

dr inż. Andrzej Duszyński\*  
 dr Wiktor Jasiński\*  
 mgr inż. Aneta Pryga-Szulec\*

# Wpływ kruszywa grubego na właściwości betonu w budownictwie komunikacyjnym

*Effect of coarse aggregate on specificity of concrete in traffic engineering*

**B**udownictwo komunikacyjne jest specyficzne i wyróżnia się wysokimi wymaganiami, przede wszystkim w zakresie trwałości i bezpieczeństwa użytkowania. W związku z tym dobór kruszyw do tego rodzaju betonów jest bardzo istotny. Do niedawna do betonów stosowanych w obiektach inżynierskich używano przeważnie kruszyw bazaltowych i granitowych jako kruszyw o sprawdzonej, dobrej jakości i trwałości. Obecnie coraz częściej stosowane są kruszywa z innych skał, np. amfibolitowych, dolomitowych, naturalnych. Badania wykazują, że niekiedy pomimo niezbyt korzystnej np. mrozoodporności czy nasiąkliwości kruszyw możliwe jest wykonanie betonów o dużej trwałości i wytrzymałości [1].

Właściwości kruszywa decydują o cechach wytrzymałościowo-trwałościowych betonu. Mrozoodporność, kształt, zapylenie, uziarnienie, odporność na ścieranie, reaktywność alkaliczna wpływają zarówno na właściwości mieszanki betonowej (m.in. urabialność), jak i właściwości użytkowe betonu (ogólnie: na jakość warstwy kontaktowej pomiędzy zaczynem cementowym a kruszywem, strukturę betonu).

W IBDiM – Filia Wrocław realizowano pracę, na podstawie której starano się określić wpływ cech zbadanych na wytypowanych kruszywach pochodzenia naturalnego występujących w Polsce na trwałość i wytrzymałość betonu oraz porównać właściwości betonów wykonanych z zastosowaniem kruszyw pochodzących z różnych rodzajów surowców skalnych. W tym celu zaprojektowano siedem mieszanek betonowych z użyciem kruszyw pochodzących z różnych skał, tj.:

- magmowych wylewnych – bazalt (B);

- magmowych głębinowych – granit (G);
- przeobrażonych (metamorficznych) – amfibolit (A);
- osadowych węglanowych – dolomit (D1) i wapień (W1);
- osadowych okrucowych – żwir naturalny (N1; N2).

Dobierając kruszywa do betonu, starano się przede wszystkim, aby reprezentowały różne rodzaje skał (ze względu na pochodzenie) i różne regiony Polski oraz by w miarę możliwości różniły się jakością, zwłaszcza w odniesieniu do cech fizyko mechanicznych i trwałości.

Bardzo ogólnie charakteryzując wytypowane kruszywa z wymienionych surowców skalnych, w odniesieniu do ich zastosowania w budownictwie komunikacyjnym, można stwierdzić, że:

- kruszywa naturalne ze skał osadowych okrucowych wykazują dużą niejednorodność składu, a przez to zmienną jakość i w związku z tym występuje zagrożenie zjawiskiem reaktywności alkalicznej;

- kruszywa ze skał osadowych węglanowych charakteryzują się dużym zróżnicowaniem właściwości trwałościowo-wytrzymałościowych; w tej grupie występują kruszywa zarówno o dobrych cechach, jak i takie, które mają dużą nasiąkliwość, ścieralność, niską mrozoodporność, a poza tym może zachodzić reaktywność alkaliczna;

- kruszywa ze skał magmowych wyróżniają się przeważnie jednorodnym składem i dobrymi lub bardzo dobrymi właściwościami trwałościowo-wytrzymałościowymi;

- kruszywa ze skał metamorficznych powstałe w wyniku przeobrażenia skał magmowych i osadowych cechują się przeważnie jednorodnym składem i dobrymi właściwościami trwałościowo-wytrzymałościowymi.

