



## **Wykorzystanie granulatu asfaltowego w podbudowie z betonu asfaltowego w nawierzchni drogowej**

*Marta Wasilewska, Władysław Gardziejczyk,  
Andrzej Plewa, Paweł Gierasimiuk  
Politechnika Białostocka*

### **1. Wstęp**

Przebudowy i remonty dróg obejmują częściową lub całkowitą rozbiórkę istniejących, zniszczonych warstw nawierzchni drogowych. Podczas ich frezowania uzyskuje się destrukta asfaltowy, którego składnikami są kruszywa mineralne i lepiszcze asfaltowe. Zalegające hałdy destruktu asfaltowego wymagają odpowiedniego zagospodarowania co jest ważnym problemem z punktu widzenia ochrony środowiska. Po odpowiednim przetworzeniu z destruktu asfaltowego można uzyskać granulata asfaltowy, pełnowartościowy materiał do wbudowania w nową nawierzchnię drogową. W praktyce budowniczowie dróg spotykają się często z oporem ze strony inwestorów na wbudowywanie tego materiału w warstwy konstrukcyjne nawierzchni. Badania prowadzone w wielu ośrodkach naukowych potwierdzają, że właściwe wykorzystanie materiałów z recyklingu gwarantuje wymaganą trwałość przy jednoczesnym zmniejszeniu kosztów produkcji mieszanek mineralno-asfaltowych [1, 4, 6, 8]. W podobny sposób są zresztą wykorzystywane inne materiały odpadowe, np. destrukta betonowy oraz zużyte opony samochodowe [2, 3, 5]. Dodatkowym atutem zagospodarowania granulatu asfaltowego jest oszczędność surowców naturalnych do produkcji lepiszcza asfaltowego i kruszyw drogowych [8, 10].

Stosowanie destruktu asfaltowego do mieszanek mineralno-asfaltowych w Stanach Zjednoczonych rozpoczęto już w 1915 roku [9, 11], lecz wzrost zainteresowania takimi rozwiązaniami nastąpił dopiero w latach 70. XX wieku. W tym okresie w krajach europejskich do stosowania granulatu asfaltowego podchodzono z dużą ostrożnością. Na przykład, w Wielkiej Brytanii każdorazowe jego zastosowanie oznaczało konieczność uzyskania zgody jednostki nadzorującej, co w konsekwencji zniechęcało projektantów oraz firmy wykonawcze do podejmowania prac w tym zakresie. Przełomem okazało się wprowadzenie w 1996 roku przez Ministra Ochrony Środowiska dodatkowego opodatkowania za składowanie odpadów. W strategii działania EAPA (European Asphalt Pavement Association) zakłada się, że w krajach Unii Europejskiej około 70 % destruktu powinno być ponownie wykorzystywane w budowie nawierzchni drogowych [10].

W Niemczech z 15 mln ton pozyskanego destruktu asfaltowego rocznie ponownie wbudowuje się od 11 do 13mln ton, a jego wykorzystanie wzrosło z 40% w 1987 roku do 80% w 1994 roku i utrzymuje się na tym poziomie do chwili obecnej [10]. We Francji, Belgii i Holandii wykorzystanie destruktu jest zbliżone do 100%. Jest to efekt prowadzenia polityki przez te państwa, która stwarza warunki i wspiera działania podejmowane na rzecz zrównoważonego rozwoju zarówno przez inwestorów i wykonawców nawierzchni drogowych.

W Polsce wykorzystanie granulatu asfaltowego jako materiału do mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco w porównaniu z innymi krajami jest bardzo małe. W ostatnich latach na niskie zużycie granulatu asfaltowego w Polsce miały wpływ głównie czynniki związane z brakiem czytelnych zapisów w przepisach regulujących jego stosowanie oraz brak działań podejmowanych przez inwestorów, które zachęcałyby wykonawców do jego wykorzystania. Dodatkowe zapisy w specyfikacjach technicznych poszczególnych inwestycji drogowych, niekiedy wręcz ograniczały stosowanie granulatu asfaltowego w mieszankach mineralno-asfaltowych. Jednak liczba budowanych i przebudowywanych dróg w latach 2007–2013 spowodowała, że ilość gromadzonego destruktu asfaltowego istotnie wzrosła, a temat jego ponownego wykorzystania stał się bardzo aktualny.

Gwarancją dobrej jakości rozwiązań po wbudowaniu materiałów odpadowych jest przestrzeganie zaleceń dotyczących pozyskiwania, se-

gregowania i ich magazynowania, określenie optymalnego składu mieszanki mineralno-asfaltowej, prawidłowej produkcji i jej wbudowania w nawierzchnię drogową. Wieloletnie doświadczenia pozwoliły na wypracowanie wytycznych oceny jego jakości, tak aby produkt końcowy spełniał określone wymagania zgodnie z jej przeznaczeniem i funkcją w konstrukcji nawierzchni drogowej.

W Załączniku do zarządzenia nr 102 Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad z dnia 19 listopada 2010r.: *Nawierzchnie asfaltowe na drogach krajowych* (zwanych dalej WT-2:2010) jest zapis o możliwości dodatku granulatu asfaltowego do mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco. Zgodnie z wymaganiami maksymalna ilość jest uwarunkowana sposobem jego dozowania do mieszalnika otaczarki w wytwórni mieszanek asfaltowych. Obecnie są stosowane dwie metody dodawania granulatu asfaltowego do mieszalnika otaczarki:

- „metoda na zimno” – bez ogrzewania wstępnego;
- „metoda na ciepło” – ze wstępnym ogrzaniem.

Zgodnie z WT-2:2010 w „metodzie na zimno” dopuszcza się stosowanie dodatku granulatu asfaltowego w ilości nie większej niż 15%, natomiast w „metodzie na ciepło” w ilości nie większej niż 30%. W niektórych krajach ilość dodatku granulatu asfaltowego „metodą na zimno” wynosi 30%, a „metodą na ciepło” nawet do 100% [7, 12].

Celem wykonanych badań była ocena wpływu dodatku granulatu asfaltowego 22,4 RA 0/16 na właściwości mieszanek mineralno-asfaltowych przeznaczonych do wbudowania w warstwę podbudowy nawierzchni drogowej obciążonej ruchem kategorii KR1-KR2, KR3-KR4 i KR5-KR6.

## 2. Program i metodyka badań

Przedmiotem badań był granulatu asfaltowy 22,4 RA0/16 składowany na hałdach na placu wytwórni mieszanek asfaltowych w Hryniewiczach w pobliżu Białegostoku. Na rysunkach 1 i 2 przedstawiono hałdę z granulem asfaltowym, umieszczonym w specjalnym boksie i zabezpieczonym folią przed opadami deszczu.



