

WŁADYSŁAW
GARDZIEJCZYK

Politechnika Białostocka
w.gardziejczyk@pb.edu.pl



MARTA WASILEWSKA

Politechnika Białostocka
marwas@o2.pl

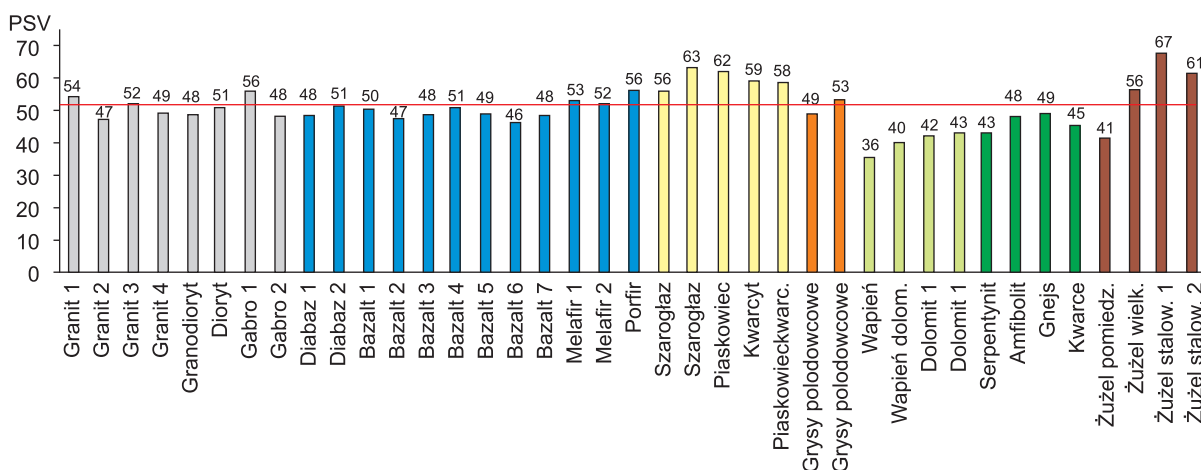
Odporność na polerowanie mieszanek mineralnych na bazie kruszyw drogowych o różnym wskaźniku PSV

Odpowiednio dobrana mieszanka mineralna, lepiszcze oraz modyfikator, w połączeniu z reżimem technologicznym, prowadzą do uzyskania warstwy ścieralnej odpornej na odkształcenia trwałe, spękania niskotemperaturowe, która zabezpieczy konstrukcję nawierzchni przed szkodliwym działaniem czynników atmosferycznych oraz zapewni bezpieczeństwo ruchu samochodowego. Dotychczas przy doborze kruszywa do warstw ścieralnych nie było obowiązku uwzględniania jego odporności na polerowanie. Zgodnie z Wymaganiami Technicznymi WT-1

kruszyw drogowych z 37 złóż krajowych oraz granitu ze Szwecji i granodiorytu z Białorusi, pod kątem ich przydatności do warstwy ścieralnej (rys. 1). Szczegółowe wyniki badań wraz z informacjami dotyczącymi pochodzenia oraz charakterystyki petrograficznej badanych kruszyw zostały podane w pracach [3], [8]. Mając na uwadze dane przedstawione na rysunku 1 oraz uwzględniając wymagania zawarte w WT-1, niektóre z kruszyw dotychczas stosowanych na szeroką skalę, nie będą mogły być wykorzystywane do produkcji mieszanek mineralno-asfaltowych na warstwy ścieralne. W szczególności dotyczy to kruszyw ze skał magmowych i metamorficznych, których atutem jest niska nasiąkliwość, wysoka mrozodporność i odporność na ścieranie.

Ponieważ w naszym kraju istnieje ograniczona baza złóż do produkcji kruszywa o wysokiej jakości, potrzebne są alternatywne rozwiązania oparte na wykorzystaniu dostępnych surowców, które spełnią oczekiwania wobec właściwości fizycznych i mechanicznych oraz pozwolą zapobiec śliskości nawierzchni drogowej w okresie jej eksploatacji.

