

## ZASTOSOWANIE GRANULATU ASFALTOWEGO ZE SFREZOWANYCH WARSTW NAWIERZCHNI DROGOWYCH

Andrzej Plewa<sup>1</sup>, Marta Wasilewska<sup>1</sup>, Władysław Gardziejczyk<sup>1</sup>, Paweł Gierasimiuk<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Zakład Inżynierii Drogowej, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45 A, 15-351 Białystok, e-mail: a.plewa@pb.edu.pl

### STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono wyniki badań właściwości funkcjonalnych mieszanek mineralno-asfaltowych z granulatem asfaltowym. W badaniach wykorzystano mieszanki mineralno-asfaltowe typu beton asfaltowy AC 22, stosowane do warstwy podbudowy nawierzchni drogowych obciążonych ruchem kategorii KR5 i KR6. Mieszanki mineralno-asfaltowe zróżnicowano pod względem ilości zastosowanego granulatu asfaltowego: 0%, 10%, 15% i 20%. Na podstawie wyników badań stwierdzono, że mieszanki mineralno-asfaltowe z granulatem asfaltowym charakteryzują się porównywalnymi, a w niektórych przypadkach lepszymi, właściwościami funkcjonalnymi w porównaniu z mieszanką referencyjną bez granulatu.

**Słowa kluczowe:** granulaty asfaltowe, mieszanka mineralno-asfaltowa, moduł sztywności, trwałość zmęczeniowa.

### USE OF RECLAIMED ASPHALT PAVEMENT WITH MILLED ROAD PAVEMENT LAYERS

#### ABSTRACT

The article presents the results of research on the functional properties of asphalt mixes using RAP obtained from milling asphalt road pavements. Asphalt concrete AC 22P with 0%, 10%, 15% and 20% addition of RAP used for base course of road pavements were designed. It was found that asphalt mixes with RAP characterized by comparable and in some cases better functional properties compared to the asphalt mixes without RAP (0%). One should notice the influence of RAP on the performance and durability of the asphalt mixtures, as compared to virgin asphalt mixtures (without RAP).

**Keywords:** reclaimed asphalt pavement, asphalt mixes, asphalt concrete, stiffness modulus asphalt mixes, fatigue life of asphalt mixes.

### WROWADZENIE

Problem zagospodarowania materiałów powstałych z przebudowy i remontów nawierzchni drogowych systematycznie narasta. Zalegające składowiska destruktu asfaltowego wymagają odpowiedniego zagospodarowania, co jest ważnym problemem z punktu widzenia ochrony środowiska. Właściwe jego przetworzenie może prowadzić do uzyskania granulatu asfaltowego, który ponownie można wykorzystać do produkcji mieszanek mineralno-asfaltowych (MMA), jako pełnowartościowy materiał do wbudowania w nową nawierzchnię drogową [Kozłarek 2013, Mangiafico i inni 2013, Mniszek, Sadzik 2012, Michalski, Danowski 2014]. Wymusza to wpro-

wadzenie nowych technologii pro-ekologicznych pozwalających na ponowne zastosowanie materiałów odpadowych do budowy dróg [West 2010, Dołżycki 2010].

Państwa członkowskie Unii Europejskiej, w tym również Polska, zobowiązane są do przestrzegania przepisów związanych z ponownym wykorzystaniem materiałów z recyklingu w budownictwie, z zachowaniem wymagań dotyczących ochrony środowiska naturalnego [Dz. U. nr 185 z 2010 r.].

Pozytywnym aspektem recyklingu jest zmniejszenie zalegających hałd na składowiskach, co powoduje obniżenie kosztów związanych ze składowaniem materiałów, ale także obniżenie kosztów związanych z zastąpieniem

(droższych w cenie) kruszyw naturalnych tańszymi kruszywami pochodzącymi z recyklingu. Realizowane prace badawcze nad ponownym wykorzystaniem granulatu asfaltowego skupiają się na powtórny jego wykorzystaniu jako „zamiennika” kruszyw naturalnych do produkcji mieszanek mineralno-asfaltowych [Tabaković i in. 2010, Koźlerek 2013, Mangiafico i in. 2013, Wasilewska 2015, Plewa 2015]. Materiały z recyklingu powinny posiadać dobrą jakość, a ich właściwości mechaniczne powinny być porównywalne z właściwościami materiałów naturalnych.

