

Poziom wymagań dla kruszyw do betonów nawierzchniowych, a rzeczywiste parametry kruszyw w Polsce

THE LEVEL OF REQUIREMENTS FOR AGGREGATES USED TO CONCRETE PAVEMENTS AND ACTUAL PAVEMENTS OF AGGREGATES IN POLAND

Streszczenie

W pierwszej części referatu autorki dokonały przeglądu istotnych dokumentów głównie (Ogólnych Specyfikacji Technicznych, norm, wytycznych polskich i niemieckich, katalogów) wraz ze wskazaniem ich ewolucji, zmian na przestrzeni ostatnich lat w zakresie wymagań dla kruszyw stosowanych do nawierzchni betonowych. Natomiast w drugiej części zaprezentowały własne doświadczenia i wyniki badań kruszyw produkowanych w Polsce. Analizie i ocenie poddano kluczowe parametry kruszyw wymagane do nawierzchni betonowych tzn. odporności na polerowanie (PSV), mrozoodporności w wodzie i w 1% roztworze NaCl, odporności na rozdrabnianie metodą Los Angeles oraz reaktywności alkalicznej. Ustalanie zbyt rygorystycznych poziomów wymagań w dokumentach technicznych może prowadzić do wykluczenia ze stosowania kruszyw, które z powodzeniem od dziesięcioleci sprawdzały się podczas realizacji nawierzchni betonowych w Polsce.

Abstract

In the first part of the report authors reviewed important documents (General Technical Specifications, standards, Polish and German application documents, catalogs) and they indicated the changes in the requirements for aggregates used for production of concrete surfaces that occurred over the years. In the second part they presented their own experiences and results of aggregates produced in Poland. Authors analyzed the key parameters for aggregates used for production concrete surfaces i.e. determination of the

polished stone value, determination of resistance to freezing and thawing, determination of resistance to freezing and thawing in the presence of salt (NaCl) and determination of resistance to fragmentation by the Los Angeles test method. Too high requirements in application documents may lead to the exclusion aggregates, which have been used for many years for production concrete surfaces.

1. Wstęp

Kruszywa kamienne to podstawowy materiał stosowany w budownictwie drogowym. Kruszywo stanowi 70÷80% objętości betonu, w związku z tym ma bardzo istotny wpływ na właściwości mieszanki betonowej i betonu. Sposób obróbki kruszywa wpływa na właściwości reologiczne mieszanki betonowej, natomiast na wytrzymałość betonu wpływa pochodzenie i rodzaj skały. Na etapie projektowania betonu należy uwzględnić fakt, iż jego trwałość jest ustalona i niezmienna, aby wyeliminować możliwy negatywny wpływ zastosowanego kruszywa na trwałość betonu [9]. Do betonów nawierzchniowych nie powinno się stosować kruszyw reaktywnych, aby uniknąć uszkodzeń nawierzchni (w postaci siatki spękań, wycieków żel) uwidaczniających się po kilku, a czasem po kilkunastu latach eksploatacji [7]. Kruszywo do betonu do nawierzchni powinno charakteryzować się wysoką jakością, stałością cech fizycznych i jednorodnością uziarnienia [10].

Odpowiednio wyselekcjonowane kruszywa o określonych cechach są stosowane do produkcji mieszanek betonowych do nawierzchni drogowych. Głównym zadaniem poszczególnych warstw konstrukcyjnych nawierzchni drogowej jest przejmowanie i odpowiednie rozkładanie obciążeń wywołanych ruchem pojazdów na podłoże. Z tego powodu parametry kruszywa, a w szczególności jego parametry fizyczne, mają bezpośredni wpływ na trwałość wykonanej nawierzchni drogowej [12, 13].

Niektóre właściwości kruszyw, w zasadzie niezależnie od sposobu przeróbki w istotny sposób wpływają na cechy wyrobu, w którym je zastosowano [1]. Istotnym parametrem kruszyw stosowanych do betonu nawierzchniowego jest mrozoodporność wg PN-EN 1367-1 [21], dla dolnej warstwy nawierzchni, oraz mrozoodporność wg PN-EN 1367-6 [22] w 1%, NaCl dla górnej warstwy nawierzchni. O możliwości zastosowania kruszywa do betonu o wysokiej wytrzymałości decyduje jego odporność na rozdrabnianie, czyli współczynnik LA badany w bębnie Los Angeles (PN-EN 1097-2) [19]. Parametry takie jak odporność na ścieranie (PN-EN 1097-1) [18], odporność na polerowanie i ścieranie powierzchniowe (PN-EN 1097-8) [20] decydują o możliwości zastosowania kruszywa do nawierzchni. Dlatego też po analizie wymagań stawianych wobec kruszyw, do oceny poddano następujące cechy: odporność kruszywa na rozdrabnianie, mrozoodporność kruszywa w wodzie, mrozoodporność kruszywa w 1% NaCl oraz odporność kruszywa na polerowanie.