Celem wykonanych badań była ocena odporności na polerowanie mieszanek mineralnych, w skład których wchodziły kruszywa o wartości PSV < 50 i kruszywa o wartości PSV > 50, w następujących proporcjach:



Rodzaj materiału:

- skaly magmowe glębinowe; skaly magmowe wylewne; skaly osadowe okruczowe zwięzle;
- skaly osadowe okruczowe luzne; skaly osadowe chemiczne i organogeniczne
- skaly metamorficzne; materiał sztuczny;

Rys. 1. Wskaźniki PSV badanych kruszyw ze złóż krajowych i zagranicznych (dane o lokalizacji złóż, z których kruszywa podawano badaniu odporności na polerowanie, są w posiadaniu autorów artykułu)

- a) 30% kruszywa o $PSV > 50$ – 70% kruszywa o $PSV < 50$,
- b) 50% kruszywa o $PSV > 50$ – 50% kruszywa o $PSV < 50$,
- c) 70% kruszywa o $PSV > 50$ – 30% kruszywa o $PSV < 50$.

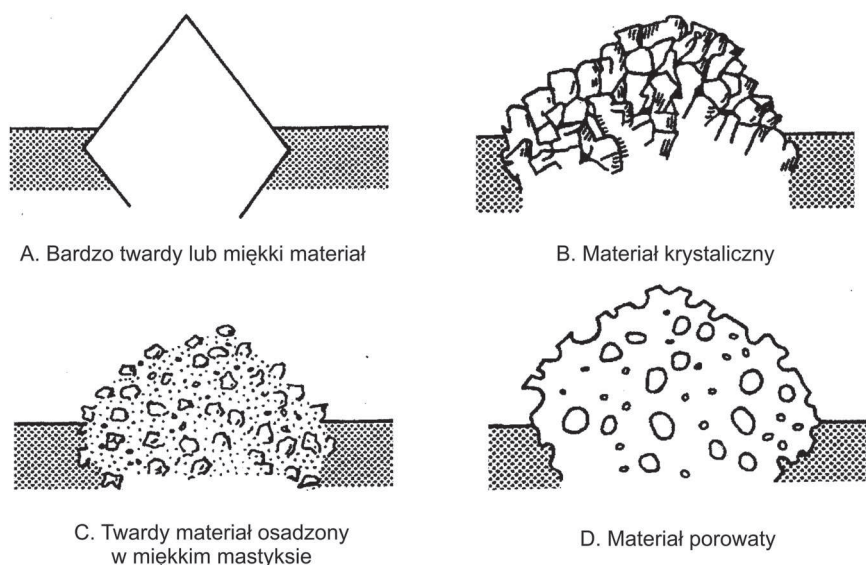
Podatność materiału skalnego na czynniki polerujące

Podatność na czynniki polerujące zależy od charakterystyki petrograficznej skały (składu mineralnego, tekstury, struktury). Wykazano, że istotny wpływ na wskaźnik PSV ma twardość minerałów wchodzących w skład materiału skalnego. Tourenq i Fourmaintraux ustalili, że najlepszą odpornością na polerowanie odznaczają się skały, które zawierają od 50 do 70% minerałów o twardości różniącej się, co najmniej o dwa numery według skali Mosh'a. Gorszą odporność na polerowanie mają materiały o zawartości minerałów twardych od 50 do 80%, a najgorszymi wynikami charakteryzują się skały zawierające ponad 95% minerałów twardych lub minerałów miękkich [1], [6].

Hosking na podstawie twardości minerałów, stopnia ich wykrywania, sposobu ułożenia i wzajemnego kontaktu dokonał podziału materiału skalnego na 4 grupy ze względu na podatność na czynniki polerujące (rys. 2).

