Właściwości mieszanek mineralno-asfaltowych ze zwiększoną ilością granulatu asfaltowego

JAN KRÓL

Politechnika Warszawska
j.krol@il.pw.edu.pl

PIOTR WŁODARSKI

absolwent Politechnikl Warszawskiej
wlodarski.piotr@gmail.com

ŁUKASZ JACKOWSKI

absolwent Politechnikl Warszawskiej
jl.jackowscy@gmail.com

Mieszanki mineralno-asfaltowe (mma) są najpowszechniej stosowanym materiałem do budowy nawierzchni drogowych na całym świecie. Materiał asfaltowy ze zużytej nawierzchni drogowej (*RAP – Reclaimed asphalt pavement*) z powodzeniem może zostać poddany recyklingowi i być powtórnie wykorzystany do budowy warstw konstrukcyjnych nawierzchni drogowych [9]. Materiał z nawierzchni asfaltowych może zostać powtórnie wykorzystany z zastosowaniem metody recyklingu na zimno, na ciepło lub na gorąco. Proces recyklingu starej nawierzchni asfaltowej może odbywać się na drodze za pomocą recyklarek lub w wytwórni mieszanek mineralno-asfaltowych [4]. Wytwarzanie mieszanek mineralno-asfaltowych w wytwórni z zastosowaniem granulatu asfaltowego pozwala na lepszą kontrolę składu mieszanki, jak również zapewnia większą jednorodność właściwości wykonanej warstwy nawierzchni z takiej mieszanki [9, 11]. Recykling na zimno jest wykonywany z wykorzystaniem lepiszczy asfaltowych takich jak emulsje asfaltowe i asfalty spienione. Ze względu na ograniczenia technologiczne, ta technologia stosowana jest głównie do wykonywania dolnych warstw konstrukcyjnych nawierzchni takich jak podbudowy z mieszanek mineralno-cementowo-emulsyjnych (mce) oraz podbudowy z użyciem asfaltu spienionego [2,3].

W polskiej terminologii materiał pozyskany z frezowania nawierzchni asfaltowych, rozbiórki starej nawierzchni lub pochodzący z nadwyżki produkcyjnej nazywamy destruktem asfaltowym. Przetworzony i rozdrobniony destrukt asfaltowy o udokumentowanej jakości i właściwościach nazywamy granulatem asfaltowym [6].

Z punktu widzenia zasad zrównoważonego rozwoju, najlepszym rozwiązaniem byłoby wykorzystanie całości pozyskiwanego destruktu do budowy nawierzchni asfaltowych. Doświadczenia wielu krajów (np. Niemcy, Holandia, Szwecja, Hiszpania) pokazują, że jest to możliwe. Dodatkową zaletą takiego rozwiązania mogą być korzyści finansowe i ekologiczne, wynikające ze zmniejszonego zapotrzebowania na nowy materiał, odciążenia środków transportu itp. Podstawowym uzasadnieniem do stosowania materiału asfaltowego pochodzącego z recyklingu jest możliwość zmniejszenia ilości nowego materiału stosowanego do wytwarzania mieszanek mineralno-asfaltowych [12]. Obecnie destrukt w Polsce częściowo jest wykorzystywany jako jeden ze składników przy remontach lub budowie nowych nawierzchni, jednak najczęściej składowany jest na hałdach jako odpad lub wykorzystywany do utwardzania poboczy, lub wykonywania nieutwardzonych dróg [3, 14].

Jakość granulatu asfaltowego

Destrukt asfaltowy jest mieszanką mineralno-asfaltową, uzyskiwaną w wyniku frezowania warstw asfaltowych, rozkruszenia płyt wyciętych z nawierzchni asfaltowej oraz z mieszanki mineralno-asfaltowej odrzuconej lub będącej nadwyżką produkcji. Po obróbce polegającej na rozdrobnieniu i segregacji staje się on granulatem asfaltowym, który jest gotowym materiałem do stosowania w produkcji mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco. Bardzo istotne jest właściwe składowanie granulatu asfaltowego – w tym z odpowiednim zabezpieczeniem przed opadami atmosferycznymi.

Jakość granulatu asfaltowego określa się na podstawie badań właściwości fizycznych takich jak zawartość zanieczyszczeń (materiałów obcych), uziarnienia kruszywa zawartego w granulacie i maksymalna wielkości kawałków granulatu asfaltowego oraz na podstawie właściwości lepiszcza odzyskanego i jednorodności granulatu rozumianego jako stałość składu i właściwości składników. Wielkość kawałków granulatu asfaltowego U_{GRA} określa się jako najmniejszy wymiar sita, przez które przechodzi 100% kawałków destruktu asfaltowego.

Rodzaj lepiszcza (asfalt drogowy, asfalt modyfikowany) ustala się na podstawie badań lub uzyskanych danych archiwalnych. W zakresie właściwości określa się penetrację i/lub temperaturę mięknienia asfaltu odzyskanego. Średnia penetracja asfaltu w granulacie asfaltowym nie powinna być mniejsza niż 15·0,1 mm (dopuszcza się pojedynczy wynik > 10·0,1 mm). Średnia temperatura mięknienia asfaltu odzyskanego nie powinna być wyższa niż 70°C (dopuszcza się pojedynczy wynik < 77°C).

Właściwości kruszywa zawartego w granulacie asfaltowym powinny spełniać takie same wymagania jak kruszywa w nowo projektowanych mieszankach mineralno-asfaltowych.

Materiały obce (zanieczyszczenia) w granulacie asfaltowym są dopuszczalne, jednak ich ilość i rodzaj muszą być zbadane i udokumentowane. Materiałami obcymi są materiały, które nie należą do kruszyw naturalnych i nie są składnikami mieszanki mineralno-asfaltowej. Do materiałów obcych wg PN-EN 12697-42 *Zawartość części obcych w destrukcie*

asfaltowym zalicza się: beton cementowy łącznie z wyrobami z betonu cementowego, materiały z podbudów niezwiązanych (oprócz kruszywa naturalnego), zaprawę cementową, metale, materiały syntetyczne, drewno i tworzywa sztuczne.

