

rozpiętości nie wyglądają one przytłaczająco. Liny pilotażowe służące do przeciągnięcia pojedynczych lin nośnych przeciągnięto przy użyciu helikoptera.



Fot. 23. Przekrój lin głównego ciężna

Prędkość przejazdu samochodów na moście projektowaną na 100 km/h ograniczono do 80 km/h. Zrezygnowano z poprowadzenia torów kolejowych, co pierwotnie planowano.

Od zmierzchu do północy most jest podświetlany zmiennymi kolorami przez ponad tysiąc par lamp, czego nie udało się nam doświadczyć, bo z mostu udaliśmy się pociągiem wprost na lotnisko i tak skończyła się nasza przygoda z Japonią.

Wrażenia z wyprawy – nie tylko w zakresie mostownictwa – pozostaną niezapomniane. Najsilniejszym i najłatwiej dostrzegalnym jest gęstość zaludnienia i zabudowy. Japończyków, na terytorium niewiele większym niż Polska, jest trzy i półkrotnie więcej niż mieszkańców naszego kraju – średnio 333 osoby na 1 km², ale rozmieszczenie to nie jest równomierne. Na obszarze, który zwiedzaliśmy – między Tokio, Nagoją i Osaką stanowiącym 13% powierzchni kraju, żyje połowa jego mieszkańców – prawie 1300 osób

na 1 km². Jest to dziesięciokrotnie więcej od średniego zaludnienia Polski! Brak wolnych terenów jest tak dotkliwy, że np. nie ma miejsca na pastwiska, a produkty mleczarskie trzeba sprowadzać z innych krajów.

Szokują rozwiązania komunikacyjne powszechnie stosowane także w innych krajach azjatyckich: wiadukty drogowe i kolejowe prowadzące ruch nad terenem, kilka metrów od okien budynków, nierzadko bez jakichkolwiek zabezpieczeń akustycznych, podczas gdy u nas stawiamy ekrany nawet przy oplotkach zapadłych wiosek.

Podziw budzi wielość linii tokijskiego metra – zasięg i szybkość ich zbudowania mimo trudnych warunków geologicznych – wodnych, które można zgadywać porównując wyniesienie terenu nad poziom morza, z zagłębieniem tuneli. Także koleje jeżdżące z prędkością 400 km/h i minutową dokładnością, co wymusza sprawne wchodzenie do wagonów na stacjach.

Upodobniają nas dziwactwa przy powitaniach i pożegnaniach: u Japończyków przejawia się to niekończącymi się ukłonami bez podawania ręki, a u nas potrząsaniem w nieskończoność dłoni witanego lub żegnanego.

Ale podziwu godne są tam: uprzejmość i nieuzewnętrznianie emocji przez Japończyków. Nie zdarzyło się nam dostrzec ich niezadowolonych z powodu naszego zachowania na peronach i w wagonach. Tej delikatności i wrażliwości mogliśmy się spodziewać pamiętając m. in. sukcesy japońskich pianistów w Konkursie Chopinowskim, ale – co zdarzyło się na jednej ze stacji kolejowych – żeby utwory naszego rodaka brzmiały przez głośniki dla oczekujących na peronie – tego nie doświadczymy nawet w ojczyźnie kompozytora.

Jednakże – mimo zachwyty – nie starajmy się być „drugą Japonią”. Kochajmy nasze wady.

Bibliografia

- [1] <https://www.google.pl/maps/@34.3085056,133.8810409,9.3z?hl=pl>
- [2] Opracowanie własne autora artykułu na podstawie folderu reklamowego rozdawanego w muzeum budowy mostu



JACEK ALENOWICZ

Politechnika Gdańska
jacek.alenowicz@pg.edu.pl

Badania i ocena właściwości granulatu asfaltowego stosowanego w recyklingu na gorąco w otaczarkach

Destrukt asfaltowy stanowi cenny materiał, którego wykorzystanie niesie za sobą korzyści ekonomiczne i wpływa korzystnie na ochronę środowiska naturalnego. Badania destruktu i pochodzącego z niego granulatu asfaltowego muszą pozwolić

na określenie jakości tych materiałów, przede wszystkim pod względem właściwości kruszywa, asfaltu oraz jednorodności. Wiarygodna informacja, dotycząca właściwości granulatu asfaltowego jest konieczna do zaprojektowania mieszanki mineralno-asfaltowej z zawartością tego składnika.

Destrukt asfaltowy, destrukt asfaltowy kwalifikowany i granulaty asfaltowe

W roku 2016 została znowelizowana norma zharmonizowana [6], określająca definicje i podstawowe wymagania dotyczące materiału odzyskanego z nawierzchni asfaltowych. Wprowadzono istotne zmiany w nazewnictwie oraz w treści definicji podstawowych pojęć. Zagadnienie to zostało szczegółowo omówione przez autora w artykule [2]. Ważną konsekwencją zmian jest to, że materiałem odzyskanym z nawierzchni (RA) może być obecnie nazwany tylko materiał przebadany, o potwierdzonej zgodności z wymaganiami normy. Wcześniej terminem (RA) określano każdą pozyskaną mieszankę mineralno-asfaltową, niezależnie od jej faktycznej przydatności, również taką, która po ocenie była odrzucona, jako nieprzydatna do recyklingu na gorąco. W Polsce przyjęto i stosowano w odniesieniu do (RA) określenie „destrukt asfaltowy”.

Nowelizacja normy [6] nastąpiła w czasie, kiedy był realizowany program RID, dotyczący wykorzystania materiałów pochodzących z recyklingu. Program ten został zakończony w 2018 r. Część dotycząca recyklingu na gorąco w otaczarkach była przedmiotem badań prowadzonych przez Politechnikę Gdańską oraz Instytut Badawczy Dróg i Mostów. Zmiany w zakresie nazewnictwa, wprowadzone w normie, zostały uwzględnione w prowadzonych pracach. Przyjęte polskie terminy przedstawia schemat na rys. 1. Przyjęto następujące definicje [6]:

- Destrukt asfaltowy – materiał przeznaczony do recyklingu, w postaci sfrezowanych warstw asfaltowych lub płyt zerwanych z nawierzchni asfaltowej lub mieszanki mineralno-asfaltowej odrzuconej albo stanowiącej nadwyżkę produkcji.

- Destrukt asfaltowy kwalifikowany (RA) – przetworzony destrukt asfaltowy, przydatny i gotowy do zastosowania jako materiał składowy mieszanki mineralno-asfaltowej, po przeprowadzeniu badań, oceny i klasyfikacji zgodnie z normą [6].
- Granulat asfaltowy – pewna ilość destruktu asfaltowego kwalifikowanego o sklasyfikowanych / deklarowanych właściwościach, przydatnego i gotowego do zastosowania jako materiał składowy w produkcji mieszanki mineralno-asfaltowej.

