

dr inż. Marta Wasilewska^{1*)}

ORCID: 0000-0001-6834-5206

mgr inż. Dominik Grzyb¹⁾

ORCID: 0000-0002-4001-3119

prof. dr hab. inż. Władysław Gardziejczyk¹⁾

ORCID: 0000-0002-9130-3773

Ocena właściwości fizycznych kruszyw grubych do warstw ścieralnych nawierzchni drogowych

Assessment of physical properties of coarse aggregates for wearing courses of road pavement

DOI: 10.15199/33.2022.04.13

Streszczenie. W artykule przedstawiono wyniki badań właściwości fizycznych kruszyw grubych przeznaczonych do warstwy ścieralnej dróg krajowych o kategorii ruchu \geq KR5 wykonanej z mieszanki mineralno-asfaltowej. Do badań wytypowano dziewięć kruszyw, które wyprodukowano ze skał o zróżnicowanej charakterystyce petrograficznej. Spośród testowanych materiałów jedynie kruszywo granodiorytowe spełnia wymagania określone w Wytycznych Technicznych WT-1:2014 [1]. Przede wszystkim kryteria dotyczące wskaźnika polerowalności PSV, współczynnika LA, współczynnika luminancji Qd ograniczają możliwość wykorzystania kruszywa do warstwy ścieralnej. Należy zaznaczyć, że właściwości fizyczne kruszywa są ściśle związane ze składem mineralnym, strukturą i teksturą skały pochodzącej z danego złoża. W związku z tym nie należy uogólniać wniosków określonych na podstawie otrzymanych wyników badań na inne złoża.

Słowa kluczowe: kruszywo grube; mieszanki mineralno-asfaltowe; jasność nawierzchni; odporność na polerowanie.

Abstract. The paper presents the test results of physical properties of coarse aggregates intended for the wearing course made of asphalt mixture for national roads with traffic category \geq KR5. Nine aggregates were selected for the study that were produced from rocks with different petrographic characteristics. Among the tested materials, only granodite aggregate meets the strict criteria set out in the Technical Guidelines WT-1:2014 [1]. First of all, the requirements for the PSV, the LA coefficient, the Qd luminance coefficient contributed to the elimination of the tested aggregates for wearing course. It should be noted that the physical properties of a given aggregate are closely related with the mineral composition, structure and texture of the rock from a given deposit. Therefore, one should not generalize the conclusions made on the basis of the obtained results to other geological deposits.

Keywords: coarse aggregate; asphalt mixtures; brightness of road pavement; resistance to polishing.

Wymagania dotyczące kruszywa grubego przeznaczonego do mieszanek mineralno-asfaltowych (MMA) są zróżnicowane w zależności od rodzaju warstwy konstrukcji nawierzchni drogowej i obciążenia ruchem samochodowym. Najbardziej rygorystyczne dotyczą przypadku zastosowania kruszywa do warstwy ścieralnej, która jest bezpośrednio narażona na szkodliwe oddziaływanie czynników atmosferycznych oraz ruchu samochodowego [1]. Warstwa ta powinna gwarantować komfort jazdy oraz bezpieczeństwo użytkownika przez spełnienie wymagań równości powierzchni, podłużnej, właściwości przeciwpoślizgowych oraz stanowić ochronę niższej leżącej warstwy przed szkodliwym działaniem środków stosowanych

podczas zimowego utrzymania dróg. W związku z tym kruszywo przeznaczone do warstwy ścieralnej, w odróżnieniu od wbudowywanego do niżej leżących warstw konstrukcji, powinno spełniać kryteria odporności na polerowanie oraz odporności na szkodliwe działanie mrozu w obecności soli.

W 2014 r. zostało wprowadzone dodatkowe kryterium dotyczące jasności nawierzchni [2], tzn. warstw ścieralnych z mieszanek mineralno-asfaltowych (MMA) do dróg krajowych obciążonych ruchem KR5-KR7. Cecha ta jest definiowana jako zdolność warstwy ścieralnej do odbijania światła dziennego lub sztucznego, a jej miarą jest współczynnik luminancji Qd, który stanowi iloraz wartości luminancji powierzchni nawierzchni oraz natężenia oświetlenia w danym jej punkcie. Kryterium ustalono na podstawie doświadczeń niemieckich [3, 4]. W przypadku nawierzchni dróg wykonanych na terenie otwartym, wartość Qd

