



Badania granulatu pochodzącego z recyklingu nawierzchni asfaltowych

W artykule przedstawiono światowe doświadczenia w recyklingu nawierzchni asfaltowych, które udowadniają, że recykling asfaltowy jest rozwijającym się, potrzebnym i nowoczesnym zagadnieniem badawczym. Mimo że wymaga wielu starań, to jest niezwykle potrzebny, by w przyszłości nie zabrakło zasobów naturalnych.

Według analiz na świecie recykling starych nawierzchni asfaltowych przynosi znaczące korzyści ekonomiczne, ponieważ spoiwo stanowi ponad 30% kosztów nowej nawierzchni, a w czasach, gdy ceny ropy rosną, również rośnie koszt spoiwa, szczególnie tego modyfikowanego polimerami.

Światowe doświadczenia z procesami recyklingu nawierzchni asfaltowych

Recykling mieszanek asfaltowych jest spotykany w technologiach światowych, pod wieloma nazwami. Wszystkie procesy recyklingu można podzielić na cztery możliwe kategorie: recykling na gorąco, recykling na zimno, recykling in situ i recykling wewnątrzzakładowy. Wynika z tego, że procesy recyklingu na miejscu i w zakładzie mogą być realizowane albo na gorąco, albo na zimno. Podstawowe rodzaje recyklingu nawierzchni asfaltowych wyróżnił już prof. J. Sherwood w 1995 roku. Według amerykańskiego Institute of Highways and Transport (IHT), w analizach w 1995 roku, efektywny w inwestycjach jest tzw. centralny recykling instalacyjny polegający na usunięciu zregenerowanego materiału bitumicznego do wytwórni przylegającej do realizacji drogowej i włączeniu go do nowej mieszanki, co pozwala zaoszczędzić na kosztach transportu, jakie powstałyby przy stałych, oddalonych znacznie wytwórniach. Główną zaletą centralnego recyklingu na gorąco w metodach in situ jest to, że można osiągnąć większy stopień kontroli jakości. Główną wadą jest czynnik występowania pewnego spiętrzenia, stłoczenia produkcyjnego, ale można to zminimalizować dzięki zastosowaniu tzw. systemu obciążenia wstecznego. Istnieją przy tym dwa główne typy urządzeń do mieszania używanych do produkcji miesz-

Research on granulate derived from the recycling of asphalt surfaces

The article presents global experience in the recycling of asphalt pavements, which prove that asphalt recycling is a developing, needed and modern research issue. Despite the fact that it requires a lot of effort, it is extremely necessary in order to ensure natural resources in the future.

Keywords:

granulate, recycling, asphalt, surfaces

Summary

nek bitumicznych: mieszalnie bębnowe i zakłady wsadowe.

Skład mieszanki bitumicznej ma zdecydowany wpływ na jej zachowanie w trakcie eksploatacji, dlatego kontrola jakości wytwarzania ma kluczowe znaczenie. Można to osiągnąć jedynie poprzez stosowanie zalecanych metod badawczych, reżimu właściwego pobierania próbek i przeprowadzania testów laboratoryjnych, które dają wiarygodne wyniki [1].

Te same materiały, z których zbudowano konstrukcje drogowe, można ponownie wykorzystać do ich naprawy, rekonstrukcji i konserwacji. Tam, gdzie jest to właściwe i możliwe, recykling kruszyw i innych materiałów budowlanych na autostradach ma sens ekonomiczny, środowiskowy i techniczny.

Istniejące materiały nawierzchni asfaltowych są zwykle usuwane podczas operacji wymiany nawierzchni, rehabilitacji lub odbudowy. Po usunięciu i przetworzeniu materiał nawierzchni staje się RAP (*Reclaimed asphalt pavement*), który zawiera cenne lepiszcze asfaltowe i kruszywo. Na początku lat 90. XX wieku FHWA i amerykańska Agencja Ochrony Środowiska oszacowały, że ponad 90 milionów ton asfaltowej nawierzchni zostało zregenerowane (tj. prze-

kształcone w materiał nadający się do użytku) każdego roku, a ponad 80 procent RAP poddano recyklingowi, czyniąc asfalt najczęściej używanym materiałem z recyklingu, w warunkach amerykańskich. RAP jest stosowany jako kruszywo i pierwotny asfaltowy środek wiążący w asfaltowej nawierzchni z recyklingu, ale jest również wykorzystywany jako granulowana baza lub podłoże, stabilizowane kruszywo bazowe w nasypie albo jako materiał wypełniający. Według zaleceń amerykańskich reprezentatywną próbkę RAP należy suszyć w piecu do stałej masy przed dozowaniem do próbek produkowanej mieszanki. Zawartość wilgoci w RAP może być początkowo określona, aby ułatwić dozowanie do projektowania mieszanki. Próbką użytą do określenia zawartości wilgoci nie powinna być używana do innych testów mieszania, ponieważ była już przegrzana. Wymagania testowe i częstotliwość testów różnią się w zależności od kategorii RAP oraz ilości RAP stosowanych w mieszaninie. RAP z wielu źródeł może podlegać bardziej rygorystycznym testom niż RAP z jednego źródła.