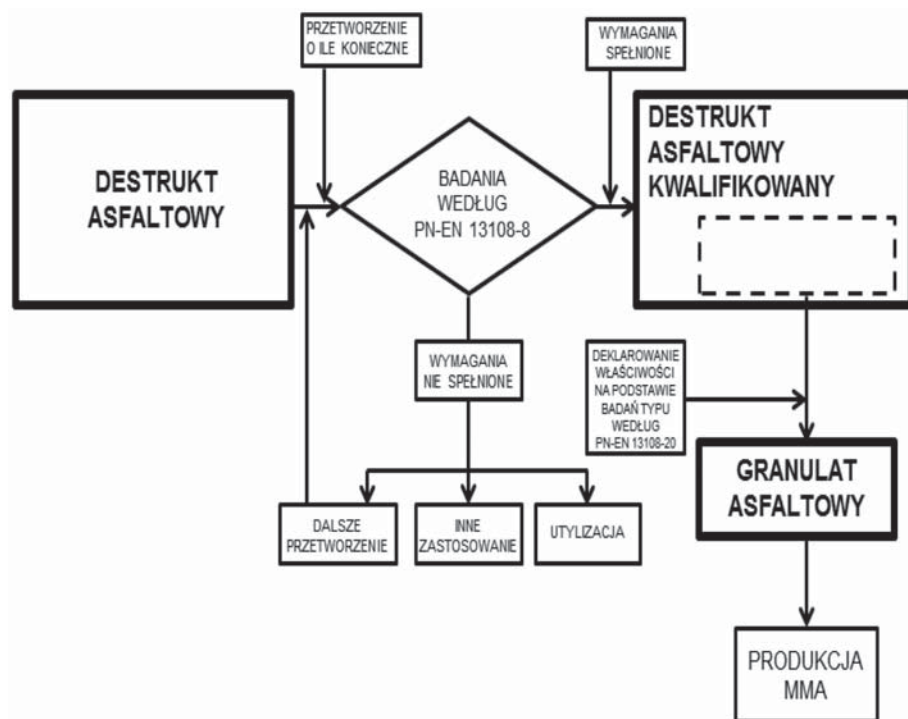
Przyjęte nazewnictwo podtrzymuje stosowanie terminu „destrukt asfaltowy” w odniesieniu do każdej pozyskanej mieszanki mineralno-asfaltowej (obecnie w normie [6] wprowadzono nowy termin *site-won asphalt*) oraz stosowanie terminu „granulat asfaltowy” do materiału podawanego bezpośrednio do otaczarki, jak to ma miejsce w Polsce od kilkunastu lat. „Destrukt asfaltowy kwalifikowany” to materiał odzyskany (*reclaimed asphalt – RA*), o właściwościach potwierdzonych w zakresie wymaganym przez normę [6]. Zakres tych badań jest często niewystarczający do zaprojektowania składu mieszanki mineralno-asfaltowej. Wymaga uzupełnienia i rozszerzenia, aby potwierdzić przydatność odzyskanego materiału w konkretnej mieszance mineralno-asfaltowej w badaniach typu i umożliwić wykorzystanie go w produkcji jako „granulat asfaltowy”.

Zasady i zakres oceny

Obecnie stosowany sposób oceny granulatu asfaltowego opiera się na badaniu próbek pobranych z hałdy. Ocena na podstawie badań próbek z odwiertów, pobranych z nawierzchni przed remontem została uznana za niewiarygodną do celów projektowania mieszanki mineralno-asfaltowej, ze względu na rozdrobnienie kruszywa w procesie późniejszego frezowania i/lub kruszenia destruktu [8, 19, 20, 24, 26, 27].

W pracy [8] stwierdza się ponadto, że materiał pochodzący z odwiertów charakteryzuje się większą niejednorodnością niż pobrany z hałdy. W przeszłości, w przypadku dopuszczenia badań próbek z odwiertów i stosowania współczynników korygujących ze względu na rozdrobnienie, wymagano przeprowadzenia również badań sprawdzających uziarnienie kruszywa w materiale, zgromadzonym na hałdzie [19].

Jeżeli w przypadku konkretnego przedsięwzięcia zachodzi potrzeba wcześniejszego zaprojektowania mieszanki mineralno-asfaltowej z granuletem, to próbki do badań należy uzyskać poprzez frezowanie istniejącej nawierzchni na małych powierzchniach, na zakładaną głębokość i z zastosowaniem takiej frezarki, jaka będzie wykorzystana podczas zrywania nawierzchni



Rys. 1. Schemat procesu oceny i kwalifikacji materiału przeznaczanego do recyklingu na gorąco [3]

[24]. Użycie innej frezarki, na przykład o mniejszej mocy i wielkości bębna, może spowodować pozyskanie niereprezentatywnych próbek. Przedstawiony sposób wymaga tymczasowego odtworzenia nawierzchni w miejscu pobrania próbek oraz powoduje utrudnienia w ruchu, co stanowi poważną wadę.

W normie [6] określono podstawowe wymagania w zakresie badań materiału zgromadzonego na hałdzie, w celu potwierdzenia jego przydatności do powtórnego wykorzystania. Udokumentowanie pięciu następujących właściwości jest obligatoryjne:

- zawartość materiałów obcych,
- zawartość lepiszcza,
- typ lepiszcza,
- uziarnienie kruszywa,
- maksymalna wielkość kawałków materiału na hałdzie.

Określenie i ocena powyższych cech destruktu asfaltowego ma na celu jego sklasyfikowanie i potwierdzenie ogólnej przydatności do powtórnego wykorzystania w recyklingu na gorąco.

Potwierdzenie przydatności destruktu asfaltowego kwalifikowanego w odniesieniu do produkcji konkretnej mieszanki mineralno-asfaltowej i nazwanie takiego materiału „granulatem asfaltowym” wymaga przeprowadzenia szerszego zakresu badań. Ogólnie, w odniesieniu do granulatu asfaltowego, może być wymagane określenie następujących, dodatkowych właściwości:

- właściwości lepiszcza (np. penetracja, temperatura mięknięcia, lepkość),
- właściwości kruszywa (np. gęstość),
- jednorodności.

W normie [6] stwierdza się ogólnie, że właściwości te należy określić „kiedy jest to konieczne” oraz że właściwości lepiszcza i kruszywa „mogą być określone w dokumentach związanych z zastosowaniem mieszanek mineralno-asfaltowych”.

Liczba i zakres szczegółowych badań mogą się wahać. Muszą one umożliwić ocenę granulatu asfaltowego, adekwatną do jego jakości i zmienności cech oraz planowanego wykorzystania, tj. procentowy udział w mieszance mineralno-asfaltowej i jej przeznaczenie, a także do wymagań wynikających ze stosowanej metody projektowania składu mieszanki mineralno-asfaltowej.

Pobieranie próbek granulatu asfaltowego

Liczba oraz sposób pobrania próbek mają wpływ na dokładność oceny właściwości granulatu asfaltowego. Według aktualnej normy [6] na liczbę pobranych próbek wpływa pochodzenie granulatu asfaltowego, jego zakładana zawartość w mieszance mineralno-asfaltowej oraz przeznaczenie mieszanki. W normie wyróżniono trzy poziomy częstotliwości badań, poprzez określenie maksymalnej masy granulatu, w przypadku której należy przeprowadzić jedno badanie:

- poziom X – 500 ton/badanie,
- poziom Y – 1000 ton/badanie,
- poziom Z – 2000 ton/badanie.

Liczba próbek, które należy pobrać z hałdy wynika z podzielenia masy zgromadzonego na niej granulatu przez masę wynikającą z przyjętego poziomu częstotliwości badań. Wybór poziomu częstotliwości badań pozostawia się indywidualnej ocenie. Stwierdza się jedynie, że minimalna liczba próbek wynika z poziomu Z, przy czym zaznacza się, że liczba próbek pobranych z danej hałdy nie może być mniejsza niż 5.