powinna wynosić ≥ 70 mcd/lx·m², natomiast w tunelach Qd ≥ 90 mcd/lx·m². Wprowadzono też obowiązek kontroli jasności kruszyw grubych przeznaczonych do mieszanek mineralno-asfaltowych. Kruszywo powinno charakteryzować się wartością Qd ≥ 60 mcd/lx·m². Jasny kolor minerałów wchodzących w skład skał, z których produkuje się kruszywo, może przyczynić się do uzyskaniażądanego poziomu współczynnika luminancji warstwy ścieralnej. Wymaganie dotyczące jasności może ograniczać dostępność kruszyw do budowy tej warstwy [5, 6]. Ponadto muszą być spełnione restrykcyjne wymagania dotyczące innych właściwości fizycznych, tj. nasiąkliwości, mrozoodporności w soli, odporności na rozdrabnianie oraz na polerowanie.

W artykule porównano wyniki parametrów opisujących właściwości fizyczne kruszyw grubych produkowanych ze skał o różnej charakterystyce petrograficznej, które zostały odniesio-

¹⁾ Politechnika Białostocka; Wydział Budownictwa i Nauk o Środowisku

^{*)} Adres do korespondencji: marta.wasilewska@pb.edu.pl

ne do wymagań materiałów przeznaczonych do warstwy ścieralnej dróg krajowych o kategorii ruchu \geq KR5.

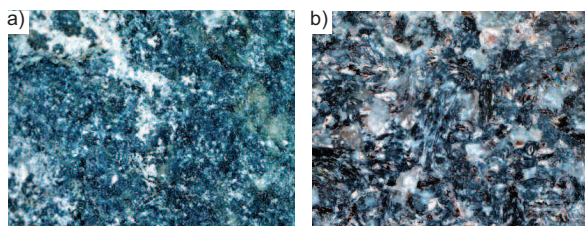
Program badań

Do badań wytypowano kruszywo grube ze skał o różnym składzie mineralnym, strukturze i teksturze. W przypadku: skał magmowych przyjęto kruszywo granitowe, granodiorytowe, gabrowe, trachybazaltowe; skał osadowych – wapienne, dolomitowe, polodowcowe, a skał metamorficznych – amfibolitowe i gnejsowe. Na fotografiach 1 – 3 przedstawiono powierzchnię kruszyw pod mikroskopem optycznym. Celowo zostały one wykonane w powiększeniu 1,7x, aby przedstawić różnice w strukturze i składzie mineralnym skał. Badania obejmowały ocenę:

- nasiąkliwości i gęstości wg normy PN-EN 1097-6;
- odporności na rozdrabnianie wg normy PN-EN 1097-2;
- mrozoodporności wg PN-EN 1367-1;
- mrozoodporności w obecności soli wg PN-EN 1367-6;
- odporności na polerowanie wg normy PN-EN 1097-8;
- jasności wg [2].

Wyniki badań i ich analiza

Na rysunkach 1 – 5 przedstawiono wyniki badań poszczególnych parametrów opisujących właściwości kruszywa. W przypadku **oceny nasiąkliwości kruszywa** nie ma sprecyzowanych kryte-

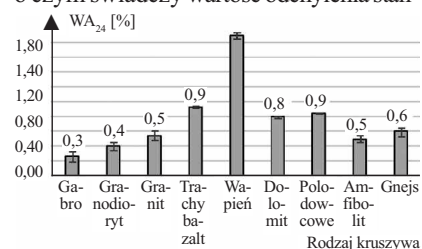


Fot. 3. Obrazy powierzchni kruszywa ze skał metamorficznych wykonane pod mikroskopem optycznym: a) kruszywo amfibolitowe; b) kruszywo gnejsowe

Photo 3. Images of the surface of metamorphic rocks taken under the optical microscope: a) amphibolite aggregate; b) gneiss aggregate