2. Metodyka badawcza

2.1. Badanie mrozoodporności kruszywa w wodzie wg PN-EN 1367-1 [21] lub 1% roztworze NaCl wg PN-EN 1367-6 [22]

Badanie mrozoodporności kruszywa wg [21] oraz mrozoodporności kruszywa w 1% roztworze NaCl wg [22] polega na określeniu ubytku masy ziaren kruszywa w wyniku cyklicznego procesu zamrażania / rozmrażania. Do badania zalecana jest frakcja 8/16, ale w razie potrzeby badanie może być wykonywane również na frakcji 4/8, 16/32 (tylko w przypadku mrozoodporności w wodzie). Odsianą na mokro próbkę, która została uprzednio wysuszona do stałej masy umieszcza się w metalowej puszcze odpornej na działanie niskich temperatur, wody lub roztworu wody z NaCl. Badanie wykonuje się na trzech próbkach. Próbkę zalewa się wodą lub 1% roztworem NaCl i odstawia na 24 godziny. Następnie puszki umieszcza się w komorze niskotemperaturowej, potocznie

zwanej zamrażarką – fot. 1 i fot. 2. Niska temperatura sama w sobie nie jest niebezpieczna ani niszcząca dla kruszywa. Najbardziej niebezpieczne jest przejście przez wartość 0°C . Norma PN-EN 1367-1 [21] oraz PN-EN 1367-6 [22] określa dokładnie w jaki sposób ma następować proces zamrażania oraz rozmrażania. Jeden cykl, w którym występują dwa przejścia przez zero stopni (zamrażanie oraz rozmrażanie) trwa 24 godziny. Podczas badania wykonuje się 10 cykli. Po zakończeniu tego procesu próbkę przesiewa się na mokrą na sicie o boku oczka kwadratowego $d/2$, gdzie d/D to badana frakcja. Po wysuszeniu do stałej masy określa się ubytek ziaren (F lub F_{NaCl}).



Fot. 1 i Fot. 2. Komora do badania mrozoodporności kruszywa oraz pojemniki z kruszywem w czasie badania

2.2. Badanie odporności kruszywa na rozdrabnianie wg PN-EN 1097-2 [19]

Badanie odporności na rozdrabnianie wg PN-EN 1097-2 [19] (w bębnie Los Angeles – fot. 3 i fot. 4) polega na określeniu ubytku masy ziaren kruszywa w wyniku ich wzajemnego uderzania o siebie przy udziale stalowych kul. Badanie wykonuje się na frakcji podstawowej 10/14 mm wraz z określeniem sita pośredniego (11,2 lub 12,5 mm), przez które powinna przechodzić określona ilość materiału. Norma dopuszcza również wykonywanie badania

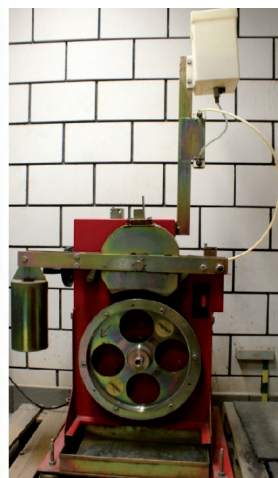


Fot. 3 i Fot. 4. Laborant w trakcie wykonywania badania ścieralności w bębnie Los Angeles oraz wnętrze bębna wraz z kruszywem i kulami

na frakcjach 4/8, 6,3/10, 8/11,2, 11,2/16. Odsianą na mokro próbkę umieszcza się wraz z odpowiednią liczbą stalowych kul w bębnie Los Angeles. Po osiągnięciu 500 obrotów próbkę przesiewa się na mokro na sicie o boku oczka kwadratowego 1,6 mm. Po wysuszeniu do stałej masy oblicza się wartość L.A. Badanie Los Angeles odzwierciedla warunki pracy kruszywa w warstwie konstrukcyjnej nawierzchni drogowej.