Materiały skalne typu A charakteryzują się monomineralnym składem, który przyczynia się do ich niskiej odporności na czynniki polerujące. Do tej grupy zaliczają się m.in. wapień, dolomity (skały osadowe organogeniczne i chemiczne) oraz kwarcy (skały metamorficzne).

Największą grupę skał, które są wykorzystywane do produkcji kruszyw drogowych, stanowią materiały typu B. Do nich zaliczają się skały magmowe i metamorficzne, które cechuje struktura jawnokrystaliczna lub częściowokrystaliczna. Wyniki badań wskaźnika PSV wykazują, że odporność na czynniki polerujące w tej grupie skał jest jednak zróżnicowana, a wartość wskaźnika PSV danego materiału skalnego jest uwarunkowana proporcją pomiędzy zawartością twardych i miękkich minerałów tworzących daną skałę.



Rys. 2. Podział materiałów skalnych w aspekcie ich podatności na czynniki polerujące [5]

Typ C jest charakterystyczny dla skał osadowych okrucowych zwartych, do których zalicza się piaskowiec kwarcytowy. Należy zaznaczyć, że grupa piaskowców odznacza się najlepszą odpornością na polerowanie wśród skał naturalnych. Twardy minerał – kwarc, osadzony w miękkim mastyksie – spoiwie, jest wyrywany, co prowadzi do ciągłego odnawiania mikrotekstury ziaren, a tym samym do zachowywania wysokiej odporności na czynniki polerujące.

Tekstura mikrolityczna lub pęcherzykowata, charakterystyczna dla materiału typu D, jest spotykana w skałach żyłowych lub wylewnych o strukturze afanitowej lub porfirowej. Powstanie tego typu tekstur jest wywołane gwałtownym wydzielaniem się gazów rozpuszczonych w magmie, wskutek spadku ciśnienia podczas wydobywania się jej na powierzchnię [2]. Do materiałów typu D zalicza się także żużel stalowniczy, charakteryzujący się bardzo dobrą odpornością na polerowanie. Traktując pojedyncze pory jako minerały o twardości równej 0, osadzone w materiale sztucznym o twardości 8–9 według skali Mosh'a, żużel stalowniczy charakteryzuje się bardzo dużym zróżnicowaniem twardości, co prowadzi do bardzo dobrej odporności na czynniki polerujące.

Program badań

Do badań, których wyniki są prezentowane w niniejszym artykule, z grupy kruszyw o wskaźniku $PSV < 50$ wytypowano kruszywo bazaltowe (rejon dolnośląski), kruszywo amfibolito- we (rejon dolnośląski) oraz granodiorytowe (import z Białorusi). Z grupy kruszyw o wskaźniku $PSV > 50$ wybrano kruszywo gabrowe (rejon dolnośląski), kruszywo z piaskowca kwarcytowego (rejon świętokrzyski) oraz kruszywo z żużla stalowniczego (rejon świętokrzyski).

W grupie materiałów skalnych o wskaźniku $PSV < 50$ uwzględniono kruszywa najczęściej wykorzystywane w budownictwie drogowym. Kruszywo bazaltowe ma największy udział w produkcji łamanych kruszyw granulowanych w Pol-

sce. Bardzo dobre wyniki ścieralności, mro-zoodporności, nasiąkliwości i przyczepności do lepiszczy asfaltowych, doprowadziły do traktowania tego materiału, jako najlepszego kruszywa do mieszanek mineralno-asfaltowych. Jednak sposób powstania skał bazaltowych, ich struktura – częściowokrystaliczna, przechodząca w skrytokrystaliczną i szklistą, decyduje o niskiej odporności na czynniki polerujące.

Kruszywo granodiorytowe, z uwagi na ograniczoną bazę surowcową do produkcji kruszyw łamanych ze skał litych, w latach 2000–2007 było najczęściej stosowanym materiałem do warstw ścieralnych w północno-wschodniej części kraju. Podobnie jak kruszywo bazaltowe, cechuje się bardzo dobrymi wynikami w zakresie właściwości fizycznych i mechanicznych, lecz duża zawartość (około 80%) minerałów twardych w granodiorycie ujemnie wpływa na niską wartość PSV.