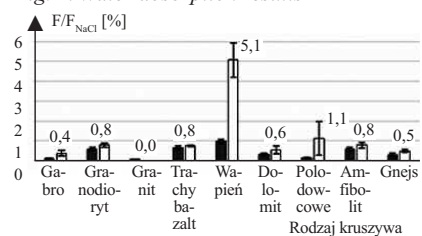
riów dotyczących wartości WA_{24} (Water Absorption). Otrzymaną wartość należy zadeklarować jako wynik oznaczenia danego kruszywa. Największą nasiąkliwością odznacza się kruszywo wapienne (1,9%), a w przypadku pozostałych, wartość WA_{24} jest mniejsza od 1%. Zdolności absorpcyjne materiałów skalnych mają związek z ich odpornością na szkodliwe działanie mrozu. Warstwy ścieralne są szczególnie narażone na oddziaływanie czynników atmosferycznych oraz środków chemicznych stosowanych podczas zapobiegania śliskości w okresie zimowym. W związku z tym jednym z kryteriów ograniczających zakres stosowanych kruszyw do warstwy ścieralnej jest **wynik mrozoodporności w obecności soli**. Na rysunku 2 przedstawiono wyniki odporności kruszyw na szkodliwe działanie wody i mrozu (F) oraz soli (F_{NaCl}). W przypadku wszystkich kruszyw wartość F jest mniejsza niż 1%, natomiast do warstwy ścieralnej dopusz-

cza się kruszywo, którego F_{NaCl} nie jest większe niż 7%. Zatem to kryterium zostało spełnione. Najgorszą mrozoodpornością spośród ocenianych materiałów charakteryzuje się kruszywo wapienne. W składzie kruszywa ze złożeń polodowcowego ziarna ze skał wapiennych i dolomitowych stanowią 25 – 30%, co znajduje odzwierciedlenie w rozrzucie wyników, o czym świadczy wartość odchylenia stan-



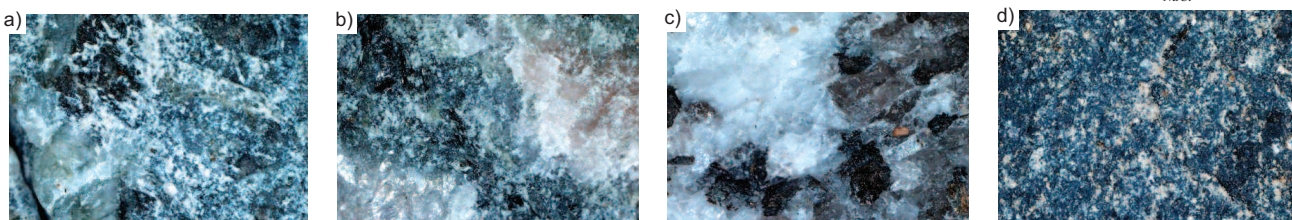
Rys. 1. Wyniki nasiąkliwości

Fig. 1. Water absorption results



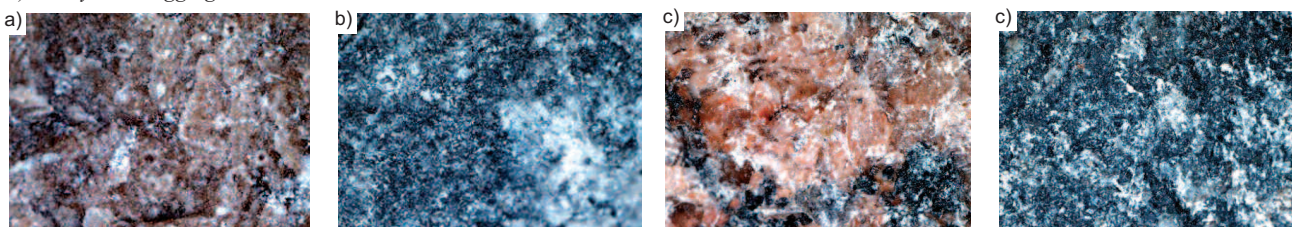
Rys. 2. Wyniki mrozoodporności w wodzie (F) i w obecności soli (F_{NaCl})

Fig. 2. Results of frost resistance in water (F) and in the presence of salt (F_{NaCl})



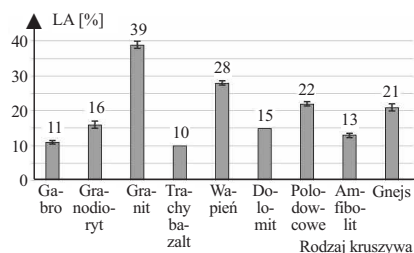
Fot. 1. Obrazy powierzchni kruszywa ze skał magmowych wykonane pod mikroskopem optycznym: a) kruszywo gabrowe; b) kruszywo granodiorytowe; c) kruszywo granitowe; d) kruszywo trachybazaltowe