**Rys. 1.** Hałda z granulatem asfaltowych  
**Fig. 1.** Slag heap of Reclaimed Asphalt Pavement



**Rys. 2.** Granulat asfaltowy 22,4 RA  
0/16

**Fig. 2.** Reclaimed Asphalt Pavement  
22,4 RA 0/16

Zakres badań obejmował:

- ocenę przydatności granulatu asfaltowego do mieszanek mineralno-asfaltowych,
- ocenę odporności na działanie wody, odporności na koleinowanie, modułu sztywności, odporności na zmęczenie mieszanek mineralno-asfaltowych typu beton asfaltowy z dodatkiem: 0%, 10%, 15% i 20% granulatu asfaltowego, przeznaczonych do wbudowania w podbudowę nawierzchni obciążonej ruchem kategorii: KR1-KR2, KR3-KR4 i KR5-KR6.

Oceny przydatności granulatu asfaltowego dokonano poprzez ocenę jego jednorodności zgodnie z normą *PN-EN 13108-8: 2008 (Mieszanki mineralno-asfaltowe – Wymagania – Część 8: Destrukt asfaltowy)* oraz z wymaganiami *WT-2:2010*. W tym celu ustalono: zawartość zanieczyszczeń obcych, uziarnienie oraz zmienność w zakresie procentowego udziału kruszywa grubego, drobnego i pyłów w granulacie asfaltowym, ilość odzyskanego asfaltu oraz jego kategorię.

Do oceny właściwości mieszanek mineralno-asfaltowych z dodatkiem granulatu asfaltowego konieczne było zaprojektowanie mieszanek typu beton asfaltowy (AC 22 P), przeznaczonych do warstwy podbu-

dowy obciążonej ruchem KR1-KR2, KR3-KR4 i KR5-KR6 z 10%, 15%, 20% dodatkiem granulatu. Projektowanie przeprowadzono zgodnie z Załącznikiem do zarządzenia nr 102 Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad z dnia 19 listopada 2010r.: Nawierzchnie asfaltowe na drogach krajowych, WT-2 2010 *Mieszanki mineralno-asfaltowe. Wymagania techniczne (dalej nazywane WT-2:2010)*. Do celów porównawczych zaprojektowano beton asfaltowy (AC 22 P) bez granulatu asfaltowego (0% granulatu).

W celu dokonania oceny właściwości mieszanek mineralno-asfaltowych z granulatem asfaltowym wykonano następujące badania:

- odporności na działanie wody *ITSR* zgodnie z instrukcją zamieszczoną w załączniku do zarządzenia nr 102 Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad z dnia 19 listopada 2010r.: Nawierzchnie asfaltowe na drogach krajowych, WT-2:2010 *Mieszanki mineralno-asfaltowe. Wymagania techniczne (dalej nazywane WT-2:2010)*;
- odporności na koleinowanie zgodnie z PN-EN 12697-22+A1:2008 *Mieszanki mineralno-asfaltowe – Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco – Część 22: Koleinowanie*;
- modułu sztywności zgodnie z PN-EN 12697-26:2012 *Mieszanki mineralno-asfaltowe – Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco – Część 26: Sztywność (załącznik B)*;
- trwałości zmęczeniowej zgodnie z PN-EN 12697-24:2012: *Mieszanki mineralno-asfaltowe – Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco – Część 24: Odporność na zmęczenie*.

Miarą odporności na działanie wody jest wskaźnik wytrzymałości na rozciąganie pośrednie *ITSR*, którego wartość oblicza się ze wzoru 1:

$$ITSR = 100 \cdot \frac{ITS_w}{ITS_d} \quad (1)$$

gdzie:

*ITSR* – wytrzymałość na rozciąganie pośrednie, [%],

*ITS<sub>w</sub>* – średnia wytrzymałość próbek z zestawu mokrego, [kPa],

*ITS<sub>d</sub>* – średnia wytrzymałość próbek z zestawu suchego, [kPa].

Wykonano dziesięć próbek analitycznych dla każdej z mieszanek mineralno-asfaltowych. Próbki podzielono na dwa zestawy. Zestaw su-

chy poddano kondycjonowaniu w warunkach otoczenia, a zestaw mokry jednemu cyklowi zamrażania w temperaturze  $-18\pm 3^{\circ}\text{C}$ . Następnie próbki z zestawu suchego i mokrego poddano badaniu wytrzymałości na rozciąganie pośrednie *ITS* (Indirect Tensile Strenght) zgodnie z *PN-EN 12696-23*.

Ocenie odporności na koleinowanie zostały poddane mieszanki mineralno-asfaltowe z granulatem asfaltowym przeznaczone na podbudowę nawierzchni obciążonej ruchem kategorii: KR3-KR4 i KR5-KR6. Z uwagi na bardzo mały udział pojazdów ciężarowych i autobusów nie przeprowadza się takiej oceny na mieszankach przeznaczonych do wbudowania w nawierzchnię obciążoną ruchem kategorii KR1-KR2.

Badania odporności na koleinowanie zostały wykonane zgodnie z normą *PN-EN 12697-22+A1:2008* (procedura B „w powietrzu”). Miarami odporności na koleinowanie są:

- głębokość koleiny  $RD_{AIR}$  po 10 000 cyklach [mm],
- proporcjonalna głębokość koleiny  $PRD_{AIR}$  po 10 000 cyklach wyrażona w [%] do całkowitej grubości próbki,
- nachylenie wykresu koleinowania  $WTS_{AIR}$  [mm/1000 cykli].

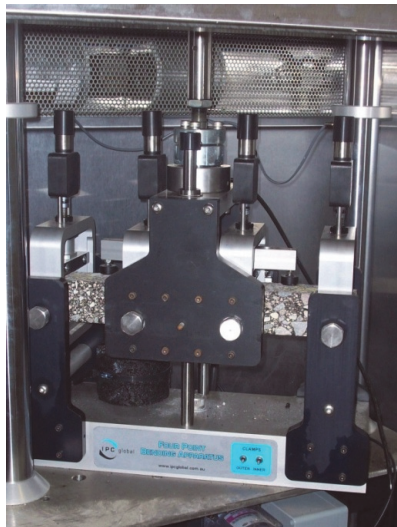
Określenie modułu sztywności jest wymagane przy wymiarowaniu konstrukcji nawierzchni drogowych w oparciu o metody mechaniczne. Oceny wpływu dodatku granulatu asfaltowego na moduł sztywności wyznaczony metodą 4PB-PR dokonano dla mieszanek mineralno-asfaltowych przeznaczonych na warstwę podbudowy obciążonej ruchem kategorii KR5-KR6. Oznaczenie wykonano w oparciu o załącznik B do normy *PN-EN 12697-26*. Badanie przeprowadzono na próbkach prostopadłościennych (pryzmatycznych) 400x55x60 mm, wyciętych z płyt o grubości 80 mm (po 5 próbek na mieszankę z daną zawartością granulatu) przy wykorzystaniu urządzeń pokazanych na rysunkach 3–5. Moduł sztywności  $S$  określono w setnym cyklu badania. Warunki badania były następujące:

- temperatura  $10^{\circ}\text{C}$ ,
- poziom odkształcenia  $50\ \mu\text{m/m}$ ,
- częstotliwość 10Hz.