Skąły metamorficzne stanowią około 3% materiału skalnego wykorzystywanego do produkcji kruszywa na potrzeby drogownictwa i budownictwa w naszym kraju. Ze skał metamorficznych największy udział ma amfibolit [7]. Podobnie, jak inne kruszywa ze skał metamorficznych, amfibolit charakteryzuje się również małą odpornością na czynniki polerujące. Uzasadnieniem tego zjawiska jest geneza powstania tych skał. W procesie metamorfizmu składniki niekrystaliczne skał pierwotnych powiększają się, a nowe minerały (blasty) rosną i niszczą minerały bardziej miękkie. Na skutek tego zjawiska skały metamorficzne charakteryzują się tym, że w ich skład wchodzi minerały o zbliżonej twardości. W przypadku amfibolitu zawartość minerałów o twardości 6–7 wynosi 86,9% [3], [7].

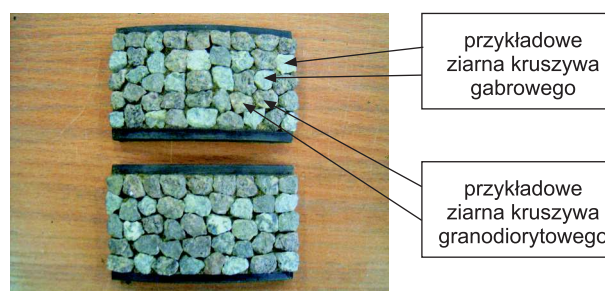
Z grupy kruszyw o wskaźniku PSV > 50, do badań wytypowano kruszywa produkowane ze skał różniących się charakterystyką petrograficzną. Są to: gabro (materiał typu B według Hoskinga), piaskowiec kwarcytowy (typ C) i żużel stalowniczy (typ D).

Kruszywo gabrowe, podobnie jak kruszywa granodiorytowe i amfibolitowe, charakteryzuje się jawnokrystaliczną strukturą. Natomiast wyższa wartość PSV (powyżej 50) kruszywa gabrowego jest związana z wtrąceniami kwarcowo – kalcytowymi w złożu, które różnicując twardość skały, zwiększają jej odporność na czynniki polerujące. Wyjaśnienie bardzo dobrej odporności na czynniki polerujące piaskowca kwarcytowego i żużla stalowniczego zaprezentowano w poprzednim rozdziale artykułu. Należy przy tym jednak zaznaczyć, że żużle stalownicze z uwagi na dużą gęstość właściwą (około 3,5 Mg/m³) nie były stosowane na szerszą skalę do mieszanek mineralno-asfaltowych. Duża gęstość właściwa żużla powodowała, że ciężar mieszanki mineralno-asfaltowej, wykonanej tylko na bazie kruszywa z żużla stalowniczego był większy od 500 do 1000 kg na 1 m³, niż mieszanki na bazie kruszyw naturalnych [4]. Pomimo, że wykorzystanie kruszywa z żużli stalowniczych w budownictwie drogowym jest propagowaniem polityki ekologicznej, jego produkcja została wstrzymana.

W tabeli 1 przedstawiono uproszczony opis petrograficzny kruszyw wybranych do badania odporności na polerowanie oraz wartości wskaźnika PSV.

Z każdej mieszanki kruszyw o uziarnieniu 8/10 sporządzono cztery próbki. Próbką analityczną była wykonana z około 40–44 ziaren kruszywa, które układano zachowując ustalone proporcje pomiędzy kruszywem o PSV<50 i kruszywem o PSV>50 (fot. 1). Badanie odporności na polerowanie, tak przygotowanych próbek mieszanek mineralnych, zostało wykonane zgodnie z normą PN-EN 1097-8:2001: „Badania mechanicznych i fizycznych właściwości kruszyw. Część 8: Oznaczenie polerowalności” i przebiegało w dwóch etapach:

- I – próbki z kruszyw mineralnych były poddawane działaniu czynników polerujących (woda, ścierniwo, opona) w maszynie do przyspieszonego polerowania,
- II – stan wypolerowania każdej próbki był mierzony poprzez pomiar wskaźnika szorstkości wahadłem angielskim.



