



Paweł Staboński, Instytut Badań Inżynierskich – Labor Aquila, Beata Stankiewicz Politechnika Opolska

# Recykling nawierzchni asfaltowych w świetle badań nad zwiększeniem udziału granulatu w MMA

W artykule poruszono zagadnienie dotyczące zwiększenia udziału odpowiednio dobranego granulatu pochodzącego z recyklingu do wytwarzania mieszanek mineralno-asfaltowych. Przykłady takiego rozwiązania omówiono na podstawie próbnego odcinka drogi o nawierzchni z betonu asfaltowego na bazie granulatu.

**N**a podstawie udokumentowanych badań, zrealizowanych przez ośrodki naukowe w kraju i za granicą, destrukta pozyskiwany z nawierzchni istniejących dróg klasy A, S, GP jest pełnowartościowym składnikiem mieszanek mineralno-asfaltowych. Udowodniono, że udział granulatu w MMA nie powodował obniżenia parametrów funkcjonalnych mieszanki. Na przykład mieszanka SMA z 30% z zawartością granulatu to mieszanka niczym nieodlegająca od mieszanek SMA bez udziału granulatu pochodzącego z recyklingu. Wykorzystywany w mieszance de-

summary

## Recycling of asphalt surfaces in view of research on increasing the proportion of granules in MMA

The article discusses the issue of increasing the proportion of properly selected granules from recycling for the production of asphalt mixtures. The examples of such a solution are discussed on the basis of a test section of a road with the asphalt concrete surface based on granulate.

### Keywords:

recycling, granules, asphalt surfaces



Fot. 1. Wytwórnia MMA z podwójnym bębnem o technologicznych dużych możliwościach wykorzystywania destruktu [7]



Fot. 2. Granulat asfaltowy o odpowiednio dobranych frakcjach 0/16 i 0/8

strukt jest materiałem składającym się z kruszywa i asfaltu, uzyskanym z nawierzchni drogi. Po segregacji i rozdrobieniu staje się granulatem, który jest pełnowartościowym składnikiem mieszanki mineralno-asfaltowej stosowanej na nowych i remontowanych drogach. Granulat zastępuje w znacznej części nowe materiały w MMA – kruszywo i asfalt. W okolicznościach niedostatku materiałów: kruszyw, asfaltu, cementu oraz na przykład spiętrzenia dostaw w końcu sezonu roboczego zastosowanie destruktu, pochodzącego z recyklingu nawierzchni asfaltowej jest jak najbardziej pożądanym i cennym sposobem zwiększenia efektywności prowadzonych inwestycji drogowych [2, 3].

Współcześnie docenia się bezsprzecznie aspekty zrównoważonego rozwoju i współdziałającej ochrony środowiska i jeśli można zagwarantować efektywny recykling wykonanych wcześniej, a zniszczonych w wyniku eksploatacji nawierzchni asfaltowych, to uzyskuje się pewność kompleksowego myślenia o realizacji budowlanej, od jej początku do końca, zgodnie z zasadą odzyskiwania i powtórnego wykorzystania materiałów budowlanych.

Obecnie stosowane są w Polsce dwie metody dodawania granulatu asfaltowego do mieszalnika otaczarki bez wstępnego ogrzewania „metoda na zimno” oraz ze wstępnym ogrzewaniem granulatu asfaltowego zgodnie z bardziej efektywną „metodą na ciepło”.

W „metodzie na zimno” występuje dodatek granulatu asfaltowego w ilości około 15% mieszanki mineralno-asfaltowej. W „metodzie na ciepło” dopuszcza się stosowanie dodatku granulatu asfaltowego w ilości do 30% mieszanki mineralno-asfaltowej. Wymiar średnicy kruszywa zawartego w granulacie asfaltowym nie może być większy od wymiaru średnicy kruszywa mieszanki mineralnej wchodzącej w skład mieszanki mineralno-asfaltowej. Maksymalny dodatek granulatu asfaltowego należy obliczyć na podstawie możliwości mechanicznego dozowania, jakim dysponuje dana wytwórnia mieszanki mineralno-asfaltowej, z uwzględnieniem metody dodawania na zimno lub na ciepło. Dopuszczalna zawartość dodawanego granulatu asfaltowego wynika z jego jednorodności i możliwości maszynowego dodawania oraz przeznaczenia.