Stosowanie granulatu asfaltowego do produkcji mieszanek mineralno-asfaltowych zapoczątkowano w Stanach Zjednoczonych w 1915 r. [West 2010, NCHRP Report 452. 2001]. W krajach Europy Zachodniej granulaty asfaltowe do produkcji MMA, na szeroką skalę zaczęto stosować w latach siedemdziesiątych XX wieku. W państwach Unii Europejskiej m.in. Wielkiej Brytanii, Niemczech, Francji, Belgii, Holandii, ponowne wykorzystanie granulatu asfaltowego sięga rzędu 80% [Aggregates Business Europe 2011]. Według zestawień statystycznych [Słotwiński 2010] w Polsce ilość destruktu asfaltowego powstałego ze sfrezowanych warstw asfaltowych dróg z roku na rok zwiększa się. W kraju do zagospodarowania jest ok. 1mln ton tego wartościowego materiału. Tylko 0,2% destruktu asfaltowego jest wykorzystywane do produkcji MMA.

## PRZEDMIOT I METODYKA BADAŃ

Celem wykonanych badań była ocena wpływu dodatku granulatu asfaltowego 22,4 RA 0/16 na właściwości funkcjonalne mieszanek mineralno-asfaltowych. W badaniach wykorzystano

mieszanki mineralno-asfaltowe typu beton asfaltowy AC 22P, przeznaczone do warstw podbudowy nawierzchni drogowych obciążonych ruchem kategorii KR5 i KR6. Mieszanki mineralno-asfaltowe zaprojektowano zgodnie z Załącznikiem do zarządzenia nr 102 Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad z dnia 19 listopada 2010 r.: „Nawierzchnie asfaltowe na drogach krajowych” (zwanych dalej WT-2:2010) (pkt. 8.2.1.3, tab. 9) [GDDKiA 2010]. Do wykonania MMA wykorzystano granulaty asfaltowe 22,4 GRA 0/16 składowane na hałdach w Hryniewiczach w pobliżu Białegostoku. Mieszanki zróżnicowano pod względem ilości zastosowanego granulatu asfaltowego: 0% (mieszanka referencyjna), 10%, 15% i 20%. Do mieszanek mineralno-asfaltowych zastosowano asfalt drogowy 35/50. Zestawienie składów zaprojektowanych mieszanek mineralno-asfaltowych przedstawiono w tabeli 1.

W celu oceny wpływu ilości dodatku granulatu asfaltowego na właściwości funkcjonalne mieszanek mineralno-asfaltowych wykonano następujące badania laboratoryjne:

- modułu sztywności IT-CY w temperaturach 5, 10, 25 °C zgodnie z [PN-EN 12697-26. 2012. Załącznik C],
- modułu sztywności na próbkach pryzmatycznych (4PB-PR) w temperaturze 10 °C zgodnie z [PN-EN 12697-26. 2012. Załącznik B],
- odporności na zmęczenie na próbkach pryzmatycznych (4PB-PR) w temperaturze 10 °C zgodnie z [PN-EN 12697-24. 2012.]

Badania właściwości funkcjonalnych mieszanek mineralno-asfaltowych wykonano w Laboratorium Drogowym Zakładu Inżynierii Drogowej na Wydziale Budownictwa i Inżynierii Środowiska Politechniki Białostockiej.