W Polsce sposób określenia jednorodności granulatu został pierwotnie podany w Wymaganiach Technicznych WT-2 2010 oraz ze zmianami w WT-2 2014. Jednorodność jest oceniana na podstawie rozstępu wyników procentowego udziału w granulacie kruszywa grubego, drobnego i pyłów oraz zawartości i temperatury mięknienia lepiszcza asfaltowego. W wytycznych WT-2 2010 przyjęto, że granulat asfaltowy może być dodawany bezpośrednio do mieszalnika w ilości do 15% m/m natomiast wg WT-2 2014 do 20% m/m. W przystosowanej do podgrzewania granulatu wytwórni dodatek może wynosić do 30% m/m (WT-2 2010/2014). Oprócz górnego limitu zastosowania granulatu do mieszanek mineralno-asfaltowych w wytycznych WT-2 2010 (analogicznie do niemieckiego dokumentu *TL Asphalt-StB Anhang D*) podano wzory służące do obliczenia maksymalnej zawartość granulatu, jaką można zastosować do produkcji mieszanki mineralno-asfaltowej. Wzory (1) i (2) podane w WT-2 2010 wydają się błędne, ponieważ umożliwiają obliczenie udziału granulatu asfaltowego w mieszance w ilości przewyższającej wartość 100% m/m. Według WT-2 2010 wzór (2) stosujemy obliczając zawartość granulatu ze względu na rozrzut wyników badania temperatury mięknienia. Przy uwzględnianiu pozostałych właściwości stosuje się wzór (1).

$$Z_{RA} = \frac{0{,}5 \cdot T_{roz}}{a_i} \cdot 100 \qquad (1)$$

$$Z_{RA} = \frac{0{,}33 \cdot T_{roz}}{a_i} \cdot 100 \qquad (2)$$

w których:
Z_{RA} – ilość granulatu asfaltowego, którą można dodać do mieszanki mineralno-asfaltowej [% m/m],
T_{roz} – dopuszczalny rozstęp wyników badania właściwości,
a_i – rozstęp wyników badań ocenianej właściwości.

Otrzymanie sprzecznych wartości ilości możliwego do zastosowania granulatu asfaltowego, zestawione z ograniczeniem 15% lub 30% maksymalnego udziału granulatu w masie mieszanki, wymaga rewizji i zmiany podejścia w projektowaniu mieszanek z granulatem asfaltowym. Przy założeniu, że jedynymi ograniczeniami w ilości granulatu asfaltowego, jaki można dodać do mieszanki mineralno-asfaltowej są ograniczenia technologiczne oraz jednorodność granulatu, wzór (1) i (2), zdaniem autorów, powinien przyjąć postać wzoru (3).

$$Z_{RA} = \frac{Z_{max} \cdot T_{roz}}{T_{roz} + a_i} \cdot 100 \qquad (3)$$

w którym:
Z_{RA} – ilość granulatu asfaltowego, którą można dodać do mieszanki mineralno-asfaltowej [% m/m],
Z_{max} – zakładany maksymalny udział granulatu w masie mieszanki mineralno-asfaltowej [% m/m],
T_{roz} – dopuszczalny rozstęp wyników badań ocenianej właściwości,
a_i – rozstęp wyników badania właściwości.

Sformułowanie wzoru (3) na ilość granulatu asfaltowego Z_{RA}, którą można dodać do mieszanki mineralno-asfaltowej pozwala uzyskać maksymalną zakładaną wartość Z_{max} przy w pełni jednorodnym granulacie asfaltowym. Zakładając pewną niejednorodność granulatu asfaltowego wartość Z_{max} ulega odpowiedniemu pomniejszeniu i jest $Z_{RA} < Z_{max}$.

W wymaganiach technicznych WT-2 2014 zrezygnowano z redukcji ilości granulatu asfaltowego ze względu na jednorodność. Obecne wymagania zakładają jedynie, że badany granulat asfaltowy powinien być jednorodny, z uwzględnieniem maksymalnego dopuszczalnego rozstępu wyników podanego oddzielnie dla warstwy wiążącej i warstwy podbudowy.

Ocena jednorodności granulatu asfaltowego

Badaniu poddano granulat asfaltowy wytworzony z destruktu asfaltowego, pozyskanego z warstwy wiążącej nawierzchni drogowej. Wykonano częściową ocenę jednorodności granulatu asfaltowego na podstawie wybranych badań takich jak uziarnienie, zawartość lepiszcza asfaltowego, obecność materiałów obcych i gęstość. Największe kawałki granulatu asfaltowego zastosowanego do dalszych badań nie przekraczały 31,5 mm. Nie zbadano właściwości asfaltu odzyskanego.

Uziarnienie mieszanki kruszywa oraz ilość lepiszcza określono zgodnie z wymaganiami normy PN-EN 13108-8, przeprowadzając ekstrakcje i analizy sitowe kruszywa odzyskanego z granulatu asfaltowego (rys. 1). Na podstawie oznaczenia uziarnienia kruszywa (rys. 2) w granulacie asfaltowym stwierdzono, że maksymalny wymiar kruszywa wynosi 22,4 mm. Granulat asfaltowy na podstawie oznaczenia maksymalnej wielkości kawałków destruktu U_{GRA} oraz badania uziarnienia oznaczono jako 31,5 *RA* 0/22,4.

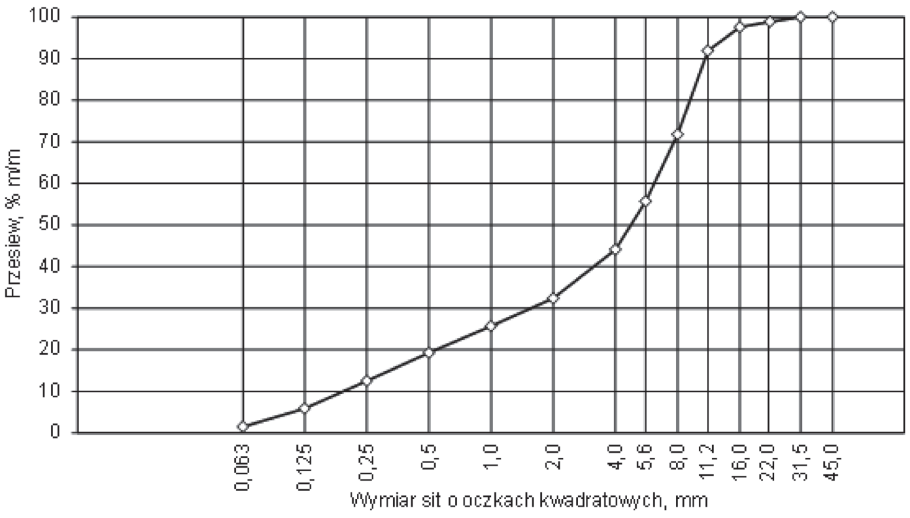
Materiałem obcym stwierdzonym w granulacie były fragmenty zaprawy cementowej. Badany granulat asfaltowy ze względu na śladową zawartość materiałów obcych można zakwalifikować do kategorii *F*1. Krajowe wymagania techniczne WT-2 2010 dopuszczają taki granulat do zastosowania do mieszanek mineralno-asfaltowych do warstwy podbudowy oraz warstwy wiążącej.

