

Elżbieta Trzaska
Instytut Nafty i Gazu, Kraków

Adhezja asfaltu do kruszywa

Wprowadzenie

W stosowanej w budownictwie drogowym mieszance mineralno-asfaltowej, asfalt naftowy pełni rolę lepiszcza. Jego udział w mieszance stanowi zaledwie około 5%, jednak odgrywa on bardzo ważną rolę, ponieważ jako lepiszcze zapewnia odpowiednią przyczepność asfaltu

do kruszywa, co warunkuje wytrzymałość mechaniczną mieszanek mineralno-asfaltowych – wpływając na ich szczelność i odporność na procesy starzeniowe zachodzące podczas eksploatacji nawierzchni pod wpływem warunków atmosferycznych [1, 2, 5, 10].

Adhezja czyli przyczepność

Adhezja asfaltu – czyli jego przyleganie do ziaren kruszywa – jest zjawiskiem powierzchniowym i zależy od dokładnego kontaktu obu materiałów oraz od wzajemnego powinowactwa ich powierzchni. Niedostateczna adhezja, czyli słabe przyleganie asfaltu do ziaren kruszywa, jest główną przyczyną uszkodzeń nawierzchni drogowej. Również odmycie (*stripping*) asfaltu ze znajdujących się w warstwie ścieralnej ziaren kruszywa zmniejsza trwałość nawierzchni. W trakcie odmywania następuje rozerwanie wiązań adhezyjnych pomiędzy asfaltem a powierzchnią kruszywa. Woda dostaje się wówczas pomiędzy warstewkę asfaltu a kruszywo i ze względu na to, że powierzchnia kruszywa wykazuje zwykle większe powinowactwo do wody niż do asfaltu – wiązanie adhezyjne zostaje rozerwane. Odsłonięte powierzchnie kruszywa narażone są na agresywne działanie wody i środków chemicznych [1, 10].

Rozróżnia się dwa rodzaje adhezji:

1) adhezję bierną – oznaczającą zdolność asfaltu do zwilżania suchego kruszywa; wówczas kąt zwilżania

między kruszywem a asfaltem wynosi $90 \div 180^\circ$. Przypadek ten zachodzi podczas wykonywania mieszanek mineralno-asfaltowych metodami „na gorąco” (kruszywo jest suszone i ogrzewane, a następnie mieszane z asfaltem w temperaturze $140 \div 180^\circ\text{C}$ – w zależności od rodzaju asfaltu). W tej sytuacji przyczepność uzależniona jest od porowatości i szorstkości kruszywa oraz od lepkości asfaltu. Po wbudowaniu w nawierzchnię, suche kruszywo otoczone asfaltem może być odmywane z powierzchni przez wodę. Wprowadzenie odpowiedniej ilości środka adhezyjnego wzmacnia adhezję bierną,

2) adhezję czynną – oznaczającą zdolność asfaltu do otaczania wilgotnego kruszywa. Asfalt może wyprzeć wodę z powierzchni kruszywa tylko wówczas, gdy kąt zwilżania na granicy faz będzie mniejszy od 90° . Sytuacja taka występuje w technologiach „na zimno”, gdy wilgotne kruszywo otaczane są emulsją asfaltową lub upłynnionym asfaltem [1, 2, 10].

Czynniki wpływające na przyczepność asfaltu do kruszywa

Czynniki wpływające na adhezję asfaltu do kruszywa można podzielić na dwie grupy:

- mechaniczne oraz fizykochemiczne. Czynniki „mechaniczne” to [1]:

- stopień zawilgocenia kruszywa; warstwa wody na powierzchni kruszywa uniemożliwia prawidłowe otoczenie go asfaltem – czynnik ten można wyeliminować dzięki odpowiedniemu składowaniu materiałów kamiennych na

terenie Wytwórni Mieszanek Bitumicznych lub podczas procesu suszenia kruszywa w otaczarce,

- zapylenie kruszywa; występujące wówczas, gdy warstwa pyłu znajdującego się na kruszywie uniemożliwia dostęp asfaltu do powierzchni kruszywa, a pył – mieszając się z asfaltem – niekorzystnie zwiększa jego lepkość. Kruszywo można oczyścić dzięki skutecznemu odpylaniu w otaczarce,
- mikrotekstura ziaren kruszywa; im bardziej rozwinięta powierzchnia ziaren kruszywa, tym większa powierzchnia przylegania asfaltu,
- uziarnienie mieszanki mineralnej; im większa gru-

bość warstwy asfaltu na kruszywie, tym bardziej trwale będzie połączenie asfaltu z kruszywem.