**Tabela 1.** Skład mieszanek mineralno-asfaltowych AC 22P 35/50z zastosowaniem 0%, 10%, 15% i 20% dodatku granulatu asfaltowego 22,4 GRA 0/16

**Table 1.** Composition of asphalt mixes AC 22P 35/50 with 0%, 10%, 15%, 20% addition RAP

Rodzaj materiału	Skład mieszanek mineralno-asfaltowych AC 22P 35/50 z zastosowaniem granulatu w ilości:			
	0% GRA	10% GRA	15% GRA	20% GRA
Mączka wapienna	6,7	5,2	4,4	3,9
Kruszywo drobne 0/2	14,4	11,6	10,2	8,2
Kruszywo grube 2/5	28,4	26,6	25,8	25,2
Kruszywo grube 8/11	19,7	17,4	16,2	15,0
Kruszywo grube 16/22	26,7	26,5	26,4	26,3
22,4 GRA 0/16	–	9,2	13,7	18,4
Asfalt 35/50	4,1	3,6	3,3	3,1
Razem	100,0	100,0	100,0	100,0

### Badania modułu sztywności IT-CY

Badania modułu sztywności IT-CY mieszanek mineralno-asfaltowych przeprowadzono w urządzeniu UTM-25 (rys. 1) zgodnie z [PN-EN 12697-26. 2012. Załącznik C].

Oznaczenia wykonuje się w układzie pośredniego rozciągania z siłą pionową przyłożoną wzdłuż pobocznic próbki walcowej. Obciążenie przykładane jest do próbki w sposób impulsowy. Czas przyrostu obciążenia wynosi  $120 \pm 4$  m/s, a czas trwania jednego cyklu 3 s. Wielkość impulsu jest wyznaczana na podstawie 10 cykli kondycjonujących przeprowadzonych dla poziomej deformacji próbki. Badanie zostało przeprowadzone w teście kontrolowanego odkształcenia przy odkształceniu poziomym  $5 \mu\text{m}$ , w dwóch prostopadłych płaszczyznach, poddając próbkę 5 impulsom obciążenia. Moduły sztywności AC 22P 35/50 wyznaczono w temperaturach  $5 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $10 \text{ }^\circ\text{C}$  i  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ .

### Badania modułu sztywności na próbkach pryzmatycznych (4PB-PR)

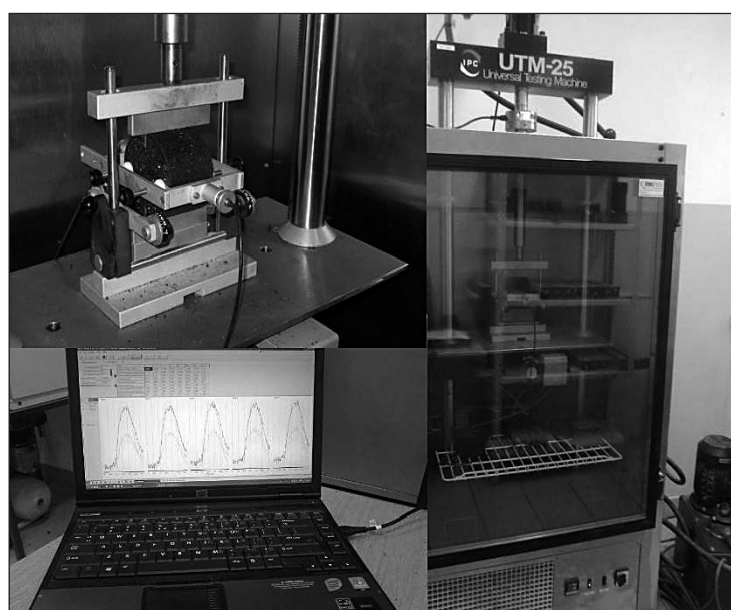
Wartości modułów sztywności MMA są wymagane przy wymiarowaniu konstrukcji nawierzchni drogowych w oparciu o metody mechaniczne. Ocenę wpływu dodatku granulatu asfaltowego na moduł sztywności mieszanek AC 22P 35/50 wyznaczono na próbkach pryzmatycznych (rys. 2) metodą 4PB-PR. Oznaczenie wykonano w oparciu o załącznik B do normy PN-EN 12697-26. Badanie przeprowadzono na