Dotychczas największy kontrakt drogowy w Polsce, na którym zastosowano recykling na gorąco to remont nawierzchni autostrady A4 na odcinku Kraków – Katowice. W latach 1995-1997 wymieniono warstwy nawierzchni na odcinku o długości ok. 40 km. Na kontrakcie tym wykorzystano prawie 100 tys. ton destruktu asfaltowego z frezowania warstw ścieralnej i wiążącej oraz wyprodukowano około 285 tys. ton betonu asfaltowego przeznaczony do warstw podbudowy i wiążącej. Uzyskany destruk

Lp.	Właściwości	Jednostki	Wymagania	Metody badań wg
1	2	3	4	5
1	Kolor	–	jasnożółty	–
2	Konsystencja	–	plynna	–
3	Temperatura zapłonu	°C	> 210	PN EN ISO 2592:2008
4	Gęstość w temperaturze 15°C	g/cm3	0,918-0,925	PN-EN ISO 12185:2002
5	Liczba kwasowa	mg/g KOH	85,5	PN-C-04049:1988
6	Całkowita liczba zasadowa	mg/g KOH	< 2,5	PN-ISO 3771:2001
7	Temperatura płynięcia	°C	-6	PN-EN ISO 3016:2005

Tab. 1. Podstawowe właściwości ASFIX ALFA

asfaltowy poddano badaniom ekstrakcji, które wykazały, że w procesie frezowania kruszywo grube ulega rozdrobieniu, a ilość frakcji wypełniaczowych zwiększa się prawie dwukrotnie. Widoczna zmiana w uziarnieniu materiałów pozyskanych metodą frezowania nawierzchni drogowych uniemożliwiła wprowadzenie destruktu w ilości większej niż 35% do nowo projektowanych mieszanek. Ostatecznie w procesie projektowania zdecydowano o zastosowaniu dodatku 25% destruktu z warstwy wiążącej oraz dodatku 10% destruktu z warstwy ścieralnej do mieszanek na warstwę podbudowy. Na podstawie tych doświadczeń można stwierdzić, że sposób frezowania oraz uziarnienie mieszanki mineralnej destruktu asfaltowego są czynnikami determinującymi przydatność danego destruktu do nowych mieszanek mineralno-asfaltowych i jego maksymalny możliwy udział w nowej mieszance. Końcowym etapem przygotowania destruktu do ponownego użycia równie ważnym, co sposób jego pozyskania, są procesy kruszenia z przesianiem, tj. granulacji, zazwyczaj na dwie frakcje lub więcej frakcji 0/8 i 8/16 czy też 0/16 [1] (fot. 2).

Generalnie, obowiązujące w Polsce wymagania i zalecenia nie uwzględniają precyzyjnie specyfiki dodawania granulatu „metoda na gorąco”. Konieczna jest nowelizacja krajowych wymagań technicznych uwzględniających zwiększony udział GRA w MMA. Należy ustalić zasady określania ważności badania typu dla mieszanek zawierających w składzie granulaty asfaltowe.