Beton, na potrzeby wspomnianej pracy, starano się zaprojektować w oparciu o rzeczywiste potrzeby trwałościowo-wytrzymałościowe, jakie występują w budownictwie komunikacyjnym. Opracowano wzorcową recepturę na beton o klasie wytrzymałości C45/55. Przy projektowaniu mieszanki betonowej z różnymi rodzajami kruszyw uwzględniono ich gęstość oraz uziarnienie dla kruszyw frakcji 2 – 8 mm i 8 – 16 mm. Pozostałe składniki mieszanki betonowej były takie same we wszystkich recepturach. Stosunek w/c również był stały i wynosił 0,42.

W tabeli 1 przedstawiono skład badanych betonów, w tabeli 2 podstawowe właściwości zastosowanych kruszyw, a w tabeli 3 wyniki badań betonu na bazie różnych kruszyw. Na podstawie analizy wyników badań oraz obserwacji podczas wykonywania betonu stwierdzono, że mieszanki betonowe miały odpowiednią konsystencję, bez śladu segregacji składników.

W badaniach nasiąkliwości wszystkich rodzajów betonów uzyskano dobre wyniki, co w warunkach normalnej produkcji pozwoliłoby utrzymać tę właściwość na wymaganym poziomie ( $\leq 5\%$ ). W większości przypadków otrzymano też wyższe, niż zakładano w projekcie, klasy wytrzymałości, bo zamiast C45/55 wg PN-EN 206-1 uzyskano C50/60 i C55/67, a w przypadku betonu z kruszywem bazaltowym C45/55. Wszystkie badane betony przeszły pozytywnie badania mrozoodporności, a wyniki badań (niskie spadki wytrzymałości) klasyfikują zaprojektowane betony pod względem odporności na zamrażanie i odmrażanie na stopień F150. Natomiast niski przyrost masy oraz mała głębokość wnikania wody podczas badania wodoprzepuszczalności świadczą o ich szczelności. Uzyskano pro-

\* Instytut Badawczy Dróg i Mostów – Filia Wrocław

jektowany stopień wodoprzepuszczalności W8.

Kruszywa wytypowane do badań różniły się nie tylko pochodzeniem surowca, ale też parametrami fizykomechanicznymi i trwałościowymi. Były to kruszywa o zwiększonej nasiąkliwości (kruszywo naturalne i bazalt), słabszej odporności na zamrażanie/rozmarzanie w roztworze soli (również kruszywo naturalne i bazalt), słabszej odporności na ścieranie (również kruszywo naturalne i bazalt), rozdrabnianie (kruszywo granitowe i naturalne) oraz kruszywa o dobrych właściwościach fizykomechanicznych i trwałościowych (amfibolit, dolomit). Wszystkie kruszywa charakteryzowały się małą zawartością pyłów (od 0,1 do 1,1%), odpowiednim kształtem (kubicznością), tj. zawartością ziaren płaskich i wydłużonych (kategoria FI 15 i SI 15 – pierwsza z pięciu wg PN-EN 12620) do 15%. Duża zawartość pyłów powoduje oblepianie ziaren

Tabela 3. Wyniki badań betonu z zastosowaniem różnego rodzaju kruszyw

Właściwości betonu	Receptura 1(B)	Receptura 2(G)	Receptura 3(A)	Receptura 4(D)	Receptura 5(W)	Receptura 6(N1)	Receptura 7(N2)
Klasa wytrzymałości wg PN-EN 206-1 Średnia wartość wytrzymałości na ściskanie <sup>1)</sup> po 28. dniu [MPa]	C45/55 63,5	C50/60 68,2	C50/60 69,2	C50/60 68,4	C55/67 71,2	C50/60 64,5	C50/60 66,0
Nasiąkliwość <sup>2)</sup> [%]	2,4	2,6	2,1	2,1	2,7	2,3	2,8
Stopień mrozoodporności w wodzie <sup>3)</sup> : – ubytek masy [%] – spadek wytrzymałości po 150 cyklach [%]	F150 0,1 2,9	F150 0,2 0	F150 0,3 0	F15 0,1 0	F150 0,1 3,3	F150 0,2 6,0	F150 0,2 2,4
Stopień mrozoodporności w roztworze soli <sup>4)</sup> : – ubytek masy [%] – spadek wytrzymałości po 150 cyklach [%]	F150 0,1 0,9	F150 0,2 0,5	F150 0,3 3,3	F150 0,2 0,4	F150 0,2 0,2	F150 0,2 5,7	F150 0,2 1,3
Stopień wodoprzepuszczalności <sup>5)</sup>	W8	W8	W8	W8	W8	W8	W8