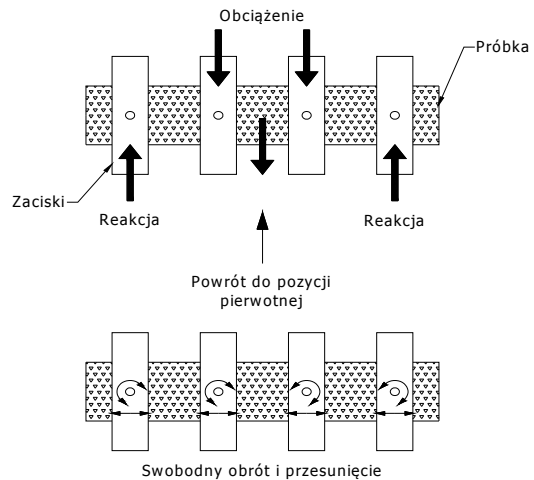
**Rys. 3.** Urządzenie UTM-25

**Fig. 3.** UTM-25 device



**Rys. 4.** Sposób zamocowania próbki

**Fig. 4.** The method of fixing specimen



**Rys. 5.** Schemat obciążenia próbki w oprzyrządowaniu 4 PB-PR

**Fig. 5.** Scheme load of specimen – 4 PB-PR instrumentation

Wielokrotnie powtarzające się ugięcia nawierzchni powodują cykliczne powstawanie naprężeń rozciągających w dolnej strefie warstw asfaltowych i w efekcie zniszczenia nawierzchni w postaci pęknięć. W związku z powyższym ocenę wpływu granulatu asfaltowego na odporność na zmęczenie przeprowadzono na mieszankach mineralno-asfaltowych przeznaczonych na warstwę podbudowy nawierzchni obciążonej ruchem kategorii KR5-KR6. Oznaczenie wykonano zgodnie z załącznikiem D do normy *PN-EN 12697-24*. Badanie uważano za zakończone w momencie osiągnięcia przez próbkę 1 mln cykli obciążenia. W takim przypadku wyznaczono szkodę zmęczeniową D, której wartość była mniejsza od 100%.

### 3. Wyniki badań i ich analiza

#### 3.1. Ocena przydatności granulatu asfaltowego do mieszanek mineralno-asfaltowych

W tabeli 1 przedstawiono wyniki z ekstrakcji granulatu asfaltowego z oznaczeniem zawartości lepiszcza rozpuszczonego metodą różnicy mas zgodnie z *PN-EN 12697-1:2006 Mieszanki mineralno-asfaltowe - Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco – Część 1: Zawartość lepiszcza rozpuszczalnego*.

**Tabela 1.** Wyniki badań składu uziarnienia i zawartość asfaltu odzyskanego  
**Table 1.** Results of graining composition and amount of asphalt from RAP

Wymiar sita, mm	Wyniki z poszczególnych prób, [%]					Rozstęp wyników	Dopuszczalny rozstęp wyników
	1	2	3	4	5		
2,0–22,4	53	51	53	55	52	4	18
0,063–2,0	35	37	34	33	35	4	16
<0,063	13	12	13	13	13	1	10
Zawartość asfaltu, % (m/m)	5,3	5,0	5,2	5,3	5,2	0,3	1,2

Na podstawie zmienności (rozstępy wyników) procentowego udziału w granulacie kruszywa grubego, drobnego i pyłów, jak również zawartości lepiszcza stwierdzono, że granulaty asfaltowe 22,4 RA 0/16



jest materiałem jednorodnym. Na podstawie oznaczenia wykonanego zgodnie z normą *PN-EN 12677-42* ustalono, że pod względem zawartości zanieczyszczeń obcych granulatu spełnia wymagania kategorii F1. Oznacza to, że zawartość materiałów obcych z grupy 1 (beton cementowy, cegły, zaprawa cementowa, metale) wynosi poniżej 1%, a materiałów grupy 2 (materiały syntetyczne, drewno, tworzywa sztuczne) poniżej 0,1%.

W tabeli 2 przedstawiono wyniki badania asfaltu odzyskanego z granulatu asfaltowego.

**Tabela 2.** Wyniki badań właściwości asfaltu odzyskanego z granulatu asfaltowego

**Table 2.** Results of properties asphalt from RAP

Rodzaj badania	Wyniki z poszczególnych prób					Rozstęp wyników	Dopuszczalny rozstęp wyników
	1	2	3	4	5		
Penetracja, $^0\text{Pen}$ (x 0,1mm)	45	46	46	45	45	1	-
Temperatura mięknięcia, PiK °C	54,2	53,8	53,4	53,7	53,5	0,8	8

Wyniki wykonanych badań wykazały, że średnia wartość penetracji wynosi 45,6  $^0\text{Pen}$  (x 0,1mm), natomiast rozstęp wyników – 1  $^0\text{Pen}$  (x 0,1mm). W przypadku oznaczenia temperatury mięknięcia PiK asfaltu wartość średnia równa się 53,8°C, natomiast rozstęp otrzymanych wyników – 0,8°C. Oznacza to, że otrzymany rozstęp wyników badań temperatury mięknięcia nie przekracza wartości dopuszczalnej, co świadczy o jednorodności granulatu asfaltowego. Wyniki pomiarów temperatury mięknięcia były podstawą do określenia kategorii odzyskanego asfaltu. Ponieważ temperatura mięknięcia asfaltu nie przekroczyła wartości 77°C, asfalt zakwalifikowano do kategorii  $S_{70}$ .

Otrzymane wyniki potwierdziły, że granulatu asfaltowy 22,4 RA 0/16 może być stosowany do warstw podbudowy nawierzchni drogowej.

### 3.2. Ustalenie składu mieszanek mineralno-asfaltowych z różną zawartością granulatu asfaltowego

Określenie składu mieszanek mineralno-asfaltowych wymagało ustalenia:

- krzywych uziarnienia mieszanek mineralnych oraz minimalnej zawartości lepiszcza w mieszance mineralno-asfaltowej z uwzględnieniem dodatku granulatu asfaltowego;
- parametrów objętościowych mieszanek mineralno-asfaltowych (gęstość objętościowa, gęstość, zawartość wolnych przestrzeni w mieszance mineralno-asfaltowej (mma), zawartość wolnych przestrzeni w mieszance mineralnej (mm), wolnych przestrzeni wypełnionych lepiszczem);
- optymalnej zawartości lepiszcza w mieszankach mineralno-asfaltowych.

Mieszanki zaprojektowano z kruszyw drobnych i grubych pochodzących ze złóż polodowcowych, spełniających wymagania pod względem właściwości geometrycznych i fizycznych zgodnie z *WT-1:2010* [13]. Do podbudowy obciążonej ruchem KR1-KR2 przyjęto asfalt drogowy 50/70, a w przypadku warstwy podbudowy obciążonej ruchem KR3-KR4 i KR5-KR6 wybrano asfalt drogowy 35/50.