Korzyść ekonomiczna z tytułu produkcji mieszanek mineralno-asfaltowych z granulem na gorąco przy obecnym



Fot. 3. Test jednego z odcinków drogowych o nawierzchni z betonu asfaltowego na bazie granulatu: a) widok odcinka „szutrowego”, destruktu asfaltowy po zawładowaniu na zimno, b) przetworzony granulat asfaltowy z tej samej partii destruktu co na odcinku „szutrowym”, w metodzie na ciepło w temperaturze 1200°C

ograniczeniu do 30% jest porównywalna ze zwiększonymi kosztami produkcji w tej technologii (nakłady inwestycyjne związane z zakupem urządzeń). Można przypuszczać, że technologia ta będzie więc stosowana w firmach, które już posiadają odpowiednie wyposażenie lub w związku z zewnętrznymi wymogami ekologicznymi. Niemniej jednak w najbliższym dziesięcioleciu przewiduje się rozwój technologii recyklingu nawierzchni asfaltowych w Polsce.

Ekonomicznie i logistycznie uzasadnione jest zagwarantowanie możliwości wytwarzania MMA z maksymal-

$\rho_{bssd}$ gęstość objętościowa próbki [Mg/m <sup>3</sup> ]	$\rho_{mv}$ gęstość mieszanki określona metodą objętościową [Mg/m <sup>3</sup> ]	zawartość wolnej przestrzeni Vm % [v/v]	Wskaźnik zagęszczenia [%]	Zawartość "Asfix Alfa" W stosunku do zawartości asfaltu w granulacie [%]	Wymagania WT2/2016 cz. II Wykonanie warstw nawierzchni asfaltowych. Wymagania techniczne. Zał. nr 7 Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad z dnia 09.05.2017 warstwa ścieralna AC 11 S KR 1-2
2,311	2,563	9,8	99,7	0	zawartość wolnych przestrzeni 1,0-4,5% [v/v] wskaźnik zagęszczenia $\geq 98$ [%]
2,474	2,536	2,4	100	0,7	
2,480	2,521	1,6	99,8	1	
2,492	2,517	1,0	99,8	1,3	

Tab. 2 Wyniki badań laboratoryjnych średnich wyników dla 4 serii 6 próbek  $\varnothing$  100 mm wyciętych z nawierzchni testowej, badania wykonane w Laboratorium Akredytowanym Instytutu Badań Inżynierskich Labor Aquila

Sita [mm]	Przesiew [%]	Krzywe graniczne AC 11 S KR1-2 WT2/2014 tablica 16	Odchyłki wyniki	Odchyłki dopuszczalne zgodnie z PN-EN 13108-21:2008
16	100	<b>100</b>		
11,2	92	90-100	+2	/-8, +5/
8,0	82	<b>70-90</b>		
5,6	72	-	+2	$\pm 7$
4,0	63	-		
2,0	50	30-55	-5	$\pm 6$
1,0	39	-		
0,5	30	-		
0,25	21	-		
0,125	15	8-20	+1	$\pm 4$
0,063	11,7	5-12	+0,3	$\pm 2$

Tab. 3 Wyniki badania laboratoryjnego składu mieszanki mineralno-asfaltowej 100-proc. granulatu – średnia z 4 serii pobranych z nawierzchni testowej, badania wykonane w Laboratorium Akredytowanym Instytutu Badań Inżynierskich Labor Aquila

nie dużym udziałem procentowym pozyskanego ze starej nawierzchni destruktu asfaltowego oraz zbadanie czynników umożliwiających ten pożądany efekt. Nowoczesne wytwórnie są w stanie technologicznie zagwarantować wytworzenie MMA z udziałem 50% odpowiednio dobranego granulatu, pochodzącego z recyklingu (fot. 1), ale również z większym procentowym jego udziałem, gdy zapewni się dodatkowo zwiększenie wzajemnej adhezji składników MMA w metodzie na ciepło.