W pewnej sprzeczności z tym wymaganiem pozostaje istniejący w normie zapis, który dopuszcza, aby przy założeniu stosowania do 20% granulatu asfaltowego w przypadku warstw podbudowy i wiążącej oraz do 10% granulatu w przypadku warstwy ścieralnej, możliwe było ograniczenie wykonania badań zaledwie jednej próbki pobranej z hałdy. Dopuszczenie tak powierzchownego rozpoznania jest mocno dyskusyjne, również z tego względu, że nie powiązано go w jakikolwiek sposób z wielkością hałdy, pochodzeniem granulatu, przeznaczeniem mieszanki mineralno-asfaltowej, jak również obciążeniem ruchem. W obowiązujących w Polsce wytycznych WT-2 [28], zapis ten nie został uwzględniony, chociaż znajdował się on również w wersji normy, dotyczącej destruktu asfaltowego, wydanej w roku 2007.

W wytycznych WT-2 przyjęto, że liczbę próbek określa się przy założeniu poziomu częstotliwości X, czyli dzieląc masę materiału na hałdzie przez 500 ton oraz, że minimalna liczba próbek wynosi 5. Taki sam poziom częstotliwości występuje w wymaganiach niemieckich [20] oraz irlandzkich [14].

Częstotliwość badań granulatu asfaltowego, stosowana w krajach poza Europą, wynosi od 500 do 1000 ton na jedno badanie. Według zaleceń amerykańskich [11, 19, 24] liczbę pobranych próbek określają dwa następujące warunki:

- należy wykonać badania dla każdego 1000 ton granulatu asfaltowego,
- ocena hałdy pod względem jednorodności wymaga zbadania co najmniej 10 próbek.

Liczbę miejsc pobrania próbek można zredukować w przypadku, kiedy pochodzenie destruktu asfaltowego, i w konsekwencji granulatu, świadczy o dużej jednorodności (np. selektywnie zerwana warstwa nawierzchni). W pracach [1, 5, 13, 27] mówi się o konieczności zbadania minimum 5 próbek, jednak zaleca się pobranie 10 lub więcej próbek.

W Australii, w zależności od wymagań obowiązujących w poszczególnych stanach, badania powinny być wykonane w przypadku każdego 500 lub 1000 ton granulatu asfaltowego [10, 15, 18]. W Kanadzie podstawowe badania są wykonywane w przypadku każdego 750 ton granulatu [23].

Próbki do oceny granulatu asfaltowego należy pobierać losowo, a sposób pobrania próbek musi zapewniać reprezentatywne rozpoznanie jednorodności i właściwości hałdy. Według aktualnej normy [6] pobranie próbek należy przeprowadzić zgodnie z zasadami określonymi w normie EN 932-1 *Badania podstawowych właściwości kruszyw – Metody pobierania próbek*. Również poza Europą, na przykład w Australii [10, 15] oraz w USA [5], stosuje się normy obowiązujące w zakresie pobierania próbek kruszyw. Wpływ sposobu pobierania próbek z hałdy na wynik oznaczenia cech granulatu asfaltowego był m.in. przedmiotem analiz

w ramach europejskiego programu badawczego, dotyczącego recyklingu mieszanek mineralno-asfaltowych [7, 12].

Wielkość pobranych próbek powinna być dostosowana do zakresu badań. Należy uwzględnić, czy pobierane próbki zostaną wykorzystane tylko do oceny właściwości granulatu asfaltowego, z uwzględnieniem zakresu przewidzianych badań, czy również posłużą w badaniach związanych z projektowaniem składu mieszanki mineralno-asfaltowej. Według amerykańskiego poradnika NCHRP [1] w każdym punkcie należy pobrać 10 kg granulatu asfaltowego na każdy projekt mieszanki mineralno-asfaltowej, który będzie opracowany, plus dodatkowo 5 kg.

Zawartość materiałów obcych

W krajach Unii Europejskiej do oceny zawartości materiałów obcych w destrukcie i granulacie asfaltowym stosuje się normę [16]. Materiały obce są podzielone na dwie grupy:

- grupa 1 – beton cementowy i wykonane z niego wyroby, zaprawy cementowe, cegły, materiały pochodzące z podbudów drogowych, z wyłączeniem kruszywa naturalnego.
- grupa 2 – materiały syntetyczne, drewno, tworzywa sztuczne.

Wyróżnia się trzy kategorie destruktu i granulatu asfaltowego pod względem zawartości materiałów obcych:

- Kategoria F_1 – wagowa zawartość materiałów z grupy 1 do 1% i wagowa zawartość materiałów z grupy 2 do 0,1%;
- Kategoria F_5 – wagowa zawartość materiałów z grupy 1 do 5% i wagowa zawartość materiałów z grupy 2 do 0,1%;
- Kategoria F_{dec} – deklarowana zawartość i rodzaj wszystkich materiałów obcych.

Ustalenie wymaganej kategorii F norma [6] pozostawia indywidualnej decyzji.

W Polsce, według wytycznych WT-2 [28], dopuszcza się jedynie granulaty spełniające wymagania kategorii F_1 zawartości materiałów obcych. Podobne wymaganie obowiązuje w Irlandii [14]. W wielu krajach w obowiązujących zaleceniach i wytycznych, dotyczących pozyskiwania i przygotowania granulatu asfaltowego, zwraca się uwagę na wyeliminowanie zanieczyszczenia materiałami obcymi. Na przykład w USA maksymalna zawartość zanieczyszczeń obcych w materiale uzyskiwanym podczas frezowania wynosi 1% [24, 26, 27].

Granulat asfaltowy przeznaczony do recyklingu na gorąco nie może zawierać lepiszcza w postaci smoły ani być nią zanieczyszczony.

Określenie wielkości kawałków granulatu

Maksymalna wielkość kawałków materiału na hałdzie powinna być określona w zakresie obligatoryjnych badań, wymienionych w normie [6]. Charakteryzuje ona rozdrobnienie materiału i występuje w podstawowym oznaczeniu destruktu asfaltowego kwalifikowanego (RA) i granulatu

asfaltowego, wraz z maksymalnym wymiarem zawartego w nim kruszywa. Na przykład: 40 RA 0/11 mm oznacza destruktu asfaltowy kwalifikowany, który w 100% przechodzi przez sito 40 mm, a maksymalny wymiar ziaren kruszywa wynosi 11 mm.

Wyniki badań wielkości kawałków destruktu asfaltowego w celu jego kwalifikacji mogą być wykorzystane w opisie granulatu asfaltowego względnie zaistnieć konieczność ich powtórzenia, na przykład kiedy projektowanie składu mieszanki mineralno-asfaltowej wykaże konieczność rozdrobnienia lub podziału destruktu asfaltowego kwalifikowanego na frakcje.

Maksymalna wielkość kawałków granulatu asfaltowego nie jest arbitralnie określona i powinna być dostosowana do konstrukcji otaczarki oraz technologii wykorzystywanej do recyklingu. Zazwyczaj przyjmuje się, że maksymalny wymiar kawałków wynosi 20÷30 mm – w przypadku podawania do produkcji zimnego granulatu asfaltowego, natomiast w przypadku dozowania ogrzanego granulatu – 50 mm. Zbyt małe rozdrobnienie może być powodem trudności we właściwym ogrzaniu granulatu oraz wymieszaniu go z nowymi składnikami w sposób zapewniający uzyskanie jednorodnej mieszanki mineralno-asfaltowej. Zbyt duże rozdrobnienie może powodować powstanie nadmiernej ilości frakcji drobnych, co w konsekwencji może poważnie ograniczyć wykorzystanie takiego granulatu asfaltowego w recyklingu na gorąco w otaczarce.

