

Odporność na polerowanie kruszyw uzyskanych ze skał magmowych i metamorficznych do nawierzchni drogowych

Andrzej Duszyński¹, Wiktor Jasiński¹, Aneta Pryga-Szulc¹

Resistance to polishing of road surface aggregates obtained from igneous and metamorphic rocks. Prz. Geol., 69: 680–686; doi: 10.7306/2021.36

Abstract. The paper deals with aggregates produced from igneous and metamorphic rocks to indicate their specificity related to the possibility of using as high-value aggregates for road construction, taking into account the skid resistance. The skid resistance of the road surface is a result of its microtexture and macrotexture. Among the aggregate characteristics that can be measured in the laboratory is the polishing resistance of PSV, which can be related to the microtexture. The current regulations on skid resistance define the required PSV values of aggregates and aggregate mixtures for asphalt and cement pavements. Aggregates made of igneous and metamorphic rocks are characterized by high compressive strength and are the basic aggregates for road surfaces. Attention was paid to the influence of petrographic features related to the type and structure of the rock, as well as the degree of crystallization of components, size and proportion of rock-forming components. This is illustrated by exemplary igneous and metamorphic rocks. Research on the PSV polishing resistance of aggregates from igneous and metamorphic rocks was carried out at the Road and Bridge Research Institute – Branch Wrocław (IBDiM).

Keywords: polishing resistance PSV, anti-skid properties, aggregate, igneous rocks, metamorphic rocks, rock structure

Kruszywa stosowane w budownictwie drogowym obejmują kruszywa naturalne, z recyklingu i sztuczne. Najbardziej przydatne pod względem surowcowym do warstw nawierzchniowych, ścieralnych są te produkowane na Dolnym Śląsku. Dużą przydatność skał magmowych i metamorficznych w tym zakresie określają właściwości użytkowe kruszyw produkowanych z tych skał. W zależności od surowca skalnego są to zasadnicze cechy takie jak: mrozooporność (F), odporność na rozdrabnianie metodą Los Angeles (LA) i nasiąkliwość (WA_{24}). Inne regiony w mniejszym lub większym stopniu są zmuszone sprowadzać te kruszywa przede wszystkim w uzupełnieniu do kruszyw lokalnych, z których są produkowane mieszanki do warstwierzchni nawierzchni drogowych.

Od ok. 20 lat w Polsce dodatkową zasadniczą charakterystyką kruszyw wprowadzoną w normie PN-EN 1097-8 jest odporność na polerowanie PSV, która stanowi jedną z miar odporności na poślizg w odniesieniu do takich parametrów nawierzchni drogowej jak mikrotekstura i makrotekstura (Roe, Hartshorne, 1998). Przepisy dla nawierzchni asfaltowych i cementowych (WT-1, 2014; D-05.03.04 v02, 2019) określają poziomy odporności na polerowanie PSV, które są dostosowane do kategorii ruch pojazdów i bazy surowcowej w Polsce.

W badaniach naukowych poszukuje się korelacji odporności na polerowanie z innymi zasadniczymi charakterystykami kruszyw (Duszyński, 2004; Duszyński, i in., 2013). Szczególne znaczenie w odniesieniu do odporności na polerowanie PSV mają m.in. takie zasadnicze właściwości kruszyw jak odporność na rozdrabnianie, gęstość objętościowa, ale również właściwości surowca skalnego takie jak skład czy powierzchniowa struktura skały. Jednoznaczne określenia w tym zakresie, szczególnie dla skał magmowych i metamorficznych, pozwolą na ukierunkowanie prac i badań dotyczących powiązania odporności na polerowanie PSV z innymi właściwościami kruszyw.

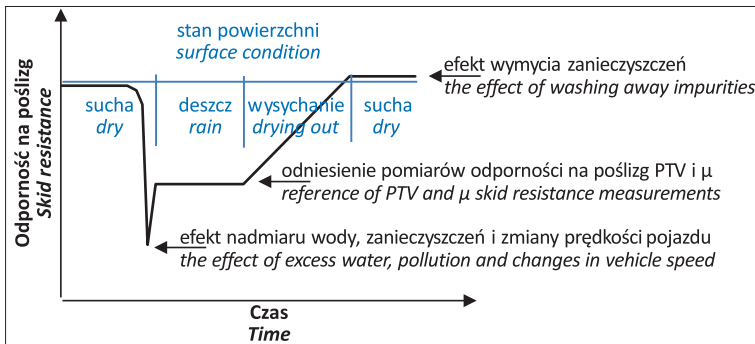
Tarcie między gumową oponą pojazdu a nawierzchnią zależy od stanu materiałów tworzących wzajemną powierzchnię tarcia, jak również od warunków związanych z obciążeniem koła pojazdu i środowiskiem. Szorstkość nawierzchni to zespół cech, które w istotny sposób wpływają na wytworzenie siły tarcia opony pojazdu samochodowego z nawierzchnią w warunkach poślizgu. Szorstkość wpływa znacznie na odporność nawierzchni na poślizg i decyduje o drodze hamowania oraz zachowaniu się pojazdu na zakręcie. Odporność na poślizg określa wpływ szorstkości w różnych warunkach środowiskowych na opór tarcia między oponami pojazdów i różnego rodzaju nawierzchni drogowych (Duszyński, Jasiński, 2014b, c)

Odporność na poślizg nawierzchni drogowej jako obiektu budowlanego stanowi jedno z podstawowych wymagań związanych z bezpieczeństwem użytkowania (Sybilski, 2013), w taki sposób, aby nie stwarzać niedopuszczalnego ryzyka wypadków lub szkód w użytkowaniu czy eksploatacji, takich jak poślizg, upadki i zderzenia (Duszyński i in., 2013; Duszyński, Jasiński, 2015).