Fot. 1. Przykładowe próbki analityczne – 70% kruszywa granodiorytowego i 30% kruszywa gabrowego

Wyniki badań i ich analiza

Wartości wskaźnika PSV obliczono po przeprowadzeniu dwóch oznaczeń, według wzoru [9]:

$$PSV = S + 52,5 - C$$

S – średnia arytmetyczna wskaźnika szorstkości z czterech próbek danego materiału kamiennego,

C – średnia arytmetyczna wskaźnika szorstkości czterech próbek kruszywa kontrolnego.

Tabela 1. Uproszczony opis petrograficzny kruszyw drogowych zastosowanych do badań

Nazwa materiału	Rodzaj skały ze względu na genezę powstania	Struktura	Tekstura	Uwagi	PSV
granodioryt	magma, głębinowa	jawnokrystaliczna drobnokrystaliczna, nierównoziarnista	zbita, bezładna	–	49
gabro		jawnokrystaliczna, nierównoziarnista		wtrącenia kalcytowo-kwarcowe, mocno serpentynizowany oliwin	54
bazalt	magma, wylewna	częściowokrystaliczna przechodząca w szklistą, skrytokrystaliczna		–	46
piaskowiec kwarcytowy	osadowa, okruczowa, zwięzła	frakcja piaskowa, drobnoziarnista	okruczowa, zwięzła	spoiwo krzemionkowe	59
amfibolit	metamorficzna	homoblastyczna, hematoblastyczna	kierunkowa	–	48
żużel stalowniczy	materiał sztuczny	w skład wchodzi głównie glinokrzemiany i krzemiany wapniowe, tlenki żelaza, manganu i magnezu wykrystalizowane w procesie studzenia.			63

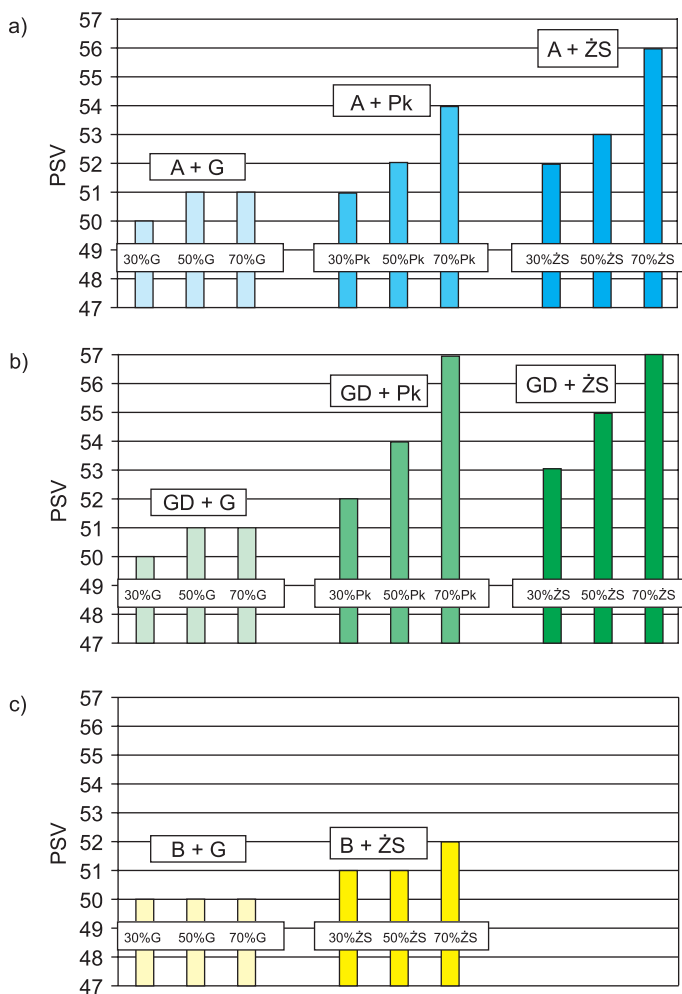
W tabeli 2 zestawiono wyniki odporności na polerowanie badanych mieszanek mineralnych, a na rysunku 3 ustalone wartości PSV poszczególnych mieszanek mineralnych.