Wstępnie przyjęte zestawienie składników mieszanek mineralno-asfaltowych poddano ocenie w oparciu o wyniki badań parametrów objętościowych: gęstości, gęstości objętościowej i zawartości wolnej przestrzeni. Badanie parametrów objętościowych przeprowadzono zgodnie z normami:

- PN-EN 12697-5: 2010 *Mieszanki mineralno-asfaltowe. Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco. Część 5: Metody oznaczania gęstości*,
- PN-EN 12697-6: 2012 *Mieszanki mineralno-asfaltowe. Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco. Część 6: Metody oznaczania gęstości objętościowej próbek mieszanki mineralno-asfaltowej*,
- PN-EN 12697-8: 2005 *Mieszanki mineralno-asfaltowe. Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco. Część 8: oznaczanie zawartości wolnej przestrzeni*,

W tabelach 3 i 4 przedstawiono wyniki badań parametrów objętościowych. Na rysunkach 6 i 7 przedstawiono ustalone składy mieszanek mineralno-asfaltowych z różną zawartością granulatu asfaltowego na warstwy podbudowy obciążone ruchem KR1-KR2, KR3-KR4 i KR5-KR6.

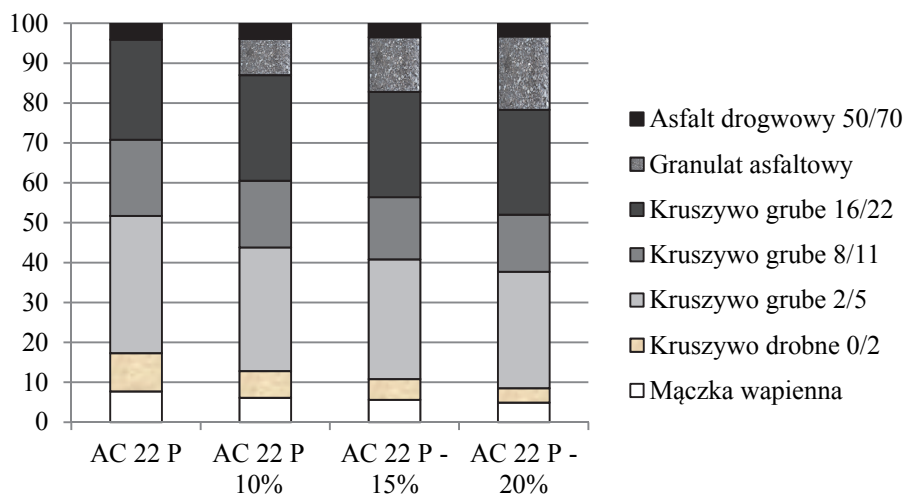
**Tabela 3.** Wyniki badań parametrów objętościowych mieszanek mineralno-asfaltowych AC 22 P 50/70 na warstwę podbudowy KR1-KR2

**Table 3.** Results of volumetric parameters AC 22 P 50/70 for base course KR1-KR2

Lp.	Właściwość	Energia lub wskaźnik zagęszczenia	Zawartość granulatu asfaltowego [%]			
			0	10	15	20
1.	Gęstość $\rho_{mv}$ , [Mg/m <sup>3</sup> ]	2 x 75 uderzeń	2,474	2,492	2,495	2,502
2.	Gęstość objętościowa, $\rho_{b\,ssd}$ , [Mg/m <sup>3</sup> ]	2 x 75 uderzeń	2,333	2,333	2,337	2,344
3.	Zawartość wolnych przestrzeni w mma $V_m$ , [%]	2 x 75 uderzeń	5,7	6,4	6,3	6,3
4.	Wolne przestrzenie wypełnione lepizczem $VFB$ , [%]	2 x 75 uderzeń	63,3	57,6	55,8	54,6
5.	Zawartość wolnych przestrzeni w mm $VMA$ [%]	2 x 75 uderzeń	15,5	15,1	14,3	14,1

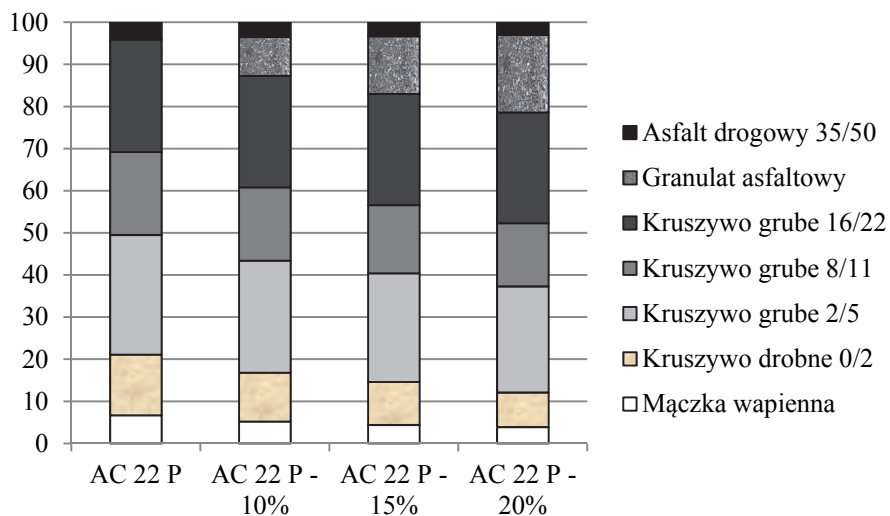
**Tabela 4.** Wyniki badań parametrów objętościowych mieszanek mineralno-asfaltowych AC 22 P 35/50 na warstwę podbudowy KR3-KR4 i KR5-KR6  
**Table 4.** Results of volumetric parameters AC 22 P 35/50 for base course KR3-KR4 and KR5-KR6

Lp.	Właściwość	Energia lub wskaźnik zagęszczenia	Zawartość granulatu asfaltowego [%]			
			0	10	15	20
1.	Gęstość $\rho_{mv}$ , [Mg/m <sup>3</sup> ]	2 x 75 uderzeń	2,494	2,506	2,511	2,504
2.	Gęstość objętościowa, $\rho_{b\ ssd}$ , [Mg/m <sup>3</sup> ]	2 x 75 uderzeń	2,373	2,376	2,375	2,380
3.	Zawartość wolnych przestrzeni w mma $V_m$ , [%]	2 x 75 uderzeń	4,8	5,2	5,4	4,9
4.	Wolne przestrzenie wypełnione lepiszczem $VFB$ , [%]	2 x 75 uderzeń	66,3	61,8	58,7	59,4
5.	Zawartość wolnych przestrzeni w mm $VMA$ , [%]	2 x 75 uderzeń	14,4	13,6	13,1	12,2



**Rys. 6.** Składy mieszanek mineralno-asfaltowych z różną zawartością granulatu asfaltowego na warstwę podbudowy KR1-KR2

**Fig. 6.** The compositions of asphalt mixture with difference amount of RAP for base course KR1-KR2



**Rys. 7.** Składy mieszanek mineralno-asfaltowych z różną zawartością granulatu asfaltowego na warstwę podbudowy KR3-KR4 i KR5-KR6

**Fig. 7.** The compositions of asphalt mixture with difference amount of RAP for base course KR3-KR4 and KR5-KR6

### 3.3. Ocena właściwości mieszanek mineralno-asfaltowych z granulatem asfaltowym

#### Odporność na działanie wody

W tabelach 5–6 przedstawiono wyniki badań *ITSR* mieszanek mineralno-asfaltowych z różną zawartością granulatu asfaltowego 22,4 RA 0/16 przeznaczonych podbudowy obciążonej ruchem KR1-KR2, KR3-KR4 i KR5-KR6.