Metody badań wg: <sup>1)</sup> PN-EN 12390-3; <sup>2), 3), 4), 5)</sup> Procedur Badawczych IBDiM (wg PN-88/B-06250)

Tabela 1. Skład betonów z użyciem kruszyw bazaltowych, granitowych, amfibolitowych, dolomitowych, wapiennych i naturalnych

Składniki [kg/m <sup>3</sup> ]	Receptura 1(B)	Receptura 2(G)	Receptura 3(A)	Receptura 4(D)	Receptura 5(W)	Receptura 6(N1)	Receptura 7(N2)
Cement CEM I 42,5 N MSR/NA	380	380	380	380	380	380	380
Woda	158	158	158	158	158	158	158
Piasek naturalny 0 – 2 mm	652	652	652	652	652	652	652
Kruszywo 2 – 8 mm	597	500	557	559	557	557	587
Kruszywo 8 – 16 mm	759	637	710	666	710	580	680
Domieszka upłynniająca	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8

Objaśnienia (stosowane w dalszej części pracy):

receptura 1(B) – z kruszywem bazaltowym; receptura 2(G) – z kruszywem granitowym; receptura 3(A) – z kruszywem amfibolitowym; receptura 4(D) – z kruszywem dolomitowym; receptura 5(W) – z kruszywem wapiennym; receptura 6(N1) – z kruszywem naturalnym nr 1; receptura 7(N2) – z kruszywem naturalnym nr 2

Tabela 2: Podstawowe właściwości kruszyw zastosowanych do betonów (badania wg PN-EN 12620 *Kruszywa do betonów*)

Właściwość [%]	Bazalt	Granit	Amfibolit	Dolomit	Wapień	Naturalne nr 1	Naturalne nr 2
Zawartość pyłów	0,5 0,1	0,0 0,3	0,5 0,4	0,5 0,2	1,1 0,4	0,4 0,3	0,1 0,5
Nasiąkliwość	1,8 1,6	0,9 0,6	0,5 0,5	0,5 0,3	1,0 0,6	1,6 1,6	1,0 1,2
Mrozoodporność w wodzie	2,0 1,0	0,1 0,1	0,3 0,2	0,1 0,1	0,3 0,2	0,4 0,4	0,4 1,0
Mrozoodporność w roztworze soli	7,0 3,0	0,2 0,2	0,8 0,4	0,6 0,7	4,1 4,0	7,7 6,1	9,9 11,6
Odporność na ścieranie	20 19	19 8	13 9	4 8	14 10	21 13	15 15
Odporność na rozdrabnianie	13 12	40 35	22 16	20 17	24 18	28 27	22 26

Uwaga: pierwszy wynik dotyczy kruszywa frakcji 2 – 8 mm, drugi frakcji 8 – 16 mm

kruszywa i pogorszenie przyczepności zaczyn-kruszywo oraz zwiększa wodoodporność betonu. Jeżeli pyły zawierają dużo części ilastych, wówczas wykazują właściwości pęczniące. Ważne jest też odpowiednie „upakowanie” kruszywa w betonie, ponieważ duża zawartość ziaren płaskich i wydłużonych źle wpływa na urabialność mieszanki betonowej, jej zagęszczenie i w efekcie pogarsza się szczelność i wytrzymałość betonu na ściskanie. Wszystkie kruszywa zastosowane do betonów były badane także pod kątem reaktywności alkalicznej metodą beleczkową wg PN-B-06714-34. Uzyskane wyniki badań potwierdziły, że kruszywa te nie są reaktywne alkalicznie.