Na podstawie badań i właściwości określono jednorodność granulatu asfaltowego według wymagań WT-2 2010 (i WT-2 2014) oraz obliczono dopuszczalną ilość granulatu, którą można wprowadzić do mieszanki mineralno-asfaltowej według zaproponowanego wzoru (3). Jednorodność oceniono na podstawie rozstępu procentowego udziału w granulacie asfaltowym: kruszywa grubego, drobnego, pyłów i zawartości lepiszcza. Jednorodność określono bez oceny rozstępu wyników pomiarów temperatury mięknienia lepiszcza odzyskanego z granulatu. Właściwości granulatu asfaltowego wraz z obliczonymi rozstępami wyników badań podano w tabeli 1. W tabeli 2 przedstawiono wyniki obliczeń możliwej, największej zawartości granulatu asfaltowego w mma, przy założonymym 30 % m/m i 50% m/m maksymalnym udziale granulatu (Z_{max}) oraz dopuszczalnym rozstępie wyników badań właściwości granulatu asfaltoweg ustalonym w WT-2 [15].

Rozstępy wyników badanego granulatu (tabela 1) mieszczą się w dopuszczalnych wartościach (tabela 2) przewidzia-

a) b)

Rys. 1. Granulat asfaltowy 31,5 RA 0/22,4: a) przed ekstrakcją; b) mieszanka kruszywa wyekstrahowana z granulatu asfaltowego



Rys. 2. Uśredniony wynik badania uziarnienia kruszywa odzyskanego z granulatu asfaltowego

nych przez wytyczne WT-2 2010 (oraz WT-2 2014). Pozwala to na zastosowanie granulatu zarówno do warstwy podbudowy, jak i do warstwy wiążącej.

Najmniejsza wartość Z_{RA} do warstwy wiążącej przy założonym Z_{max} wynoszącym 30% m/m wynosi 21,4% m/m, natomiast w warstwie podbudowy 22,5% m/m. Oznacza to, że maksymalna ilość badanego granulatu, którą można zastosować do produkcji mieszanki mineralno-asfaltowej do warstwy wiążącej powinna wynosić około 20% m/m. Założona wartość Z_{max} równa 30% m/m jest jednocześnie dopuszczalną granicą ilości zastosowanego granulatu asfaltowego do mma w Wymaganiach Technicznych WT-2 2010 (oraz WT-2 2014). Przyjmując założenie maksymalnego dopuszczalnego udziału granulatu w nowej mieszance mineralno-asfaltowej do warstwy wiążącej na poziomie 50% m/m, wartość Z_{RA} wzrośnie o ~15% m/m i będzie wynosić 35% m/m. Nieco większe ilości granulatu asfaltowego można stosować do mieszanek mineralno-asfaltowych do warstwy podbudowy ze względu na większy dopuszczalny rozstęp wyników. Ilość możliwego do wprowadzenia granulatu w tym przypadku jest większa o około 1% m/m do 2% m/m w porównaniu do mma w warstwie wiążącej.

Tabela 1. **Rozstęp wyników badań właściwości granulatu asfaltowego**

Właściwość	Jednostka	Średni wynik	Odchylenie standardowe *SD*	Wartość najmniejsza	Wartość największa	Rozstęp wyników a_i
Zawartość lepiszcza	% (m/m)	4,9	0,1	4,7	5,1	0,4
Kruszywo o uziarnieniu poniżej 0,063 mm	% (m/m)	1,5	0,4	1,0	2,0	1,0
Kruszywo o uziarnieniu od 0,063 do 2 mm	% (m/m)	31,0	1,7	28,1	32,7	4,6
Kruszywo o uziarnieniu powyżej 2 mm	% (m/m)	67,5	1,4	66,3	69,8	3,5
Badanie zawartości materiałów obcych	% (m/m)	0,01	0,01	0,00	0,02	0,02
Gęstość granulatu asfaltowego	g/cm^3	2,591	0,03	2,557	2,618	0,061

Tabela 2. **Dopuszczalny rozstęp wyników badań właściwości granulatu asfaltowego wg WT-2 [15] i obliczona ze wzoru (3) możliwa, największa zawartość granulatu asfaltowego w mma**

Właściwość	W warstwie wiążącej			W warstwie podbudowy		
	Dop. rozstęp wyników badań (T_{roz})	Z_{RA}, [% m/m]		Dop. rozstęp wyników badań (T_{roz})	Z_{RA}, [% m/m]	
		przy Z_{max} = 30	przy Z_{max} = 50		przy Z_{max} = 30	przy Z_{max} = 50
Zawartość lepiszcza, [%(m/m)]	1,0	21,4	35,7	1,2	22,5	37,5
Kruszywo o uziarnieniu poniżej 0,063, [%(m/m)]	6,0	25,7	42,9	10,0	27,3	45,5
Kruszywo o uziarnieniu od 0,063 do 2 mm, [%(m/m)]	16,0	23,3	38,8	16,0	23,3	38,8
Kruszywo o uziarnieniu powyżej 2 mm, [%(m/m)]	16,0	24,6	41,0	18,0	25,1	41,9

Badania mieszanek mineralno-asfaltowych z granulatem asfaltowym

Do badań przyjęto mieszankę mineralno-asfaltową typu beton asfaltowy do warstwy podbudowy AC 22P do kategorii ruchu KR3-4 wg obowiązującego dokumentu WT-2 2010. Zastosowano asfalt 35/50 jako lepiszcze podstawowe oraz asfalty 50/70, 70/100 i 100/150 jako lepiszcza odświeżające.