2.3. Badanie polerowalności kamienia wg PN-EN 1097-8 [20]

Potocznie można stwierdzić, że oznaczanie polerowalności kamienia (PSV) wg PN-EN 1097-8 [20] polega na określeniu, jaką wartość tarcia będzie miało kruszywo zastosowane w warstwach ścieralnych nawierzchni drogowej po okresie eksploatacji, w którym nastąpi odsłonięcie kruszywa poprzez starcie osłonki asfaltowej lub cementowej. Do badania przyjmuje się materiał przesiany przez sito o boku oczka kwadratowego 10 mm oraz odsiany na sicie prętowym 7,2 mm. Następnie pojedyncze ziarna z odsianej frakcji układa się w specjalnych formach, w taki sposób aby ziarna były umieszczone w formie w sposób stabilny (najbardziej równą stroną) oraz szczeliny pomiędzy sąsiednimi ziarnami były jak najmniejsze. Ilość ziaren przypadających na próbkę powinna mieścić się w zakresie 36–46 sztuk. Po ułożeniu i „uszczelnieniu” szczelin drobnym piaskiem próbki zalewa się żywicą i pozostawia do utwardzenia. Następnie badane próbki umieszcza się na metalowym kole i poddaje przyspieszonemu polerowaniu przy udziale wody i kruszywa ściernego. Z każdego materiału do badania należy przygotować cztery próbki (po dwie na każde koło). Jednorazowo badaniu można poddać sześć różnych materiałów kamiennych, na kole umieszcza się także próbki kruszywa kontrolnego. Po zakończeniu procesu przyspieszonego polerowania (fot. 6) próbki umieszcza się w wahadle angielskim i odczytuje wartość szorstkości jaką one reprezentują (fot. 5). Na podstawie otrzymanych odczytów dla kruszywa badanego oraz wartości dla kruszywa kontrolnego oblicza się wartość PSV.



Fot. 5. i Fot. 6. Wahadło angielskie oraz maszyna do przyspieszonego polerowania

3. Przegląd uwarunkowań formalnych w zakresie wymagań stawianym kruszywu grubemu do betonów nawierzchniowych

Szczegółnej uwagi i wiedzy technologicznej wymaga prawidłowe formułowanie wymagań odnośnie betonu do nawierzchni i specyfikacji, z uwzględnieniem wymagań materiałowych przy zachowaniu trwałości i bezpieczeństwa konstrukcji, przy jednoczesnym zapewnieniu efektywności ekonomicznej [2, 5].

Przegląd dostępnych dokumentów normowych w zakresie betonu nawierzchniowego należy rozpocząć od normy PN-S-96015 „Drogowe i lotniskowe nawierzchnie z betonu cementowego” [16], w której oprócz kwestii wykonawczych określono wymagania dotyczące betonu i jego składników. Użyte kruszywo, w zależności od zastosowania, powinno spełniać wymagania marki 30 lub 50 wg normy PN-B-06712 [15]. Rozszerzenie i zaostrożenie wymagań zawiera norma dotycząca nawierzchni lotniskowych PN-V-83002 [17], która również odwołuje się do normy „Kruszywa mineralne do betonu zwykłego” [15]. Kolejnymi dokumentami z tej serii są Normy Europejskie: PN-EN 13877-1 „Nawierzchnie betonowe. Część 1: Materiały” [24] oraz PN-EN 13877-2 „Nawierzchnie betonowe. Część 2: Wymagania funkcjonalne dla nawierzchni betonowych” [25]. Zgodnie z zapisami w tych normach [24,25] kruszywo powinno spełniać wymagania normy PN-EN 12620, która jest normą klasyfikacyjną, natomiast *„rodzaje i klasy kruszywa dopuszczone do stosowania powinny być określone w odpowiednich normach krajowych lub specyfikacjach technicznych”*[23].

W związku z tym, że w Polsce stosowanie norm nie jest obligatoryjne i możliwe jest formułowanie wymagań zarówno na podstawie norm wycofanych, jak i zastępujących je norm z serii PN-EN, często brakuje jednolitego podejścia w tej kwestii [8].