Szorstkość jest podstawowym czynnikiem powstawania siły tarcia powierzchniowego, która powinna być taka, aby nawet na mokrej nawierzchni pojazd mógł się poruszać jak najbezpieczniej ze znaczną prędkością (Duszyński, Jasiński, 2014a). Pomiar odporności na poślizg może być prowadzony z wykorzystaniem przyrządu wahadłowego wg PN-EN 13036-4, jak również przez pomiar współczynnika tarcia np. przy wykorzystaniu urządzenia SRT-3 (Mechowski, 2005; Zarządzenie 21/GDDKiA, 2019).

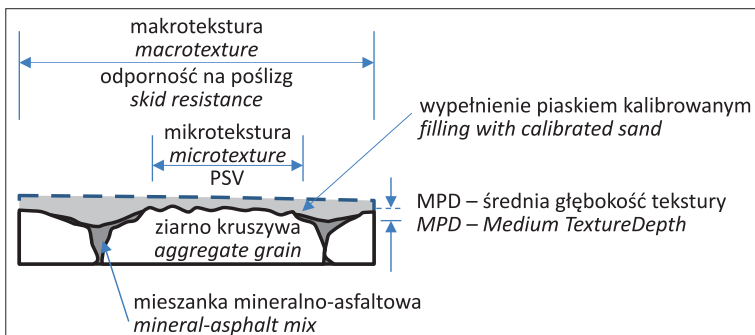
Na suchej nawierzchni odporność na poślizg jest stosunkowo wysoka, jednak przy mokrej – szczególnie na początku deszczu, w efekcie nadmiaru wody, zanieczyszczeń i zmiany prędkości pojazdu, odporność na poślizg znacznie się obniża. Na rycinie 1 przedstawiono schemat zmian odporności na poślizg nawierzchni podczas deszczu (Duszyński, Jasiński, 2014a).

¹ Instytut Badawczy Dróg i Mostów, Filia Wrocław, 55-140 Żmigród; a_duszyn@wp.pl; wjasinski@ibdim.edu.pl; apryga@ibdim.edu.pl



Ryc. 1. Odporność na poślizg nawierzchni podczas deszczu (Duszyński, Jasiński, 2014a)

Fig. 1. Resistance to skidding of the surface during rain (Duszyński, Jasiński, 2014a)



Ryc. 2. Schematyczna wizualizacja określeń odporności na poślizg nawierzchni, odporności na polerowanie PSV kruszywa, mikrotekstury i makrotekstury nawierzchni drogowej

Fig. 2. Schematic visualization of the terms of the surface skid resistance, PSV polishing resistance of aggregate, microtexture and macrotecture of a road surface

Odporność na poślizg nawierzchni drogowej w zasadniczy sposób określa mikrotekstura i makrotekstura. Makrotekstura odnosi się do skuteczności usuwania wody z nawierzchni, mikrotekstura – do szorstkości powierzchni kruszywa. Parametry te są ze sobą wzajemnie powiązane. Mikroteksturę kruszywa w nawierzchni drogowej określa badanie odporności na polerowanie PSV (Roe, Hartshorne, 1998), natomiast makroteksturę nawierzchni bada się przy wykorzystaniu piasku kalibrowanego jako średnią głębokość tekstury MPD (ryc. 2). Miarą odporności na polerowanie kruszyw drogowych jest odporność na polerowanie PSV, określona zgodnie z PN-EN 1097-8. Jednak w celu umiejscowienia działania polerowania się kruszyw należy uwzględnić następujące fakty:

- w początkowym etapie po wykonaniu nawierzchni z mieszanki mineralno-asfaltowych wartość PSV tych mieszanki nie wpływa na szorstkość. Ma to związek z obecnością błonki asfaltu na powierzchni kruszywa. Wtedy przy niektórych nawierzchniach stosuje się drobne kruszywa do uszorstniania. Dopiero z czasem, po odsłonięciu powierzchni kruszywa, na skutek zdzierania błonki asfaltowej w wyniku ruchu pojazdów, zanieczyszczeń i drobnych ziaren piaskowych, następuje proces polerowania kruszywa i wtedy znaczenia nabiera wartość PSV kruszywa;

- w Wielkiej Brytanii system oceny odporności na polerowanie (Roe, Hartshorne, 1998) jest ściśle powiązany z badaniem odporności na ścieranie powierzchniowe AAV. W Polsce na etapie badań IBDiM (Duszyński, 2004) i ustaleń przy projekcie Wymagań Technicznych WT-1 (2014)

przyjęto, że odpowiednikiem AAV jest odporność na ścieranie metodą Los Angeles (LA).

AKTUALNE PRZEPISY DOTYCZĄCE ODPORNOŚCI NA POŚLIZG

Wymagane wartości PSV kruszyw oraz mieszank kruszyw do nawierzchni asfaltowych i cementowych

Wymagane poziomy odporności na polerowanie wyrażone przez wartości PSV dla kruszywa grubego ($D \leq 45\text{mm}$ i $d \geq 2\text{mm}$) do warstwy ścieralnej w technologii nawierzchni asfaltowych (NA) i nawierzchni cementowych (NC) zawierają odpowiednie dokumenty Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad (GDDKiA) (WT-1, 2014; D-05.03.04 v02, 2019).

