

dr hab. inż. Krzysztof Zieliński, prof. PP<sup>1)\*</sup>

ORCID: 0000-0002-3805-1108

inż. Julia Błaszkiwicz<sup>1)</sup>

# Analiza porównawcza wybranych cech technicznych betonu wykonanego przy użyciu kruszywa wapiennego i granitowego

*Comparative analysis selected technical characteristics of concrete made with the use of limestone and granite aggregate*

DOI: 10.15199/33.2022.05.10

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono wyniki badań wybranych cech technicznych kruszywa granitowego i wapiennego oraz betonów konstrukcyjnych z ich zastosowaniem. Do wykonania betonów użyto grysu wapiennego z wyrobiska Wapienno na Kujawach oraz grysu granitowego z kamieniołomu w Strzegomiu. Badania odporności kruszyw na rozdrabnianie wykonano, stosując dwie receptury betonu o identycznym składzie ilościowym. W pierwszej użyto kruszywa wapiennego, a w drugiej granitowego. W przypadku betonu przeprowadzono badania wytrzymałości na ściskanie, nasiąkliwości, głębokości penetracji wody pod ciśnieniem i mrozoodporności. Uzyskane wyniki potwierdziły, że właściwości fizykomechaniczne betonu wykonanego na bazie kruszywa wapiennego są porównywalne do właściwości betonu wykonanego na bazie kruszywa granitowego.  
**Słowa kluczowe:** kruszywo wapienne; kruszywo granitowe; beton cementowy.

**Abstract.** The article presents the results of tests of selected technical features of granite and limestone aggregate as well as construction concretes made with their use. Limestone grit from the deposit in the Piechcin, Barcin and Pakość regions in Kujawy and granite grit from the quarry in Strzegom was used for the tests. The tests were carried out using two concrete recipes with the same quantitative composition. In the first, limestone grit was used, and in the second – granite. The tests of aggregate resistance to grinding were carried out. Compressive strength, water absorption, water penetration depth under pressure and frost resistance were tested for concrete. The obtained test results confirmed that the physical and mechanical properties of concrete made on the basis of limestone aggregate in the performed scope of tests are similar to the properties of concrete made on the basis of granite aggregate.  
**Keywords:** limestone aggregate; granite aggregate; cement concrete.

Intensywny rozwój budownictwa w Polsce spowodował, że w ostatnich latach coraz częściej zauważa się deficyt kruszywa grubego. Rozwiązaniem tego problemu może być zwiększenie wykorzystania kruszyw wapiennych do produkcji betonów cementowych. W USA i Kanadzie, krajach bogatych w złoża skał wapiennych, ok. 70% kruszyw łamanych wykorzystywanych do produkcji betonu stanowią kruszywa wapienne. W Polsce jest to zaledwie ok. 20% [1, 2]. Kruszywa wapienne są powszechnie niedoceniane jako składnik betonu głównie ze względu na ich wyższą nasiąkliwość, słabszą mrozoodporność oraz wytrzymałość od powszechnie stosowanych kruszyw granitowych i bazaltowych. Trzeba jednak pamiętać, że na cechy techniczne beto-

nu ma wpływ nie tylko wytrzymałość kruszywa, ale także jego potencjalna reaktywność z alkaliom, skład chemiczny oraz możliwość modyfikacji warstwy kontaktowej z matrycą cementową. Nie bez znaczenia jest też lokalizacja złóż kruszyw. Skały granitowe, a przede wszystkim bazaltowe występują na południu Polski, głównie na Dolnym Śląsku. Złoża wapieni zlokalizowane są w centralnej części naszego kraju, bardziej dogodnej ze względu na transport kruszywa. Ma to niebagatelne znaczenie przy wysokich kosztach transportu.

W artykule przeprowadzono analizę porównawczą wybranych cech technicznych betonu wykonanego z zastosowaniem kruszywa wapiennego i granitowego.

## Charakterystyka kruszywa

**Kruszywo wapienne.** Wapień jest skałą zbudowaną z węglanu wapnia, głównie w postaci kalcytu. Jest to skała osadowa pochodzenia chemicznego. Gryś użyty do

badania pochodzi ze złoża wapieni organogenicznych w rejonie Barcin-Piechcin-Pakość (wyrobisko Wapienno na Kujawach). Z informacji otrzymanych od producenta wynika, że **grysy wapienne zastosowane w badaniach charakteryzują się:**

- odpornością na rozdrabnianie –  $LA_{25-30}$ ;
- zawartością pyłów –  $f_{1,5}$ ;
- mrozoodpornością –  $F_2$ ;
- nasiąkliwością –  $WA_{24}^2$ ;
- gęstością objętościową –  $2,7 \text{ kg/dm}^3$ .