Badania prowadzono dwuetapowo. W pierwszym etapie badaniom poddano beton asfaltowy z asfaltem drogowym 35/50 z różną zawartością granulatu asfaltowego od 0% m/m do 45% m/m. W drugim etapie przebadano beton asfaltowy z dodatkiem granulatu asfaltowego w ilości 30% m/m oraz z asfaltami o różnej konsystencji. Przeprowadzono badania zagęszczenia betonu asfaltowego oraz zbadano moduł sztywności sprężystej i koleinowanie wybranych mieszanek mineralno-asfaltowych. Odporność na działanie wody *ITSR* nie była przedmiotem badań, dlatego w artykule nie przedstawiono analiz w tym zakresie. Zjawisko oddziaływania wody na mieszanki mineralno-asfaltowe, w szczególności zawierające granulat asfaltowy, jest bardzo istotne z punktu widzenia trwałości nawierzchni asfaltowej, co będzie przedmiotem przyszłych badań i publikacji w tym zakresie.

Składy betonów asfaltowych zostały skomponowane z uwzględnieniem uziarnienia kruszywa odzyskanego z granulatu asfaltowego. Jako krzywą wyjściową przyjęto krzywą uziarnienia mieszanki bez dodatku granulatu asfaltowego. Skład poszczególnych mieszanek z granulatem zmieniano tak, żeby możliwie zbliżyć krzywą uziarnienia do mieszanki wyjściowej (rys. 3) przy jednoczesnym zapewnieniu zbliżonej wolnej przestrzeni.

Do betonu asfaltowego AC 22P zastosowano wypełniacz wapienny, piasek łamany z otoczaków (z Paczkowa) oraz trzy frakcje grysu dolomitowego Radkowice o uziarnieniu 2/8, 8/12 i 12/25. Ilość świeżego asfaltu dodanego do mieszanki korygowano o zawartość asfaltu zawartego w granulacie asfaltowym. Składy mieszanek przedstawiono w tabeli 3.

Projektowanie mma z granulatem asfaltowym powinno uwzględniać zarówno aspekty techniczne (właściwości) materiału końcowego, jak i aspekty technologiczne (możliwości wyprodukowania zaprojektowanej mieszanki na wytwórni). Zwiększona ilość granulatu asfaltowego z punktu widzenia materiałowego jest możliwa, natomiast ze względu na wilgotność oraz konieczność uzyskania odpowiedniej temperatury mieszanki końcowej może wymagać zastosowania specjalnego urządzenia do podgrzewania granulatu asfaltowego, jak np. podwójnego bębna suszarki. Wraz ze wzrostem zawartości granulatu asfaltowego w mieszance mineralno-asfaltowej zmienia się również podejście i założenia projektowe. Wprowadzenie większej ilości niż 20–30% m/m granulatu do nowo projektowanej mieszanki wymaga zarówno obliczenia ilości dodawanego asfaltu, jak i głębszej ingerencji w skład mieszanki mineralnej. Od uziarnienia kruszywa w granulacie asfaltowym, jako stałej projektowej, zależy udział nowego kruszywa w mieszance. Należy przeprowadzić analizę potrzeb w zakresie doziarnienia mieszanki oraz porównać gęstości mieszanki mineralnej z granulatu asfaltowego z gęstością stosowanego nowego kruszywa.

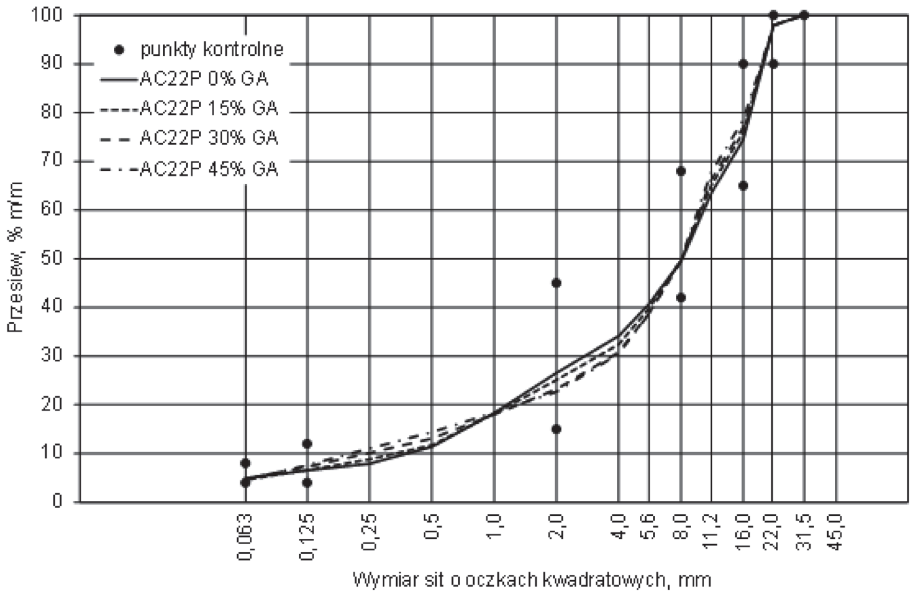
Właściwości objętościowe

Projektując mieszanki mineralno-asfaltowe z granulatem asfaltowym (tabela. 3, rys. 3) dążono do uzyskania zbliżonych do mieszanki wyjściowej krzywych uziarnienia oraz zapewnienia porównywalnej zawartości wolnej przestrzeni w mieszance. Wyniki badań zagęszczenia wyrażonego zawartością wolnej przestrzeni (V_m) w mieszance mineralno-asfaltowej porównawczej oraz zawierającej granulat asfaltowy i lepiszcza o różnej konsystencji przedstawiono na rysunku 4 i 5.