Pomocne w sprecyzowaniu wymagań projektowych i materiałowych wobec betonu nawierzchniowego stały się wytyczne krajowe. Wymagania dotyczące składników betonu oraz parametrów mieszanki i stwardniałego betonu zostały po raz pierwszy ujęte w Katalogu Typowych Konstrukcji Nawierzchni Sztucznych z 2001 roku [3]. Katalog pozostaje nadal jedynym dokumentem krajowym dotyczącym projektowania i wykonywania konstrukcji nawierzchni z betonu cementowego. Katalog z 2001 r. oparty był na Polskich Normach z serii PN-S, PN-B oraz wybranych, nieaktualnych już Normach Europejskich. Katalog [3] zawierał bardzo szczegółowe wymagania dotyczące kruszyw. W związku z dużym postępem technologicznym, jaki nastąpił w budowie dróg od czasu wprowadzenia Katalogu Typowych Konstrukcji Nawierzchni Sztucznych [3] oraz wzrostem natężenia ruchu pojazdów, wzrostem ciężaru i obciążeń osi, opracowano w 2014 roku nową wersję Katalogu uwzględniającą wszystkie te czynniki. Aktualizacja Katalogu [4] uwzględniła wprowadzenie nowych materiałów, zmianę stawianych im wymagań, wprowadzenie nowych Norm Europejskich oraz przepisów prawnych w zakresie wymiarów i wymaganych nacisków na osie pojazdów. Jednak w Katalogu [4] zrezygnowano z podawania szczegółowych wymagań dotyczących składników. W przypadku kruszyw pojawił się tylko zapis, iż należy stosować kruszywa o odpowiednich wymiarach oraz, że szczegółowe wymagania dla kruszyw powinny precyzować Wymagania Krajowe. Opracowane zostały również Wymagania Techniczne WT-6 [11] dla nawierzchni betonowych, które jednak nie zostały dotychczas opublikowane.

Dotychczas znaczna część specyfikacji dla betonu, sporządzanych w naszym kraju opierała się na wycofanych już normach z grup PN-B, PN-S, PN-V, lub specyfikacjach dostosowujących wymagania dla nawierzchni do norm z grupy PN-EN. Wykorzystywane

były również niemieckie wytyczne budowy dróg betonowych pochodzące z dokumentu ZTV Beton-StB-07 [14].

Pod koniec 2013 roku zakończono prace nad opracowaniem Ogólnych Specyfikacji Technicznych [6] w zakresie betonów nawierzchniowych, które zostały wprowadzone decyzją Dyrektora GDDKiA w czerwcu 2014 roku. Opracowane nowe wymagania [4, 6] niewątpliwie przyczynią się do efektywnej realizacji planu budowy około 810 km dróg betonowych w ramach Programu Budowy Dróg Krajowych w latach 2015-2020. Kruszywo zastosowane do produkcji mieszanki betonowej wg Ogólnych Specyfikacji Technicznych [6] dla nawierzchni betonowych powinno pochodzić ze skały macierzystej, która została podzielona na ziarna wskutek mechanicznego kruszenia i powinna spełniać wymagania normy PN-EN 12620 [23] oraz wymagania dodatkowe, zgodne z tablicami dotyczącymi kruszywa grubego i drobnego, zawartymi w OST:2014 [6], które zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Wymagania stawiane wobec kruszywa grubego przeznaczonego do dolnej (DWN) i górnej (GWN) warstwy betonowej nawierzchni drogowej wg OST:2014 i TL Beton 07 [6, 14]

Lp.	Właściwości kruszywa	Wymagania wg OST:2014 do DWN, KR5+KR7	Wymagania wg OST:2014 do GWN, KR5+KR7,	Wymagania wg TL Beton 07 do DWN BKI SV, I-III,	Wymagania wg TL Beton 07 do GWN BKI SV, I-III,
1	Uziarnienie wg PN-EN 933-1, kategoria nie niższa niż:	G_c 85/20 lub G_c 90/15		G_c 85/20 lub G_c 90/15 lub G_c 90/10	
2	Zawartość pyłu wg PN-EN 933-1; kategoria nie wyższa niż:	$f_{1,5}$		f_1 lub f_3	
3	Kształt kruszywa grubego wg PN-EN 933-3 lub wg PN-EN 933-4; kategoria nie wyższa niż:	Sl_{20} lub Fl_{20}	Sl_{10} lub Fl_{15}	Sl_{20} lub Fl_{20}	Sl_{10} lub Fl_{15}
4	Odporność kruszywa na rozdrabnianie wg PN-EN 1097-2, rozdział 5; kategoria nie wyższa niż:	$LA_{35}^{1)}$	$LA_{25}^{1)}$	-	-
5	Odporność na polerowanie wg PN-EN 1097-8	-	PSV_{53}	-	PSV_{48} lub PSV_{53} (beton z ekspozycją kruszywem)
6	Mrozoodporność wg PN-EN 1367-1, kategoria nie wyższa niż:	F_1	-	-	-