RAP to cenny materiał wysokiej jakości, który może zastąpić droższe kruszywa i lepiszcza. Najbardziej ekonomicznym zastosowaniem RAP są mieszanki asfaltowe. Wykorzystanie RAP jest przede wszystkim spowodowane kosztami materiałów pierwotnych i transportu. Wykorzystanie jest opcjonalne i zależy od wykonawcy, który proponuje jego wykorzystanie w oparciu o względy ekonomiczne, dostępność materiałów, lokalizację wytwórni i jej możliwości produkcyjne [2].

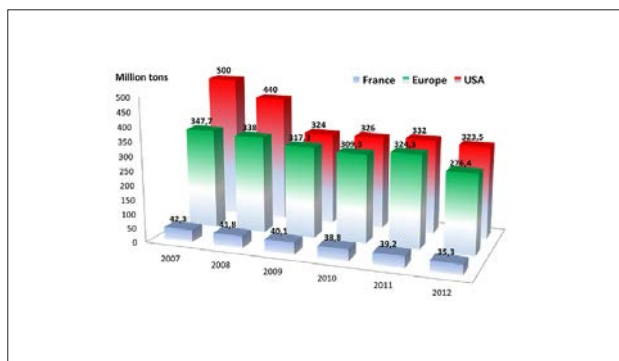


Fot. 1. Nowoczesna wytwórnia, wykorzystująca granulaty z recyklingu [11]

W trosce o oszczędność kosztów i zrównoważony rozwój w budownictwie drogowym, wykorzystanie RAP rośnie na całym świecie. Chociaż wciąż istnieją wyzwania technologiczne do pokonania związane np. z przewidywaniem wydajności produkcji mieszanki. Niewątpliwie stan wiedzy praktycznej ewoluował w ciągu ostatniej dekady na podstawie badań i chęci wprowadzania innowacji w branży drogowej. Najważniejszym krokiem jest przeprowadzenie niezbędnych badań w celu zidentyfikowania praktycznych testów laboratoryjnych do zastosowania w projektowaniu mieszanek i kontroli jakości, które zapewniają wyniki przy wydajności w terenie. Bez wdrożenia nowego stanu wiedzy i przezwyciężenia mentalności, „jak zwykle” w odniesieniu do projektowania mieszanek objętościowych, przemysł nie

Lp.	Cechy	Jednostka	Wynik	Numer normy	Wymagana kategoria	Jednorodność		
			badania		wg WT-2-2014	uzyskana w badaniu	wymagana w WT-2014	
							warstwa wiążąca	warstwa podbudowy
1.	Oznaczenie granulatu asfaltowego	U RA d/D	16GRA 0/16	PN-EN 13108-8:2016-07	nd			
2.	zawartość pyłów (< 0,063 mm)	%	9,8	PN-EN 933-1:2012	nd	5,0	6,0	10,0
3.	zawartość kr. drobnego (0,063-2,0 mm)	%	48			13,0	16,0	16,0
4.	Zawartość kr. grubego (> 2mm)	%	43			10,0	16,0	18,0
5.	Gęstość	Mg/m ³	2,499	PN-EN 12697-5:2010+AC:2012	nd	nd		
6.	Zawartość lepiszcza rozpuszczalnego	%	4,4	PN-EN 12697-1:2012	nd	0,5	1,0	1,2
7.	Temperatura mięknięcia lepiszcza odzyskanego	[°C]	55	PN-EN 1427:2015-08	S70	3,0	8,0	8,0
8.	Penetracja odzyskanego lepiszcza	[0,1mm]	51	PN-EN 1426:2015-08	P _{±5}	nd		
9.	Zawartość materiałów obcych	[(m/m)]	1/0,1	PN-EN 12697-42:2013-05	FM _{1/0,1}	nd		