Photo 1. Images of the surface of igneous rock taken under an optical microscope: a) gabbro aggregate; b) granite aggregate; c) granite aggregate; d) trachybasalt aggregate

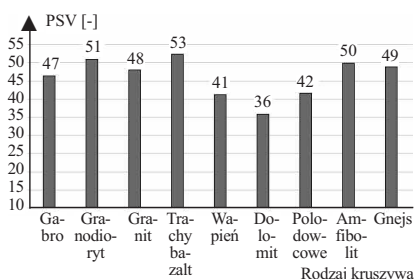


Fot. 2. Obrazy powierzchni kruszywa ze skał osadowych wykonane pod mikroskopem optycznym: a) kruszywo wapienne; b) kruszywo dolomitowe; c) kruszywo polodowcowe

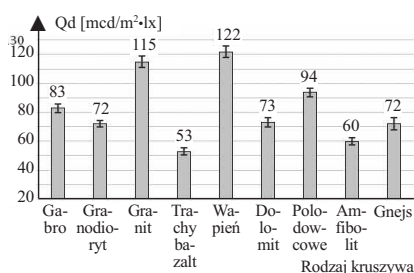
Photo 2. Images of the surface of sedimentary rock taken under an optical microscope: a) limestone aggregate; b) aggregate for fireplaces; c) aggregate from the glacial deposit



Rys. 3. Wyniki odporności na rozdrabnianie
Fig. 3. Fragmentation resistance results



Rys. 4. Wyniki odporności na polerowanie
Fig. 4. Polishing resistance results



Rys. 5. Wyniki jasności
Fig. 5. Brightness results

dardowego – średni F_{NaCl} wynosi 1,1%. W przypadku pozostałych kruszyw wartości średnie są mniejsze niż 1%. Należy zaznaczyć, że skały wapienne i dolomitowe są wrażliwe na działanie chlorków. W nawierzchniach dróg, które wymagają rygorystycznych standardów zimowego utrzymania, wynik tego oznaczenia jest kluczowy.

Badanie polegające na wyznaczeniu odporności na rozdrabnianie LA (*Los Angeles*) ma na celu wyeliminowanie kruszyw, które są podatne na rozdrabnianie, szczególnie w procesie transportu oraz produkcji mieszanek mineralno-asfaltowych. Wartościami $LA < 15\%$ odznaczają się kruszywa gabrowe, melafirowe i dolomitowe. Do MMA przeznaczonych do warstwy ścieralnej o kategorii ruchu $\geq KR5$ można wbudować kruszywo grube o $LA \leq 25\%$. Spośród testowanych kruszyw jedynie kruszywo granitowe i wapienne nie spełniło tego kryterium. Mała odporność na rozdrabnianie jest wynikiem bardzo dobrej łupliwości minerałów wchodzących w skład

granitu. Większość powierzchni minerałów obserwowanych pod mikroskopem jest gładka (fotografia 1). Wyjątek stanowi powierzchnia kwarcu, która nie ma płaszczyzn łupliwości. Mineral ten wykazuje przełam. Natomiast podatność kruszywa wapiennego wynika z małej twardości kalcytu (skala Mohsa -3) oraz jego doskonałej łupliwości. Bardziej restrykcyjne kryteria dotyczą warstwy z asfaltu porowatego, do której jest wymagane kruszywo o współczynniku $LA \leq 20$, ale ta technologia nie jest praktycznie stosowana na drogach w Polsce.

Wskaźnik PSV (*Polished Stone Value*) odzwierciedla podatność kruszywa na zmiany w mikroteksturze w wyniku działania czynników polerujących, tj. opony samochodowej, wody i zanieczyszczeń, które mogą wpływać na śliskość nawierzchni. Kryteria dotyczące PSV istotnie ograniczają zakres stosowania kruszyw do warstwy ścieralnej. W przypadku dróg o kategorii ruchu $\geq KR5$ należy stosować kruszywo o $PSV \geq 50$. Jedynie kruszywa granodiorytowe, trachybazaltowe i amfibolitowe spełniają to kryterium. Badania [7] wykazały, że na wartość PSV wpływa skład mineralny skały pochodzącej z danego złoża. W przypadku skały o strukturze jawnokrystalicznej istotną rolę odgrywa twardość minerałów. Jeśli w przypadku minerałów od miękkich do twardych wynosi ona 40 – 60%, wówczas kruszywo odznacza się dobrą odpornością na polerowanie [7]. Wyjaśnia to różnice pomiędzy wartościami PSV testowanych kruszyw, które wyprodukowano ze skał o strukturze jawnokrystalicznej (gabro, granit, granodioryt, gnejs, amfibolit). Skały monomineralne, tj. dolomit, wapień są podatne na czynniki polerujące na drodze. Natomiast w przypadku kruszyw polodowcowych mała wartość PSV ma związek z zawartością wapieni i dolomitów oraz granitów typu rapakiwi, których minerały nie są zróżnicowane pod względem twardości.