Tabela 2. Wyniki badań odporności na polerowanie mieszanek mineralnych

amfibolit (PSV = 48) + gabro (PSV = 54)								
70% + 30%			50% + 50%			30% + 70%		
S	C	PSV	S	C	PSV	S	C	PSV
47,9	50,3	50	49,1	50,9	51	48,8	50,5	51
amfibolit (PSV = 48) + piaskowiec kwarcytowy (PSV = 59)								
70% + 30%			50% + 50%			30% + 70%		
S	C	PSV	S	C	PSV	S	C	PSV
48,5	50,3	51	50,6	50,9	52	52,4	50,5	54
amfibolit (PSV = 48) + żużel stalowniczy (PSV = 63)								
70% + 30%			50% + 50%			30% + 70%		
S	C	PSV	S	C	PSV	S	C	PSV
50,2	50,7	52	51,8	50,9	53	54,2	50,7	56
granodioryt (PSV = 49) + gabro (PSV = 54)								
70% + 30%			50% + 50%			30% + 70%		
S	C	PSV	S	C	PSV	S	C	PSV
48,2	50,3	50	48,9	50,9	51	48,5	50,5	51
granodioryt (PSV = 49) + piaskowiec kwarcytowy (PSV = 59)								
70% + 30%			50% + 50%			30% + 70%		
S	C	PSV	S	C	PSV	S	C	PSV
49,3	50,3	52	52,6	50,9	54	55,4	50,5	57
granodioryt (PSV = 49) + żużel stalowniczy (PSV = 63)								
70% + 30%			50% + 50%			30% + 70%		
S	C	PSV	S	C	PSV	S	C	PSV
51,2	50,7	53	53,6	50,9	55	55,2	50,7	57
bazalt (PSV = 46) + gabro (PSV = 54)								
70% + 30%			50% + 50%			30% + 70%		
S	C	PSV	S	C	PSV	S	C	PSV
46,4	50,1	49	47,8	50,1	50	47,9	50,1	50
bazalt (PSV = 46) + żużel stalowniczy (PSV = 63)								
70% + 30%			50% + 50%			30% + 70%		
S	C	PSV	S	C	PSV	S	C	PSV
49,6	51,4	51	50,6	51,4	51	51,2	51,4	52

Ustalono wartości PSV mieszanek mineralnych z kruszyw o PSV < 50 i PSV > 50, w proporcjach: 30% – 70%, 50% – 50% i 70% – 30%, pozwalają sformułować następujące wnioski:

1. Dodatek kruszywa gabrowego do kruszywa amfibolitowego prowadzi do zwiększenia wartości PSV mieszanki do 50 (przy 30% dodatku kruszywa gabrowego). Dodatek kruszywa gabrowego w ilości 50 i 70%, ma tylko nieznaczny wpływ na dalszy wzrost PSV (do 51). Zdecydowanie lepsze wyniki uzyskano po dodaniu do kruszywa amfibolitowego kruszywa z piaskowca kwarcytowego (wzrost PSV do 51 – przy 30% dodatku, do 52 – przy 50% dodatku i do 54 – przy 70% dodat-



Rys. 3. Wartości PSV mieszanek mineralnych na bazie: a) kruszywa amfibolitowego, b) kruszywa granodiorytowego, c) kruszywa bazaltowego (A – kruszywo amfibolitowe, GD – kruszywo granodiorytowe, B – kruszywo bazaltowe, G – kruszywo gabrowe, Pk – kruszywo z piaskowca kwarcytowego, ŻS – kruszywo z żużla stalowniczego)

ku) oraz dodaniu kruszywa z żużla stalowniczego (wzrost PSV odpowiednio do 52, 53 i 56).