Można stwierdzić, że zawartość do 30% m/m granulatu asfaltowego w nowej mieszance przy zachowaniu zbliżonego uziarnienia mieszanek jest możliwe i nieznacznie wpływa na zmianę wartości V_m. Największa zmiana zawartości wolnej przestrzeni w porównaniu do mieszanki wyjściowej (o 1,1% v/v) jest widoczna w mieszance zawierającej 45% m/m dodatku granulatu asfaltowego, co stanowi około 25% zmianę w stosunku do wartości porównawczej (rys. 4). Wynika to najpewniej z uziarnienia granulatu i stosowanych do mieszanki kruszyw i różnicy w ich gęstościach oraz pokazuje ograniczenia projektowania mieszanki z granulatem poprzez modyfikację istniejącego składu. Projektowanie mieszanki zawierających więcej niż 30% m/m granulatu powinno od-

Tabela 3. **Składy i parametry mieszanek mineralno-asfaltowych do podbudowy**

Materiał i parametry mieszanki	Jednostka	AC22P 0% GA	AC22P 15% GA	AC22P 30% GA	AC22P 45% GA
Granulat asfaltowy 40 RA 0/22,4	% m/m	0,0	15,0	30,0	45,0
Mączka wapienna Wolica	% m/m	5,8	5,3	5,3	4,8
Piasek łamany z otoczaków Paczków 0,063/2	% m/m	21,1	14,4	7,7	2,9
Grys dolomit Radkowice 2/8	% m/m	21,1	18,2	14,4	9,6
Grys dolomit Radkowice 8/12	% m/m	16,3	14,4	12,5	10,6
Grys dolomit Radkowice 12/25	% m/m	31,7	29,4	27,6	25,4
Rodzaj świeżego asfaltu	–	35/50	35/50	35/50, 50/70, 70/100, 100/150	35/50
Zawartość asfaltu dodanego	% m/m	4,0	3,3	2,5	1,8
Asfalt zawarty w granulacie asfaltowym	% m/m	0,0	0,7	1,5	2,2
Sumaryczna zawartość asfaltu w mma	% m/m	4,0	4,0	4,0	4,0
Gęstość mma	g/cmł	2,608	2,614	2,621	2,626

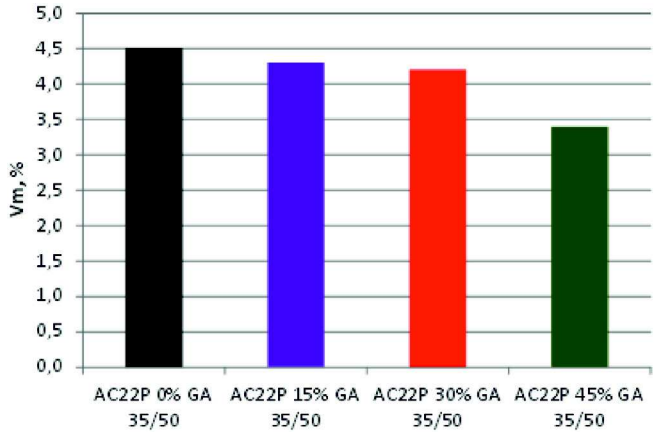


Rys. 3. Krzywe uziarnienia zaprojektowanych mieszanek mineralno-asfaltowych do AC22P

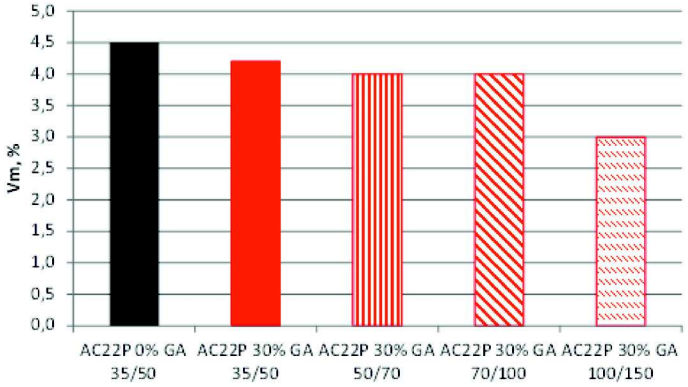
nosiła 140±5°C niezależnie od rodzaju dodawanego asfaltu. Można zauważyć, że zagęszczenie próbek mieszanki zawierającej 30% m/m granulatu asfaltowego z dodatkiem nowego asfaltu o penetracji od 35 do 100 jednostek jest porównywalne (rys. 5). Jedynie mieszanka z dodatkiem miękkiego asfaltu o penetracji do 150 jednostek wykazuje większe zagęszczenie (mniejszą V_m o 1,5% v/v) w odniesieniu do mieszanki porównawczej. Należy zwrócić uwagę, że w dokumencie WT-2 2010 nie jest przewidziane stosowanie asfaltu o twardości 100/150 do mieszanek mineralno-asfaltowych oraz nie podano temperatury technologicznej stosowania takiego asfaltu.

Właściwości mechaniczne i powiązane funkcjonalnie

bywać się oddzielnie. W celach porównawczych, badanie zagęszczenia wszystkich mieszanek wykonano na próbkach walcowatych Marshalla zagęszczanych 75 uderzeniami na każdą stronę próbki. Temperatura zagęszczania próbek wy-



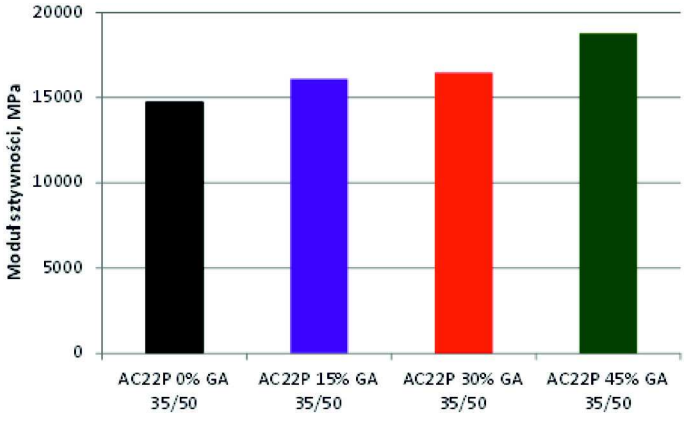
Rys. 4. Zawartość wolnej przestrzeni w betonie asfaltowym o różnej zawartości granulatu asfaltowego