Wymagania Techniczne (WT-1, 2014) dla kruszywa do warstwy ścieralnej w zależności od rodzaju mieszanki mineralno-asfaltowej (AC – beton asfaltowy, SMA – mieszanka mineralno-asfaltowa o dużej zawartości grysów, BBTM – beton asfaltowy do bardzo cienkich warstw, MA – asfalt lany, PA – asfalt porowaty, PU – powierzchniowe utrwalanie) oraz w zależności od kategorii ruchu od KR1–KR6 określają poziomy wymagań odporności na polerowanie jako minimalne wartości PSV (tab. 1). Wymagania umożliwiają mieszanie kruszyw o niskiej kategorii poniżej PSV_{44} z kruszywami o wyższej kategorii PSV. Średnią wartość ważoną PSV wynikającą z wagowych udziałów u_i każdego z kruszyw w mieszance oblicza się wg zależności:

$$PSV = \sum_{i=1}^n PSV_i \cdot u_i, \quad \text{gdzie} \quad \sum_{i=1}^n u_i = 1$$

Warunki wykonania i odbioru robót (D-05.03.04 v02, 2019) dla kruszywa do nawierzchni cementowych (NC), w zależności od rodzaju nawierzchni (z odkrytym kruszywem, NGCS), ilości warstw nawierzchni (jednowarstwowe, dwuwarstwowe) oraz w zależności od kategorii ruchu od KR1–KR6, określają poziomy wymagań odporności na polerowanie jako minimalne wartości PSV (tab. 1). Warto zauważyć, że poza nawierzchniami z odkrytym kruszywem wymagana odporność na polerowanie PSV jest stała i niezależna od kategorii ruchu (tab. 1).

Przedstawione wymagania zostały dostosowane do istniejącej bazy kruszywowej w Polsce. Należy podkreślić, że wynik badania odporności na polerowanie wyrażony przez wartość PSV wobec procedury przygotowania próbek jest stanem końcowym zużycia tych próbek w wyniku działania ścierania i polerowania zgodnie z metodyką badania i oceny materiałów w drogownictwie. Mieszanie kruszyw grubych i badanie odporności na polerowanie PSV w celu poprawy odporności na poślizg PSV, prowadzone w IBDiM – Filii we Wrocławiu od 2000 roku (Duszyński, 2004) jest techniką dobrze znaną (Erichsen, 2009; Gardziejczyk, Wasilewska, 2010).

Badanie odporności na polerowanie PSV jest wykonywane dla kruszyw grubych wg PN-EN 1097-8. Wskazuje

Tab. 1. Minimalne wartości PSV oraz maksymalne wartości LA dla nawierzchni asfaltowych (WT-1, 2014) i nawierzchni cementowych (D-05.03.04 v02, 2019)**Table 1.** Minimum PSV values and maximum LA values for asphalt pavements (WT-1, 2014) and cement pavements (D-05.03.04 v02, 2019)

Rodzaj nawierzchni <i>Surface type</i>	Kategoria ruchu <i>Traffic category</i>			
	KR1–KR2	KR3–KR4	KR5–KR6	KR7
A. Nawierzchnia asfaltowa wykonana z mieszanki mineralno-asfaltowej (wg WT-1, 2014) do: <i>A. Asphalt pavement made of mineral-asphalt mix (acc. to WT-1, 2014) for:</i>				
Mieszanki AC, SMA, BBTM, MA <i>Mixtures of AC, SMA, BBTM, MA</i>	PSV ₄₄ /LA ₃₀	PSV _{Dekl. ≥ 48*} /LA ₃₀	PSV _{50*} /LA ₂₅	–
Asfalt porowaty (PA) <i>Porous asphalt (PA)</i>	–	PSV _{Dekl. ≥ 50*} /LA ₂₀		
Powierzchniowe utrwalenie (PU) <i>Surface dressing (PU)</i>	PSV ₄₄ /LA ₂₅	PSV _{50*} /LA ₂₀	–	–
B. Nawierzchnia cementowa wykonana z mieszanki do górnej warstwy nawierzchni (GWN) (wg D-05.03.04 v02, 2019) <i>B. Cement pavement made of a mixture for the upper pavement layer (GWN) (acc. to D-05.03.04 v02, 2019)</i>				
Z odkrytym kruszywem <i>With exposed aggregate</i>	–	–	PSV ₅₀ /LA ₂₅	
NGCS	–	–	PSV _{≥48} /LA ₂₅	
Nawierzchnia jednowarstw. (JWN) <i>Single-layer surface (JWN)</i>	PSV _{Dekl. ≥ 48} /LA ₄₀	PSV _{Dekl. ≥ 48} /LA ₃₅	–	

* Kruszywa grube w używane w mieszance kruszyw (grubych), która obliczeniowo osiąga podaną wartość wymaganej poziomu.

* *Coarse aggregates used in the aggregate mix (coarse), which computationally reaches the given value of the required level.*

Dekl. – deklarowana wartość PSV / *Decl. – declared value of PSV*; NGCS – nawierzchnie betonowe nowej generacji / *new generation concrete pavements.*

się jednocześnie na podstawowe zalecenia technologiczne (Witeczak, 2017), które mają wpływ na ułożenie warstwy ścieralnej o lepszych właściwościach przeciwpoślizgowych (Nolle, 2004), poprzez stosowanie:

- mieszanek o drobniejszym uziarnieniu charakteryzują się lepszymi właściwościami przeciwpoślizgowymi,
- kruszyw o wysokim wskaźniku PSV,
- piasków łamanych zamiast piasków naturalnych,
- mieszanek o większej zawartości wolnych przestrzeni w zagęszczonej warstwie wykazują lepsze właściwości przeciwpoślizgowe.

Kruszywo do uszorstnienia

W celu zwiększenia współczynnika tarcia wykonanej warstwy ścieralnej w początkowym okresie jej użytkowania, wg (WT-1, 2014), należy gorącą warstwę posypać kruszywem mineralnym naturalnym lub sztucznym uzyskanym z przekruszenia, o wymiarze oczek 2/4 lub 2/5 mm i dokładnie przywałować. Odporność na polerowanie PSV dla tych kruszyw jest badana na normowej frakcji wg PN-EN 1097-8 i powinna być nie niższa niż 50.