Tabela 1. Cd. Wymagania stawiane wobec kruszywa grubego przeznaczonego do dolnej (DWN) i górnej (GWN) warstwy betonowej nawierzchni drogowej wg OST:2014 i TL Beton 07 [6, 14]

Lp.	Właściwości kruszywa	Wymagania wg OST:2014 do DWN, KR5÷KR7	Wymagania wg OST:2014 do GWN, KR5÷KR7,	Wymagania wg TL Beton 07 do DWN BKI SV, I-III,	Wymagania wg TL Beton 07 do GWN BKI SV, I-III,
7	Mrozoodporność wg PN-EN 1367-6 badana w 1% NaCl, wartość nie wyższa niż:	-	6	8 lub 5 (strefa klimatyczna III)	
8	Reaktywność alkaliczno-krzemionkowa wg PN-B-06714-46, stopień potencjalnej reaktywności:	Stopień potencjalnej reaktywności „0”			
9	Grube zanieczyszczenia lekkie wg PN-EN 1744-1 p.14.2, kategoria nie wyższa niż:	$m_{LPC} 0,1$		$m_{LPC} 0,25$	
10	Zawartość siarki całkowitej wg PN-EN 1744-1 p.11	$\leq 1\%$		-	

¹⁾ Dopuszcza się zastosowanie kruszyw o kategorii na rozdrabnianie LA40, tylko w przypadku, gdy ubytek masy kruszywa w badaniu mrozoodporności w 1% NaCl przeprowadzonego na frakcji 8/16 wg PN-EN 1367-6 jest $\leq F_{NaCl} 2\%$ oraz są spełnione pozostałe wymagania przedstawione w tabeli.

4. Analiza wyników badań

Do analizy przyjęto wyniki badań kruszyw wykonane w Laboratorium Badawczym TPA w Pruszkowie w latach 2008-2016, po wstępnej weryfikacji do dalszej pracy przyjęto wyniki badań 40 kruszyw. Analizowano te kruszywa, dla których wykonywane były równoległe badania czterech kluczowych parametrów tj. mrozoodporność w wodzie, mrozoodporność w 1% NaCl, odporności na rozdrabnianie w bębnie Los Angeles oraz polerowalność.

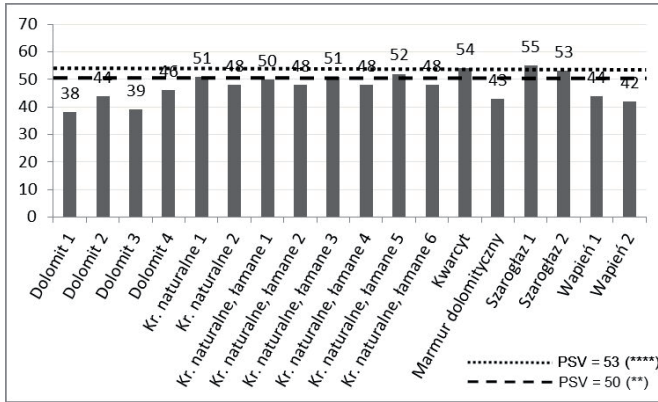
W celu lepszej czytelności wykresów przyjęto oznaczenia wymagań dla kruszyw stosowanych:

(*) – do dolnej warstwy nawierzchni (DWN), kategoria ruchu KR3÷KR4;

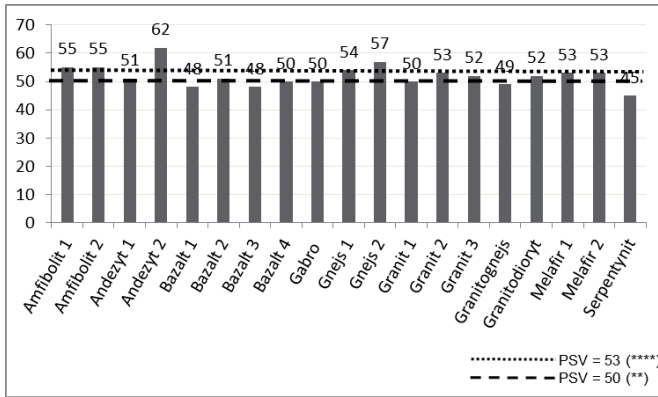
(**) – do górnej warstwy nawierzchni (GWN) lub nawierzchni jednowarstwowej (JWN), dla kategorii ruchu KR3÷KR4;