Zawartość lepiszcza w granulacie asfaltowym

Zawartość lepiszcza należy do podstawowych właściwości podlegających ocenie w odniesieniu do granulatu asfaltowego. Jest to zawsze brane pod uwagę w czasie projektowania mieszanki mineralno-asfaltowej z zastosowaniem tego materiału. Zakłada się, że ilość nowego lepiszcza można zredukować o wartość wynikającą z zawartości lepiszcza w granulacie asfaltowym oraz procentowego udziału granulatu w mieszance mineralno-asfaltowej. Określenie zawartości lepiszcza w granulacie jest szczególnie istotne w przypadku znaczącej różnicy w zawartości lepiszcza w granulacie i w projektowanej mieszance mineralno-asfaltowej, na przykład przy wykorzystywaniu granulatu asfaltowego pochodzącego z SMA w betonie asfaltowym do wykonania warstwy podbudowy.

W większości krajów nie formułuje się minimalnych wymagań w zakresie zawartości lepiszcza w granulacie. Wyjątkiem w tym zakresie jest Japonia, gdzie wymaga się, aby odzyskana mieszanka mineralno-asfaltowa, przeznaczona do recyklingu, zawierała co najmniej 3,8% lepiszcza [25].

Typ i właściwości asfaltu zawartego w granulacie asfaltowym

Według normy [6] typ asfaltu w granulacie asfaltowym (np. drogowy, modyfikowany, twardy) powinien być udokumentowany i zadeklarowany, jeżeli taka informacja jest dostępna na podstawie wcześniej lub aktualnie zgroma-

dzonych danych. Według wytycznych WT-2 [28] zadeklarowanie typu lepiszcza jest wymagane w opisie granulatu asfaltowego.

Tabela 1. Propozycja minimalnej częstotliwości badań lepiszcza odzyskanego z granulatu asfaltowego przewidzianego do zastosowania w warstwie ścieralnej [4]

Właściwość	Zawartość granulatu asfaltowego w mm-a		
	≤ 10%	>10% i <30%	≥ 30%
Zawartość lepiszcza w mm-a	1 raz na 500 ton	1 raz na 500 ton	1 raz na 500 ton
Penetracja i T _{PIK}	1 raz na 5000 ton	1 raz na 3000 ton	1 raz na 2000 ton

Często do prawidłowego zaprojektowania mieszanki mineralno-asfaltowej z zawartością granulatu jest konieczne określenie właściwości zawartego w nim lepiszcza. Do najczęściej oznaczanych właściwości starego lepiszcza należą: penetracja, temperatura mięknięcia oraz lepkość.

Częstotliwość i zakres badań powinny być określone indywidualnie. Według wytycznych brytyjskich TRL [4], dotyczących wykorzystania granulatu asfaltowego w warstwach ścieralnych, badania lepiszcza odzyskanego z granulatu asfaltowego powinny być wykonywane w zakresie i z częstotliwością podanymi w tabeli 1.

Potrzeba oznaczenia właściwości lepiszcza, zawartego w granulacie może wynikać z dwóch przyczyn:

- konieczności zidentyfikowania stopnia starzenia lepiszcza zawartego w granulacie i oceny możliwości jego regeneracji,
- potrzeby oceny właściwości mieszaniny starego i nowego lepiszcza.

Identyfikacja procesu starzenia lepiszcza w granulacie

W normie [6] sformułowano ograniczenia, dotyczące maksymalnej temperatury mięknięcia oraz minimalnej penetracji lepiszcza odzyskanego z granulatu asfaltowego. Wynikają one z obawy o to, że w przypadku nadmiernego zestarzenia lepiszcza, zawartego w granulacie, nie będzie możliwe jego pełne i jednorodne połączenie z nowym lepiszczem. Zapisy w tym zakresie, identyczne z normowymi [6], zostały wprowadzone w wytycznych WT-2 [28]:

- średnia wartość temperatury mięknięcia nie może być wyższa niż 70°C, a żaden wynik pomiaru nie może być wyższy niż 77°C,
- średnia wartość penetracji nie może być mniejsza niż

15 × 0,1 mm, a żaden wynik pomiaru nie może być mniejszy niż 10 × 0,1 mm.

Identyczne wymagania obowiązują w Niemczech i Portugalii [9]. W poszczególnych krajach Unii Europejskiej mogą obowiązywać nieco zmienione wymagania, określające inne wartości lub odnoszące się tylko do jednej z wymienionych cech asfaltu [9] (tabela 2).

W Japonii wymaga się, aby penetracja lepiszcza odzyskanego z granulatu asfaltowego nie była mniejsza niż 20 × 0,1 mm [25]. W kraju tym obserwuje się wzrost ilości granulatu pochodzącego z warstw asfaltowych zawierających asfalt modyfikowany polimerem (PMB) oraz coraz częstsze wykonywanie powtórnego recyklingu, tzn. pozyskiwanie granulatu z warstw nawierzchni, w których w przeszłości zastosowano już odzyskaną mieszankę mineralno-asfaltową. Powoduje to obawy o to, że coraz większa ilość pozyskiwanego granulatu nie będzie spełniać warunku minimalnej penetracji, w odniesieniu do zawartego w nim asfaltu. W Japonii dopuszcza się obecnie alternatywną metodę badania, zamiast określenia penetracji asfaltu. Próbkę uformowaną w 100% z granulatu poddaje się badaniu pośredniego rozciągania w temperaturze 20°C, a następnie oblicza wskaźnik, nazywany w Japonii „modułem IDT”. Powstaje on przez podzielenie wartości wytrzymałości na rozciąganie [MPa] przez odkształcenie próbki [mm] w momencie odnotowania maksymalnej siły. Jeżeli wartość wskaźnika przekracza 1,70 MPa/mm, wówczas granulat nie może być zastosowany w mieszance mineralno-asfaltowej [25].

Właściwości mieszaniny starego i nowego lepiszcza

W projektowaniu mieszanek mineralno-asfaltowych, zawierających granulaty asfaltowe, zakłada się pełne połączenie starego i nowego asfaltu oraz uzyskanie jednorodnego lepiszcza. Właściwości wynikowego lepiszcza zależą od proporcji starego i nowego asfaltu oraz od ich właściwości. Prawidłowy dobór nowego lepiszcza, z uwzględnieniem cech starego asfaltu, należy do podstawowych zagadnień, związanych z projektowaniem mieszanek mineralno-asfaltowych, zawierających granulaty asfaltowe.

Ocena właściwości starego asfaltu jest szczególnie istotna w przypadku projektowania mieszanek mineralno-asfaltowych o podwyższonej zawartości granulatu (ang. *high RAP content mixes*). Pojęcie to nie jest jednoznacznie zdefiniowane i oznacza zazwyczaj zastosowanie ponad 20 ÷ 30% granulatu asfaltowego. W USA określa się tak mieszanki mineralno-asfaltowe o zawartości granulatu asfaltowego powyżej 25% [5, 13, 27].