Właściwości przeciwpoślizgowe w SOSN I DSN

Celem wykonania diagnostyki stanu nawierzchni, czyli pomiarów cech techniczno-eksploatacyjnych nawierzchni, jest pozyskanie danych umożliwiających dokonanie oceny stanu nawierzchni, wymaganej w obowiązujących aktach prawnych. Ocena ta wykorzystywana jest bezpośrednio do realizacji zadań Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad w obszarze zarządzania majątkiem w podobzarze gromadzenia danych o stanie technicznym dróg.

Zasady pomiaru i oceny stanu właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni bitumicznych w Systemie Oceny Stanu Nawierzchni (SOSN) dla dróg krajowych: klasy A – autostrady, S – drogi ekspresowe, GP – drogi główne ruchu

przyśpieszonego oraz G – drogi główne, określa załącznik D w SOSN – Wytyczne stosowania GDDKiA (SOSN-Zał. D, 2002). W tych pomiarach właściwości przeciwpoślizgowe ograniczają się do współczynnika tarcia.

W związku z dynamicznym postępem technologicznym w zakresie diagnostyki stanu nawierzchni drogowych (DSN) oraz potrzebami dostosowania dotychczas obowiązujących zasad diagnostyki do aktualnych uwarunkowań, w 2019 r. w GDDKiA wprowadzono Zarządzenie nr 21 Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad z dnia 17 czerwca 2019 r. w sprawie diagnostyki stanu nawierzchni i wybranych elementów korpusu drogi (Zarządzenie 21/GDDKiA, 2019).

Podsumowanie dotyczące przepisów GDDKiA

Wymagania w zakresie odporności na poślizg są określone dla okresu eksploatacji nawierzchni przy wykorzystaniu następujących charakterystyk:

- odporność na polerowanie PSV,
- współczynnik tarcia (μ),
- średnią głębokość tekstury (MPD).

Współczynnik tarcia μ jest zasadniczą cechą odporności na poślizg nawierzchni drogowych, szczególnie przy prędkościach powyżej 50 km/godz. Natomiast średnia głębokość tekstury jest czynnikiem wspomagającym ocenę stanu nawierzchni drogowej związanym z odprowadzeniem wody z nawierzchni.

Odporność na polerowanie PSV została ujęta w przepisach polskich (WT-1, 2014; D-05.03.04 v02, 2019) na etapie doboru kruszyw i mieszanek kruszyw do nawierzchni asfaltowych oraz cementowych. Należy podkreślić, że badania polerowalności PSV przeprowadza się na kruszwach grubych, a do poszczególnych zastosowań, technologii w budowania i kategorii ruchu wymaganie na odporność na polerowanie PSV obowiązuje wraz innymi wymaganiami technicznymi dotyczącymi wytrzymałości i trwałości,

takimi jak odporność na rozdrabnianie metodą Los Angeles, mrozoodporność itd. (Duszyński, 2004, 2012).

KRUSZYWA ZE SKAŁ MAGMOWYCH I METAMORFICZNYCH

Produkcja kruszyw

Całkowita produkcja kruszyw ze skał magmowych w 2018 r. wyniosła ok. 27,6 mln t, a kruszyw ze skał metamorficznych 7,5 mln t. Złoża skał magmowych i metamorficznych występują głównie w południowej części Polski – na terenie województw w (mln t) (Szuflicki i in., 2020):

- dolnośląskiego (bazalty – 6,4; granity, granodioryty i sjenity – 11,2; diabazy i gabra – 2,4; melafiry, porfiry i tufy porfirowe – 4,9; amfibolity, serpentynity i zieleńce – 2,9; gnejsy, hornfels łupkowy, migmatyty i łupki krystaliczne – 3,8; marmury – 0,7),
- opolskiego (bazalty – 0,9; granity i gnejsy – 0,1; marmury – 0,04),
- małopolskiego (diabazy (0,1), melafiry (1,6), porfiry i tufy porfirowe (1,6).

Głównymi skałami do produkcji kruszyw naturalnych łamanych pozostają: granity, bazalty, melafiry i gabra-diabazy (Duszyński i in., 2013; Galos, Smakowski, 2019; Kozioł, 2019) wśród skał magmowych, amfibolity i migmatyty wśród skał metamorficznych (Duszyński i in., 2013; Galos, Smakowski, 2019). Kruszywa te charakteryzują się dużą wytrzymałością na ściskanie (Kozioł, 2019).

Struktura skał magmowych i metamorficznych a odporność na polerowanie PSV

Jak wynika z prowadzonych prac i badań dotyczących powiązania odporności na polerowanie PSV są one ukiepunkowane na właściwości kruszywa oraz surowca skalnego. W odniesieniu do właściwości kruszyw szczególnie wpływ na dodatnią korelację wobec odporności na polerowanie PSV mają odporność na rozdrabnianie metodą Los Angeles LA (Duszyński i in., 2013), porowatość, zwłaszcza otwarta porowatość, oraz nasiąkliwość, natomiast ujemną – m.in. gęstość objętościowa ziarn oraz gęstość ziarn nasyconych i powierzchniowo osuszonych. Istnieje silny związek między wchłanianiem wody przez skałę a wartością PSV. Ogólnie znany jest fakt, że skały metamorficzne powstałe ze skał zasadowych mają najwyższą odporność na polerowanie PSV w wyniku większej porowatości, a co za tym idzie wyższej nasiąkliwości. W artykule Ękocicia i in. (2015) przedstawiono, że zasadowe skały magmowe o porowatości otwartej do 3%, nasiąkliwości do 2% i odporności na rozdrabnianie metodą Los Angeles LA do 25% mogą być wykorzystane do produkcji kruszyw o wysokiej wartości PSV.