(***) – do dolnej warstwy nawierzchni (DWN), kategoria ruchu KR5÷KR7;

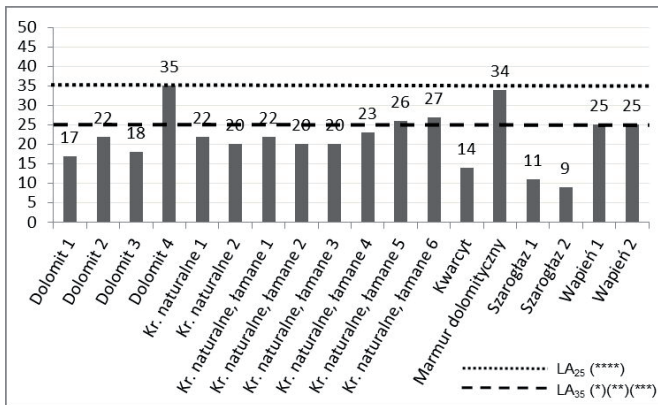
(****) – do górnej warstwy nawierzchni (GWN) lub nawierzchni jednowarstwowej (JWN), dla kategorii ruchu KR5÷KR7;



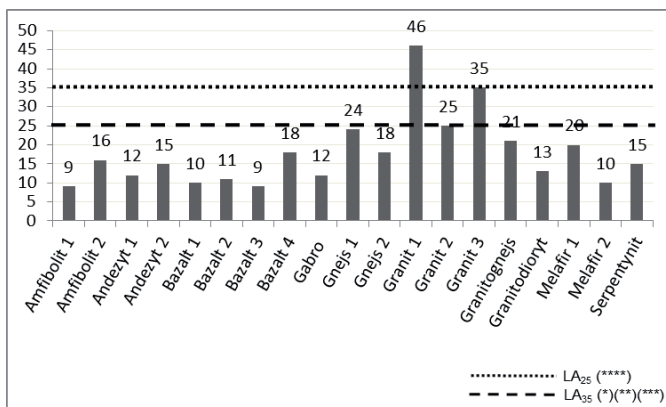
Rys. 1. Wyniki badań odporności na polerowanie wg PN-EN 1097-8 (skały osadowe i przeobrażone powstałe ze skał osadowych)



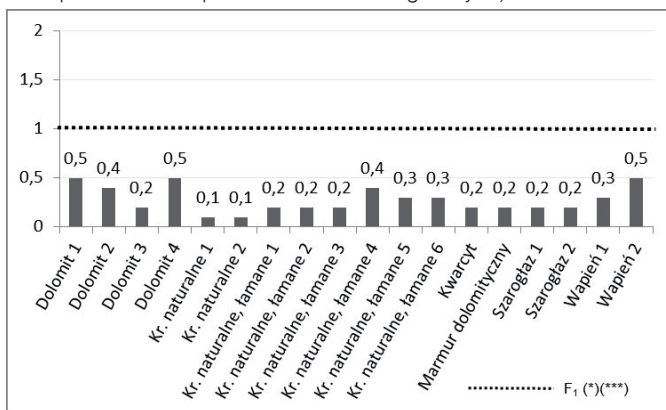
Rys. 2. Wyniki badań odporności na polerowanie wg PN-EN 1097-8 (skały magmowe i przeobrażone powstałe ze skał magmowych)



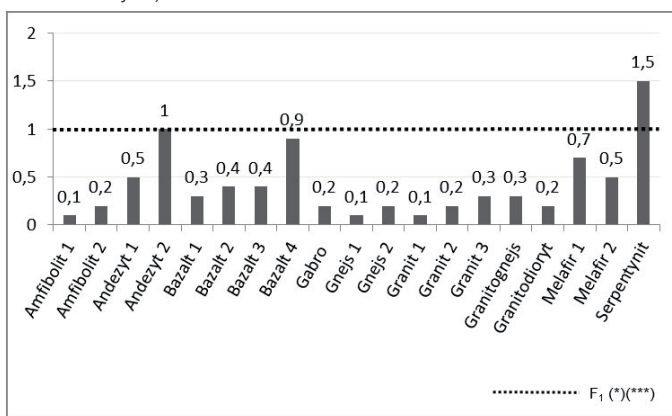
Rys. 3. Wyniki badań odporności na rozdrabnianie w bębnie Los Angeles wg PN-EN 1097-2 (skały osadowe i przeobrażone powstałe ze skał osadowych)