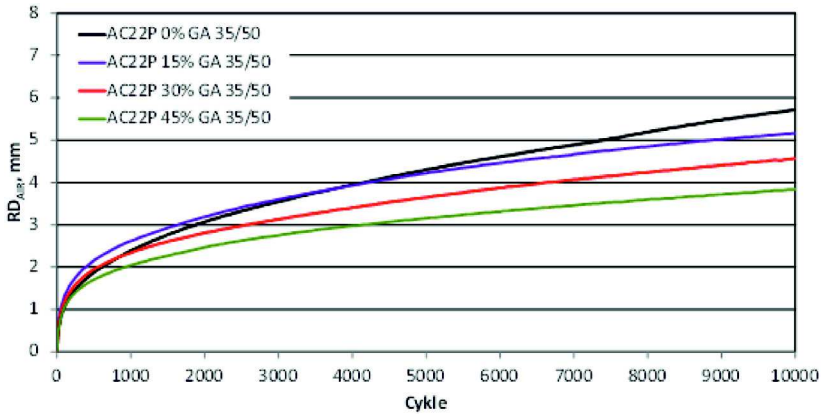
Rys. 5. Zawartość wolnej przestrzeni w betonie asfaltowym z dodanym lepiszczem o różnej konsystencji (penetracji)

Podstawowym parametrem wykorzystywanym w projektowaniu konstrukcji nawierzchni drogowej oraz charakteryzującym właściwości mieszanki mineralno-asfaltowej jest moduł sztywności. Próbki walcowe poddano badaniu sztywności w temperaturze 10°C metodą rozciągania pośredniego (IT-CY) wg normy PN-EN 12697-26 procedura C. Spośród betonów asfaltowych z różną zawartością granulatu asfaltowego (rys. 6), najmniejszą sztywnością charakteryzują się próbki mieszanki porównawczej (0% GA), natomiast największą sztywnością próbki zawierające 45% m/m granulatu asfaltowego. Usztywniające oddziaływanie granulatu asfaltowego na mieszankę mineralno-asfaltową jest zjawiskiem znanym [13,10] i zazwyczaj powoduje poprawę odporności na koleinowanie [5, 9]. Przeprowadzone badania koleinowania w małym aparacie do koleinowania w 60°C, wg metody B w powietrzu (PN-EN 12697-22), potwierdziły tę zależność (rys. 7).

Według wytycznych technicznych WT-2 2010 [6], które były podstawą projektowania mieszanki betonu asfaltowego, wymaganą właściwością był wskaźnik przyrostu koleiny

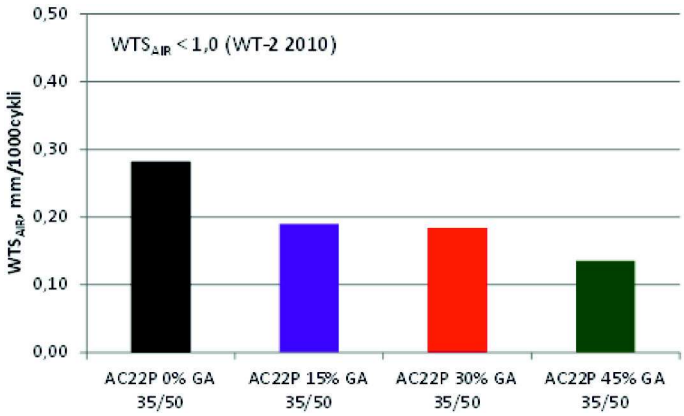


Rys. 6. Sztywność mieszanek mineralno-asfaltowych z różną zawartością granulatu asfaltowego

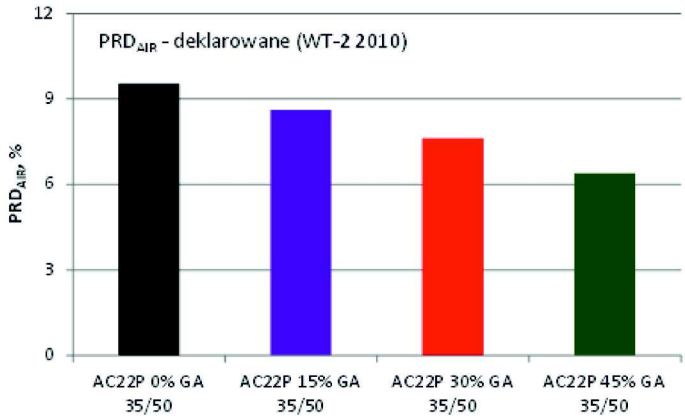


Rys. 7. Krzywe przyrostu deformacji trwałej RD w badaniu koleinowania w małym aparacie do koleinowania

WTS$_{AIR}$ nie większy niż 1,0 mm na 1000 cykli oraz proporcjonalna głębokość koleiny PRD$_{AIR}$ jako wartość deklarowana. Według wytycznych WT-2 2014 znacznie zaostrzono wymaganie dotyczące wskaźnika przyrostu koleiny WTS$_{AIR}$ do wartości 0,3 (mm/1000 cykli) oraz wprowadzono wymaganie w zakresie proporcjonalnej głębokości koleiny PRD$_{AIR}$ wynoszące 9,0% (AC22P KR3-4). Z porównania uzyskanych wyników badań wynika, że w zakresie przyrostu głębokości koleiny wszystkie mieszanki bez i z zawartością granulatu do 45% m/m spełniają dotychczasowe wymagania oraz nowe wymaganie według WT-2 2014 (rys. 8). Wraz ze wzrostem zawartości granulatu asfaltowego w mieszance maleje szybkość przyrostu koleiny, co ma związek ze wzrostem sztywności mieszanki mineralno-asfaltowej. Podobny charakter wzrostu odporności na koleinowanie można zauważyć analizując wartość proporcjonalnej głębokości koleiny (rys. 9). Mieszanka porównawcza bez dodatku granulatu asfaltowego, według nowych wymagań (WT-2 2014) nieznacznie przekracza dopuszczalną wartość PRD$_{AIR}$ równą 9%, natomiast wszystkie mieszanki z granulatem asfaltowym spełniają to wymaganie.