Na podstawie wielu przeprowadzonych badań stwierdzono, że nie ma prostych zależności pomiędzy mrozoodpornością i nasiąkliwością kruszywa. Zdaje się, że kruszywa o nasiąkliwości poniżej 1% nie zapewniają trwałości (ulegają destrukcji) i następuje degradacja betonu, podczas gdy dużo bardziej nasiąkliwe (powyżej 2%) spełniają swoją funkcję w betonie bez zastrzeżeń przez wiele lat [2]. Nasiąkliwość kruszywa nie jest pewnym wskaźnikiem mrozoodporności kruszywa i betonu.

Na podstawie uzyskanych wyników badań można dojść do wniosku, że jakość poszczególnych kruszyw nie przełożyła się w sposób istotny i jednoznaczny na jakość betonów wykonanych z ich udziałem. W zakresie właściwości trwa-

łościowych kruszyw (mrozoodporność, nasiąkliwość) związku z uzyskanymi rezultatami przedmiotowych badań można się dopatrywać w tym, że zdolność kruszywa do wypełniania wodą w stopniu krytycznym modyfikowana jest przez właściwości zaczynu cementowego i warunki eksploatacyjne. Można również przyjąć, że w przypadku kiedy ziarna kruszywa są szczelnie otoczone nieporowatym lub odpowiednio napowietrzonym zaczynem cementowym w dużo mniejszym stopniu może dochodzić do krytycznego nasączenia i powstania zniszczeń. Za jedno z głównych kryteriów trwałości betonu uważa się porowatość warstwy kontaktowej pomiędzy zaczynem a kruszywem [1, 2].

Ocena mrozoodporności danego kruszywa, jako jednego z głównych kryteriów trwałości przy jego zastosowaniu w tak specyficznych i wymagających budowlach, jakimi są betonowe drogowe obiekty inżynierskie lub inne konstrukcje betonowe eksploatowane w ciągach komunikacyjnych, powinna być jednak zawsze ostatecznie potwierdzona w badaniach mrozoodporności na próbkach betonowych, wg ustalonych na konkretne potrzeby receptur. Dodatkowo jednym z elementów oceny kruszyw może być ich porowatość, która jest uważana za jedną z głównych właściwości decydujących o mrozoodporności kruszywa w betonie [2, 3, 4, 5]. Jednak istnieje też wiele kontrowersji związanych z metodami oceny porowatości w odniesieniu do trwałości, choćby dlatego, że metody pochodzą z różnych krajów, gdzie występują inne surowce skalne, ale mimo to może to stanowić pomoc w ocenie kruszyw zwłaszcza tych wątpliwych czy rzadziej stosowanych. Porowatość kruszyw stosowanych w przedmiotowych badaniach (oprócz naturalnych) była badana metodą porozymetrii ręciennej, wykorzystującą tzw. spodziewany wskaźnik trwałości kruszywa (EDF), uwzględniający objętość porów w ziarnie kruszywa do mediany ich średnicy [2]. Wszystkie kruszywa badane pod tym kątem uzyskały wyniki, które wg wspomnianej metody kwalifikują je jako trwałe.

Z dotychczasowych doświadczeń wynika, że dobra odporność kruszywa na zamrażanie-rozmarzanie może wpłynąć na przedłużenie bezpiecznego użytkowania obiektu. Podobnie

jest z wytrzymałością kruszywa, ponieważ kiedy po dłuższej eksploatacji betonu zaczyn cementowy traci swoje właściwości wytrzymałościowe, wtedy kruszywo grube kształtuje wytrzymałość.

Odporność kruszyw na ścieranie jest ważna szczególnie w betonach nawierzchniowych. Natomiast odporność na rozdrabnianie kruszyw wydaje się być jednak właściwością, która w betonie nie ma tak bardzo istotnego znaczenia podczas jego eksploatacji. Przykładem mogą być kruszywa granitowe, które przeważnie charakteryzują się niską odpornością na rozdrabnianie (powyżej 30%), a od wielu lat są z powodzeniem stosowane w różnych odpowiedzialnych konstrukcjach narażonych na ciężkie warunki eksploatacyjne w budownictwie komunikacyjnym. Poprzednia norma na kruszywa do betonu PN-86/B-06712 nie uwzględniała konieczności przeprowadzania tego badania.