Podstawowe cechy starego asfaltu, podlegające ocenie to: penetracja, temperatura mięknięcia oraz lepkość. Właściwości te są wymienione w normach zharmonizowanych [6, 17]. W wielu krajach (na przykład Polska, Niemcy, Irlandia, Francja) przyjęto za wystarczające oznaczenie penetracji i temperatury mięknięcia. W Australii [10, 15] za podstawowe badanie przyjmuje się obecnie badanie lepkości. Poza badaniem starego asfaltu zaleca się przeprowadzenie badania lepkości mieszaniny starego i nowego lepiszcza

Tabela 2. Wymagane właściwości asfaltu odzyskanego z granulatu w wybranych krajach [9]

Badanie asfaltu	Belgia	Francja	Irlandia	Słowenia	Wlk. Brytania
Penetracja [1/10 mm]	>10	>5	>15	–	>15
Temperatura mięknięcia [°C]	–	<77	–	<70	–

w przypadku mieszanek mineralno-asfaltowych, zawierających ponad 15% granulatu asfaltowego. Badanie lepkości było podstawowym badaniem w ocenie starego asfaltu, stosowanym w USA przed wprowadzeniem metod, wynikających z programu SHRP. W USA, w przypadku stosowania ponad 25% granulatu asfaltowego wymaga się szczegółowych badań starego lepiszcza (DSR, BBR), pozwalających na określenie dla niego maksymalnej i minimalnej temperatury określającej rodzaj funkcjonalny PG [11, 13, 27].

Uziarnienie kruszywa zawartego w granulacie asfaltowym

Informacja o krzywej uziarnienia kruszywa zawartego w granulacie asfaltowym jest konieczna do zaprojektowania mieszanki mineralno-asfaltowej. Krzywa uziarnienia jest wyznaczana na podstawie przesiewu wysuszonej próbki kruszywa, uzyskanej w wyniku ekstrakcji.

Liczba sit, na których należy określić uziarnienie, może różnić się w różnych krajach. Według normy [6] uziarnienie należy podawać jako procentowy udział kruszywa, które przechodzi przez następujące sита: 1,4D, D, 2 mm i 0,063 mm, oraz jedno lub więcej sit grubych pomiędzy D a 2 mm, jak również jedno lub więcej sit pomiędzy 2 mm a 0,063 mm. W normie [6] określono sposób wyznaczenia D oraz podano z jakich zestawów wybrać dodatkowe sита – grube i drobne. W wytycznych WT-2 [28] mówi się o potrzebie deklarowania w opisie granulatu asfaltowego rodzaju kruszywa i średniego uziarnienia, jednak w tabeli 3 Wytycznych, podającej wymagania dotyczące granulatu asfaltowego, brak odniesienia do badania uziarnienia kruszywa.

W USA stosuje się standardowy zestaw sit, wynikający z procedury AASHTO T30 i normy ASTM C136, odnoszących się do określenia uziarnienia kruszywa po ekstrakcji [11, 13, 19].

Za podstawowe sита do oceny jakości uziarnienia oraz jednorodności kruszywa zawartego w granulacie uznaje się sito 2 mm i sito 0,063 mm (w USA i Japonii – 0,075 mm). Zbyt duża zawartość frakcji wypełniaczowej może być powodem istotnego ograniczenia wykorzystania, a w skrajnych przypadkach – również wykluczenia granulatu asfaltowego. W Japonii [25] nie dopuszcza się zastosowania w recyklingu na gorąco granulatu, w którym zawartość frakcji <0,075 mm przekracza 5%.

Im większy zakładany udział granulatu w mieszance mineralno-asfaltowej, tym dokładniejsza powinna być identyfikacja uziarnienia zawartego w nim kruszywa. Według wytycznych brytyjskich TRL [4], dotyczących wykorzystania granulatu asfaltowego w warstwach ścieralnych, częstotliwość badania uziarnienia kruszywa odzyskanego z granulatu asfaltowego powinna zależeć od zawartości granulatu w mieszance mineralno-asfaltowej i od zmienności wyników badania. Propozycję w tym zakresie według [4] podano w tabeli 3.

Zmienność jest w tym przypadku zdefiniowana jako średnia ważona różnic pomiędzy maksymalnym i minimalnym wynikiem z ostatnich sześciu oznaczeń w przypadku pojedynczego sita na wszystkich sitach użytych w analizie, przy czym wagą jest średnia proporcja masy tej frakcji.

Tabela 3. Propozycja minimalnej częstotliwości badań uziarnienia kruszywa zawartego w granulacie asfaltowym do zastosowania w warstwie ścieralnej [4]

Zawartość granulatu w mm-a	≤ 10%	>10% i <30%	≥ 30%
Zmienność ≤ 5%	1 raz na 500 ton	1 raz na 500 ton	1 raz na 500 ton
Zmienność ≤ 10%	1 raz na 400 ton	1 raz na 350 ton	1 raz na 300 ton
Zmienność ≥ 10%	1 raz na 300 ton	1 raz na 200 ton	1 raz na 100 ton

Właściwości kruszywa zawartego w granulacie asfaltowym

Właściwości kruszywa zawartego w granulacie muszą być nie gorsze, niż określają odpowiednie wymagania dla kruszywa w nowo projektowanych mieszankach mineralno-asfaltowych. Jeżeli jest to wymagane, należy zadeklarować rodzaj kruszywa oraz udokumentować i zadeklarować odpowiednie właściwości kruszywa [6]. Deklaracja powinna opierać się na aktualnych lub wcześniejszych badaniach i danych. Dopuszcza się deklarowanie właściwości kruszywa mineralnego w granulacie asfaltowym na podstawie zadeklarowanego, wcześniejszego zastosowania [28].

Badania właściwości kruszywa pochodzącego z granulatu, na przykład odporności na rozdrabnianie czy mrozoodporności są wykonywane wyjątkowo. Kruszywo zawarte w granulacie było w przeszłości badane, oceniane oraz sklasyfikowane, dlatego badania należy przeprowadzić jedynie w przypadku uzasadnionych wątpliwości co do jego jakości, na przykład spowodowanych charakterem uszkodzeń zerwanej warstwy asfaltowej [13].

Obliczenie zawartości wolnych przestrzeni w szkieletie mineralnym mieszanki mineralno-asfaltowej wymaga znajomości gęstości kruszywa. Jej obliczenie, w przypadku mieszanki mineralno-asfaltowej z granulatem wymaga określenia gęstości kruszywa, tworzącego szkielet mineralny granulatu. Sposób wyznaczenia gęstości kruszywa zawartego w granulacie przedstawiono m.in. w pracach [5, 11, 13, 19, 27].

Jednorodność granulatu asfaltowego

Niejednokrotnie wyrażane są obawy o to, że granulat asfaltowy jest niejednorodnym materiałem i że może to przekładać się na znaczne wahania składu mieszanki mineralno-asfaltowej wyprodukowanej z zastosowaniem granulatu, szczególnie w przypadku zwiększonej jego zawartości. Badania przeprowadzone w USA wykazały, że o ile są przestrzegane zasady dotyczące właściwego pozyskiwania destruktu oraz formowania hałd granulatu asfaltowego, materiał ten może wykazywać jednorodność nie gorszą niż kruszywa stosowane w produkcji mieszanek mineralno-asfaltowych [11, 19, 24].