Zgodnie z kryteriami zamieszczonymi w *WT-2:2010* mieszanki mineralno-asfaltowe przeznaczone na warstwę podbudowy powinny odznaczać się wartością *ITSR* nie mniejszą niż 70%. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że mieszanki mineralno-asfaltowe spełniają określone w normie wymagania. Analizując otrzymane wyniki badania stwierdzono spadek wartości *ITSR* wraz ze wzrostem dodatku granulatu asfaltowego. Szczególnie istotne różnice zarejestrowano w przypadku mieszanek na warstwę podbudowy nawierzchni obciążonej ruchem kategorii: KR3-KR4, KR5-KR6. Ma to związek ze spadkiem wytrzymałości na rozciąganie pośrednie *ITS* mieszanek z zestawu mokrego, które były poddane kondycjonowaniu. Na rysunkach 8–9 przedstawiono zakres zmienności wytrzymałości na rozciąganie pośrednie *ITS* mieszanek mineralno-asfaltowych zestawu suchego i mokrego z różną zawartością granulatu asfaltowego.

**Tabela 5.** Wyniki *ITSR* mieszanek AC 22 P 50/70 na warstwę podbudowy KR1-KR2

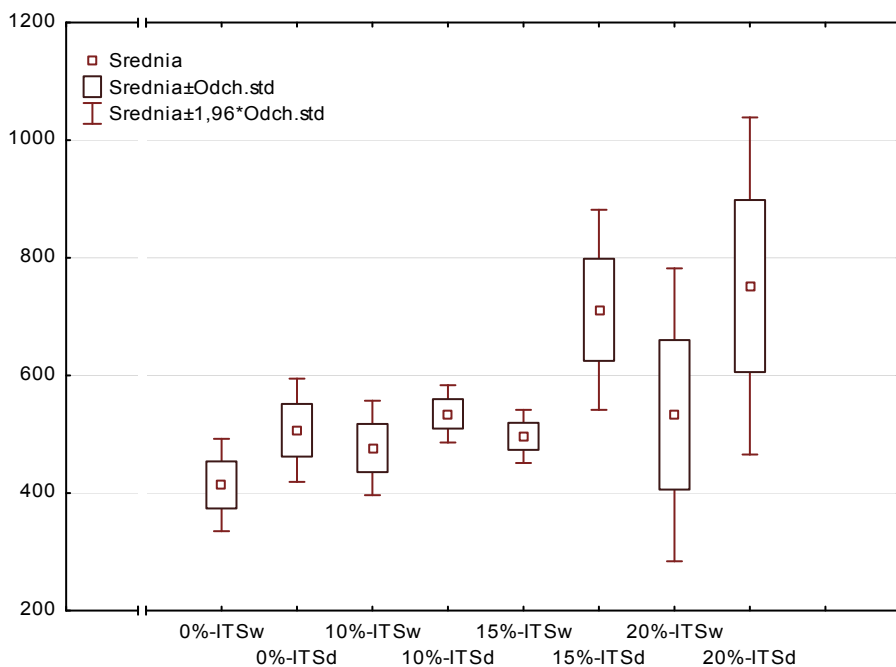
**Table 5.** Results of *ITSR* of AC 22 P 50/70 base course KR1-KR2

Nr próbki	Zawartość granulatu asfaltowego [%]							
	0		10		15		20	
	<i>ITS<sub>w</sub></i>	<i>ITS<sub>d</sub></i>	<i>ITS<sub>w</sub></i>	<i>ITS<sub>d</sub></i>	<i>ITS<sub>w</sub></i>	<i>ITS<sub>d</sub></i>	<i>ITS<sub>w</sub></i>	<i>ITS<sub>d</sub></i>
1	405	529	492	509	526	563	539	540
2	429	445	487	509	471	787	747	828
3	422	477	531	541	485	740	476	929
4	352	527	427	549	515	750	418	768
5	461	556	446	565	485	718	485	695
Średnia	414	507	477	535	496	712	533	752
<i>ITSR</i> [%]	82		89		70		71	

**Tabela 6.** Zestawienie wyników *ITSR* mieszanek AC 22 P 35/50 na warstwę podbudowy KR3-KR4, KR5-KR6

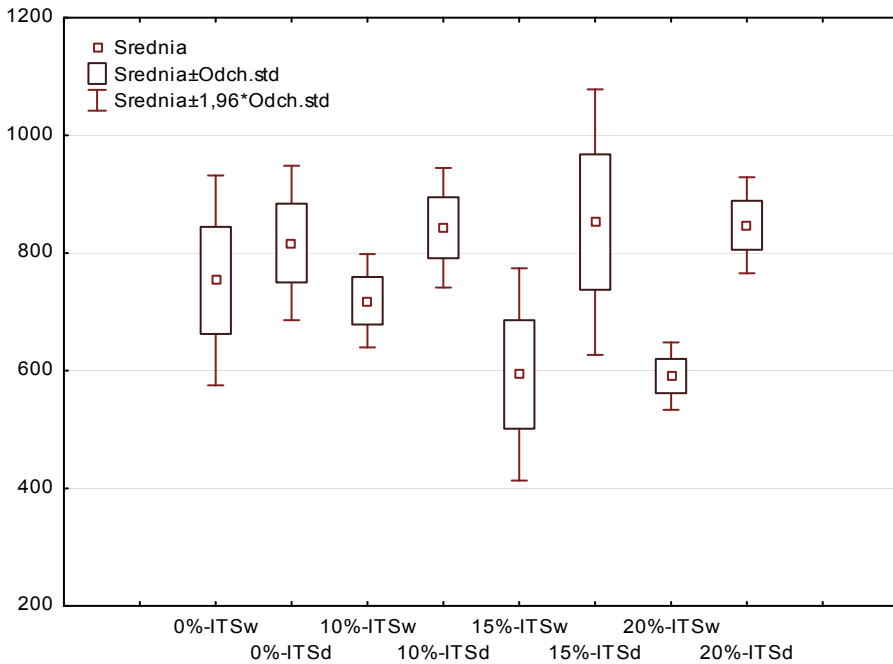
**Table 6.** Results of *ITSR* of AC 22 P 35/50 base course KR3-KR4, KR5-KR6