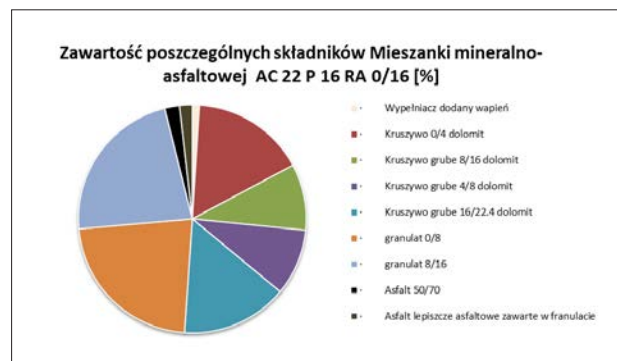
Tab. 1. Cechy granulatu 16GRA 0/16



Rys. 1. Światowa produkcja asfaltu w kolejnych latach [3]

będzie w stanie zrobić kolejnego kroku w kierunku tworzenia lepszych mieszanek asfaltowych o wysokiej wydajności z recyklingu. Wykorzystanie regenerowanej nawierzchni asfaltowej (RAP) w Stanach Zjednoczonych nadal rośnie, a stała się ona powszechna już w latach 80. Początkowo agencje drogowe obawiały się metodologii projektowania mieszanek i długoterminowych wyników, ale ostatnie badania poprawiły stan wiedzy w tym zakresie. Opracowano wytyczne związane z próbkowaniem, testowaniem i charakterystyką RAP, aby pomóc wykonawcom i działom transportu w projektowaniu mieszanek oraz kontroli jakości.

Modernizacja chińskich autostrad, o obniżonym standardzie technicznym i modernizacja dróg ekspresowych, które są głównymi zadaniami dla chińskiego przemysłu autostradowego, prowadzą do ogromnych potrzeb w za-



Rys. 2. Skład mieszanki mineralno-asfaltowej wytworzonej z udziałem 45-proc. granulatu

kresie recyklingu nawierzchni asfaltowych. Ministerstwo Transportu (MOT) w Chinach przyjęło specyfikacje, wytyczne dla recyklingu nawierzchni asfaltowych w 2008 r., w której dokonano oceny technologii, wymagań dotyczących materiałów, projektu mieszanki, produkcji i wykonawstwa konstrukcji z recyklingu oraz kontroli jakości. Jeśli chodzi o praktyki inżynieryjne, recykling na zimno jest obecnie bardziej popularny niż recykling na gorąco w Chinach kontynentalnych. W ciągu ostatnich 20 lat nastąpił gwałtowny wzrost budowy autostrad właśnie w Chinach kontynentalnych. Do końca 2012 r. całkowita długość chińskiej sieci autostrad osiągnęła 4,24 mln kilometrów, w tym 96,2 tys. kilometrów dróg ekspresowych, największej długości na świecie. W ciągu ostatnich 5 lat (2009-2014) otwarto rocznie 4 800 do 11 300 km nowych dróg

Lp.	Cechy	Jednostka	Wynik	Numer normy	Wymagana kategoria	Jednorodność		
			badania		wg WT-2 2014	uzyskana w badaniu	wymagana w WT2-2014	
						warstwa wiążąca	warstwa podbudowy	
1.	Oznaczenie granulatu asfaltowego	U RA d/D	16GRA 0/8	PN-EN 13108-8:2016-07	Nd			
2.	Zawartość pyłów (< 0,063 mm)	%	13,5	PN-EN 933-1:2012	Nd	3,5	6,0	10,0
3.	Zawartość kr. drobnego (0,063-2,0 mm)	%	21			12,0	16,0	16,0
4.	Zawartość kr. grubego (> 2mm)	%	66			10,0	16,0	18,0
5.	Gęstość	Mg/m ³	2,560	PN-EN 12697-5:2010+AC:2012	Nd	nd		
6.	Zawartość lepiszcza rozpuszczalnego	%	4,0	PN-EN 12697-1:2012	Nd	0,4	1,0	1,2
7.	Temperatura mięknięcia lepiszcza odzyskanego	[°C]	55	PN-EN 1427:2015-08	S ₇₀	4,0	8,0	8,0
8.	Penetracja odzyskanego lepiszcza	[0,1mm]	51	PN-EN 1426:2015-08	P ₁₅	nd		
9.	Zawartość materiałów obcych	[%(m/m)]	1/0,1	PN-EN 12697-42:2013-05	FM _{1/0,1}	nd		

Tab. 2. Wyniki badań granulatu 16GRA 0/8

ekspresowych, udostępnionych dla ruchu. Wraz z szybkim rozwojem sieci dróg ekspresowych, zapotrzebowanie na rehabilitację nawierzchni również szybko rośnie. Całkowita liczba projektów modernizacji nawierzchni na drogach ekspresowych szacowana jest na ponad 10 000 km rocznie, w których generowana jest ogromna ilość odzyskanej nawierzchni asfaltowej (RAP). Według danych opublikowanych przez MOT China, ilość RAP odzyskiwana z re-kultywacji arterii komunikacyjnych, z dróg ekspresowych, z autostrad pierwszej i drugiej klasy, szacowana jest na ponad 0,16 miliarda ton rocznie. Prowadzi to do pilnych i niezwykle docenianych potrzeb technologii recyklingu nawierzchni asfaltowych, które nie były zbyt popularne na początku wieku.