Norma [6], dotycząca granulatu asfaltowego pozostawia ocenę i deklarowanie jednorodności hałdy indywidualnej

ocenie. Stwierdza się, że należy to uczynić kiedy „jest to wymagane”. Ocena jednorodności granulatu jest uznawana za bardzo ważną [9, 20, 21] i należy przyjmować, że jest wymagana, ponieważ może mieć istotny wpływ na stabilność składu produkowanej mieszanki mineralno-asfaltowej, w szczególności w przypadku zwiększonej zawartości granulatu asfaltowego. Nadmierna niejednorodność granulatu asfaltowego może być powodem istotnego ograniczenia jego zawartości w mieszance mineralno-asfaltowej. Ocena jednorodności granulatu asfaltowego jest stosowana do określenia jego maksymalnej zawartości w mieszance mineralno-asfaltowej [1, 9, 20, 22].

Jednorodność granulatu, zgromadzonego na hałdzie, jest oceniana na podstawie rozstępu lub odchylenia standardowego określonego dla wyników badań poszczególnych właściwości granulatu, przeprowadzonych na pobranych próbkach. Ocenie podlegają najczęściej wyniki badań (wszystkich lub wybranych) następujących cech [9, 20, 28]:

- zawartość kruszywa o uziarnieniu < 0,063 mm [% (m/m)],
- zawartość kruszywa o uziarnieniu od 0,063 mm do 2 mm [% (m/m)],
- zawartość kruszywa o uziarnieniu > 2 mm [% (m/m)],
- zawartość lepiszcza [% (m/m)],
- temperatura mięknięcia lepiszcza odzyskanego T_{PIK} , [°C],
- penetracja lepiszcza odzyskanego [0,1 mm].

W Polsce, według wytycznych WT-2 [28], jednorodność granulatu asfaltowego należy oceniać na podstawie rozstępu wyników badań. Dopuszczalne wartości rozstępu dla ocenianych właściwości granulatu asfaltowego przedstawiono w tabeli 4.

Tabela 4. Dopuszczalny rozstępn wyników badań T_{roz} wybranych właściwości granulatu asfaltowego w zależności od warstwy nawierzchni [28]

Właściwość	Dopuszczalny rozstępn wyników badań T_{roz} granulatu asfaltowego do zastosowania w mieszance mineralno-asfaltowej przeznaczonej do	
	warstwy wiążącej	warstwy podbudowy
Temperatura mięknięcia T_{PIK} , [°C]	8	8
Zawartość asfaltu [% (m/m)]	1,0	1,2
Zawartość kruszywa o uziarnieniu < 0,063mm [% (m/m)]	6,0	10,0
Zawartość kruszywa o uziarnieniu od 0,063 mm do 2 mm [% (m/m)]	16,0	16,0
Zawartość kruszywa o uziarnieniu > 2 mm [% (m/m)]	16,0	18,0

Przedstawiona tabela jest stosowana w Niemczech i została podana w wytycznych niemieckich, dotyczących recyklingu na gorąco w otaczarkach [20]. Wartości T_{roz} podane w tabeli dotyczą dopuszczalnych rozstępnów, stosowanych w Niemczech w odniesieniu do mieszanek mineralno-asfaltowych wykonanych z nowych składników. W Niemczech, w odniesieniu do granulatu asfaltowego, przyjęto zredukowane wartości dopuszczalnego rozstępu wymienionych

właściwości, w stosunku do wartości dopuszczalnych T_{roz} , obowiązujących w przypadku nowej mieszanki mineralno-asfaltowej. Zredukowane wartości dotyczące granulatu asfaltowego są następujące: $0,50T_{\text{roz}}$ w przypadku zastosowania go w warstwie podbudowy oraz $0,33T_{\text{roz}}$ w przypadku zastosowania go w warstwie ścieralnej i wiążącej. [20]

Istotne jest, że zredukowane wartości rozstępu ($0,50T_{\text{roz}}$ oraz $0,33T_{\text{roz}}$) odnoszą się do materiału, który będzie stanowił tylko część wyprodukowanej mieszanki mineralno-asfaltowej, natomiast wartości w tabeli 4 odnoszą się do całości mieszanki mineralno-asfaltowej. Redukcja wartości dopuszczalnego rozstępu w podanym stopniu oznacza, że w przypadku, kiedy rozstępn wyników badań przynajmniej jednej cechy przyjmuje wartość dopuszczalną, podaną w tabeli 4, to maksymalna zawartość takiego granulatu asfaltowego w warstwie podbudowy wynosi 50%, a w warstwie wiążącej i ścieralnej 33%. W przypadku lepszej jednorodności granulatu zawartości te mogłyby być zwiększone, a w przypadku przekroczenia wartości podanych w tabeli 4 muszą być one zmniejszone.

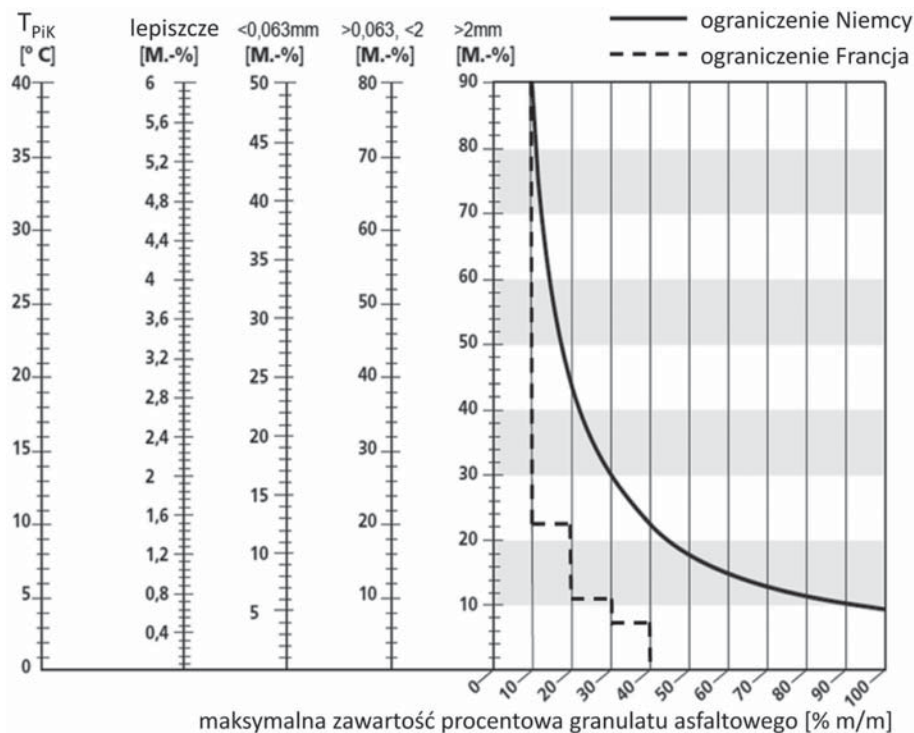
Wymagania podane w WT-2 [28] odnośnie jednorodności granulatu asfaltowego są bardziej konserwatywne, niż obowiązujące w Niemczech, ponieważ w WT-2 zawartość granulatu asfaltowego w mieszance mineralno-asfaltowej została ograniczona arbitralnie do 30%. W Niemczech granulatu o rozstępn wyników badań takim, jak określa tabela 4 (dopuszczalnym) mógłby być użyty w ilości do 33% lub do 50%, w zależności od warstwy nawierzchni.

Również we Francji jednorodność granulatu asfaltowego podlega ocenie i wpływa na jego dopuszczalną zawartość w mieszance mineralno-asfaltowej [9, 22]. Wpływ ten obrazują dane przedstawione na rysunku 2 [9]. Na rysunku tym przedstawiono również zależność, obowiązującą w Niemczech do określenia dopuszczalnej, wynikającej z jednorodności, zawartości granulatu w warstwie podbudowy. Zależność jest oparta o omówione wcześniej zasady, przyjęte w Niemczech.