próbkach prostopadłościennych (pryzmatycznych) o wymiarach  $400 \times 55 \times 60$  mm, wyciętych z płyt o grubości 80 mm ( $5 \div 7$  próbek na mieszankę z daną zawartością granulatu). Moduł sztywności „ $S_{50}$ ” określono przy następujących warunkach badania: temperatura  $10 \text{ }^\circ\text{C}$ , kształt fali obciążeniowej haversine  $[1/2x(1+\cos x)]\cos x$ , poziom odkształcenia  $50 \mu\text{m/m}$ , częstotliwość 10 Hz, moduł sztywności  $S_{50}$  wyznaczony w 100 cyklu obciążenia.

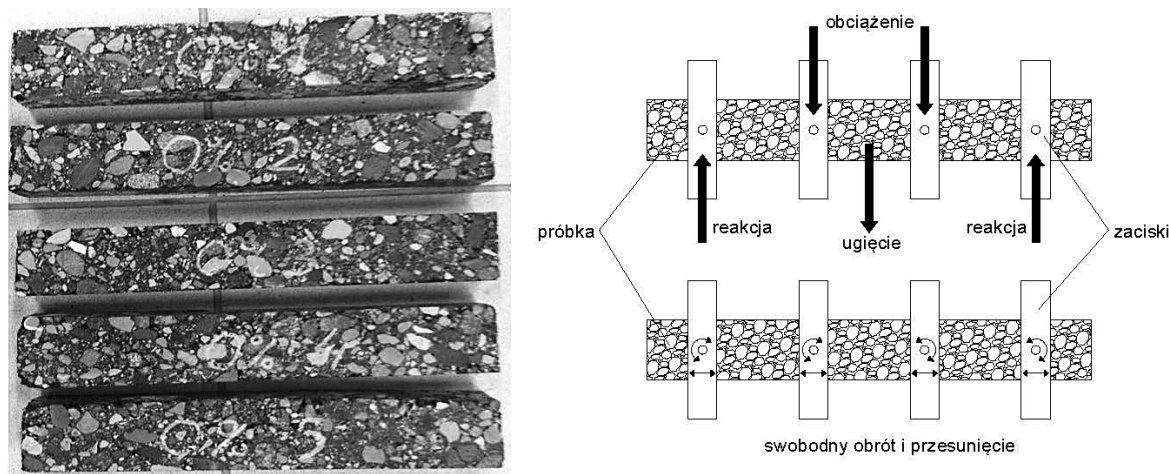
### Badania odporności na zmęczenie

Badanie odporności na zmęczenie w czteropunktowym zginaniu przeprowadzono zgodnie z normą [PN-EN 12697-24. 2012]. Odporność na zmęczenie jest to obniżenie wytrzymałości materiału pod wpływem cyklicznego obciążania. Celem oznaczenia jest określenie charakterystyki zmęczeniowej mieszanek mineralno-asfaltowych jako funkcji liczby obciążeń do „zniszczenia” próbki w zależności od odkształcenia. Badanie zostaje uznane za zakończone w warunkach, gdy zostanie osiągnięte przez próbkę 50% wartości początkowego modułu sztywności wyznaczonego w 100-nym cyklu obciążenia – kryterium zmęczenia (szkoda zmęczeniowa „D” równa jest 100%) lub gdy próbka osiągnie wartość 1 mln cykli obciążenia – kryterium zmęczenia (szkoda zmęczeniowa „D” mniejsza od 100%).

Badania trwałości zmęczeniowej mieszanek mineralno-asfaltowych AC 22P, przeprowadzono przy częstotliwości odkształceń 10 Hz. Poziomy



Rys. 1. Urządzenie UTM-25 do badań funkcjonalnych mieszanek mineralno-asfaltowych  
Fig. 1. UTM-25 device for functional testing of asphalt mixes



Rys. 2. Widok próbek pryzmatycznych mieszank mineralno-asfaltowych i schemat zamontowania próbek w aparacie czteropunktowego zginania

Fig. 2. View prismatic samples of asphalt mixes and schema of the anchorage prismatic specimens with asphalt concrete on the four-point bending camera

amplitudy odkształceń postaciowych przyjęto 115  $\mu\text{m}/\text{m}$ . Badaniom poddano od 5 do 7 próbek jednej mieszanki mineralno-asfaltowych.