2. Sytuacja wygląda bardzo podobnie w przypadku kruszywa granodiorytowego. Nieznaczny wzrost PSV zaobserwowano po dodaniu kruszywa gabrowego (wzrost PSV odpowiednio do 50, 51 i 51) oraz znaczący wzrost odporności na polerowanie przy zastosowaniu kruszywa z piaskowca kwarcytowego (wzrost PSV odpowiednio do 52, 54 i 57) oraz kruszywa z żużla stalowniczego (wzrost odpowiednio do 53, 55 i 57).

3. Stosunkowo najgorsze wyniki uzyskano dla mieszanki mineralnej na bazie kruszywa bazaltowego. Wprawdzie dodanie 50% i 70% kruszywa gabrowego oraz kruszywa z żużla stalowniczego przyczyniły się do nieznacznego wzrostu PSV (do wartości 50–52), to jednak wyższych wartości PSV nie udało się uzyskać. (Nie podano wartości PSV mieszanek na bazie kruszywa bazaltowego i kruszywa z piaskowca kwarcytowego, gdyż próbki analityczne w trakcie badania uległy zniszczeniu).

4. Najniższe wartości PSV uzyskano po dodaniu kruszywa gabrowego do kruszywa amfibolitowego, granodiorytowego

i bazaltowego. Należy przy tym zaznaczyć, że zarówno gabro jak i 3 pozostałe kruszywa należą, według Hoskinga, do grupy B. Dodanie kruszywa wyprodukowanego z materiału skalnego z grupy C (piaskowiec kwarcytowy) czy z grupy D (żużel stalowniczy) w istotny sposób przyczyniło się do wzrostu wskaźnika PSV.

Podsumowanie

Wyniki przeprowadzonych badań odporności na polerowanie mieszanek mineralnych, złożonych z kruszyw o wartości PSV < 50 i PSV > 50 wskazują, że ustalenie odpowiednich proporcji kruszyw o różnym wskaźniku PSV, pozwala uzyskać mieszkankę mineralną o wartości PSV równym lub wyższym od 50. Jest to jednoznaczne ze spełnieniem wymagań zawartych w WT-1 w odniesieniu do odporności kruszyw na polerowanie. Oznacza to możliwość dalszego wykorzystywania kruszyw produkowanych, m.in. ze skał magmowych i metamorficznych do mieszanek na warstwę ścierną nawierzchni drogowej. Korzystnym rozwiązaniem jest przy tym łączenie kruszyw o zawartości minerałów o różnej twardości, wyprodukowanych z materiałów skalnych należących do różnych grup według Hoskinga. Udział kruszywa o PSV większym niż 50 powinien być dobierany w zależności od kruszywa bazowego. Należy także zauważyć, że istnieje możliwość uzyskiwania mieszanek mineralnych, charakteryzujących się wskaźnikiem PSV wyższym od 53, a nawet wyższym od 55. Takie wymagania są formułowane w niektórych

krajach, w odniesieniu do szczególnie niebezpiecznych odcinków tras drogowych.