Wapień z Kujaw zawiera w masie charakterystyczne przewarstwienia z krzemionki ( $SiO_2$ ), sięgające 3% masy. Dzięki temu wykonane z niego kruszywo ma dobrą odporność na rozdrabnianie. Wapień zawarty w omawianym kruszywie modyfikuje warstwę kontaktową zaczyn-kruszywo. Ma to wpływ na zwiększenie odporności na korozję siarczanową. W warstwie kontaktowej tworzy się faza monowęglanoglinianu wapniowego ( $C_3A \cdot CaCO_3 \cdot 11H_2O$ ), dzięki czemu

<sup>1)</sup> Politechnika Poznańska; Wydział Inżynierii Lądowej i Transportu

<sup>\*</sup>) Adres do korespondencji:

krzysztof.zielinski@put.poznan.pl

warstwa kontaktowa ma zwartą, z małą liczbą porów i przepuszczalną mikrostrukturę, co istotnie zwiększa przyczepność matrycy cementowej do kruszywa, a co za tym idzie zwiększa wytrzymałość betonu. Potencjalna reaktywność alkaliczna omawianego kruszywa, badana wg PN-B 06714-46, jest minimalna [11].

Próbki kruszywa wapiennego do badań pobrano zgodnie z wymaganiami zawartymi w PN-EN 932-1:1999 *Badania podstawowych właściwości kruszywa. Metody pobierania próbek*. Pochodzą one z centralnej części składowiska należącego do producenta. Pobrano próbki o łącznej masie ok. 45 kg.

**Kruszywo granitowe.** Użyty do badań grys granitowy ma strukturę średnioziarnistą i pochodzi z kamieniołomu w Strzegomiu. Stosunkowo mała odporność na rozdrabnianie jest wynikiem bardzo dobrej łupliwości minerałów wchodzących w skład granitu.

Kruszywa granitowe, w zależności od złoża, z którego pochodzą, mają zmienne właściwości fizykomechaniczne. Zazwyczaj zalicza się je do kruszyw bardzo dobrej lub dobrej jakości. Niektóre kruszywa granitowe mogą reagować z alkaliom, ponieważ zawierają minerały potencjalnie reaktywne. Reakcja alkalia – krzemionka zaczyna się zazwyczaj od agresywnego działania alkalicznych wodorotlenków na minerały krzemionkowe. Wchodzący w skład granitu kwarc, o wyraźnej strukturze krystalicznej, nie jest wrażliwy na działanie alkaliów. Jak podaje producent, **badane grysy granitowe charakteryzują się:**

- odpornością na rozdrabnianie –  $LA_{25-35}$ ;
- odpornością na ścieranie –  $M_{DE}$  10-20;
- mrozoodpornością –  $F_2$ ;
- nasiąkliwością –  $<1\%$ ;
- gęstością objętościową –  $2,7 \text{ kg/dm}^3$ .

Próbki kruszywa granitowego do badań o łącznej masie ok. 50 kg pobrano zgodnie z wymaganiami zawartymi w normie PN-EN 932-1:1999.

## Badania

Badania porównawcze wykonano, stosując dwie receptury betonu o identycznym składzie ilościowym. W mieszankach betonowych zastosowano łamane kruszywa grube, popularnie nazywane grysami. W pierwszej użyto grysu

wapiennego, a w drugiej granitowego. Receptury przedstawiono w tabeli 1. Beton zaprojektowano jako konstrukcyjny, mrozoodporny, spełniający wymagania normy [3], klasy ekspozycji XF2 (maksymalne  $w/c = 0,55$ , minimalna ilość cementu  $300 \text{ kg/m}^3$ , minimalna klasa betonu C20/25). W celu uzyskania klarowności wyników betonu nie napowietrzano.