Nr próbki	Zawartość granulatu asfaltowego [%]							
	0		10		15		20	
	<i>ITSw</i>	<i>ITS<sub>d</sub></i>	<i>ITSw</i>	<i>ITS<sub>d</sub></i>	<i>ITSw</i>	<i>ITS<sub>d</sub></i>	<i>ITSw</i>	<i>ITS<sub>d</sub></i>
1	639	724	758	816	722	844	589	810
2	863	852	743	827	521	702	550	823
3	696	837	743	922	650	1004	584	831
4	747	777	674	863	501	796	631	915
5	822	895	676	787	574	917	600	857
Średnia	753	817	719	843	594	853	591	847
<i>ITSR</i> [%]	92		85		70		70	



**Rys. 8.** Zakres zmienności wytrzymałości na rozciąganie pośrednie *ITS* – AC 22 P 50/70 na warstwę podbudowy KR1-KR2

**Fig. 8.** The range of variability of *ITS* – AC 22P 50/70 base course KR1-KR2



**Rys. 9.** Zakres zmienności wytrzymałości na rozciąganie pośrednie *ITS* AC 22 P 35/50 na warstwę podbudowy KR3-KR4 i KR5-KR6

**Fig. 9.** The range of variability of *ITS* – AC 22P 35/50 base course KR3-KR4 and KR5-KR6

W przypadku mieszank przeznaczonych na podbudowę nawierzchni obciążonych ruchem kategorii ruchu KR1-KR2 istotne różnice zaobserwowano pomiędzy mieszankami z 0% i 10%, a 15 i 20% zawartością granulatu asfaltowego. Pomimo, że wartości wytrzymałości na rozciąganie pośrednie *ITS* mieszank z 15% i 20% granulatem były wyższe niż przy zawartości 0% i 10%, różnice otrzymane pomiędzy zestawem suchym i mokrym miały wpływ na wartość *ITSR*.

Analizując mieszanki na podbudowę o kategorii ruchu KR3-KR4 i KR5-KR6 nie otrzymano istotnych różnic w wartościach wytrzymałości na rozciąganie *ITS* mieszank z różną zawartością granulatu, które nie były poddane kondycjonowaniu (zestawy suche). W przypadku mieszank poddanych procesowi kondycjonowania istotne różnice są pomiędzy mieszankami z 0% i 10%, a 15% i 20% zawartością granulatu.



### Odporność na koleinowanie

W tabeli 7 przedstawiono wyniki badań odporności na koleinowanie mieszanek na warstwę podbudowy z różną zawartością granulatu asfaltowego.

**Tabela 7.** Wyniki koleinowania – AC 22 P na warstwę podbudowę KR3-KR4 i KR5-KR6

**Table 7.** Results of rutting – AC 22P 35/50 base course KR3-KR4 and KR5-KR6

Parametr	Zawartość granulatu asfaltowego [%]			
	0	10	15	20
$RD_{AIR}$ [mm]	2,8	3,8	2,7	3,3
$PRD_{AIR}$ [%]	4,6	6,2	4,5	5,4
$WTS_{AIR}$ [mm/10 <sup>3</sup> cykli obciążenia]	0,08	0,15	0,07	0,10

Zgodnie z kryteriami podanymi w *WT-2:2010* mieszanki mineralno-asfaltowe przeznaczone na warstwę podbudowy nawierzchni obciążonej ruchem kategorii KR3-KR4 powinny odznaczać się wartością nachylenia wykresu koleinowania  $WTS_{AIR}$  nie wyższą niż 1, natomiast dla KR5-KR6 – 0,6. Stwierdzono, że w przypadku mieszanek do podbudowy wyniki badań są bardzo korzystne i mogłyby spełnić wymagania stawiane warstwie wiążącej KR5-KR6.

Analiza wykresów głębokości koleiny w funkcji liczby cykli, świadczą o bardzo małych przyrostach koleiny w mieszankach z granulatem asfaltowym 22,4 RA 0/16. Wyniki badania wykazały, że dodatek granulatu asfaltowego nie ma wpływu na pogorszenie odporności mieszanki na koleinowanie.

### Moduły sztywności

W tabeli 8 przedstawiono wyniki badania modułów sztywności sprężystej mieszanek AC 22 P 35/50 z różną zawartością granulatu asfaltowego.

W wymaganiach określających przydatność mieszanek do poszczególnych warstw konstrukcji nawierzchni drogowej brak jest określonych wymagań w odniesieniu do wartości modułów sztywności sprężystej. Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, że dodatek gra-

nulatu asfaltowego powoduje korzystny wzrost 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. Przeprowadzone badania sztywności dowodzą, że wzrost zawartości granulatu w mieszankach mineralno-asfaltowych powoduje proporcjonalny wzrost wartości modułu sztywności. Nie zarejestrowano istotnych różnic w wynikach pomiędzy mieszanką bez granulatu i mieszanką z 10% zawartością. Natomiast najwyższy wzrost modułu sztywności wykazała mieszanka z 20% granulatem asfaltowym w odniesieniu do mieszanki bez granulatu.

**Tabela 8.** Wyniki modułów sztywności mieszanek AC 22 P 35/50 na podbudowę KR5-KR6

**Table 8.** Results of stiffness modules AC 22P 35/50 base course KR3-KR4 and KR5-KR6

Nr próbki	Moduły sztywności [MPa]			
	Zawartość granulatu [%]			
	0	10	15	20
1	16038	15176	17018	17157
2	14368	15867	15722	19097
3	16769	15758	16715	17743
4	15356	15490	17041	18038
5	13373	14278	17106	18021
$S_{sr}$	15181	15314	16720	18011

### Odporność na zmęczenie

Zestawienie wyników badań odporności na zmęczenie mieszanek AC 22 P 35/50 na podbudowę z różną zawartością granulatu przedstawiono w tabelach 9 i 10.