Wśród czynników fizykochemicznych mających wpływ na adhezję należy wymienić:

- charakter chemiczny kruszywa; w zależności od ilości zawartej w kruszywie krzemionki, dzielimy je na: kwaśne, alkaliczne i pośrednie,
- właściwości fizykochemiczne asfaltów – takie jak lepkość oraz przyczepność, która zależy od zawartości związków o charakterze kwaśnym.

Czynniki wpływające na adhezję asfaltu do kruszywa oraz na trwałość nawierzchni zaprezentowano w tabelicy 1 [11].

Tablica 1. Czynniki wpływające na adhezję asfaltu do kruszywa i na trwałość mieszanki [11]

Właściwości kruszywa	Właściwości asfaltu	Właściwości mieszanki mineralno-asfaltowej	Czynniki zewnętrzne
<ul style="list-style-type: none"> • Skład petrograficzny • Tekstura powierzchni • Porowatość • Zapylenie • Wielkość powierzchni ziaren • Zdolność wchłaniania asfaltu • Wilgotność • Kształt ziaren • Stopień zwietrzienia 	<ul style="list-style-type: none"> • Właściwości reologiczne • Polarność elektryczna • Budowa/struktura 	<ul style="list-style-type: none"> • Zawartość wolnych przestrzeni (próżnia) • Przepuszczalność • Zawartość asfaltu • Grubość warstwy asfaltu na ziarnach kruszywa • Rodzaj wypełniacza • Uziarnienie • Rodzaj mieszanki 	<ul style="list-style-type: none"> • Opady deszczu • Wilgotność • Kwasowość wody (pH) • Obecność soli • Temperatura otoczenia • Cykl temperaturowy • Obciążenie ruchem • Projekt konstrukcji nawierzchni • Wykonawstwo • Odwodnienie

Kruszywa mineralne

Istotnym składnikiem mieszanek mineralno-asfaltowych są kruszywa mineralne, które pochodzą ze skał magmowych, osadowych i metamorficznych (przeobrażonych).

Rodzaje kruszyw – otrzymywanych z różnych rodzajów skał – oraz ilość zawartej w nich krzemionki przedstawiono w tabelicy 2 [1].

W zależności od zawartości krzemionki, kruszywa dzielimy na [1, 10]:

- kwaśne – o zawartości krzemionki > 65%,
- zasadowe – o zawartości krzemionki < 55%,
- pośrednie – o zawartości krzemionki w zakresie 55÷65%.

Powierzchnie większości kruszyw nie są elektrycznie obojętne. Krzemionka – główny składnik skał magmowych – posiada słaby ładunek ujemny, który jest wynikiem obecności na powierzchni kruszywa nie w pełni obojętnych elektrycznie atomów tlenu. Przyczepność chemiczna błonki asfaltu do powierzchni kruszywa jest wynikiem oddziaływania stosunkowo słabych, rozproszonych ładunków elektrycznych. Woda – będąca materiałem bardzo polarnym – jest przyciągana przez ładunki elektryczne powierzchni kruszywa (dlatego powierzchnie kruszyw

Tablica 2. Rodzaje kruszyw mineralnych [1]

Nazwa skały	Zawartość krzemionki SiO ₂ [%]
Skały magmowe	
Bazalt	34÷54
Diabaz	47÷55
Gabro	40÷52
Granit	> 70
Melafir	48÷56
Porfir	65÷80
Sjenit	60÷65
Skały osadowe	
Dolomit	0÷5
Piaskowiec	80÷100
Szarogłaz	65÷75
Wapień	0÷5
Skały metamorficzne	
Amfibolit	45÷55
Gnejs	65÷75
Kwarcyt	90÷100

są – w większym lub mniejszym stopniu – hydrofilowe, bądź hydrofobowe). Kruszywa kwaśne wykazują silniejsze właściwości hydrofilowe niż kruszywa zasadowe. Asfalt, będący koloidem elektryczniejemnym, wykazuje lepszą przyczepność do kruszyw zasadowych (elektrododatnich) niż do kruszyw kwaśnych [2].