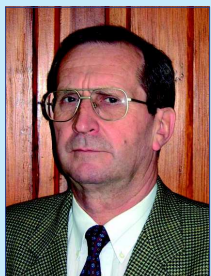
Bibliografia

- [1] Adhérence – Numéro spécial 254. Bulletin des Laboratoires des Points et Chaussées, Avril – Mai – Juin 2005
- [2] Jaroszewski W. (praca zbiorowa): *Przewodnik do ćwiczeń z geologii dynamicznej*. Wydawnictwo Geologiczne; Warszawa 1986
- [3] Gardziejczyk W., Wasilewska M.: *Kruszywa drogowe do warstw ściernych w świetle ich odporności na polerowanie*. Drogownictwo nr 11 (2005); s. 335–341;
- [4] Gardziejczyk W., Wasilewska M., Boratyński J.: *Odporność na polerowanie mieszanek mineralnych z kruszywem bazaltowym*. Górnictwo Odkrywkowe nr 2/3 (2008); s. 127–130
- [5] Roe P. G., Hartshorne S. A.: *The Polished Stone Value of aggregates and in-service skidding resistance*. TRL Report 322. UK 1998
- [6] Van de Wall A.R.G.: *The polishing of aggregate used in road construction. The relation between the Polished Stone Value and the petrography and mechanic properties of road aggregate*. Faculty of Mining and Petroleum Engineering, Section of Engineering Geology. No. 96; T.U. Delft 1992
- [7] Wasilewska M.: *Ocena odporności mieszanek mineralnych z kruszywa amfibolitowego na polerowanie*. Zeszyty Naukowe Politechniki Białostockiej. Z. 31 (2007); s. 263–273
- [8] Projekt badawczy KBN Nr 5 T07 E 00822 „Właściwości przeciwpoślizgowe i hałaśliwość warstw ściernych w zależności od technologii ich wykonania i stanu techniczno-eksploatacyjnego” (2002–2005)
- [9] PN-EN 1097-8:2001 *Badania mechanicznych i fizycznych właściwości kruszyw. Część 8: Oznaczenie polerowalności kamienia*
- [10] Wymagania Techniczne. *Kruszywa do mieszanek mineralno-asfaltowych i powierzchniowych utrwaleń na drogach publicznych. WT-1 Kruszywa 2008* ■



MARCIN STIENSS

Politechnika Gdańska
marcin.stienss@
willis.pg.gda.pl



JÓZEF JUDYCKI

Politechnika Gdańska
j.judycki@drotest.com.pl

Mieszanki mineralno-asfaltowe na ciepło – z asfaltem spienionym

Mieszanki mineralno-asfaltowe na ciepło (oznaczane angielskojęzycznym skrótem WMA – *Warm Mix Asphalt*), uzyskiwane przy użyciu do ich produkcji asfaltu z dodatkami obniżającymi jego lepkość w temperaturze 120–140 °C do 0,2 Pa.s (niezbędnej do dobrego otoczenia ziaren mieszanki mineralnej), charakteryzują się wieloma zaletami oraz pozwalają na osiągnięcie pozytywnych efektów środowiskowych, co dokładniej zostało opisane w publikacji [1]. Niemniej jednak przy ich zastosowaniu należy pamiętać o następujących ograniczeniach:

- maksymalne obniżenie temperatury produkcji jest rzędu 30°C,
- koszt dodatków – będących produktami przemysłu chemicznego – może istotnie zwiększyć koszt produkcji mma.

Powyzszych wad nie mają wyspecjalizowane technologie produkcji WMA wykorzystujące zjawisko spieniania asfaltu w obecności wody, która w ściśle określonej, niewielkiej ilości wprowadzana jest do mieszanki. Możliwość redukcji temperatury jest w takim przypadku większa, zaś jedynym zewnętrznym dodawanym „środkiem” jest relatywnie tania woda.

Przegląd wybranych technologii produkcji WMA wykorzystujących zjawisko spieniania asfaltu

Shell WAM-Foam

Współpraca koncernu Shell z norweską firmą wykonawcą Kolo-Veidekke doprowadziła do opracowania technologii WAM-Foam wykorzystującej dwa mechanizmy:

- uzyskaniu lepszego o odpowiedniej penetracji poprzez zmieszanie dwóch rodzajów asfaltu o znacznie różniących się penetracjach (rzędu 300 i 20/30 j.pen.)