Oznaczenia trwałości zmęczeniowej mieszank mineralno-asfaltowych przeprowadzono w temperaturze badania 10 °C. Jest to równoważna średnioroczna temperatura „pracy” warstw z mieszank mineralno-asfaltowych podczas eksploatacji w konstrukcji nawierzchni drogowej na obszarze północno-wschodniej Polski [Plewa 2014].

## WYNIKI BADAŃ

### Wyniki badań modułów sztywności IT-CY

Moduł sztywności mieszank mineralno-asfaltowych jest wielkością zmienną w funkcji temperatury. Wraz ze spadkiem temperatury, np. w okresie zimy, jego wartość wzrasta, warstwa z MMA jest sztywniejsza i o wyższej nośności, lecz również bardziej krucha i bardziej podatna na spękania. W wysokich temperaturach (letnich) ma miejsce zjawisko odwrotne – moduł sztywności MMA maleje, obniżając odporność MMA na deformacje trwałe. Na rysunku 3 przedstawiono wykresy zmiany wartości modułu sztywności IT-CY w funkcji temperatury mieszank AC 22P 35/50 z różną zawartością granulatu asfaltowego.

Na podstawie wyników badań modułu sztywności IT-CY mieszank AC 22P 35/50 z różną zawartością granulatu asfaltowego (rys.

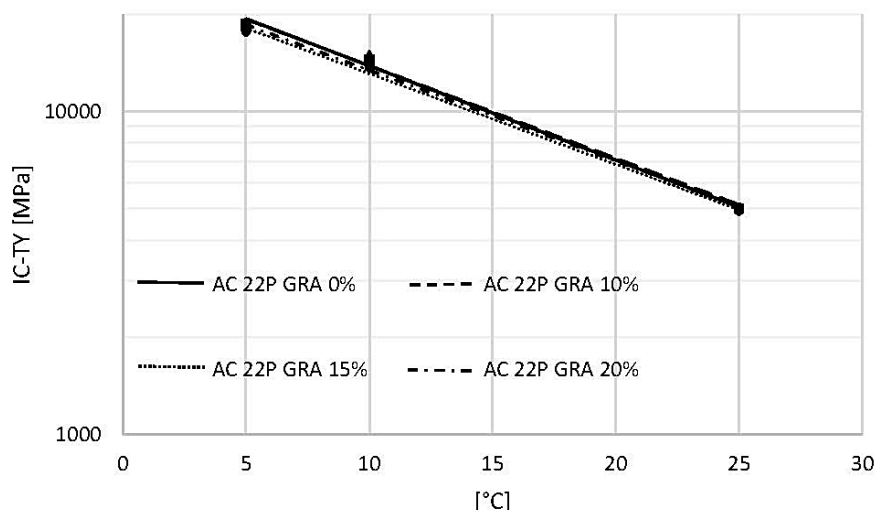
4) należy stwierdzić, że ilość zadozowanego granulatu asfaltowego do MMA nie ma zauważalnego wpływu na wartość modułu sztywności IT-CY. Otrzymane wartości modułów w różnych temperaturach badania, zarówno MMA z granulatem jak i mieszanki referencyjnej bez granulatu, przyjmują wartości wręcz na identycznych poziomach. Takie same wnioski należy odnieść do linii charakteryzujących wrażliwość temperaturową analizowanych mieszank mineralno-asfaltowych (zmiana wartości modułów sztywności w funkcji temperatury).