W innowacyjnym, wspomagającym procesie produkcyjnym dozowane kruszywo wyjściowe oraz granulatu asfaltowy w ilości do 40-50% poddawane są, w specjalnie skonstruowanej suszarce, oddziaływaniu stopniowo wzrastającej wysokiej temperatury (90°C-160°C). Powolny wzrost temperatury granulatu asfaltowego powoduje, że nie występuje ewentualny szok termiczny, a emisja węglowodorów z lepiszcza zawartego w granulacie asfaltowym jest ograniczona. Dodatkową zaletą budowy odpowiednio przystosowanej suszarki jest pełna kontrola maksymalnej temperatury kruszywa i granulatu asfaltowego (160°C), co eliminuje możliwość tzw. przepalenia destruktu asfaltowego. Specjalna konstrukcja bębna suszarki z zastosowaniem centralnie zlokalizowanego dodatkowego bębna wewnętrznego zwiększa sprawność techniczną urządzenia i gwarantuje ochronę przed nadmiernym przegrzaniem granulatu asfaltowego [8].

### Próbnny odcinek drogi o nawierzchni z betonu asfaltowego na bazie granulatu

Nawierzchnię z betonu asfaltowego na próbnym odcinkach drogowych [5, 6], o długości od 50 do 150 m zrealizowano w technologii remixingu, tj. 100% materiałów recyklowanych w postaci mieszanki granulatu asfaltowego odpowiednio dobranych frakcji 0/16 i 0/8 (fot. 2), wraz z dodatkiem środka adhezyjno-rewitalizującego <sup>®</sup>ASFIX ALFA. Próbną drogową nawierzchnia testowa powstała w województwie śląskim i jest widoczna na fot. 3. Na etapie produkcyjnym granulatu podgrzano do temperatury 120°C-140°C w zespole wytwórni mas bitumicznych z podwójnym bębniem z tym, że jeden z bębniów, tj. dolny, mógł być zasilany kruszywem i granulatem, drugi górny był przeznaczony tylko na granulatu asfaltowy. Do produkcji mieszanek recyklingowych ze 100-proc. udziałem granulatu dodano środek <sup>®</sup>ASFIX ALFA.

Środek adhezyjny <sup>®</sup>ASFIX ALFA może być stosowany jako dodatek do asfaltów drogowych w mieszankach mineralno-asfaltowych, np. SMA, asfalt porowaty, beton asfaltowy itd. Środek ten dodawany jest bezpośrednio w procesie produkcji mieszanek mineralno-asfaltowych. Łatwo miesza się z asfaltem, jego temperatura zapłonu wynosi powyżej 210°C, natomiast lepkość w temperaturze 30°C przyjmuje wartość około 31 mPas, podstawowe jego właściwości umieszczono w tab. 1 [4]. <sup>®</sup>ASFIX ALFA ma konsystencję cieczy, barwę jasnożółtą, podstawowymi składnikami czynnym są w nim naturalne składniki. Prze-