Szerokie badania nad przyczepnością asfaltu do kruszyw przeprowadzono w USA. Do badań użyto asfaltów o różnym pochodzeniu; od parafinowych do naftenowych.



grys porfirowy
(przyczepność 5%)



grys dolomitowy
(przyczepność 95%)

Fot. 1. Przyczepność lepiszcza asfaltowego do kruszywa (fot. INiG Kraków)

Przebadano też różne rodzaje kruszyw – m.in.: wapień, porfir, granit, dolomit i inne. W oparciu o uzyskane wyniki badań stwierdzono, że kruszywo wapienne charakteryzuje się dobrą przyczepnością (rzędu 90%), a porfir – słabą (ok. 30%) [4].

Na poniższych zdjęciach zaprezentowano przyczepność lepiszcza asfaltowego do gysu porfirowego oraz do gysu dolomitowego – będącego kruszywem zasadowym o dobrej adhezji.

Środki adhezyjne

Trwałości nawierzchni drogowej w dużym stopniu zależy od dobrej adhezji asfaltu do kruszywa. W celu polepszenia tej właściwości stosuje się tzw. środki adhezyjne, czyli środki powierzchniowo-czynne, które zmieniają fizykochemiczny charakter kontaktu między kruszywem a asfaltem.

Środki adhezyjne redukują napięcie powierzchniowe układu asfalt/kruszywo oraz zmniejszają kąt zwilżania,

który tworzy się na granicy styku trzech faz: lepiszcza, kruszywa i wody. Jeżeli kąt zwilżania na styku lepiszcza z kruszywem wynosi powyżej 90° to występuje słaba zdolność zwilżania, a w przypadku gdy wynosi on poniżej 90° – zdolność zwilżania jest dobra. Przy wartości kąta 0° zachodzi zjawisko zwilżania idealnego, a przy kącie równym 180° nie zachodzi ono w ogóle [1, 2, 3, 8, 9].

Metody wprowadzania środków adhezyjnych

Środki adhezyjne do mieszanek mineralno-asfaltowych można dozować zarówno do asfaltu, jak i do kruszywa [1, 10]. Zazwyczaj stosuje się dwie metody wprowadzania tych środków do mieszanki:

► „na gorąco”:

- poprzez dodanie środków adhezyjnych do zbiornika z asfaltem; tę metodę stosuje się wówczas, gdy asfalt ze środkiem adhezyjnym jest magazynowany w podwyższonej temperaturze (maksymalnie do 190°C) nawet przez kilka dni. Tak dodawany środek adhezyjny powinien charakteryzować się wysoką termostabilnością, czyli asfalt z jego dodatkiem – po ogrzewaniu w podwyższonej temperatu-

rze – powinien zachowywać ulepszone właściwości adhezyjne,

- poprzez wprowadzenie środków adhezyjnych do przewodów dostarczających asfalt do mieszalnika otaczarki; płynny środek adhezyjny za pomocą pompy dozującej jest dodawany do porcji asfaltu wtryskiwanego do mieszalnika. W tym przypadku czas przebywania asfaltu ze środkiem adhezyjnym w warunkach wysokich temperatur jest stosunkowo krótki,
- „na zimno”:
- dozowanie środka adhezyjnego do kruszywa polega na spryskaniu powierzchni kruszywa wodnym roztworem środka adhezyjnego w procesie otaczania.

Laboratoryjne metody badania przyczepności

W warunkach laboratoryjnych do oznaczania przyczepności asfaltu do kruszyw stosuje się następujące metody badań:

- PN-B-06714/22 *Kruszywa mineralne – Badania – Oznaczanie przyczepności bitumów,*
- PN-EN 12697-11 *Mieszanki mineralno-asfaltowe. Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco. Część 11: Oznaczanie powinowactwa pomiędzy kruszywem i asfaltem.*

Badanie przyczepności asfaltów do kruszywa według PN-B-06714/22 polega na oddziaływaniu na otoczoną asfaltem próbkę kruszywa (o odpowiedniej frakcji) wrzącą wodą (gotowaniu) [6]. Stosowane w badaniu kruszywo rozdziela się (przez rozsianie) na trzy frakcje, o rozmiarach ziaren: 4,0÷6,3 mm, 6,3÷10,0 mm i 10,0÷12,5 mm, a następnie przemywa wodą i suszy do stałej masy. Próbkę badanego asfaltu odważa się w parownicy, w ilości zależnej od użytej frakcji kruszywa.