### Wyniki badań modułu sztywności na próbkach pryzmatycznych (4PB-PR)

Na rysunku 4 przedstawiono średnie wartości wyników badań modułu sztywności oznaczone wg metody (4PB-PR) w temperaturze 10 °C mieszank AC 22P 35/50 z różną zawartością granulatu asfaltowego.

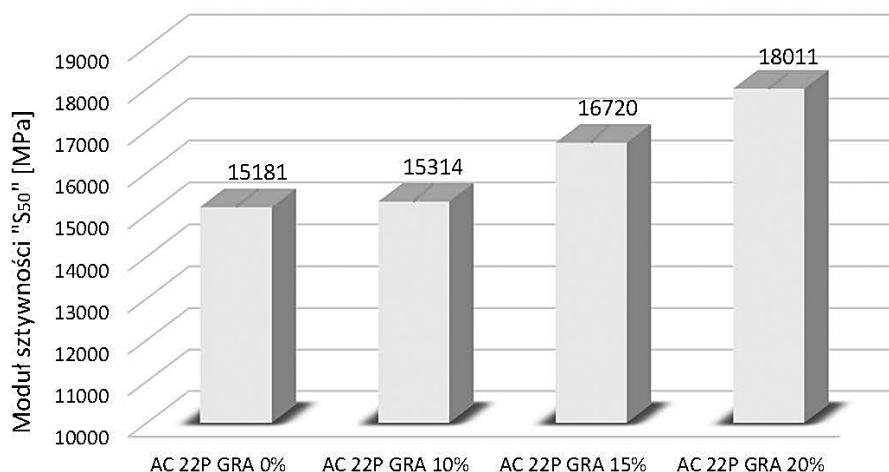
Na podstawie uzyskanych wyników badań sztywności 4PB-PR mieszank AC 22P 35/50 z różną zawartością granulatu asfaltowego należy stwierdzić, że dodatek granulatu asfaltowego powoduje zwiększenie wartości modułu sztywności. Wyższa wartość sztywności warstwy w konstrukcji nawierzchni drogowej wpływa na zmniejszenie naprężeń rozciągających (kryterium spękań zmęczeniowych warstw asfaltowych) oraz zmniejszenie wartości osiadań podłoża gruntowego (kryterium deformacji strukturalnej podłoża gruntowego) wywołanych obciążeniem od ruchu drogowego.





**Rys. 3.** Zmiany wartości modułu sztywności IT-CY w funkcji temperatury mieszanek AC 22P 35/50 z różną zawartością granulatu asfaltowego

**Fig. 3.** The change in value stiffness modulus IT-CY in temperature function of mineral-asphalt mixes AC 22P 35/50 containing different reclaimed asphalt pavement



**Rys. 4.** Średnie wartości wyników badań modułu sztywności (4PB-PR) w temperaturze 10 °C mieszanek AC 22P 35/50 z różną zawartością granulatu asfaltowego

**Fig. 4.** Results of stiffness modulus value of mineral-asphalt mixes AC 22P 35/50 containing different reclaimed asphalt pavement at temperature 10 °C obtained by the (4PB-PR) method