Rys. 8. Wskaźnik przyrostu koleiny WTS$_{AIR}$ mieszanek mineralno-asfaltowych z różną zawartością granulatu asfaltowego

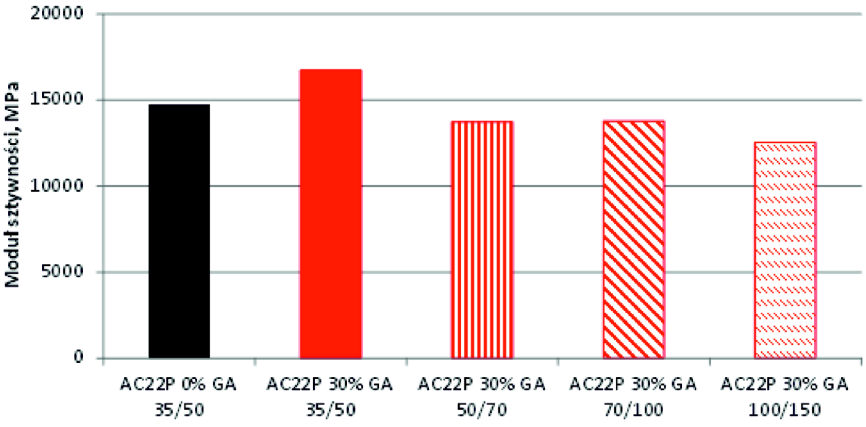


Rys. 9. Proporcjonalna głębokość koleiny PRD$_{AIR}$ mieszanek mineralno-asfaltowych z różną zawartością granulatu asfaltowego

Usztywniające działanie granulatu asfaltowego powinno być uwzględnione przy projektowaniu nowej mieszanki mineralno-asfaltowej. Jak wynika z przeprowadzonych badań, ilość granulatu asfaltowego w ilości 30% m/m powoduje usztywnienie mieszanki na poziomie około 10%, natomiast dodatek granulatu w ilości 45% m/m usztywnia mieszankę w stopniu nie wyższym niż przy 30% m/m. Niemniej jednak, wprowadzenie granulatu asfaltowego w ilości przekraczającej 20–30% m/m do mieszanki mineralno-asfaltowej w warunkach przemysłowych jest możliwe jedynie z zastosowaniem urządzenia do podgrzewania granulatu asfaltowego ze względu na wilgoć i konieczność osiągnięcia końcowej żądanej temperatury mieszanki [1, 7, 8]. Zapisy nowych wytycznych WT-2 2014 podają sposób korekty parametrów produkcji mieszanek zawierających materiał z recyklingu z uwzględnieniem ilości zimnego i suchego granulatu asfaltowego oraz warunki korekty temperatury w zależności od jego wilgotności. Wilgotność i temperatura w sposób oczywisty wpływają na efektywność produkcji mieszanki mineralno-asfaltowej z granulatem asfaltowym, natomiast w procesie projektowym i produkcyjnym należy uwzględnić końcowe właściwości mechaniczne mieszanki mineralno-asfaltowej.

W celu ograniczenia przesztywnienia mieszanki powinno się stosować takie asfalty drogowe, które łącznie z asfaltem zawartym w granulacie nie będą powodować przesztywnienia mieszanki. Na etapie oceny jakości granulatu asfaltowego, należy przeprowadzić odzysk lepiszcza oraz określić temperaturę mięknienia asfaltu. Korzystając ze wzoru podanego w wytycznych WT-2 można dobrać taki rodzaj asfaltu, żeby wynikowo spełniał założenia projektowe. Należy jednak pamiętać, że w trakcie wytwarzania mieszanki mineralno-asfaltowej nie następuje pełna homogenizacja lepiszcza z granulatu asfaltowego z nowym asfaltem. Efektywność homogenizacji jest funkcją czasu, temperatury i energii mieszania. Dlatego bardzo ważne jest sprawdzenie parametrów gotowej mieszanki oraz dobranie odpowiednich warunków procesu produkcji. Na rysunku 10 przedstawiono wyniki badań modułu sztywności mieszanki betonu asfaltowego zawierającego 30% m/m granulatu asfaltowego z lepiszczami o różnej penetracji.

Można stwierdzić, że zastosowanie lepiszcza 50/70 lub 70/100 do betonu asfaltowego z granulatem asfaltowym w ilości 30% m/m powoduje spadek sztywności do poziomu porównywalnego z mieszanką wyjściową bez granulatu i z asfaltem 35/50 (rys. 10). Zauważalny spadek sztywności



Rys. 10. Sztywność mieszanek mineralno-asfaltowych z lepiszczami o różnej konsystencji (penetracji)

poniżej poziomu mieszanki porównawczej uzyskano stosując asfalt rodzaju 100/150.

Podsumowanie

Wymagania wobec mieszanek mineralno-asfaltowych z granulatem asfaltowym są identyczne, jak wobec mieszanek bez dodatku materiału z recyklingu. Nieznaczne są również różnice w projektowaniu mieszanek mineralno-asfaltowych zawierających granulat asfaltowy. Materiał pozyskany z frezowania nawierzchni lub materiał odpadowy z produkcji po przetworzeniu na granulat asfaltowy wymaga przebadania i oceny jego jednorodności. Obecnie barierą przy rozpowszechnianiu tej technologii, jest konieczność modernizacji wytwórni mieszanek mineralno-asfaltowych o instalację do dozowania granulatu (tzw. *bypass*) lub znacznie droższe urządzenie do pośredniego podgrzewania granulatu asfaltowego.

Przeprowadzone badania wykazały, że użyty w badaniach granulat asfaltowy charakteryzował się dużą jednorodnością, co pozwoliło na zastosowanie maksymalnej dopuszczalnej przez WT-2 ilości granulatu asfaltowego (30% m/m). Zastosowanie większej niż dopuszczalny poziom ilości granulatu asfaltowego do produkcji mieszanki mineralno-asfaltowej nie wpływa negatywnie na jej właściwości mechaniczne takie jak sztywność i odporność na deformacje trwałe. Niemniej jednak zaprojektowanie mieszanek mineralno-asfaltowych z granulatem w taki sposób, aby spełnione były wszystkie zamierzenia projektowe, wymaga indywidualnej optymalizacji składu mma i zastosowania dodatku bardziej miękkiego lepiszcza. Odrębnym i niezmiernie istotnym zagadnieniem pozostaje optymalizacja mieszanki mineralno-asfaltowej zawierającej granulat asfaltowy pod względem trwałości zmęczeniowej oraz pod względem odporności na działanie wody.