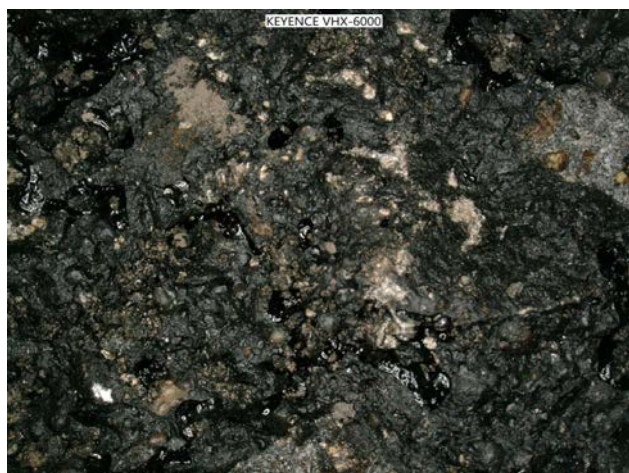


Fot. 4. Mikroskopowy obraz granulatu dwóch frakcji, użytego w mieszance

znaczenie opisywanego środka adhezyjnego to wszystkie rodzaje mieszanek mineralno-asfaltowych rozkładanych na gorąco, produkowanych z użyciem asfaltów drogowych zwykłych i modyfikowanych elastomerami termoplastycznymi. Może być on również stosowany jako komponent do mieszanek mineralno-asfaltowych z użyciem granulatu asfaltowego (destruktu) pochodzącego z recyklingu nawierzchni asfaltowych powodując odświeżenie recyklowanego asfaltu zawartego w granulacie uzupełniając zestarzałą frakcję olejową w asfalcie. Zastosowanie środka <sup>®</sup>ASFIX ALFA ma na celu znaczną poprawę jakości adhezji asfaltu do kruszywa o zróżnicowanym stopniu zapylenia wraz z ujednoczeniem i znaczną poprawą urabialności. Środek ten poprawia właściwości adhezyjne w przypadku wytwarzania mieszanek asfaltowych na bazie granulatu, kreując możliwości zwiększenia zawartości destruktu w MMA. Dodatek ten ujednocza partie granulatu o zbliżonych parametrach pozwalając na pełną kontrolę zawartości wolnych przestrzeni, optymalizację składu i znaczącą poprawę właściwości odporności na działanie wody i mrozu mieszankach mineralno-asfaltowych w tym przede wszystkim tych z dodatkiem granulatu asfaltowego.

W działaniach laboratoryjnych wykonano badania składu MMA wbudowanej w warstwę ścieralną oraz porównano otrzymane wyniki do parametrów dla betonu asfaltowego AC 11S zawartych w WT 2/2014. Wcześniej granulatu dwóch frakcji 0/16 i 0/8 obserwowano testowo pod mikroskopem KEYENCE VHX 6000 (fot. 4). Powierzchnię zewnętrzną gotowej próbki MMA również analizowano pod mikroskopem (fot. 5).

Na bazie odpowiednio przygotowanego (granulowanego) materiału wykonano recepty laboratoryjne w laboratorium akredytowanym Instytutu Badań Inżynierskich Labor Aquila, odpowiednio z zawartością <sup>®</sup>Asfix Alfa w stosunku do zawartości asfaltu w mieszankach: 0,7%; 1,0%; 1,3% oraz bez zawartości <sup>®</sup>Asfix Alfa. Skład recepturowy został zaimplementowany do skali przemysłowej gdzie na wytwórni z podwójnym bębniem wykonano gotową mieszankę ze 100-proc. udziałem granulatu 0/8 i 8/16, po czym wykonano odcinki próbne. Z wykonanej nawierzchni odcinków próbnych wycięto próbki do badań



Fot. 5. Powierzchnia nawierzchni na bazie granulatu w ujęciu mikroskopowym bez <sup>®</sup>Asfix Alfa



Fot. 6. Powierzchnia nawierzchni na bazie granulatu w ujęciu mikroskopowym z <sup>®</sup>Asfix Alfa

i określono dla nich zawartość lepiszcza oraz wypełniacza. Uprzednio oznaczono uziarnienie po wykonanej ekstrakcji. Dla pobranych z nawierzchni (z warstwy ścieralnej) próbek wyznaczono zawartość wolnej przestrzeni i wskaźnik zagęszczenia. Otrzymane wyniki świadczą o tym, że na drogowych odcinkach testowych występuje warstwa ścieralna nawierzchni na bazie granulatu, odpowiadająca parametrami betonowi asfaltowemu AC 11 S dla dróg KR 1-2. Zawartość lepiszcza rozpuszczalnego określono na poziomie 4,7% przy wartości  $B_{\min}$  5,4% (WT2/2014), skład ziarnowy mieścił się w punktach granicznych oraz zgodnie z dopuszczalnymi odchyłkami, tab. 3. W tab. 2 umieszczono najistotniejsze, uśrednione wyniki badań laboratoryjnych dla serii próbek o średnicy  $\varnothing$  100 mm, pobranych przez wycięcie z testowych nawierzchni.