W odniesieniu do właściwości surowca skalnego pod względem odporności na polerowanie PSV wskazuje się na wpływ twardości składników mineralnych (Erichsen, 2009) i udziałów składników mineralnych (Vos, 2015). W badaniach (Erichsen, 2009) wykazano ujemną korelację odporności na polerowanie PSV z zawartością krzemionki dla szarogłazu – skały osadowej. Szerzej potraktowano skały magmowe i osadowe w badaniach (Erichsen, 2009). Rozkruszona skała determinuje o odporności na poślizg porowatego betonu asfaltowego (BP) w warstwie ścieralnej.

W konsekwencji, badania mineralogiczne mogą wskazać o podatności na polerowanie rozkruszonej skały. Badania pokazują, że wartość PSV zależy od zawartości kwarcu w skale. W przypadku skały magmowej, która zawiera mniej niż 40% kwarcu, związek ten jest wyjątkowo słaby (Vos, 2015). Przedstawiony w tej pracy związek między wartością PSV a składem mineralogicznym określono na podstawie takich minerałów jak: skalenie alkaliczne, biotyt i rutyl + anastaz (Vos, 2015). W artykule Ękocicia i in. (2015) wskazuje się na konieczność wydzielenia na złożu miejsc o jednorodnym litotypie. Natomiast (Wasilewska, 2012) wskazuje na potrzebę powiązania odporności na polerowanie PSV z charakterystyką petrograficzną badanego materiału. Dowodzi to również potrzeby indywidualnej interpretacji w odniesieniu do rodzaju złoża, z którego pochodzi kruszywo. Natomiast wg Ękocicia i in. (2015) zapewniłoby to dodatkowe ograniczenia dotyczące związku między wartością PSV a innymi właściwościami do określonych zastosowań inżynierskich, co doprowadziłoby do lepszych i solidniejszych prognoz eksploatacyjnych złoża.

W odniesieniu do wpływu cech związanych z rodzajem skały na odporność na polerowanie PSV podstawowe znaczenie ma struktura skały, tj. sposób wykształcenia składników skały, stopień krystalizacji, wielkość i udział składników (grubo-, średnio-, drobno- w odniesieniu do kryształów lub blastów) oraz ich kształt.

Widok skały magmowej głębinowej (granitu) o strukturze jawnokrystalicznej, średnioziarnistej, różnoziarnistej przedstawiono na rycinie 3A, natomiast skały metamorficznej (amfibolitu) o strukturze jawnoblastycznej, drobno-blastycznej, sporadycznie średnioblastycznej, nierównoblastycznej na rycinie 3B.

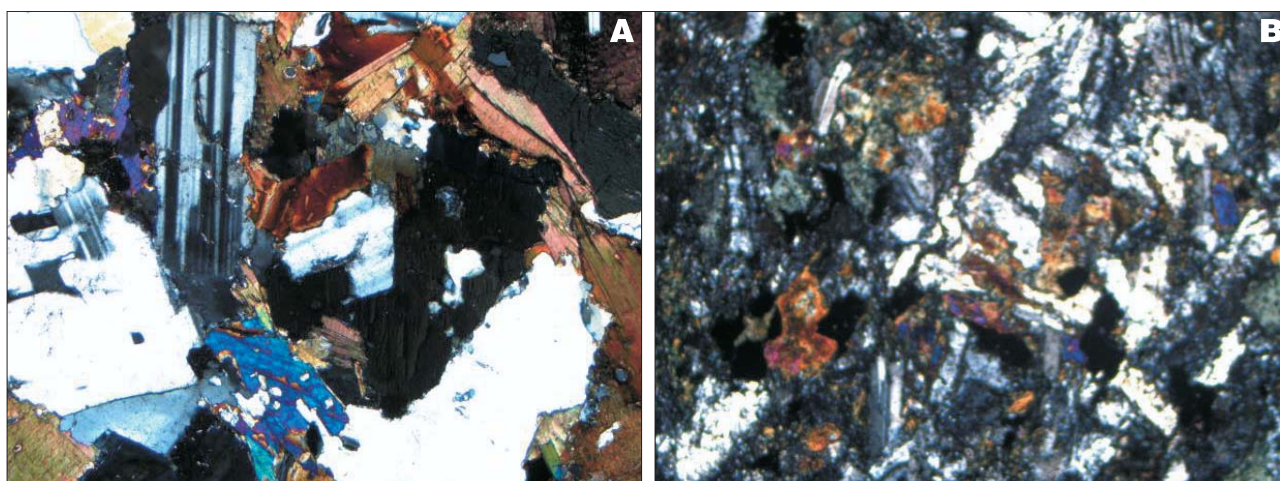
WYNIKI I ANALIZA

Badania przedstawione w tym artykule obejmują:

- odporność na polerowanie PSV wg PN-EN 1097-8,
 - odporność na rozdrabnianie metodą Los Angeles LA wg PN-EN 1097-2,
 - gęstość objętościową wg PN-EN 1097-6.
- Analizy przeprowadzono w Pracowni Betonów i Kruszyw IBDiM-Filii Wrocław.

Wartości PSV w zakresach (tab. 2) wyznaczonych przez kategorie minimalnych wartości odporności na polerowanie PSV wg normy PN-EN 13043 dla polskich kruszyw badanych w IBDiM – Filii Wrocław i uzyskanych ze skał magmowych i metamorficznych wpisują się w statystycznie normalny rozkład (ryc. 4). Ogólnie – 92% tych kruszyw wykazuje wartości PSV powyżej 50, a 26% powyżej 56.