W Japonii beton asfaltowy był poddawany recyklingowi od lat 70. XX wieku, a obecny współczynnik recyklingu jest bliski 100%. Pierwsze standardy i analizy techniczne zostały opublikowane w 1984 r. i zaczęto stosować różne metody recyklingu, takie jak recykling w wytwórni, recykling z bazą na miejscu i recykling powierzchni na miejscu. Metody recyklingu nawierzchni asfaltowych są szeroko rozpowszechnione w Japonii. Jednakże zalecenia stosowania recyklingu, zgodnie z prawem i obowiązującymi procedurami istnieją w Japonii od roku 2000. Recykling jest uważany za ekologiczny, ponieważ może oszczędzać zasoby naturalne. Pod względem emisji CO₂ recykling na miejscu okazał się najbardziej ekologiczny.

Recykling to trend ogólnoświatowy, a Japonia osiągnęła bardzo wysoki współczynnik recyklingu.

Rys. 1 przedstawia ogólną produkcję HMA (asfaltu gorącej mieszanki) i WMA (asfaltu ciepłej mieszanki) we Francji w porównaniu z produkcją w Europie i Stanach Zjednoczonych, na podstawie oficjalnych danych dostępnych w 2013 r. całkowita produkcja asfaltu w Europie wynosiła 276,4 mln ton w 2012 r., nawierzchnie przetworzone, z recyklingu RAP w Europie stanowiły 49,6 mln ton w 2012 r. (Niemcy + Włochy + Francja + Holandia – 75% dostępnych RAP w Europie), co oznacza, że około 17,9% w całościowej produkcji stanowiła produkcja na bazie recyklingu. Kontekst francuski jest podobny: wytworzono 6,5 mln ton RAP, podczas gdy całkowita produkcja asfaltu wynosiła we Francji 35,3 mln ton ($6,5 / 35,3 = 18,4\%$) [3].

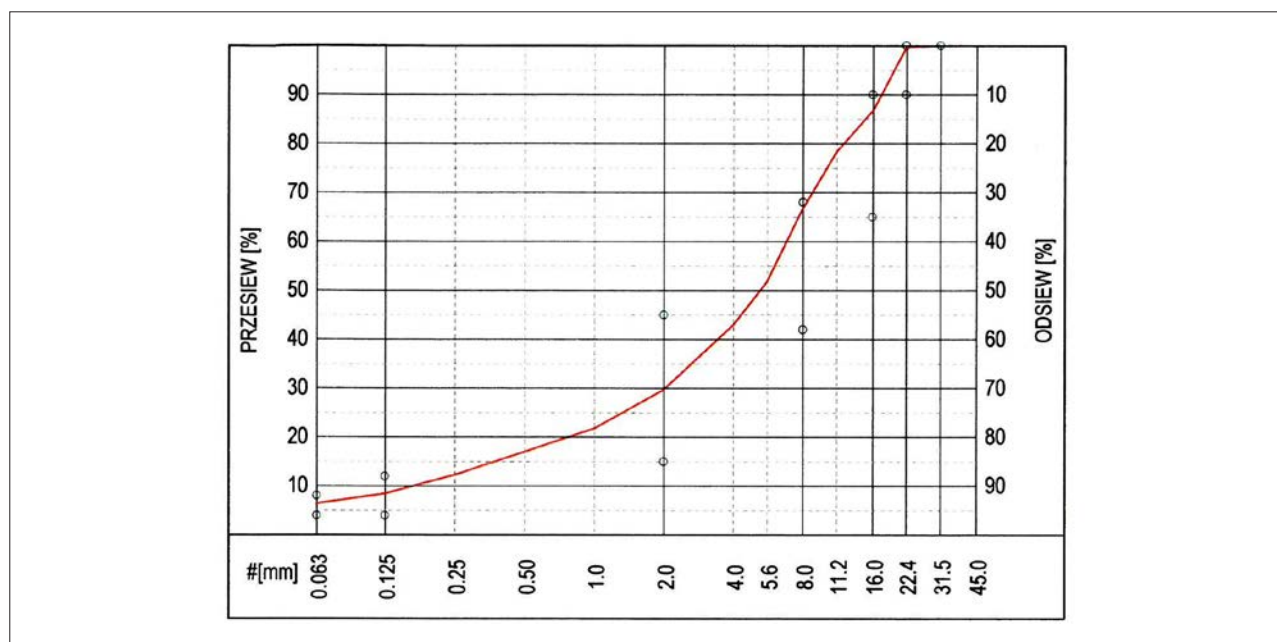
Polskie zalecenia, dotyczące MMA z udziałem granulatu z recyklingu opracowane przez GDDKiA