Przy projektowaniu betonu z przeznaczeniem na konkretne obiekty i warunki eksploatacji należy dobierać kruszywa, uwzględniając ich właściwości w zależności od potrzeb wynikających z warunków eksploatacji. Obecnie właściwy dobór kruszyw do betonów może być utrudniony ze względu na brak wymagań w odpowiednich przepisach krajowych. PN-EN 12620 *Kruszywa do betonu* podaje jedynie kategorie wyników badań.

Na uwagę zasługuje fakt, że z kruszyw węglanowych otrzymano beton o wysokich parametrach trwałościowo-wytrzymałościowych. Jest to o tyle ważne, że zazwyczaj do tych kruszyw podchodzi się z dużą rezerwą, zwykle uważa się, że wszystkie te kruszywa są słabe i reaktywne. Betony z tymi kruszywami osiągnęły parametry porównywalne lub w niektórych właściwościach wyższe od betonów z tradycyjnie stosowanymi kruszywami, tj. głównie granitu i bazaltu. Oznacza to, że mogą one stanowić dobrą alternatywę dla powszechnie stosowanych w betonach kruszyw ze skał magmowych. Wyniki osiągnięte dla betonu z kruszywem dolomitowym po części mogą wynikać z ogólnie dobrej przyczepności tego surowca do zaczynu cementowego.

W przypadku kruszyw węglanowych, a także naturalnych występuje zagrożenie niebezpiecznego zjawiska reaktyw-

ności alkalicznej, dlatego też zawsze przed zastosowaniem konieczna jest ostateczna ocena kruszywa pod tym względem. Warto również zwrócić uwagę, że w celu pełnej oceny kruszywa grubego należy zawsze wykonać badanie petrograficzne, które pomoże właściwie je scharakteryzować.

Z przeprowadzonych badań wynika, że z zastosowaniem wszystkich badanych kruszyw wykonano beton o porównywalnych parametrach.

### Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki pracy polegającej na badaniach betonów z zastosowaniem kruszyw pochodzących z różnych surowców skalnych. Starano się określić wpływ właściwości kruszyw, w tym mrozoodporności (jako jednej z najważniejszych charakterystyk) na podstawowe cechy trwałościowo-wytrzymałościowe betonu oraz dokonać porównania właściwości betonów wykonanych z zastosowaniem kruszyw pochodzących z różnych rodzajów surowców skalnych.

**Słowo kluczowe:** kruszywo, beton, trwałość, wytrzymałość.

### Abstract

The paper presents results of research work involving concretes with aggregates of different rock materials. Sought to determine the impact properties of aggregates, including freeze resistance (as one of the most important characteristics) on the basic characteristics of durability and strength of concrete and to compare the properties of concrete made using aggregates of different types of rock materials.

### Literatura

- [1] A. Duszyński, A. Pryga-Szulc „Mrozoodporność kruszyw stosowanych w betonach cementowych w budownictwie komunikacyjnym”, *Materiały Budowlane* 10/2011.
- [2] Z. Rusin „Technologia betonów mrozoodpornych”, *Polski Cement*, Kraków 2002 r., ISBN 83-913000-7-2.
- [3] J. Piasta, W. Piasta „Beton zwykły. Dobór kruszyw i cementów. Projektowanie betonu. Trwałość betonu. Odporność chemiczna i termiczna”, *Arkady* 1997 r., ISBN 83-213-3889-5.
- [4] J. Małolepszy „Rola kruszyw mineralnych w kształtowaniu właściwości betonu”, *Symposium Naukowo-techniczne „Beton i jego składniki. Normalizacja, właściwości i zastosowanie”*, Poznań 2003 r.
- [5] M.A. Glinicki „Trwałość betonu w nawierzchniach drogowych. Wpływ mikrotekstury, projektowanie materiałowe, diagnostyka”, *IBDiM, Studia i Materiały zeszyt 66*, ISBN 83-89252-03-1.