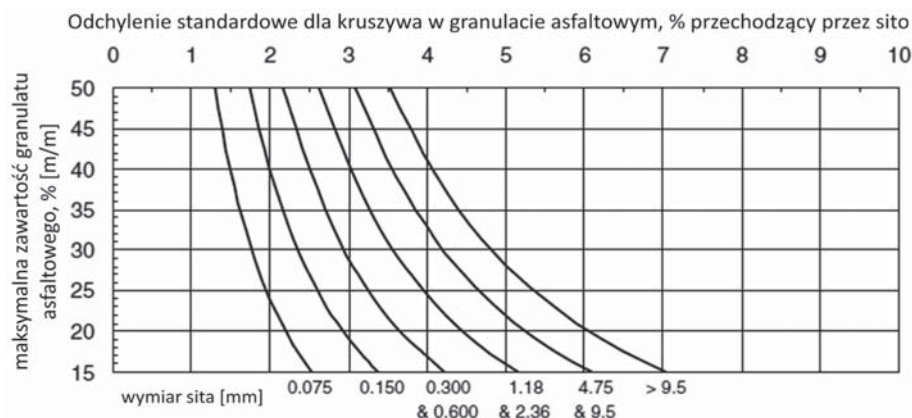
Tabela 5. Dopuszczalny rozstępn wyników badań właściwości granulatu asfaltowego w Belgii, Hiszpanii i Portugalii [9]

Właściwości granulatu		Belgia	Hiszpania i Portugalia
Przesiew [%]	d > 2mm	±10	±5
	2 mm ≥ d ≥ 0,063 mm	–	±3
	d < 0,063 mm	±3	±1,5
Lepiszczce	Zawartość [%]	±1	±0,4
	Penetracja [0,1 mm]	±10	±4
	Temp. mięknięcia [°C]	±10	–

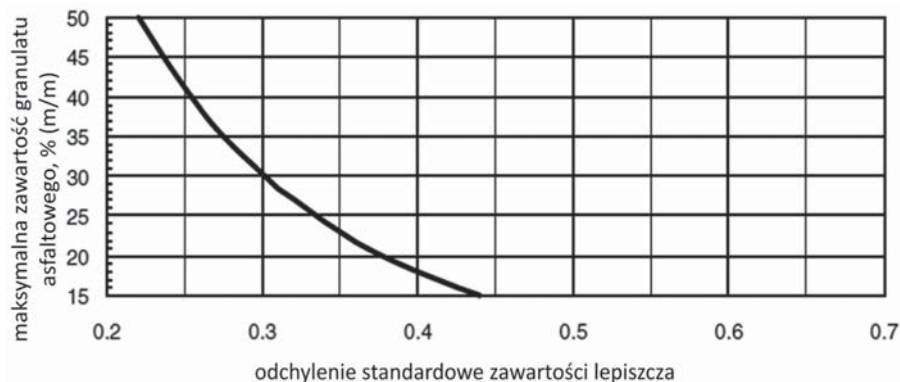
W niektórych krajach obowiązują wymagania dotyczące jednorodności granulatu asfaltowego, określające dopuszczalne rozstępn wyników badań, bez bezpośredniego odniesienia oceny jednorodności do zawartości granulatu w mieszance mineralno-asfaltowej. Do krajów takich, poza Polską, należą także Belgia, Hiszpania i Portugalia. Wymagania obowiązujące w Belgii, Hiszpanii oraz Portugalii przedstawiono w tabeli 5, na podstawie [9]. Porównanie wymagań obowiązujących w różnych krajach europejskich



Rys. 2. Wpływ oceny jednorodności granulatu na jego dopuszczalną zawartość w mieszance mineralno-asfaltowej do wykonania warstwy podbudowy wg wymagań niemieckich i francuskich [9]



Rys. 3. Dopuszczalna zawartość granulatu jako funkcja odchylenia standardowego uziarnienia kruszywa wg poradnika NCHRP [1] (dla $n = 5$ próbek pobranych z pojedynczej hałdy)



Rys. 4. Dopuszczalna zawartość granulatu jako funkcja odchylenia standardowego zawartości lepiszcza wg poradnika NCHRP [1] (dla $n = 5$ próbek pobranych z pojedynczej hałdy)

prowadzi do wniosku, że w odniesieniu do tej samej hałdy granulatu asfaltowego ocena pod względem jednorodności będzie zróżnicowana.

Również w USA zwraca się uwagę na konieczność oceny jednorodności granulatu asfaltowego. W poradniku NCHRP [1] przedstawiono zasady oceny jednorodności granulatu na podstawie odchylenia standardowego obliczonego dla wyników przeprowadzonych badań. Przyjęto, że maksymalne odchylenie standardowe uziarnienia i zawartości asfaltu w mieszance mineralno-asfaltowej z granulatem asfaltowym nie może być większe niż standardowe odchylenie dopuszczalne w przypadku nowych materiałów. Na tej podstawie określono zależności, pozwalające ustalić dopuszczalną zawartość granulatu asfaltowego w mieszance mineralno-asfaltowej, na podstawie obliczonego odchylenia standardowego wyników badań granulatu. Zależności dla $n = 5$ próbek, pobranych z pojedynczej hałdy granulatu, przedstawiono na rysunkach 3 i 4.

W pracy [1] podaje się również zasady oceny odchylenia standardowego właściwości odzyskanego materiału w przypadku wykorzystania w produkcji mieszanki mineralno-asfaltowej więcej niż jednego granulatu asfaltowego o znanych właściwościach.

W opracowaniu [13] do oceny jednorodności uziarnienia kruszywa zawartego w granulacie proponuje się obliczanie współczynnika zmienności, który jest wyrażonym w procentach stosunkiem odchylenia standardowego wyników badań do wartości średniej. Stwierdza się, że jeżeli w przypadku dowolnego sita wartość współczynnika zmienności przekroczy 15–20% należy rozważyć powtórne wymieszanie zgromadzonego granulatu asfaltowego lub ograniczyć jego zawartość w mm-a.

Wilgotność granulatu asfaltowego

Wilgotność granulatu jest cechą zmienną, jednak niezwykle istotną i powinna być oznaczana. Nadmierna wilgotność granulatu jest zawsze przyczyną dodatkowych kosztów podczas produkcji mieszanki mineralno-asfaltowej, może również poważnie ograniczyć, a nawet uniemożliwić, wykorzystanie do recyklingu w przypadku dozowania zimnego granulatu asfaltowego.

W przypadku stosowania w produkcji mieszanki mineralno-asfaltowej nieograniczonego granulatu asfaltowego jego wilgotność musi być uwzględniona w dozowaniu.

Ogólnie, oznaczanie wilgotności granulatu asfaltowego odbywa się na analogicznej zasadzie, jak ma to miejsce w przypadku kruszyw, jednak sposób ogrzania granulatu do osiągnięcia stałej masy może różnić się w różnych krajach.