Jeżeli do wytwarzania (fot. 1) mieszanki mineralno-asfaltowej jest stosowany dodatek granulatu asfaltowego, to musi on spełniać wymagania według normy PN-EN 13108-8.

W sytuacji gdy w granulacie asfaltowym występują materiały obce, to ich obecność, zawartość i rodzaj powinny być udokumentowane i zadeklarowane do odpowiedniej kategorii. Zawartość materiałów obcych powinna być oznaczona zgodnie z PN-EN 12697-42.

Lp.	Cechy	jednostka	Wynik	Numer normy	Wymagana kategoria	Jednorodność		
			badania		wg WT-2 2014	uzyskana w badaniu	wymagana w WT2-2014	
							warstwa wiążąca	warstwa podbudowy
1.	Oznaczenie granulatu asfaltowego	U RA d/D	16GRA 0/8	PN-EN 13108-8:2008	nd			
2.	Zawartość pyłów (< 0,063 mm)	%	9,3	PN-EN 933-1:2012	Nd	3,0	6,0	10,0
3.	Zawartość kr. drobnego (0,063-2,0 mm)	%	33			5,0	16,0	16,0
4.	Zawartość kr. grubego (> 2mm)	%	57			7,0	16,0	18,0
5.	Gęstość	Mg/m ³	2,590	PN-EN 12697-5:2010+AC:2012	Nd	nd		
6.	Zawartość lepiszcza rozpuszczalnego	%	3,9	PN-EN 12697-1:2012	Nd	0,3	1,0	1,2
7.	Temperatura mięknięcia lepiszcza odzyskanego	[°C]	58	PN-EN 1427:2015-08	S ₇₀	3,0	8,0	8,0
8.	Penetracja odzyskanego lepiszcza	[0,1mm]	53	PN-EN 1426:2015-08	P ₁₅	nd		
9.	Zawartość materiałów obcych	[%(m/m)]	1/0,1	PN-EN 12697-42:2013-05	FM _{1/0,1}	nd		

Tab. 3. Wyniki badań cech granulatu 16GRA 0/8 (z granulatora Ammann)



Rys. 3. Wykres Krzywej uziarnienia dla AC 22 P RA 16 0/16 z udziałem 45-proc. granulatu (łącznie 0/8 i 8/16) wg punktów granicznych zgodnie z WT2/2014

Jednorodność granulatu asfaltowego jest oceniana na podstawie rozstępu procentowego udziału w granulacie: kruszywa grubego, drobnego oraz pyłów, zawartości lepiszcza oraz rozstępu wyników pomiarów temperatury mięknienia lepiszcza odzyskanego z granulatu asfaltowego.

W opisie granulatu asfaltowego należy deklorować typ mieszanki lub mieszanek, z której pochodzi granulatu. Należy zadeklarować także rodzaj kruszywa i temperaturę

mięknienia lepiszcza. Granulatu asfaltowy może być wykorzystywany do produkcji mieszanki mineralno-asfaltowej, jeżeli spełnione są wymagania dotyczące końcowego wyrobu – mieszanki mineralno-asfaltowej z jego dodatkiem. Wytwórnia mieszanek mineralno-asfaltowych powinna spełniać warunki kontrolowanego, mechanicznego dozowania granulatu asfaltowego podczas produkcji mieszanki mineralno-asfaltowej.