Następnie do rozgrzanej próbki asfaltu dodaje się gorące kruszywo i starannie miesza – aż do całkowitego i równomiernego pokrycia asfaltem wszystkich ziaren kruszywa. Tak przygotowaną próbkę umieszcza się w zlewce, dodaje wodę destylowaną i doprowadza do stanu wrzenia, utrzymując go przez 3 minuty. W razie potrzeby, w trakcie gotowania bibułą filtracyjną zbiera się asfalt z powierzchni wody. Po zakończeniu gotowania zlewa się wodę z nad próbki, a następnie zlewkę, w celu jej opróżnienia, odwraca do góry dnem nad bibułą filtracyjną. Po wyschnięciu próbki ocenia się wizualnie, jaki procent asfaltu na powierzchni kruszywa pozostał nie odmyty. Wynik podaje się w procentach, gdzie 100% oznacza całkowitą przyczepność do kruszywa [6].

Jeśli w efekcie gotowania wynik badania jest niższy niż 80%, do mieszanki mineralno-asfaltowej powinien

zostać dodany środek adhezyjny. Przeciętna przyczepność polskich asfaltów utlenianych do różnego rodzaju kruszyw, oznaczona metodą gotowania, wynosi najczęściej [1]:

- do bazaltu 30÷90%
- do wapienia 60÷90%
- do granitu 40÷80%
- do porfiru 10÷50%

Zgodnie z normą PN-EN 12697-11, do badania wykorzystuje się frakcje kruszywa 5,6÷8 mm, 6,3÷10 mm lub 8÷11,2 mm. Kruszywo jest odmywane od pyłu i innych zanieczyszczeń, suszone do stałej masy, a następnie mieszane z lepiszczem – aż do całkowitego i jednolitego pokrycia. Tak otoczone lepiszczem kruszywo pozostawia się luźno rozłożone na metalowej płytce lub papierze pokrytym silikonem, w temperaturze pokojowej, na okres od 12 do 64 godzin. Następnie próbka, podzielona na trzy części, przekładana jest do trzech butelek wypełnionych wodą destylowaną o temperaturze $5 \pm 2^\circ\text{C}$. Do każdej butelki wkładana jest szklana bagietka, po czym butelki te są zakręcane i umieszczane w mieszadle rolkowym. W przypadku czystych asfaltów o penetracji powyżej 100 jednostek prędkość obrotową mieszadła nastawia się na $40 \text{ min}^{-1} \pm 10\%$, natomiast w przypadku czystych asfaltów o penetracji mniejszej lub równej 100 jednostek oraz w przypadku stosowania środków adhezyjnych bądź asfaltów modyfikowanych prędkość tę ustawia się na $60 \text{ min}^{-1} \pm 10\%$.

Mieszanie odbywa się w temperaturze pokojowej, przez 6 godzin ± 15 minut. Po tym czasie woda z butelek jest zlewana, a kruszywo przesypywane do zlewki i zalewane świeżą wodą destylowaną. Następnie dokonywane jest szacowanie stopnia pokrycia kruszywa lepiszczem. Po zakończeniu oceny, mieszanka wraz



typowe lepiszcze asfaltowe
(przyczepność 20%)



lepiszcze asfaltowe zawierające środek adhezyjny
(przyczepność 100%)

Fot. 2. Przyczepność lepiszcza asfaltowego do porfirowego kruszywa (fot. INiG Kraków)

z wodą przenoszona jest do butelki testowej. Badanie kontynuowane jest przez następne 6 i 24 godziny, przy czym opcjonalnie czas odmywania można przedłużyć do 48 i 72 h, a nawet do 96 i 168 h. Wynik podaje się jako stopień pokrycia kruszywa asfaltem, w zaokrągleniu do 5%. Wyniki mogą być przedstawione w formie wykresu, jako zależność stopnia pokrycia kruszywa asfaltem od czasu odmywania.

Badanie symuluje rzeczywiste warunki oddziaływania wody na kruszywo pokryte lepiszczem i umożliwia ocenę

jej destrukcyjnego wpływu – tj. wypierania asfaltu z powierzchni kruszywa [7].