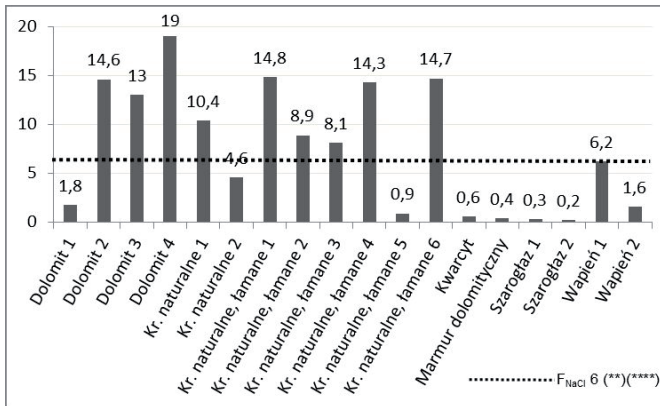
Rys. 4. Wyniki badań odporności na rozdrabnianie w bębnie Los Angeles wg PN-EN 1097-2 (skały magmowe i przeobrażone powstałe ze skał magmowych)



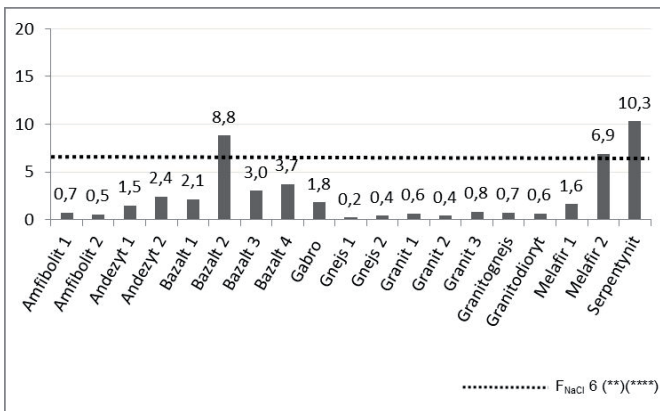
Rys. 5. Wyniki badań mrozoodporności wg PN-EN 1367-1 (skały osadowe i przeobrażone powstałe ze skał osadowych)



Rys. 6. Wyniki badań mrozoodporności wg PN-EN 1367-1 (skały magmowe i przeobrażone powstałe ze skał magmowych)



Rys. 7. Wyniki badań mrozoodporności w 1% NaCl wg PN-EN 1367-6 (skały osadowe i przeobrażone powstałe ze skał osadowych)



Rys. 8. Wyniki badań mrozoodporności w 1% NaCl wg PN-EN 1367-6 (skały magmowe i przeobrażone powstałe ze skał magmowych)

5. Wnioski

Na podstawie otrzymanych wyników badań można stwierdzić że:

- Większość badanych kruszyw osiąga parametr PSV 50 – wymaganie do górnej warstwy nawierzchni (GWN) lub nawierzchni jednowarstwowej KR3÷KR4, parametr ten na poziomie 53 i wyżej uzyskuje się dla badanych kwarcytów, szarogłazów, gnejsów, niektórych granitów oraz melafirów – wymaganie dla górnej warstwy nawierzchni (GWN) lub nawierzchni jednowarstwowej KR5÷KR7.
- Prawie wszystkie przebadane kruszywa (wyjątek to jeden z granitów) spełniają wymóg LA₃₅. Wymogu odporności na rozdrabnianie poniżej 25 nie spełniają dwa z trzech przebadanych granitów, niektóre z badanych kruszyw naturalnych, jeden z badanych dolomitów, a także marmur dolomityczny.