Na rycinie 5 zaprezentowano wyniki badania odporności na polerowanie PSV w odniesieniu do odporności na rozdrabnianie metodą Los Angeles (LA); zgodnie z przyjętym w Polsce z systemem oceny odporności na polerowanie PSV. Wyniki te przedstawiono, wykorzystując jednocześnie wymagania (tab. 1) minimalnych wartości PSV oraz maksymalnych wartości LA, w zależności od kategorii ruchu dla nawierzchni asfaltowych (NA) w technologiach AC, SMA, BBTM i MA (WT-1, 2014) i nawierzchni cementowych (NC) z uwzględnieniem powierzchni z odkrytym kruszywem (D-05.03.04 v02, 2019). Praktycznie wszystkie kruszywa uzyskane ze skał magmowych i metamorficznych zarówno dla nawierzchni asfaltowych, jak i nawierzchni cementowych spełniają te wymagania. Tylko



Ryc. 3. Rozmieszczenie minerałów w skale: **A** – granicie; **B** – amfibolicie – światło przechodzące z analizatorem, pow. 4×/0,10
Fig. 3. Arrangement of the components in the: **A** – granite; **B** – amphibolite – light with analyzer 4×/0.10

Tab. 2. Kategorie minimalnych wartości odporności na polerowanie (PSV) wg normy PN-EN 13043

Table 2. Categories of minimum values of resistance to polishing (PSV) acc. to PN-EN 13043

PSV	Kategoria (PSV) Category (PSV)
≥68	PSV ₆₈
≥62	PSV ₆₂
≥56	PSV ₅₆
≥50	PSV ₅₀
≥44	PSV ₄₄
Bez wymagań No requirements	PSV _{NR}

pojedyncze kruszywa nie spełniają wymagań dla kategorii ruchu powyżej KR5 czy KR 4.

Każdy z punktów na rycinie 5 reprezentuje inne wyrobisko. Układ punktów charakteryzuje się dużym rozproszeniem i nie pozwala na zastosowanie parametrów funkcji regresji żadnego rodzaju. Na wykresie można wyodrębnić przybliżone zakresy wartości PSV i LA dla poszczególnych surowców skalnych.

Podobne wnioski odnoszą się do innych właściwości, których nie przedstawiono w tym artykule. Jako specyficzną wybrano gęstość objętościową. Nawet przy bardzo niskim poziomie ufności 0,001% zbyt wiele punktów przekracza krzywe ufności PSV[±] (ryc. 6). Można stwierdzić

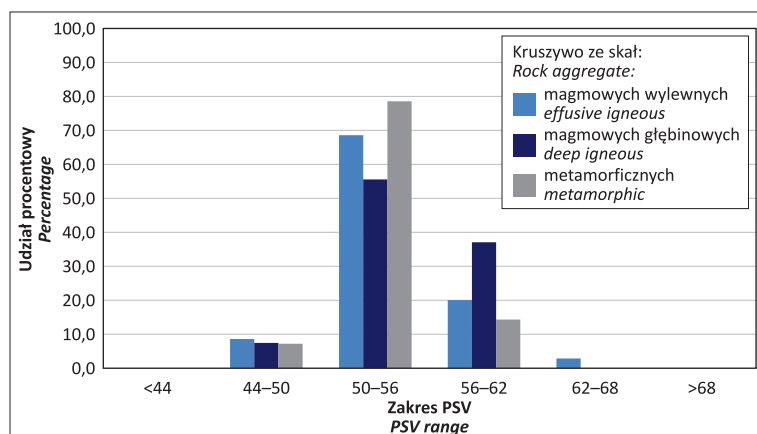
brak zależności odporności na polerowanie PSV od gęstości objętościowej. Zależności te, jeżeli są możliwe do pokazania, to tylko w zakresie pojedynczego złoża czy nawet wyrobiska na tym złożu. Potwierdzają to wyniki badań przedstawione na rycinach 4 i 5.

PODSUMOWANIE

Jednym z podstawowych wymagań związanych z bezpieczeństwem użytkowania nawierzchni drogowych jest odporność na poślizg. Ocenę stanu nawierzchni pod tym względem umożliwiają badania właściwości przeciwoślizgowych. Przeprowadzane na rzeczywistej nawierzchni drogowej dla współczynnika tarcia (μ) i średniej głębokości tekstury (MPD) oraz w warunkach laboratoryjnych dla odporności na polerowanie PSV kruszyw grubych. Korzystnym i właściwym rozwiązaniem w odniesieniu do mieszanek stosowanych do warstwy ścieralnej jest łączenie kruszyw uzyskanych z różnych surowców skalnych.

Przedstawione wyniki badania odporności na polerowanie PSV kruszyw ze skał magmowych i metamorficznych wskazują na wysoką wartość PSV tych kruszyw do zastosowań w nawierzchniach drogowych zarówno asfaltowych, jak i betonowych. Wartości PSV powyżej 50 wykazuje 92% zbadanych w IBDiM kruszyw ze skał magmowych i metamorficznych.

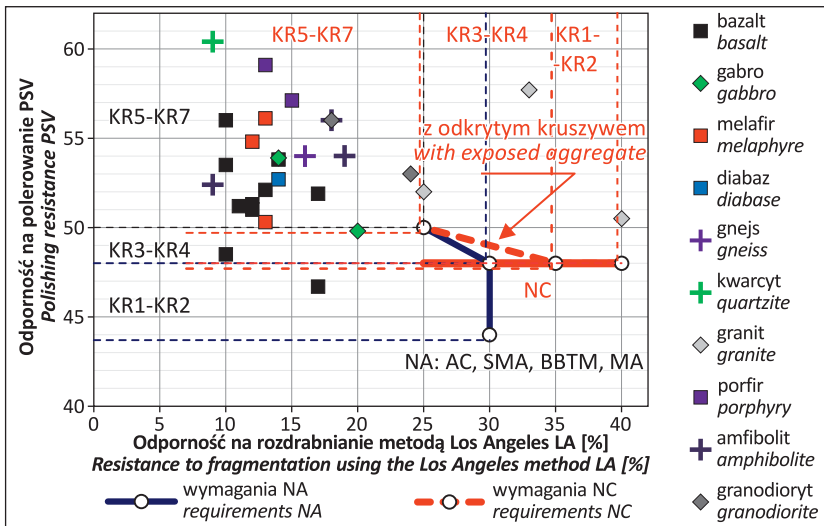
W systemie oceny odporności na polerowanie PSV, określonym w Polsce do normy PN-EN 1097-8, odporność na polerowanie PSV należy rozpatrywać łącznie z odpor-