**Tabela 9.** Wyniki badań odporności na zmęczenie – AC 22 P 35/50 na podbudowę KR5-KR6

**Table 9.** Results of fatigue life AC 22P 35/50 base course KR3-KR4 and KR5-KR6

Nr próbki	Moduł sztywności $S_0$ [MPa] (100 cykl obciążenia)	Moduł sztywności $S_{end}$ [MPa] (max. 1 mln cykl obciążenia)	Spadek modułu sztywności [MPa] (1-2)	50% modułu sztywności $S_0$ [MPa] (50%·1)	Szkoda zmęczeniowa [%] (3/4)	Średnia wartość szkody zmęczeniowej $D$ [%]
	1	2	3	4	5	
Zawartości granulatu – 0%						
1	15460	11309	4151	7730	54	78
2	14809	7396	7413	7404	100	
3	16001	7984	8017	8001	100	
4	15743	7859	7884	7871	100	
5	14104	11167	2937	7052	42	
Zawartość granulatu – 10%						
1	14996	10899	4097	7498	55	91
2	16066	7965	8101	8033	100	
3	17608	8759	8849	8804	100	
4	15512	7733	7779	7756	100	
5	14376	7158	7218	7188	100	
Zawartość granulatu – 15%						
1	15343	7654	7689	7672	100	90
2	17907	8894	9013	8953	100	
3	16353	8161	8192	8177	100	
4	17401	8686	8715	8700	100	
5	17108	12808	4300	8554	50	
Zawartość granulatu – 20%						
1	16762	14124	2638	8381	31	77
2	17760	13399	4361	8880	49	
3	17998	8983	9015	8999	100	
4	18122	9046	9076	9061	100	
5	16266	8059	8207	8133	100	

**Tabela 10.** Ilość cykli obciążenia do utraty 50% modułu sztywności  $S_0$  (max. 1 mln cykl obciążenia)

**Table 10.** Number of cycles for 50% loss modulus  $S_0$  (max. 1 million load cycle)

Nr próbki	Zawartość granulatu [%]			
	0	10	15	20
1	1 000 000	1 000 000	704 952	1 000 000
2	837 889	367 352	229 959	1 000 000
3	816 653	765 041	558 324	932 291
4	635 512	220 763	767 101	599 080
5	1 000 000	881 039	1 000 000	519 339
Średnia	858 011	646 839	652 067	810 142

W wymaganiach określających przydatność mieszanek do poszczególnych warstw konstrukcji nawierzchni drogowej brak jest określonych kryteriów uwzględniających trwałość zmęczeniową. Przeprowadzone badania pozwalają stwierdzić, że najwyższą trwałością zmęczeniową charakteryzują się mieszanki z 20% dodatkiem granulatu (77%) i bez dodatku granulatu (78%). Mieszanki z 10% i 15% dodatkiem granulatu asfaltowego charakteryzowały się relatywnie niską wartością odporności na zmęczenie, szkoda zmęczeniowa wynosiła odpowiednio 91% i 90%. Należy jednak podkreślić, że o uzyskanych rezultatach trwałości zmęczeniowej decydują w dużej mierze uzyskane trwałości zmęczeniowe przy maksymalnie zakładanej liczbie cykli obciążenia wynoszącej 1 milion. Po 2 próbki z mieszanki z 0% i 20% zawartością granulatu asfaltowego osiągnęły 1 mln cykli obciążenia do utraty 50% modułu sztywności  $S_0$ , natomiast mieszanki z 10% i 15% granulatu jedynie po 1 próbce. Ilość cykli obciążenia do utraty 50% modułu sztywności początkowego danej próbki wpływa na uzyskaną wartość szkody zmęczeniowej. Najwyższą trwałością zmęczeniową charakteryzuje się mieszanka bez dodatku granulatu – średnia wartość obciążenia 858 011 cykli.

Analizując wyniki badań stwierdzono, że ilości dodatku granulatu asfaltowego nie ma wpływu na trwałość zmęczeniową analizowanych mieszanek mineralno-asfaltowych. Uwzględniając zawartość wolnej przestrzeni w mieszance mineralno-asfaltowej w poszczególnych mieszankach można zauważyć, że wartość ta ma wpływ na trwałość zmęczeniową.

Stwierdzono, że na trwałość zmęczeniową mieszanek mineralno-asfaltowych większy wpływ mogą mieć parametry objętościowe ustalane przy projektowaniu składów mieszanek mineralno-asfaltowych niż dodatki granulatu.

#### 4. Ekonomiczny aspekt wykorzystania granulatu asfaltowego

Wykorzystanie granulatu asfaltowego w mieszankach mineralno-asfaltowych wbudowywanych w konstrukcję nowych nawierzchni, oprócz ochrony środowiska, prowadzi do pewnych oszczędności kruszyw naturalnych i asfaltu, materiałów które pochodzą z źródeł nieodnawialnych. W tabeli 11 przedstawiono ilości asfaltu dozowanego do mieszanki mineralno-asfaltowej, ilości asfaltu zawartego w granulacie asfaltowym oraz zawartość całkowitą asfaltu w mieszankach mineralno asfaltowych AC 22P do warstwy podbudowy kategorii ruchu KR1-KR2, KR3-KR4 i KR5-KR6 bez dodatku i z dodatkiem 10%, 15% i 20% granulatu asfaltowego.

**Tabela 11.** Zestawienie ilości asfaltu dozowanego, asfaltu zawartego w granulacie asfaltowym oraz zawartości całkowitej asfaltu w poszczególnych mieszankach mineralno-asfaltowych

**Table 11.** The amounts dispensed asphalt, asphalt from RAP and asphalt content into each asphalt mixtures

Ilość granulatu asfaltowego [%]	Ilość asfaltu dozowanego [%]	Ilość asfaltu zawartego w granulacie asfaltowym [%]	Zawartość całkowita asfaltu w mieszance mineralno-asfaltowej [%]
AC 22P 50/70 KR1-KR2			
0	4,3	0,0	4,3
10	3,8	0,5	4,3
15	3,5	0,8	4,3
20	3,3	1,0	4,3
AC 22 P 35/50 KR3-KR4 i KR5-KR6			
0	4,1	0,0	4,1
10	3,6	0,5	4,1
15	3,3	0,8	4,1
20	3,1	1,0	4,1

Podane wartości wskazują, że 10% dodatek granulatu asfaltowego pozwala zaoszczędzić od 12% do 16% asfaltu dozowanego do mieszanki mineralno-asfaltowej. Natomiast przy dodatku 15% obniżenie asfaltu wynosi od 17 do 22%, a w przypadku 20% – od 21% do 26%. Oznacza to, że producent mieszanek mineralno-asfaltowych „na gorąco”, dozując 20% granulatu asfaltowego do betonu asfaltowego AC 22 P, jest w stanie z 1 tony zakupionego asfaltu 50/70 lub 35/50 wyprodukować o  $\frac{1}{4}$  więcej mieszanki mineralno-asfaltowej w odniesieniu do mieszanki bez dodatku destruktu asfaltowego. Przy tym, zużycie kruszyw naturalnych (kruszyw drobnych, grubych i wypełniacza) zmniejszy się o około 20%.

## 5. Wnioski

Wykorzystanie granulatu asfaltowego do mieszanek mineralno-asfaltowych „na gorąco” wpisuje się w zadania realizowane w ramach polityki zrównoważonego rozwoju. Doświadczenia innych krajów dowiodły, że produkcja mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco z dodatkiem granulatu asfaltowego jest rozwiązaniem, które pozwala uzyskać korzyści ekonomiczne zarówno dla wykonawców, inwestorów oraz użytkowników dróg. Natomiast niewymierną korzyścią z jego wbudowania do nawierzchni drogowych jest ochrona naturalnych, nieodnawialnych złoża surowców do produkcji materiałów drogowych jakim są lepiszcza asfaltowe i kruszywa naturalne.