- Mrozoodporność w wodzie (ubytek do 1% masy) spełniają wszystkie kruszywa za wyjątkiem serpentynitu. Wynik badania mrozoodporności w 1% NaCl poniżej 6% uzyskuje połowa z przebadanych kruszyw.
- Biorąc pod uwagę kluczowe analizowane parametry zaledwie kilka z badanych kruszyw spełnia je dla górnej warstwy nawierzchni KR5-7, jest to kwarcyt, szarogłaz, amfibolit, andezyt oraz jeden z melafirów i granitów.

Literatura:

- [1] Góralczyk S., Kukielska D. Jakość kruszyw. "Górnictwo i Geologia" XV, Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej. nr 132, Studia i Materiały, nr 39, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej. Wrocław 2011,
- [2] Jackiewicz-Rek W., Konopska-Piechurska M., Zrównoważony rozwój technologii nawierzchni betonowych – aspekty funkcjonalne, Konferencja Dni Betonu, Wisła 2012,
- [3] Katalog Typowych Konstrukcji Nawierzchni Sztucznych, GDDKiA, Warszawa 2001,
- [4] Katalogu Typowych Konstrukcji Nawierzchni Sztucznych, Warszawa, 2014,
- [5] Konopska-Piechurska M, Jackiewicz-Rek W., Łukowski P.: Korelacje pomiędzy wytrzymałościami na ściskanie i rozciąganie dla betonów do nawierzchni dwuwarstwowych z eksponowanym kruszywem, 60. Jubileuszowa Konferencja Naukowa Komitetu Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN oraz Komitetu Nauki PZITB, Lublin-Krynica 14-19.09.2014,
- [6] Ogólne Specyfikacje Techniczne, D-05.03.04, Nawierzchnia betonowa, GDDKiA, Warszawa, 2014,
- [7] Piłat J., Jackiewicz-Rek W., Starnawska E., Konopska-Piechurska M., Metodyka oceny potencjalnej reaktywności krajowych kruszyw, VIII Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna na temat: Organizacja Przedsięwzięć Budownictwa Drogowego, Bydgoszcz, 22 maja 2015,
- [8] Rozprawa doktorska Konopska-Piechurska M., Modele zależności między cechami mechanicznymi betonów do nawierzchni drogowych, Warszawa 2015,
- [9] Rusin Z., Technologia betonów mrozoodpornych, Polski Cement, Kraków 2002,
- [10] Sochacki T., Nawierzchnie betonowe - sposób na oszczędzanie?, Drogi gminne i powiatowe, 3/2015,
- [11] Wymagania techniczne dla nawierzchni betonowych WT6, IBDiM, Warszawa 2011,
- [12] Zięba M. Odporność kruszywa na rozdrabnianie. Wyniki badań wg normy PN-EN a zapisy WT-1 2010, *Kruszywa*, 2/2012,
- [13] Zięba M. Mrozoodporność kruszywa. Wybrane właściwości fizyczne kruszyw grubych wg normy PN-EN a zapisy WT-1 2010, *Infrastruktura*, 4/2012,
- [14] ZTV / TL Beton StB-07 Handbuch und Kommentar mit Kompendium Bauliche Erhaltung, 2010,
- [15] PN-B-06712 Kruszywa mineralne do betonu zwykłego,
- [16] PN-S-96015 Drogowe i lotniskowe nawierzchnie z betonu cementowego,
- [17] PN-V-83002 Lotniskowe nawierzchnie z betonu cementowego. Wymagania ogólne i metody badań,
- [18] PN-EN 1097-1 Badania mechanicznych i fizycznych właściwości kruszyw. Metody oznaczania odporności na ścieranie,
- [19] PN-EN 1097-2 Badania mechanicznych i fizycznych właściwości kruszyw. Metody oznaczania odporności na rozdrabnianie,
- [20] PN-EN 1097-8 Badania mechanicznych i fizycznych właściwości kruszyw. Część 8: Oznaczanie polerowalności kamienia,
- [21] PN-EN 1367-1 Badania właściwości cieplnych i odporności kruszyw na działanie czynników atmosferycznych. Część 1: Oznaczanie mrozoodporności,
- [22] PN-EN 1367-6 Badania właściwości cieplnych i odporności kruszyw na działanie czynników atmosferycznych. Część 1 Mrozoodporność w obecności soli,
- [23] PN-EN 12620 Kruszywa do betonu,
- [24] PN-EN 13877-1, Nawierzchnie betonowe. Część 1: Materiały,
- [25] PN-EN 13877-2, Nawierzchnie betonowe. Część 2: Wymagania funkcjonalne dla nawierzchni betonowych.