Zawartość jasnych minerałów w skale wpływa na jasność kruszywa. Największą wartością Qd charakteryzują się kruszywa wapienne i granitowe ($> 110 \text{ mcd/m}^2 \cdot \text{lx}$). W przypadku pozostałych skał jawnokrystalicznych Qd wynosi $60 \div 94 \text{ mcd/m}^2 \cdot \text{lx}$ i zależy od zawartości jaśniejszych minerałów w danym materiale skalnym. Jedynie kruszywa z trachybazaltu, wylewnej

skały o barwie szarej, nie spełniły kryteriów progowych wartości współczynnika luminancji. Struktura bardzo drobnoziarnista tej skały pozwala uzyskać dobrą odporność na polerowanie oraz na rozdrabnianie. Ciemny kolor wyklucza stosowanie kruszyw do MMA z uwagi na wymagania jasności nawierzchni.

Podsumowanie

Spośród testowanych materiałów restrykcyjne kryteria określone w Wytycznych Technicznych WT-1:2014 spełnia jedynie kruszywo granodiorytowe. Wymagania dotyczące PSV, LA oraz Qd mogą przyczynić się do eliminacji kruszyw do budowy warstw ścieralnych z MMA o kategorii ruchu $\geq KR5$. Wskazuje to, że spełnienie wymagań dotyczących kruszyw dostępnych na rynku jest bardzo trudne. Wymaga to od technologów nawierzchni drogowych szczegółowych badań w celu przyjęcia optymalnego kruszywa przeznaczonego do warstwy ścieralnej. Właściwości fizyczne danego kruszywa są ściśle związane ze składem mineralnym, strukturą i teksturą skały pochodzącej z danego złoża. W związku z tym nie należy uogólniać wniosków sprecyzowanych na podstawie badań wykonanych na testowanych kruszywach pochodzących z określonych złóż na inne złoża. Wtrącenia minerałów akcesorycznych w danym złożu mogą mieć istotny wpływ na zmianę właściwości fizycznych kruszywa.

Literatura

- [1] Załącznik do zarządzenia nr 46 Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad z 25.09.2014 r.: Kruszywa do mieszanek mineralno-asfaltowych i powierzchniowych utrwaleń na drogach krajowych. Kruszywa. Wymagania Techniczne (WT-1: 2014).
- [2] Załącznik do zarządzenia nr 54 Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad z 18 listopada 2014 r.: Nawierzchnie asfaltowe na drogach krajowych. Wymagania techniczne (WT-2:2014).
- [3] Norddeutsche Expertengruppe für aufgehellte Asphaltdeckschichten: Praktische Hinweise für den Bau von hellen Asphaltdeckschichten, 2004.
- [4] FGSV Forschungsgesellschaft für Strassen und Verkehrswehen; Arbeitspapier Reflexionseigenschaften von Gesteinskörnungen und Oberflächen aus Asphalt. Ausgabe 2010.
- [5] Filipczyk M, Kukielska D. Nawierzchnie jasna i rozjaśnianie. Teoria i praktyka. Mining Science – Mineral Aggregates. 2016; vol. 23 (1): 17 – 22.
- [6] Góraleczek S, Kukielska D. Jakość kruszyw. Górnictwo i Geologia, Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej. 2011; 132, Studia i Materiały nr 39, 79 – 89.
- [7] Gardziejczyk W, Wasilewska M. Evaluation of microtexture changes of coarse aggregate during simulated polishing. Archives of Civil Engineering. 2016; vol. 62 (2): 19 – 34. DOI 10.1515/ace-2015-0062.

Przyjęto do druku: 05.04.2022 r.