Na podstawie przeprowadzanych badań i analiz sformułowano następujące wnioski:

1. Granulat po odpowiednim przetworzeniu destruktu asfaltowego jest pełnowartościowym materiałem, który może być wykorzystywany do produkcji mieszanek mineralno-asfaltowych wbudowywanych w konstrukcje nowych nawierzchni.
2. Na podstawie dokonanej oceny jednorodności granulatu asfaltowego 22,4 RA 0/16 składowanego w Hryniewiczach stwierdzono, że może on być stosowany do mieszanek mineralno-asfaltowych do warstwy podbudowy dróg obciążonych ruchem samochodowym kategorii od KR1 do KR6.
3. Mieszanki mineralno-asfaltowe typu beton asfaltowy AC 22 P 50/70 do podbudowy nawierzchni drogowych obciążonych ruchem KR1-KR2 z dodatkiem 10%, 15% i 20% granulatu asfaltowego spełniają stawiane wymagania określone w WT-2:2010 wobec parametrów objętościowych oraz odporności na działanie wody.

4. Mieszanki mineralno-asfaltowe typu beton asfaltowy AC 22 P 35/50 do podbudowy nawierzchni drogowych obciążonych ruchem KR3-KR4 i KR5-KR6 z dodatkiem 10%, 15% i 20% granulatu asfaltowego spełniają stawiane wymagania określone w *WT-2:2010* wobec odporności na działanie wody i na koleinowanie.
5. Zarówno betony asfaltowe z dodatkiem jak i bez dodatku granulatu spełniają wymagania określone w *WT-2:2010*. Oznacza to, że dodatek granulatu asfaltowego nie wpływa negatywnie na właściwości mieszanek mineralno-asfaltowych.
6. Dodatek 10% granulatu asfaltowego prowadzi do zmniejszenia ilości asfaltu dozowanego do mieszanki mineralno-asfaltowej od 12% do 16%, a przy 20% dodatku oszczędności te wynoszą od 21 do 26%. Zmniejszy się przy tym o około 20% zużycie kruszyw stosowanych do produkcji mieszanek mineralno-asfaltowych do nowych nawierzchni.

## Literatura

1. **Ma B., Wang H., Wei D.:** *Performance of RAP in the system of cold inplace recycling of asphalt pavement.* Journal of Wuhan University of Technology-Mater. Sci. Ed. 26, 1211–1214 (2011).
2. **Buraczewska-Sadowska B.:** *Betony z użyciem kruszywa recyklingowego wysokiej wytrzymałości – dziedzina zrównoważonego rozwoju.* Rocznik Ochrona Środowiska (Annual Set the Environment Protection). 15, 2175–2184 (2013).
3. **Judycki J., Dołycki B., Hunik K., Stienss M.:** *Weryfikacja zasad projektowania mieszanek mineralno-cementowo-emulsyjnych.* Opracowanie na potrzeby GDDKiA. Politechnika Gdańska 2006.
4. **Koźlarek P.:** *Granulat asfaltowy jako pełnowartościowy składnik mieszanek mineralno-asfaltowych.* Budownictwo i Architektura. 13(4), 145–152 (2013).
5. **Łapko A., Grygo R.:** *Effectiveness of the use of recycling aggregate concrete for sustainable building structures.* Rocznik Ochrona Środowiska (Annual Set the Environment Protection). 16, 627–638 (2014).
6. **Mangiafico S., Benedetto H. Di, Sauzéat C., Olard F., Pouget S., Dupriet S., Planque L., Van Rooijen R. :** *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.:** *Granulat asfaltowy – czy jesteśmy przygotowani?* Nawierzchnie asfaltowe. 2, 16–19 (2014).
8. **Tabaković A., Gibney A., McNally C., Gilchrist M.G.:** *Influence of Recycled Asphalt Pavement on Fatigue Performance of Asphalt Concrete Base Courses.* Journal of Materials in Civil Engineering. 22(6), 643–650 (2010).
9. **West R.C.:** *Reclaimed asphalt pavement management – best practices.* National center for asphalt technology, Auburn University 2010.
10. *Increased use of recycled Asphalt pavement technology.* Aggregates Business Europe 11/12 (2011).
11. *Recommended use of Reclaimed Asphalt Pavement in the Superpave Mix design method: Technical's Manual.* NCHRP Report 452. Transportation Research Board, National Research Council, Washington D.C. 2001.
12. Załącznik do zarządzenia nr 102 Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad z dnia 19 listopada 2010r.: *Nawierzchnie asfaltowe na drogach krajowych. Wymagania techniczne WT-2:2010.*
13. Załącznik do zarządzenia nr 102 Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad z dnia 19 listopada 2010r.: *Kruszywa do mieszanek mineralno-asfaltowych i powierzchniowych utrwaleń na drogach krajowych. Wymagania techniczne WT-1:2010.*

## **Use of Reclaimed Asphalt Pavement to Asphalt Concrete Base Course**

### **Abstract**

Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) is an asphalt pavement material which is acquired from removed or reconstructed asphalt roadways. When properly crushed and screened, RAP consists of high-quality, well-graded aggregates coated by asphalt cement. A study done showed that the use of RAP in asphalt mixture, guarantees the required pavement durability with reduced cost of asphalt mixtures production. European product standards and Polish technical guidelines contain all relevant regulations and requirements regarding hot asphalt mixtures. There are two main methods to introduce the RAP into asphalt mixtures at the asphalt mixing plant: cold and hot method. The most popular method in Poland is the cold method, where the cold RAP is added directly to the mixer. In many European countries maximum amount of RAP is 30% in cold method. Polish technical guidelines WT- 2:2010 reduce also the maximum amount of RAP in HMA without taking into consideration the technical capabilities of asphalt mixing plants. It may be used only a maximum of 15% to asphalt mixture according to the WT-2:2010 .



The paper presents the research results of asphalt mixtures with 10%, 15% and 20% addition of RAP stored on the square of the asphalt plant near Białystok. In the first stage of the study the amount of foreign impurities in the RAP, granulation of aggregates and asphalt content was performed. It was found that, despite the large heterogeneity tested RAP meets the standard requirements. Positive results have enabled the design of the initial composition of asphalt mixtures to base course, namely Asphalt Concrete (AC) for different categories of road traffic. AC prepared with 10%, 15% and 20% addition of the RAP and without the addition of RAP were tested on water resistance, rutting, fatigue life and stiffness modulus. The research results showed that RAP is a valuable material that can be used for the production of asphalt concrete designed for the base course for all categories of road traffic. It was found that the addition of RAP can reduce the amount of asphalt in asphalt mix up to 26% and the consumption of natural aggregate by approximately 20%. It should be noted the influence of RAP on the performance and the durability of the asphalt mixtures as compared to virgin asphalt mixtures (without RAP).

**Słowa kluczowe:**

Granulat asfaltowy, nawierzchnia drogowa, podbudowa,

**Keywords:**

Reclaimed Asphalt Pavement, Road Pavement, Base Course.