Grys porfirowy jest materiałem stosunkowo trudno ulegającym pokryciu masą asfaltową. Na fotografii 2 przedstawiono (oznaczone według PN-B-06714/22) efekty badania przyczepności typowego lepiszcza asfaltowego do grysu porfirowego, która wynosiła około 20%. Dodanie do asfaltu środka adhezyjnego zawierającego zasadowy azot znacząco zwiększyło jego przyczepność do tego rodzaju grysu (zdjęcie po prawej stronie), którą oceniono na około 100%.

Podsumowanie

Trwałość nawierzchni asfaltowych zależy od wielu czynników – jednym z nich jest adhezja, czyli przyleganie asfaltu do ziaren kruszywa mineralnego. Asfalt w mieszance mineralno-asfaltowej pełni rolę lepiszcza, zatem jego głównym zadaniem jest trwałe spojenie ziaren kruszywa. Słabe przyleganie asfaltu do kruszywa prowadzi do szybszego zniszczenia nawierzchni. Dodanie środków adhezyjnych do mieszanek mineralno-asfaltowych o niezadawalającej przyczepności asfaltu do kruszywa stwarza

możliwość wykonania nawierzchni o dobrych parametrach eksploatacyjnych i dużej trwałości.

W warunkach laboratoryjnych, do oznaczania przyczepności asfaltu do kruszywa stosowane są metody polegające na oddziaływaniu wodą na otoczoną asfaltem próbkę danego kruszywa. Po badaniu, stopień pokrycia kruszywa lepiszczem oceniany jest wizualnie, przy czym jakość tej oceny zależy od doświadczenia i biegłości pracownika laboratorium.

Artykuł nadesłano do Redakcji 13.12.2010 r. Przyjęto do druku 8.03.2011 r.

Recenzent: prof. dr Michał Krasodomski

Literatura

- [1] Błażejowski K., Styk S.: *Technologia warstw asfaltowych*. WKŁ, Warszawa 2004.
- [2] Gawel I., Kalabińska M., Piłat J.: *Asfalty drogowe*. WKŁ, Warszawa 2001.
- [3] Kotow S.W., Timofiewa G.W., Lewanowa S.W., Jasienka W.A., Zinowiewa L.W., Madumarowa Z.R.: *Dorożnyje bitumy z modificirujuszimi dabawkami*. *Chimia i technologia topliw i masel*, nr 3, s. 52–53, 2003.
- [4] Nynas Bitumen: *Zależność pomiędzy asfaltem a kruszywem*. Performance, s. 4–5, grudzień 2003.
- [5] Oczkowska B., Nastawny A.: *Metody badawcze stosowane przy ocenie jakościowej asfaltów*. *Biuletyn ITN*, tom XII, nr 1, s. 38–43, styczeń-marzec 2000.
- [6] PN-B-06714/22:1984 *Kruszywa mineralne – Badania – Oznaczanie przyczepności bitumów*.
- [7] PN-EN 12697-11:2009 *Mieszanki mineralno-asfaltowe. Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco. Część 11: Oznaczanie powinowactwa pomiędzy kruszywem i asfaltem*.
- [8] Sybilski D.: *Modyfikatory i dodatki do asfaltów drogowych. Część 1. Modyfikatory lepiszcza*. *Drogownictwo*, 2, s. 35–41, 2000.
- [9] Sybilski D.: *Modyfikatory i dodatki do asfaltów drogowych. Część 2. Modyfikatory i dodatki do mieszanek*. *Drogownictwo*, 3, s. 67–71, 2000.
- [10] Szczepaniak Z.: *Środki adhezyjne do nawierzchni bitumicznych*. Materiały doradczo-szkoleniowe na kurs „Środki adhezyjne i modyfikatory asfaltu”, Warszawa 1996.
- [11] *The Shell Bitumen Handbook*, Shell 1990, Thomas Teglford, 2003.



Mgr inż. Elżbieta TRZASKA – Kierownik Laboratorium Asfaltów w Zakładzie Olejów, Środków Smarowych i Asfaltów Instytutu Nafty i Gazu w Krakowie; Sekretarz Podkomitetu ds. Asfaltów Komitetu Technicznego Nr 222. Prowadzi prace naukowo-badawcze związane z opracowywaniem technologii wytwarzania asfaltów i badaniem ich właściwości.