## Podsumowanie

Stare, wyeksploatowane nawierzchnie asfaltowe sfrezowane i poddane recyklingowi to niewątpliwie nowoczesny standard zrównoważonego rozwoju w budownictwie drogowym. Największy wskaźnik tzw. odzysku materiałów pierwotnie wbudowanych w nawierzchnie asfaltowe występuje w warunkach amerykańskich, gdzie poddawanych jest recyklingowi około 80% usuwanych, frezowanych nawierzchni asfaltowych. Efektywne wytworzenie MMA związane jest z użyciem odpowiednio przygotowanego granulatu, zastosowaniem kompatybilnego dla całości środka odświeżającego oraz zagwarantowaniem systemu technologicznego otoczek, przeznaczonych do recyklingu. Zastosowany w badanych odcinkach nawierzchni ekologiczny środek <sup>®</sup>ASFIX ALFA stworzony i wdrażany przez Instytut Badań Inżynierskich Labor Aquila Sp. z o.o. umożliwił wytworzenie MMA opartej w 100% na granulacie asfaltowym i był czynnikiem, komponentem odświeżającym oraz wzbogacającym. Uzyskane wyniki badań laboratoryjnych świadczą o tym, że na drogowych odcinkach testowych otrzymano warstwę ścieralną nawierzchni na bazie granulatu, odpowiadającą parametrami

betonowi asfaltowemu AC 11 S dla ruchu KR 1-2 niczym nie ustępującą tradycyjnym nawierzchniom. Możliwości technologiczne dwubębnowych wytwórni MMA w deterministycznym stopniu pomagają w procesach recyklingowych efektywnego odzysku materiałów. Ważnym elementem toku produkcyjnego są też innowacyjne suszarki działające w technologii wytwórni z jedną suszarką. Dzięki opisywanej technologii zrównoważony rozwój w budownictwie drogowym ma realne szanse zaistnienia w oczekiwanym finansowym i ekologicznym wymiarze, gdyż m.in. została obniżona temperatura produkcji do 120°C. Jednakże technologie recyklingowe wykorzystywane w innych krajach nie mogą być w sposób bezpośredni implementowane do zastosowań w naszych drogach. Należy je dostosować do polskich warunków klimatycznych oraz specyficznych własności materiałów występujących w Polsce bezustannie czuwając nad całym procesem technologicznym, jak i laboratoryjnie. Ponadto należy doprecyzować wymagania techniczne i prawne możliwości stosowania granulatu z frezowanych nawierzchni, a przede wszystkim ustalić jednolite i czytelne procedury odbioru nawierzchni z udziałem materiałów recyklowanych. Nie bójmy się granulatu.  $\square$

## Piśmiennictwo

1. Jabłoński K., Rybczyński M., Szrajber W.: *Polskie doświadczenia w zakresie recyklingu nawierzchni asfaltowych na gorąco w wytwórniach*. „Drogownictwo”, nr 2/2003, s. 35-39.
2. Kalabińska M., Piłat J., Radziszewski P.: *Technologia materiałów i nawierzchni drogowych*. Warszawa 2003.
3. Piłat J., Radziszewski P.: *Nawierzchnie asfaltowe*. Warszawa 2004.
4. Słaboński P., Stankiewicz B.: *Skuteczne zwiększenie adhezji asfaltu do kruszywa przez zastosowanie ASFIX ALEA*. „Magazyn Autostrady”, nr 6/2016, s. 97-100.
5. GDDKiA-IBDiM: *Katalog wzmocnień i remontów nawierzchni podatnych i półsztywnych*. Warszawa 2001.
6. PN-EN 13108-8: 2006 *Mieszanki mineralno-asfaltowe. Wymagania. Część 8: destrukta asfaltowy*.
7. Materiały źródłowe firmy AMMANN.
8. Materiały źródłowe firmy BERNARDI.
9. *Załącznik do zarządzenia Nr 7. Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad z dnia 09.05.2016. WT/2 2016 część II. Wykonanie warstw nawierzchni asfaltowych. Wymagania Techniczne*.