Podsumowanie

1. Właściwości mieszanki mineralno-asfaltowej z granulatem asfaltowym muszą być nie gorsze niż mieszanki mineralno-asfaltowej wykonanej w całości z nowych materiałów. Z tego względu właściwa ocena granulatu asfaltowego jest kluczowa do jego wykorzystania w recyklingu na gorąco.
2. Ocena właściwości granulatu asfaltowego powinna być tym bardziej szczegółowa, im większy przewiduje się udział procentowy granulatu w mieszance mineralno-asfaltowej. Dokładność rozpoznania, tzn. liczba pobranych próbek, powinna być zwiększona w przypadku wątpliwości dotyczących jednorodności granulatu asfaltowego.
3. Norma [6] określa ogólne wymagania w zakresie badań koniecznych do klasyfikacji destruktu i granulatu asfaltowego. Przeprowadzenie dokładniejszych badań, na przykład ocenę jednorodności granulatu, pozostawia się indywidualnej ocenie.
4. Zakres szczegółowych badań granulatu asfaltowego musi umożliwiać zadeklarowanie jego właściwości w zakresie wymaganych w odniesieniu do Badania Typu mieszanki mineralno-asfaltowej, w której ma być zastosowany.
5. W przypadku gdy właściwości granulatu asfaltowego na hałdzie zmieniają się w takim stopniu, że granulat ten, jako materiał składowy mieszanki mineralno-asfaltowej, nie jest zgodny z granulatem asfaltowym udokumentowanym w Badaniu Typu, wymagane jest nowe Badanie Typu. W związku z tym, przy uzupełnianiu granulatu asfaltowego na hałdzie, konieczne jest potwierdzenie jego właściwości w stosunku do zadeklarowanych.

Informacja dodatkowa

Przedstawione badania zostały sfinansowane ze środków budżetowych w ramach programu badawczego Rozwój Innowacji Drogowych pt. „Wykorzystanie materiałów pochodzących z recyklingu”, realizowanego w latach 2016–2018 na zlecenie Narodowego Centrum Badań i Rozwoju oraz Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad.

Literatura

- [1] A Manual for Design of Hot Mix Asphalt with Commentary, NCHRP Report 673, Transportation Research Board, USA, 2011.
- [2] Alenowicz J., *Czym jest obecnie „destruk asfaltowy”?* Zmiany w normie EN 13108-8. „Drogownictwo” 9/2017, s. 281–284
- [3] Alenowicz J., Dołżycki B., Jaskuła P., *Wytyczne pozyskania i oceny przydatności destruktu i granulatu asfaltowego do recyklingu na gorąco w otaczarkach* (praca niepublikowana), DZP/RID-I-06/1/NCBR/2016, Zadanie 2 „Recykling na gorąco”, Politechnika Gdańska/IBDiM, kwiecień 2018
- [4] Carswell I., Nicholls J. C., Widyatmoko I., Harris J., Taylor R., Best

- practice guide for recycling into surface course., Road Note RN43, Transport Research Laboratory, 2010
- [5] Copeland A., *Reclaimed Asphalt Pavement in Asphalt Mixtures: State of the Practice.*, Federal Highway Administration, Office of Infrastructure Research and Development, Report No. FHWA-HRT-11-021, April 2011
 - [6] EN 13108-8:2016 Bituminous mixtures – Material specifications – Part 8: Reclaimed asphalt
 - [7] Gabet T., Wayman M., *Sampling Procedure for Reclaimed Asphalt.*, Re Road Program “End of life strategies of asphalt pavements”, 26.11.2012
 - [8] Han J., Thakur S. C., Chong O., Parsons R. L., *Laboratory Evaluation of Characteristics of Recycled Asphalt Pavement in Kansas.*, University of Kansas, Civil, Environmental & Architectural Engineering Department, Report No. K-TRAN: KU-09-2, September 2011
 - [9] Ipavec A., Marsac P., Mollenhauer K., *Synthesis of the European national requirements and practices for recycling in HMA and WMA.*, 5th Eurasphalt & Eurobitume Congress, 13-15 June 2012., Istanbul, Turkey
 - [10] Lee J., Denneman E., Choi Y., *Maximizing the Re-use of Reclaimed Asphalt Pavement – Outcomes of Year Two: RAP Mix Design.*, Austroads Research Report AP-T286-15, January 2015
 - [11] McDaniel R.S., Anderson M. R., *Recommended Use of Reclaimed Asphalt Pavement in the Superpave Mix Design Method: Technician’s Manual.*, NCHRP Report 452, Transportation Research Board, Washington D.C., 2001
 - [12] Mouillet V., Gabet T., Enell A., Mollenhauer K., Pierard N., Gaudefroy V., *Sampling and Characterization of Reclaimed Asphalts.*, Re Road Program “End of life strategies of asphalt pavements”, 09.11.2012
 - [13] Newcomb D. E., Brown E. R., Epps J. A., *Designing HMA Mixtures with High RAP Content. A Practical Guide.*, National Asphalt Pavement Association, Quality Improvement Series 124, 2007
 - [14] NRA Specification for Road Works, Series 900, Road Pavements – Bituminous Materials, National Roads Authority Dublin, December 2014
 - [15] Petho L., Denneman E., Papacostas A., *Maximising the Use of Reclaimed Asphalt Pavement in Asphalt Mix Design: Field Validation.*, Austroads Research Report AP-R517-16, April 2016
 - [16] PN-EN 12697-42:2013 *Mieszanki mineralno-asfaltowe – Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco. Część 42: Zawartość części obcych w destrukcie asfaltowym.*
 - [17] PN-EN 13108-1:2016 *Mieszanki mineralno-asfaltowe – Wymagania. Część 1: beton asfaltowy.*
 - [18] *Reclaimed Asphalt Pavement Material MRTS 102*, Transport and Main Roads Specifications, Queensland Government, Australia, October 2015
 - [19] *Recommended use of Reclaimed Asphalt Pavement in the Superpave Mix Design Method: Guidelines.*, Transportation Research Board, NCHRP Research Results Digest, Nr 253, March 2001
 - [20] *Recycling of asphalt. Asphalt guidelines.*, German Asphalt Pavement Association, May 2008 (English translation August 2011)
 - [21] Tebaldi G., Dave E., Marsac P., Muraya P., Hugener M., et al., *Classification of recycled asphalt (RA) material.*, 2nd International Symposium on Asphalt Pavement and Environment, France, October 2012, [https:// hal.archives-ouvertes.fr/hal-00849456](https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00849456), 31.07.2013
 - [22] *The Use of Standards for Hot Mixes.*, Technical Guide, SETRA, Francja, 2008
 - [23] *Use of Reclaimed Asphalt Pavement in Asphalt Pavement Construction.*, Standard Specifications for Highway Construction, Section 505, BC MoT, Canada, 2012
 - [24] West R. C., *Best Practices for RAP and RAS Management.*, National Asphalt Pavement Association, Quality Improvement Series 129, December 2015
 - [25] West R. C., Copeland A., *High RAP Asphalt Pavements: Japan Practice – Lessons Learned.*, National Asphalt Pavement Association, Information Series 139, December 2015
 - [26] West R. C., *Reclaimed Asphalt Pavement Management: Best Practices.* National Center for Asphalt Technology, Auburn University, August 1, 2010
 - [27] West R., Willis J. R., Marasteanu M., *Improved Mix Design, Evaluation and Materials Management Practices for Hot Mix Asphalt with high Reclaimed Asphalt Pavement Content.*, NCHRP Report 752, Transportation Research Board, Washington D.C., 2013
 - [28] WT-2 – część I. *Mieszanki mineralno-asfaltowe. Wymagania Techniczne.* Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad, Warszawa, 2014