Lp.	Cechy	Jednostka	Wynik	Numer normy	Wymagana kategoria	Jednorodność		
			badania		wg WT-2 2014	uzyskana w badaniu	wymagana w WT2-2014	
							warstwa wiążąca	warstwa podbudowy
1.	Oznaczenie destruktu asfaltowego	U RA d/D	16GRA 8/16	PN-EN 13108-8:2008	Nd			
2.	Zawartość pyłów (<0,063 mm)	%	7,9	PN-EN 933-1:2012	Nd	2,5	6,0	10,0
3.	Zawartość kr. drobnego (0,063-2,0 mm)	%	26			3,0	16,0	16,0
4.	Zawartość kr. grubego (> 2mm)	%	66			6,0	16,0	18,0
5.	Gęstość	Mg/m ³	2,620	PN-EN 126975:2010+AC:2012	Nd	nd		
6.	Zawartość lepiszcza rozpuszczalnego	%	3,9	PN-EN 12697-1:2012	Nd	0,4	1,0	1,2
7.	Temperatura mięknienia lepiszcza odzyskanego	[°C]	55	PN-EN 1427:2015-08	S ₇₀	3,0	8,0	8,0
8.	Penetracja odzyskanego lepiszcza	[0,1mm]	50	PN-EN 1426:2015-08	P ₁₅	nd		
9.	Zawartość materiałów obcych	[(m/m)]	1/0,1	PN-EN 12697-42:2013	FM _{1/0,1}	nd		

Tab. 4. Wyniki badań cech granulatu 16GRA 8/16 (z granulatora Ammann)

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 ilość dodawanego granulatu asfaltowego wynika z jego jednorodności i możliwości maszynowego dodawania oraz przeznaczenia.

Typ lepiszcza powinien być udokumentowany i zadeklarowany. Deklaracja powinna wskazywać, czy głównym lepiszczem jest asfalt drogowy, asfalt modyfikowany lub asfalt drogowy twardy oraz czy granulatu asfaltowy zawiera dodatek modyfikujący.

Właściwości lepiszcza muszą być ściśle kontrolowane. Jeżeli jest to wymagane, musi być udokumentowana albo średnia penetracja lepiszcza lub średnia temperatura mięknięcia lepiszcza, lub jego lepkość, która została określona na pobranych próbkach i zadeklarowana albo w formie kategorii, albo jako wartość nominalna.

Pobieranie próbek powinno odbywać się zgodnie z EN 932-1 n próbek powinno być poddanych badaniom w celu określenia zgodności z wymaganiami podanymi w podrozdziale *Wyniki własnych badań granulatu z recyklingu*.

Jeżeli destruktu asfaltowy ma zostać użyty w ilości mniejszej niż 10% jako dodatek do mieszanki mineralno-asfaltowej w warstwie ścieralnej lub w ilości mniejszej niż 20% w podbudowie i warstwie wiążącej, dopuszcza się częstość badania 1 raz na próbce losowej pobranej na każde 2000 ton granulatu mieszanki mineralno-asfaltowej.

W trakcie składowania materiału na hałdzie należy przeprowadzać badania wymagane do dokumentowania i deklarowania właściwości granulatu asfaltowego.

Dokument dostawy powinien zawierać co najmniej następujące informacje odnośnie identyfikacji granulatu asfaltowego: nazwę dostawcy, oznaczenie, datę i termin dostawy. Dokumenty towarzyszące dostawie powinny umożliwić zidentyfikowanie zadeklarowanych właściwości dostarczonego granulatu asfaltowego [4].

Generalne zalety stosowania recyklingu w specjalnych wytwórniach z dodatkowym bębniem:

- możliwość komponowania mieszanki wynikowej z różnych granulatów o odpowiednich cechach lepiszcza,
- możliwość stosowania destruktu z dróg wyższych klas na drogach klas niższych,
- uśrednienie destruktu na hałdzie,
- stosunkowo duża jednorodność mieszanki wynikowej dzięki wagowemu dozowaniu granulatu do mieszalnika,
- możliwość suszenia destruktu,
- możliwość przeprowadzenia remontu warstw niżej leżących po wykonaniu frezowania [5-12],
- oszczędność energii i kosztów związanych ze stosowaniem materiałów miejscowych,

- redukcja gazów cieplarnianych,
- ograniczenie zużycia nieodnawialnych naturalnych zasobów środowiska.

Wyniki własnych badań granulatu z recyklingu

Wymagania wobec MMA z granulatem asfaltowym są kompatybilne, jak wobec mieszanek bez dodatku materiału z recyklingu. Materiał pozyskany z frezowania nawierzchni, po przetworzeniu na granulatu asfaltowy, wymaga przebadania i oceny jego jednorodności.