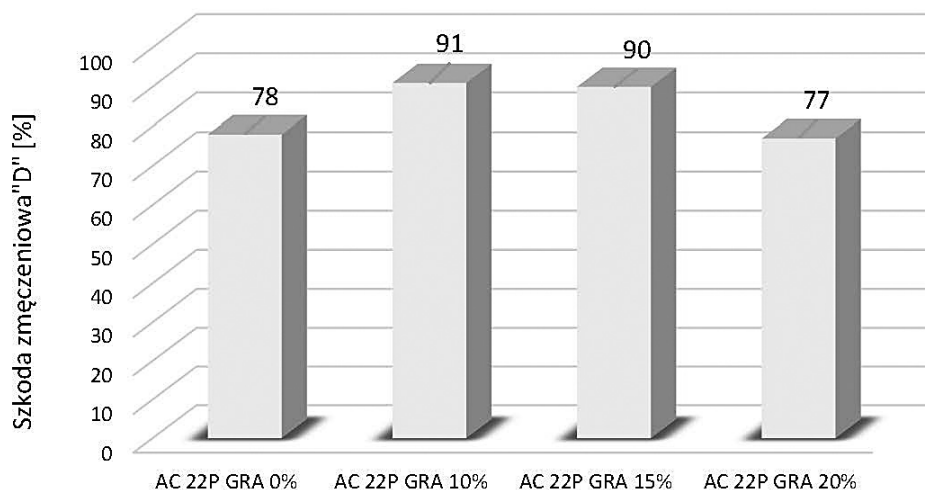
Przeprowadzone badania sztywności dowodzą, że zwiększenie dodatku granulatu w MMA powoduje zwiększenie wartości modułu sztywności. Nie odnotowano zauważalnych różnic w wynikach oznaczeń pomiędzy MMA bez granulatu a MMA z jego 10% zawartością. Natomiast największy wzrost wartości modułu sztywności wykazała mieszanka z 20% dodatkiem granulatu asfaltowego w odniesieniu do mieszanki bez granulatu.

#### Wyniki badań odporności na zmęczenie

Na rysunku 5 przedstawiono średnie wartości szkód zmęczeniowych „D” wyznaczo-

nych na podstawie badań odporności na zmęczenie mieszanek AC 22P 35/50 z różną zawartością granulatu asfaltowego w temperaturze badania 10 °C.

Na podstawie uzyskanych wyników badań odporności na zmęczenie stwierdzono, że najwyższa trwałość zmęczeniowa charakteryzuje mieszanki z 20% dodatkiem granulatu, dla których wartość szkody zmęczeniowej ustalono na poziomie  $D = 77\%$  i bez dodatku granulatu ( $D = 78\%$ ). Mieszanki z 10% i 15% dodatkiem granulatu asfaltowego wykazały relatywnie małe wartości odporności na zmęczenie (szkoda zmęczeniowa wyniosła odpowiednio 91% i 90%).



**Rys. 5.** Wyniki badań trwałości zmęczeniowej mieszanek mineralno-asfaltowych typu beton asfaltowy AC 22P 35/50 w temperaturze badania 10°C

**Fig. 5.** Results of the fatigue life of mineral-asphalt mixes type asphalt concrete AC 22P 35/50 at test temperature 10° C

## WNIOSKI

Z punktu widzenia ochrony środowiska istotnym problemem jest zagospodarowanie destruktu asfaltowego powstałego ze sfrezowanych warstw asfaltowych. Jego ponownego wykorzystanie w budownictwie drogowym jest wręcz konieczne, gdyż zmniejszają się zasoby kruszyw naturalnych. Wprowadzanie nowych technologii pro-ekologicznych pozwoli na ponowne zastosowanie sfrezowanego materiału do budowy nowych warstw konstrukcji nawierzchni drogowych.

Na podstawie przeprowadzonych badań właściwości funkcjonalnych mieszanek mineralno-asfaltowych AC 22P 35/50z zastosowaniem granulatu asfaltowego 22,4 GRA 0/16 sformułowano następujące wnioski:

1. Ilość dodanego granulatu do MMA nie ma zauważalnego wpływu na wartość modułu sztywności IT-CY. Otrzymane wartości modułów w różnych temperaturach badania, zarówno dla MMA z granulatem jak i mieszanki referencyjnej (bez granulatu), przyjmują zbliżone wartości.
2. Dodatek granulatu asfaltowego powoduje zwiększenie wartości modułu sztywności wyznaczonego w badaniu 4PB-PR. Nie zarejestrowano zauważalnych różnic w wynikach pomiędzy MMA bez granulatu asfaltowego, a MMA z jego 10% zawartością. Największe wartości modułu sztywności miała mieszanka z 20% dodatkiem granulatu asfaltowego.