←

Ryc. 4. Udziały procentowe wartości PSV dla kruszyw produkowanych ze skał magmowych i metamorficznych i badanych w IBDiM w zakresach PSV zgodnie z kategoriami minimalnych wartości odporności na polerowanie wg PN-EN 13043 dotyczącymi kruszyw do mieszanek bitumicznych

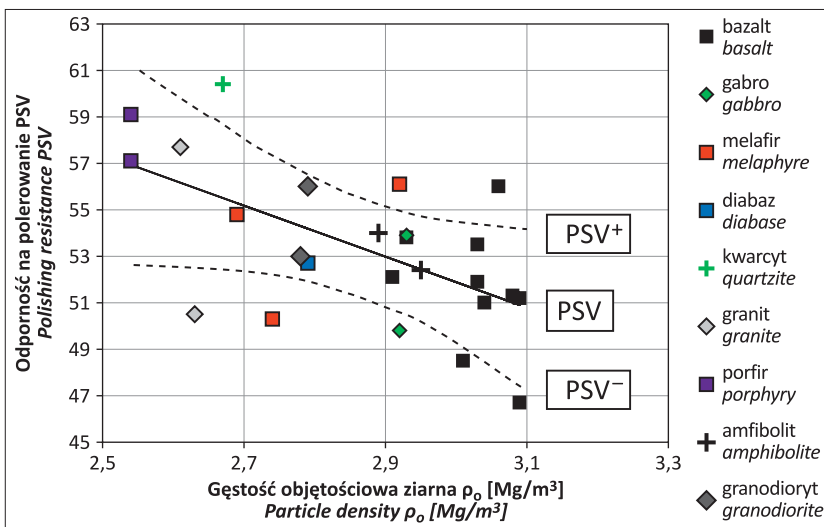
Fig. 4. Percentages of PSV values for aggregates produced from igneous and metamorphic rocks and tested in IBDiM in the PSV ranges in accordance with the categories of minimum values for polishing resistance acc. to PN-EN 13043 for aggregates for bituminous mixtures



←

Ryc. 5. Wyniki badań odporności na polerowanie PSV w zależności od odporności na rozdrabnianie metodą Los Angeles LA z uwzględnieniem wymagań minimalnych wartości PSV oraz maksymalnych wartości LA dla nawierzchni asfaltowych (WT-1, 2014) i nawierzchni cementowych (D-05.03.04 v02, 2019)

Fig. 5. PSV polishing resistance test results depending on the Los Angeles LA method of grinding resistance, taking into account the requirements of the minimum PSV values and the maximum LA values for asphalt pavements (WT-1, 2014) and cement pavements (D-05.03.04 v02, 2019)



←

Ryc. 6. Liniowa funkcja regresji odporności na polerowanie PSV od gęstości objętościowej ρ_0 wraz z krzywymi ufności PSV^{\pm} przy poziomie ufności $\alpha=0,001$

Fig. 6. Linear regression function of the polishing resistance PSV from the bulk density ρ_0 together with the confidence curves PSV^{\pm} at the confidence level $\alpha = 0.001$.

LITERATURA

D-05.03.04 v02, 2019 – Nawierzchnia z betonu cementowego (dokument wzorcowy). Warunki wykonania i odbioru robót budowlanych, GDDKiA, Warszawa, 30 września 2019 r.

DUSZYŃSKI A. 2004 – Optymalizacja czynników wpływających na polerowalność kruszyw oraz możliwości jej zmniejszenia i optymalizacji mieszanek mineralnych pod kątem polerowalności. Sprawozdanie, IBDiM-TW/55904//TW-2, Żmigrod–Węglewo.

DUSZYŃSKI A. 2012 – Ocena jakości kruszyw stosowanych w budownictwie komunikacyjnym po rozdrobieniu w bębnie Los Angeles. *Magazyn Autostrady*, 5: 54–56.

DUSZYŃSKI A., JASIŃSKI W. 2014a – Ocena odporności na poślizg nawierzchni drogowych wykonanych w technologii SMA – bezpieczeństwo pojazdów i pieszych. *Logistyka*, 3, CD-1: 1499–1505.

DUSZYŃSKI A., JASIŃSKI W. 2014b – Ocena odporności na poślizg materiałów kamiennych do nawierzchni ciągów pieszo-jezdnych w aspekcie użytkowania. *Logistyka*, 4, CD-1: 238–242.

DUSZYŃSKI A., JASIŃSKI W. 2014c – Bezpieczeństwo użytkowania wodoprzepuszczalnych cienkich nawierzchni mineralno-żywnicznych. *Logistyka*, 6, CD-3: 3330–3335.

DUSZYŃSKI A., JASIŃSKI W. 2015 – Identyfikacja i ocena tekstury nawierzchni drogowych w aspekcie brd. *Logistyka*, 4, CD-2: 3071–3075.

DUSZYŃSKI A., JASIŃSKI W., PRYGA-SZULC A. 2013 – Odporność na polerowanie (PSV) kruszyw i właściwości przeciwoślizgowe nawierzchni drogowych jako element bezpieczeństwa na drogach. *Materiały Budowlane*, 10 (494): 10–12.

ĐOKIĆ O., MATOVIĆ V., ERIC S., ŠARIĆ K. 2015 – Influence of engineering properties on Polished Stone Value (PSV): A case study on basic igneous rocks from Serbia. *Construct. Build. Material.*, 101: 1088–1096.