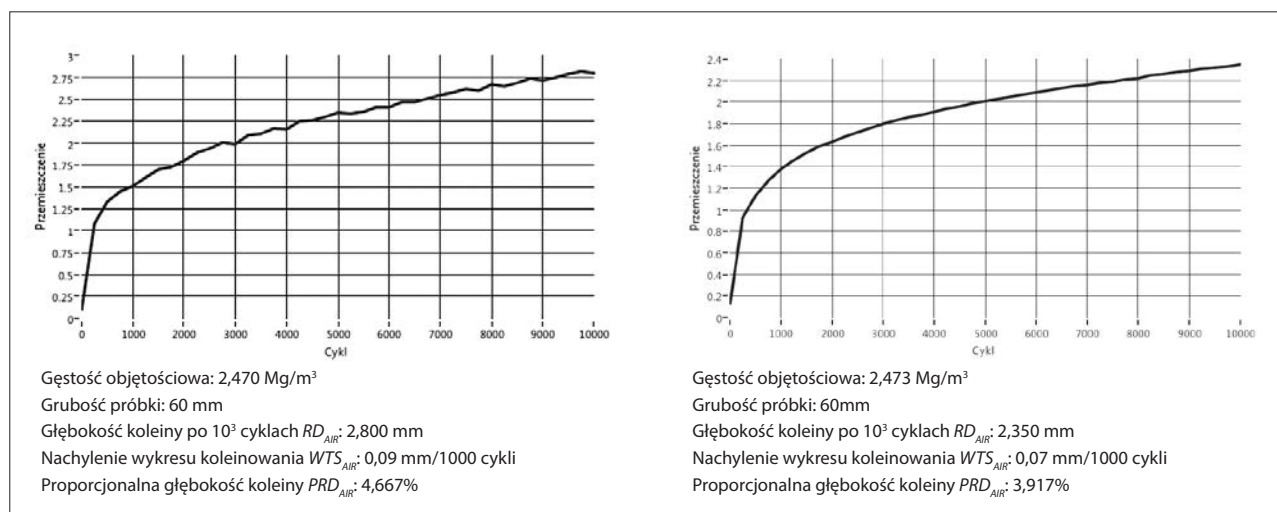
Na podstawie zrealizowanych badań laboratoryjnych granulatu asfaltowy, wykorzystany w analizie, charakteryzował się pożądaną jednorodnością.

Wykorzystane w badaniach granulaty 16GRA 0/16 oraz 16GRA 0/8 wykonane były w standardowej formule przy użyciu kruszarki oraz przesiewacza. W tab. 1 i 2 umieszczono wyniki jednorodności granulatu, ale również m.in. gęstości i zawartości lepiszcza rozpuszczalnego w rozpatrywanych granulatach.

Tab. 3 i 4 zawierają wyniki cech przykładowego granulatu, 16 GRA 8/16 i 16 GRA 0/8. Jest to granulatu po przeróbce destruktu w nowoczesnym, efektywnym, wydajnym granulatorze Ammann. Kompleksowe wyniki badań wielu granulatów (publikacja zawiera wrywkowy plon badań) wskazały na dobrą, oczekiwaną ich jednorodność.

Porównując jednorodność granulatu asfaltowego po jego przeróbce metodą tradycyjną (tab. 1-2) i metodą granulatora, uzyskujemy 40-50% lepszy wynik jednorodności, przy zastosowaniu specjalnych granulatorów. Ponadto zmniejszona zostaje zawartość pyłów poniżej 0,063 mm w metodzie granulatora w porównaniu do metody przy użyciu kruszarki i przesiewacza. Ma to zasadnicze znaczenie przy zwiększeniu możliwej maksymalnej ilości granulatu asfaltowego do mieszanek mineralno-asfaltowych, gdyż w procesie kruszenia w tradycyjnych kruszarkach uzyskuje się dodatkową ilość pyłów, dlatego że zachodzi dodatkowo zjawisko mielenia. W granulatorach w znacznie większym stopniu mamy do czynienia z separacją destruktu z nawierzchni niż z jego dodatkowym kruszeniem. Co przy wdrożeniu niezbędnej staranności w procesie pozyskania może pozwalać na wykorzystanie w bardzo dużym stopniu zawartości odnawianych nawierzchni, nawet dochodząc do recyklingu rzędu 60-80%, a w specjalnych przypadkach może to być całkowity remixing, tj. 100%.

Poniżej podano przykładową, zoptymalizowaną recepturę MMA: *Beton asfaltowy do warstwy podbudowy*, AC 22 P KR 3-4 według normy PN-EN 13108-1:2008; WT-2 2014, z użyciem dwóch rodzajów granulatu 0/8 i 0/16 w ilości 45% w objętości MMA. Zawartość granulatu, która pozwala na uzyskanie parametrów jak dla ruchu KR 3-4 z destruktu z małą zawartością asfaltu, tj.



Rys. 4. Wyniki badań koleinowania dla próbek zaprojektowanej MMA z granulatem 45-proc.

w obu granulatach 3,9% a pomimo to odzysk asfaltu z destruktu na poziomie 1,8%.