3. Największą trwałością zmęczeniową, spośród analizowanych mieszanek mineralno-asfaltowych charakteryzują się mieszanki z 20% dodatkiem granulatu (szkoła zmęczenia  $D = 77\%$ ) i bez dodatku granulatu ( $D = 78\%$ ).
4. W dalszych badaniach mieszanek mineralno-asfaltowych z granulatem asfaltowym zasadne jest sprawdzenie ich przydatności do różnych warstw konstrukcji nawierzchni drogowych.

## BIBLIOGRAFIA

1. Aggregates Business Europe 11/12. 2011. Increased use of recycled Asphalt pavement technology.
2. Dołżycki B. 2010. Projektowanie MMA z destruktem asfaltowym. Konferencja PSWNA, Zastosowanie destruktu asfaltowego. Ożarów Mazowiecki.
3. Dz.U. nr 185 z 2010 r. poz. 1243, nr 203, poz. 1351. Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. o odpadach z późniejszymi zmianami.
4. GDDKiA 2010. Wymagania techniczne WT-2 2010 - Nawierzchnie asfaltowe na drogach krajowych. Mieszanki mineralno asfaltowe – załącznik nr 2 do zarządzenia nr 102 Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad z dnia 19 listopada 2010 r.
5. Koźłarek P. 2013. Granulat asfaltowy jako pełnowartościowy składnik mieszanek mineralno-asfaltowych. Budownictwo i Architektura 13(4), 145–152.
6. Mangiafico S., Benedetto H. Di, Sauzéat C., Olard F., Pouget S., Dupriet S., Planque L., Van Rooijen R. 2013. Statistical analysis of the influence of RAP and mix composition on viscoelastic and fatigue

- properties of asphalt mixes. *Materials and Structures* 2013, DOI:10.1617/s11527-013-0225-z.
7. Michalski W., Danowski M. 2014. Granulat asfaltowy – czy jesteśmy przygotowani?. *Nawierzchnie asfaltowe* 2, 16–19.
  8. Mniszek W., Sádzik A. 2012. Wtórne wykorzystanie destruktu asfaltowego do budowy dróg. *Zeszyty Naukowe WSZOP w Katowicach*, 1(8), 52–64.
  9. NCHRP Report 452.2001. Transportation Research Board, National Research Council. Recommended use of Reclaimed Asphalt Pavement in the Superpave Mix design method: Technical's Manual., Washington D.C..
  10. Plewa A. 2014. Ekologiczne zastosowanie mialu gumowego ze zużytych opon samochodowych w mieszankach mineralno-asfaltowych. *Inżynieria Ekologiczna* nr 40. Warszawa, 223–231.
  11. Plewa A. 2015. XXXII Seminarium Techniczne PSWNA. Właściwości funkcjonalne mieszanek mineralno-asfaltowych z granulatem asfaltowym. Warszawa Miedzeszyn.
  12. PN-EN 12697-24. 2012. Mieszanki mineralno-asfaltowe – Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco – Część 24: Odporność na zmęczenie.
  13. PN-EN 12697-26. 2012. Załącznik B. Mieszanki mineralno-asfaltowe – Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco – Część 26: Sztywność.
  14. PN-EN 12697-26. 2012. Załącznik C. Mieszanki mineralno-asfaltowe – Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco – Część 26: Sztywność.
  15. Slotwiński D. 2010. Recykling jako uzupełnienie zapotrzebowania materiałowego do produkcji mieszanek mineralno-asfaltowych. Konferencja PSWNA, Zastosowanie destruktu asfaltowego. Ożarów Mazowiecki.
  16. Tabaković A., Gibney A., McNally C., Gilchrist M.G. 2010. Influence of Re-cycled Asphalt Pavement on Fatigue Performance of Asphalt Concrete Base Courses. *Journal of Materials in Civil Engineering* 22 (6), 643–650.
  17. Wasilewska M. 2015. XXXII Seminarium Techniczne PSWNA. Granulat asfaltowy w nawierzchniach drogowych – rozwiązanie efektywne i ekologiczne. Warszawa Miedzeszyn.
  18. West R.C. 2010. Reclaimed asphalt pavement management – best practices. National center for asphalt technology, Auburn University,