Obecnie w Polsce Zespół z Politechniki Warszawskiej rozpoczął, w ramach 7 Programu Ramowego UE, realizację projektu naukowo-badawczego pt. *Zastosowanie przyjaznych środowisku materiałów w nowej koncepcji nawierzchni asfaltowych dla zrównoważonego środowiska (Use of eco-friendly materials for a new concept of Asphalt Pavements for a Sustainable Environment, APSE)*. W projekcie, który realizuje dziesięciu partnerów pochodzących z czterech krajów UE (dwóch z Polski) przewidziano dostosowywanie do skali przemysłowej, innowacyjnej technologii nawierzchni asfaltowych wykonywanych z zastosowaniem materiałów pochodzenia roślinnego oraz pochodzących z recyklingu. Prace badawcze obejmują kompleksową analizę możliwości zastosowania do każdej z warstw konstrukcji nawierzchni drogowej materiału pochodzącego z rozbiórki obiektów budowlanych, w tym z również materiałów asfaltowych z rozbiórki nawierzchni drogowych. W projekcie przewidziano opracowanie konstrukcji nawierzchni drogowej, składającej się z warstwy ścieralnej, w której będzie zastosowany (eco-asfalt) modyfikowany bioetanolem. Przewidziano również zastosowanie zwiększonej ilości destruktu asfaltowego w warstwie wiążącej poprzez wprowadzenie biofluksów regenerujących właściwości lepiszcza asfaltowego. W warstwie podbudowy planuje się zastosowanie materiałów z rozbiórki obiektów budowlanych, w tym gruzu betonowego [5,16].

Bibliografa

[1] I.L. Al-Qadi, M. A. Elseifi, and S. H. Carpenter, *Reclaimed Asphalt Pavement – A Literature Review, Research Report* FHWA-ICT-07-001, Illinois Center for Transportation, University of Illinois at Urbana-Champaign, Illinois 2007
[2] M. Iwański, A. Chomicz, *Właściwości recyklowanej podbudowy z asfaltem spienionym*, Drogownictwo 9/2011
[3] M. Iwański, P. Buczyński, *Zastosowanie pyłów mineralnych w technologii recyklingu głębokiego na zimno z asfaltem spienionym*, Drogownictwo 5/2013
[4] M. Kossakowski, *Recykling jako wyzwanie techniczne i ekonomiczne przyszłości*, Drogownictwo 9/2005
[5] K. Kowalski, P. Radziszewski, J. Król, J. Piłat, M. Sarnowski, Trwałe i ekologiczne nawierzchnie drogowe ze zużytych materiałów budowlanych, Ochrona Środowiska i estetyka w budownictwie komunikacyjnym, Zeszyt nr 2, Wydawnictwo Ekkom, Kraków 2014
[6] G. W. Maupin, Jr., S. D. Diefenderfer, and J. S. Gillespie, *Evaluation of Using Higher Percentages of Recycled Asphalt Pavement in Asphalt Mixes in Virginia, Report No.* VTRC 08-R22, Virginia Transportation Research Council, Charlottesville, VA, June 2008
[7] R. S. McDaniel, A. Shah, G. A. Huber, V. L. Gallivan, *Investigation of Properties of Plant-Produced RAP Mixtures, Paper No.* 07-2855. TRB Annual Meeting 2007
[8] W. Michalski, M. Danowski, *Granulat asfaltowy – czy jesteśmy przygotowani do jego powszechnego użycia?* Nawierzchnie asfaltowe, nr 1/2014
[9] J. Piłat, P. Radziszewski, *Nawierzchnie asfaltowe*, WKŁ, Warszawa 2010
[10] P. Radziszewski, *Zmiany właściwości lepkosprężystych lepiszczy modyfikowanych i mieszanek mineralno-asfaltowych w wyniku procesu starzenia*, Wydawnictwo Politechniki Białostockiej, Białystok 2007
[11] S. Rolla, *Recykling po polsku*, Drogownictwo 4/2000
[12] T. V. Scholz, *Preliminary Investigation of RAP and RAS in HMAC. Oregon Department of Transportation.* 2010
[13] D. Sybilski, *O potrzebie stosowania destruktu asfaltowego w Polsce*, Drogownictwo 1/2011
[14] D. Sybilski, *Konstruktywny destrukt*, Polskie drogi 5/2010
[15] Wymagania Techniczne – WT-2 Mieszanki mineralno-asfaltowe, GDDKiA, Warszawa 2010/2014
[16] http://apseproject.eu/apse/project (strona dostępna dnia 17.09. 2014)

Informacja o targach infrastruktury

W dniach 22–23 października 2014 roku, w warszawskim Centrum Targowo-Kongresowym MT Polska, odbyły się XII Międzynarodowe Targi Budownictwa Drogowego, Kolejowego oraz Zarządzania Ruchem – „Infrastruktura 2014".

Fot. 1. Hala MT Polska (materiały prasowe)

Podczas uroczystej inauguracji głos zabrali m.in. Przewodniczący Sejmowej Komisji Infrastruktury – Stanisław Żmijan, obejmujący patronatem honorowym tegoroczną edycję targów, a także Zbigniew Rynasiewicz, Sekretarz Stanu w Ministerstwie Infrastruktury i Rozwoju.

Prezes zarządu Stowarzyszenia Linia Życia, dr Piotr Chojnacki, wręczył nagrodę dr. Zenonowi Szczepaniakowi z Instytutu Badawczego Dróg i Mostów za zasługi na rzecz poprawy bezpieczeństwa ruchu drogowego.

Fot. 2. Przewodniczący Sejmowej Komisji Infrastruktury – Stanisław Żmijan (fot. M. Kowalczyk)

Fot. 3. Od lewej: dr Zenon Szczepaniak i dr Piotr Chojnacki (fot. M. Kowalczyk)

Audytorium ceremonii otwarcia mogło wysłuchać treści listu, nadesłanego przez Janusza Piechocińskiego, Wiceprezesa Rady Ministrów i Ministra Gospodarki, odczytanego przez Prezes MT Targów Polska – panią Urszulę Potęgę. List podkreślał wagę dialogu, jaki towarzyszy targom, skupiającym przedstawicieli branży infrastrukturalnej.

Tegoroczni wystawcy to m.in. generalni wykonawcy i podwykonawcy. Nie zabrakło także firm świadczących usługi w zakresie budowy infrastruktury drogowej, kolejowej i miejskiej oraz instytutów naukowo-badawczych. Do dyskusji zapraszały organizacje branżowe, a także spółki nadzorujące eksploatację dróg. Wśród atrakcji wystawienniczych znalazły się symulatory zderzeń. Wiele emocji wzbudzał symulator dachowania – instalacja Instytutu Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego.

Fot. 4. Symulator dachowania (fot. M. Kowalczyk)