Zoptymalizowany skład mieszanki MMA: *Beton asfaltowy do warstwy podbudowy*, AC 22 P KR 3-4 według normy PN-EN 13108-1:2016-07; WT-2 2014:

- wypełniacz dodany - wapień,
- kruszywo 0/4 - dolomit,
- kruszywo grube 8/16 - dolomit,
- kruszywo grube 4/8 - dolomit,
- kruszywo grube 16/22,4 - dolomit,
- granulat asfaltowy 0/8 (zawartość asfaltu - 3,9%),
- granulat asfaltowy 8/16 (zawartość asfaltu - 3,9%),
- asfalt 50/70,
- Asfix Alfa (środek adhezyjny) - 0,4%.

Rys. 2 przedstawia skład mieszanki mineralno-asfaltowej wytworzonej z udziałem 45-proc. granulatu. Wykres krzywej uziarnienia dla AC 22 P RA 16 0/16 z udziałem 45-proc. granulatu (łącznie frakcji 0/8 i 8/16) wg punktów granicznych zgodnie z WT2/2014 umieszczono na rys. 3.

Wykres na rys. 4 to pozytywne raporty z oznaczania odporności na deformacje trwałe metodą koleinowania w/g PN-EN 12697-22 - *Mały aparat met. B* w temperaturze 60°C dla wybranej próbki przedmiotowej MMA. Dla testowanych próbek zostały spełnione wymagania WT-2/2014 dla ruchu KR 3-4, a nawet KR 5-6 dla MMA z granulatem 45-proc.

Podsumowanie

Należy podkreślić, że aplikacja granulatu w MMA wymaga indywidualnej optymalizacji jej składu. Zespół prof. J. Króla z Politechniki Warszawskiej na podstawie kompleksowych badań stwierdził, że mieszanki mineralno-asfaltowe z udziałem granulatu wymagają dodatku bardziej miękkiego lepszczka, w porównaniu z mieszankami tradycyjnymi. We własnych badaniach i analizach wykazano, że dodatek środka adhezyjnego Asfix Alfa do asfaltu jest

czynnikiem polepszającym całościową konfigurację uzyskanej mieszanki. Poprzez dodatek Asfix Alfa uzyskujemy polepszenie urabialności, co jest efektem odświeżenia tzw. filmu olejowego asfaltu w granulacie, a zabieg ten nie zmienia lepkości asfaltu.

Światowe doświadczenia w recyklingu nawierzchni asfaltowych udowadniają, że temat ten jest wciąż rozwijającym się, potrzebnym i nowoczesnym zagadnieniem badawczym oraz oczywiście implementacyjnym. W warunkach rodzimych wymaga wielu starań, aby granulat stał się powszechny i należycie doceniany tak, aby następnym pokoleniom nie zabrakło zasobów naturalnych. □

Piśmiennictwo

1. Byrne D.A.: *Recycling of Asphalt Pavements in new bituminous mixes*. A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements of Napier University for the Degree of Doctor of Philosophy Napier University School of Built Environment, 2005.
2. *Reclaimed Asphalt Pavement in Asphalt Mixtures: State of the Practice*. FHWA-HRT-11-021.
3. *Application of Reclaimed Asphalt Pavement and Recycled Asphalt Shingles in Hot-Mix Asphalt*. „Transport Research Circular of the National Academies”, E-C188, Washington 2014.
4. 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*
5. Jabłoński K., Rybczyński M. Szrajber W.: *Polskie doświadczenia w zakresie recyklingu nawierzchni asfaltowych na gorąco w wytwórniach*. „Drogownictwo”, 2/2003, str. 35-39.
6. Kalabińska M., Piłat J., Radziszewski P.: *Technologia materiałów i nawierzchni drogowych*. Warszawa 2003.
7. Piłat J., Radziszewski P.: *Nawierzchnie asfaltowe*. Warszawa 2004.
8. Słaboński P., Stankiewicz B.: *Recykling nawierzchni asfaltowych w świetle badań nad zwiększaniem udziału granulatu w MMA*. „Magazyn Autostrady” 10/2018, str. 46-50.
9. GDDKiA, IBDiM: *Katalog wzmocnień i remontów nawierzchni podatnych i półsztywnych*. Warszawa 2001.
10. PN-EN 13108-8: 2006 *Mieszanki mineralno-asfaltowe. Wymagania. Część 8: destruktu asfaltowy*.
11. Materiały źródłowe firmy AMMANN
12. Materiały źródłowe firmy BERNARDI