineralno-asfaltowych ze zwiększoną zawartością destruktu od 20% do 50% spełniających wymagania w zakresie wartości wolnej przestrzeni oraz odporności na działanie wody.
- 2) Uziarnienie destruktu jest głównym czynnikiem ograniczającym możliwość wprowadzenia do mieszanek jego większych ilości powyżej 50-70%. Zbyt duża zawartość frakcji drobnej 0/2 uniemożliwia zaprojektowanie mieszanek o odpowiedniej zawartości wolnych przestrzeni, co z kolei wpływa na zmianę właściwości mieszanki.
- 3) W zakresie odporności na działanie wody określanej wskaźnikiem ITSR, nie stwierdzono znacznego pogorszenia tej właściwości w stosunku do mieszanek referencyjnych. W niektórych przypadkach, w zależności od zastosowanego świeżego lepiszcza i jego interakcji z lepiszczem z destruktem, obserwowano zmiany wskaźnika ITSR.

Podziękowania

Artykuł powstał w ramach projektu pt. „Destrukt: Innowacyjna technologia mieszanek mineralno-asfaltowych z zastosowaniem materiału z recyklingu nawierzchni asfaltowej”. Projekt był współfinansowany ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego, działanie INNOTECH, ścieżka programowa In-Tech oraz jest współfinansowany ze środków krajowych Narodowego Centrum Badań i Rozwoju. Autorzy dziękują współkonsorcjantom z IBDiM i Budimex S.A. za pomoc w pozyskaniu materiałów i wspólną realizację założeń projektu.

Literatura

- [1] Sybilski D.: O potrzebie stosowania destruktu asfaltowego w Polsce, *Drogownictwo*, nr 1, 2011, s. 3-7.
- [2] Król J., Włodarski P., Jackowski Ł.: Właściwości mieszanek mineralno-asfaltowych ze zwiększoną ilością granulatu asfaltowego, *Drogownictwo*, nr 11, 2014, s. 373-379.
- [3] Kowalski K.J., McDaniel R.S., Olek J.: Reclaimed Asphalt Pavement Limits to Meet Surface Frictional Requirements, *Journal of Materials in Civil Engineering*, American Society of Civil Engineers (ASCE), vol. 28, 2016.
- [4] Sarnowski M.: Chemically modified bitumens with improved adhesion to aggregate, *Roads and Bridges - Drogi i Mosty*, vol. 14, no. 4, 2015, str. 303-322.
- [5] Adoriányi K.: Water sensitivity evaluation of AC mixes with antistripping additives by different mechanical tests, 4th Eurasphalt & Eurobitume Congress, Copenhagen, Denmark 20-23 May 2008.
- [6] Jaskuła P.: Niszczące oddziaływanie wody i mrozu na mieszanki mineralno-asfaltowe – przegląd literatury, *Drogi i Mosty* nr 4, 2004, s. 5-44.
- [7] Piłat J., Radziszewski P.: Nawierzchnie asfaltowe. WKŁ, Warszawa 2010.
- [8] Judycki J., Jaskuła P.: Badanie odporności betonu asfaltowego na działanie wody i mrozu. *Drogownictwo*, nr 12, 1997, s. 374-378.
- [9] Iwański, M. Buczyński, P.: Zastosowanie pyłów mineralnych w technologii recyklingu głębokiego na zimno z asfaltem spienionym, *Drogownictwo*, nr 5, 2013, str. 143-149.
- [10] Sarnowski M.: Asfalty modyfikowane chemicznie o poprawionej adhezji do kruszywa. *Roads and Bridges - Drogi i Mosty*, vol. 14, nr 4, 2015, str. 303-322.

FREEZE-THAW RESISTANCE OF ASPHALT MIXTURES WITH INCREASED RAP CONTENT

Summary

Paper discusses issues related to influence of increased RAP content in the asphalt mixtures on their freeze-thaw resistance. Asphalt mixtures with continuous aggregate blend (asphalt concrete: AC-type) and non-continuous blend (stone mastic asphalt: SMA-type) were tested. RAP content in tested mixtures was up to 90% and up to 50% for AC and SMA mixtures, respectively. Depending on the tested mixture type, RAP used was obtained from AC or SMA mixtures milled out from pavements not older than 20 years. Based on the conducted research it was concluded, that RAP addition does not decrease asphalt mixture resistance below required limit. It was also found that small amount of RAP can beneficially change ITSR parameter.

Keywords: recycling, reclaimed asphalt pavement, asphalt mixture, freeze-thaw resistance

Przesłano do redakcji: 07.06.2016 r.

Przyjęto do druku: 30.06.2016 r.

DOI: 10.7862/rb.2016.81