ERICHSEN E. 2009 – Relationship between PSV and in situ friction: a Norwegian case study. *Bull. Eng. Geol. Environ.*, 68: 339–343.

GALOS K., SMAKOWSKI T. 2019 – Rozwój rynku naturalnych kruszyw łamanych po 2000 roku. [W:] Głapa W. (red.), *Kruszywa mineralne t. 3*: 25–38.

GARDZIEJCZYK W., WASILEWSKA M. 2010 – Odporność na polerowanie mieszanek mineralnych na bazie kruszyw drogowych o różnym wskaźniku PSV. *Drogownictwo*, 9: 305–309.

nością na rozdrabnianie metodą Los Angeles. Wyniki badań kruszyw uzyskanych ze skał magmowych i metamorficznych przedstawione na rycinie 5 wskazują na duże zróżnicowanie wartości PSV; nawet w przypadku tego samego surowca skalnego. Podobny brak zależności odporności na polerowanie PSV stwierdzono dla gęstości objętościowej ρ . Przykładem może być tutaj bazalt, dla którego obejmuje on wartości PSV od 47 do 56. Zróżnicowanie to może być efektem technologii produkcji kruszyw, ale przede wszystkim wynika z różnic w składzie mineralnym bazaltów. Wybór wyrobiska na złoże jest w gestii producenta kruszyw. Powinien on prowadzić do gwarantowanej wartości PSV dla każdej partii kruszywa w ramach kategorii minimalnych wartości odporności na polerowanie (PSV) wg normy PN-EN 13043. W tym zakresie, do kontroli jakości surowca skalnego może służyć charakterystyka petrograficzna w celu wydzielenia na złoże lub wyrobisku miejsc o jednorodnym litotypie. Natomiast do oceny przydatności komunikacyjnej kruszywa należy określać odporność na polerowanie PSV wraz z odpornością na rozdrabnianie metodą LA, która pozwoli na wyeliminowanie kruszyw przede wszystkim powierzchniowo słabych.

Autor składa serdeczne podziękowania anonimowym Recenzentowi za wnikliwe i cenne uwagi, które przyczyniły się do znacznego ulepszenia pierwotnej wersji manuskryptu.

- KOZIOŁ W. 2019 – Kruszywa do budowy dróg krajowych i samorządowych. Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne, Marzec–Kwiecień: 50–54.
- MECHOWSKI T. 2005 – Analiza i weryfikacja wymagań i procedur pomiarowych oceny właściwości przeciwoślizgowych nawierzchni dróg publicznych i autostrad płatnych. Sprawozdanie, TD71. IBDiM, Warszawa.
- NOLLE B. 2004 – Durable skid resistant asphalt roads. Technical principles and contractual aspects. Asphalt, 5.
- PN-EN 1097-2 Badania mechanicznych i fizycznych właściwości kruszyw – Część 2: Metody oznaczania odporności na rozdrabnianie.
- PN-EN 1097-6 Badania mechanicznych i fizycznych właściwości kruszyw – Część 6: Oznaczanie gęstości ziarn i nasiąkliwości.
- PN-EN 1097-8 Badania mechanicznych i fizycznych właściwości kruszyw – Część 8: Oznaczanie polerowalności kamienia.
- PN-EN 13036-4 Drogi samochodowe i lotniskowe – Metody badań – Część 4: Metoda pomiaru oporów poślizgu/poślizgnięcia na powierzchni: Próba wahadła.
- ROE P.G., HARTSHORNE S.A. 1998 – The Polished Stone Value of aggregates and in-service skidding resistance. TRL Report 322. UK 1998.
- SOSN-Zał. D, 2002 – System Oceny Stanu Nawierzchni SOSN, Wytuczne stosowania – Załącznik D. Zasady pomiaru i oceny stanu właściwości przeciwoślizgowych nawierzchni bitumicznych w systemie oceny stanu nawierzchni SOSN, GDDP, Warszawa, <http://gddkia.gov.pl>
- SZUFLICKI M., MALON A., TYMIŃSKI M. 2020 – Bilans zasobów złóż kopalin w Polsce wg stanu na 31 XII 2019 r. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- SYBILSKI D (red.) 2013 – Podręcznik Mechanistyczno-Empirycznego Projektowania Nawierzchni Drogowych w warunkach polskich. Opracowano w IBDiM na zlecenie GDDKiA, Warszawa.
- VOS E. 2015 – Skid resistance on national roads (RWS/GPO). Ministry of Infrastructure and the Environment Rijkswaterstaat Major Projects and Maintenance (RWS, GPO), Rijkswaterstaat, www.rijkswaterstaat.nl
- WASILEWSKA M. 2012 – Odporność kruszyw na polerowanie w aspekcie ich przydatności do warstwy ścierniczej nawierzchni drogowej. Pr. Nauk. Inst. Górn. PWr. Nr 134, Studia i Materiały, 41: 301–310.
- WITCZAK S. 2017 – Przegląd polskich dokumentów technicznych dotyczących badań współczynnika tarcia zestawem SRT-3. Drogownictwo, 10: 331–336.
- WT-1, 2014 – Kruszywa do mieszanek mineralno-asfaltowych i powierzchniowych utrwaleń na drogach krajowych. Kruszywa. Wymagania Techniczne. Załącznik do zarządzenia Nr 46 Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad z dnia 25.09.2014 r., Warszawa.
- ZARZĄDZENIE 21/GDDKiA 2019 – Zarządzenie nr 21 Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad z dnia 17 czerwca 2019 roku w sprawie diagnostyki stanu nawierzchni i wybranych elementów korpusu drogi.

Praca wpłynęła do redakcji 9.04.2021 r.

Akceptowano do druku 16.06.2021 r.