**Tabela 1. Receptury badanych betonów**  
*Table 1. Concrete formulas used for the tests*

Składnik	Kruszywo [ $\text{kg/m}^3$ ]	
	wapienne	granitowe
Grys wapienny 2 – 8 mm	619	–
Grys wapienny 8 – 16 mm	619	–
Grys granitowy 2 – 8 mm	–	619
Grys granitowy 8 – 16 mm	–	619
Piasek 0 – 2 mm	758,5	758,5
Cement CEM I 42,5R	300	300
Woda	150	150

Konsystencja obu przygotowanych mieszanek betonowych mierzona metodą Ve-Be była identyczna i wyniosła 12s (klasa V2) [4]. Po 28 dniach dojrzewania stwierdzono, że zarówno beton wykonany z zastosowaniem kruszywa wapiennego, jak i granitowego spełnia, pod względem wytrzymałości na ściskanie, warunki klasy C25/30. Wykonano następujące badania laboratoryjne:

- odporności kruszywa na rozdrabnianie metodą Los Angeles;
- wytrzymałości betonu na ściskanie po 28 dniach dojrzewania;
- przepuszczalności wody przez beton;
- nasiąkliwości betonu;
- mrozoodporności betonu.

**Tabela 2. Wytrzymałość na ściskanie badanych betonów**

*Table 2. Compressive strength of the tested concretes*

Beton z kruszywem granitowym			Beton z kruszywem wapiennym		
siła niszcząca [kN]	$\times 0,95$	wytrzymałość na ściskanie [MPa]	siła niszcząca (kN)	$\times 0,95$	wytrzymałość na ściskanie [MPa]
350	332,5	33,3	350	332,5	33,3
355	337,3	33,7	380	361,0	36,1
325	308,8	30,9*	335	318,3	31,8*
410	389,5	39,0	385	365,8	35,6
390	370,5	37,0	345	327,8	32,8
średnia: 34,8			średnia: 34,1		
Beton na kruszywem granitowym: $34,8 > 30+4$ i $30,9 > 30-4 \rightarrow$ C25/30					
Beton na kruszywem wapiennym: $34,1 > 30+4$ i $31,8 > 30-4 \rightarrow$ C25/30					

\*  $f_{ci}$

## Wyniki badań i ich analiza

**Odporność kruszywa na rozdrabnianie metodą Los Angeles.** Badanie wykonano dwukrotnie wg zaleceń zawartych w normie [5]. Zastosowano grys wapienny i granitowy frakcji 8 – 16 mm, a więc in-

nej niż zalecana w normie (10 – 14 mm) w celu lepszego porównania obu kruszyw. Współczynnik Los Angeles uzyskany w przypadku obu badanych kruszyw wyniósł – 24%, a więc wg normy [6] oba kruszywa mają taką samą kategorię –  $LA_{25}$ . Dostyc duża wartość  $LA$  granitu jest wynikiem bardzo dobrej łupliwości materiałów wchodzących w jego skład.

**Wytrzymałość na ściskanie** zbadano po 28 dniach dojrzewania na pięciu próbkach sześciennych o boku 10 cm [3, 7, 8]. Uzyskane wyniki przedstawiono w tabeli 2. Zarówno beton z kruszywem granitowym, jak i wapiennym spełnia wymagania klasy C25/30. Średnia wytrzymałość na ściskanie betonu wykonanego z wykorzystaniem kruszywa wapiennego ( $f_{ck}$ ) jest o ok. 2% mniejsza niż betonu z kruszywem granitowym.

**Badanie przepuszczalności wody przez beton.** W przypadku każdego betonu wykonano po trzy oznaczenia wg zaleceń zawartych w normie [9]. Po 28 dniach dojrzewania w wodzie przygotowane próbki betonu (kostki o boku 15 cm) poddano ciśnieniu wody 0,5 MPa przez 72 h. Następnie próbki rozłupano i zmierzono głębokość maksymalnej penetracji wody. W przypadku betonu wykonanego z zastosowaniem kruszywa granitowego uzyskano wartości: 10,0; 9,8 i 10,2 cm (średnia 10,0 cm), a betonu z kruszywem wapiennym: 10,8; 10,9 i 11,2 cm (średnia 11 cm). Średnie wartości przepuszczalności obu badanych betonów są prawie identyczne.

**Nasiąkliwość.** Wykonano po trzy oznaczenia nasiąkliwości wagowej każdego z betonów wg zaleceń zawartych w normie [3, 10]. Beton z kruszywem granitowym miał nasiąkliwość: 4,1; 4,3 i 4,3% (średnia 4,2%), a z kruszywem



## SODASIL – TiO<sub>2</sub> Extender

– lepsze krycie, wzrost stopnia białości,  
– obniżenie kosztów produkcji dzięki zmniejszeniu udziału TiO<sub>2</sub>



**Rettenmaier Polska**  
Sp. z o.o.  
Bitwy Warszawskiej 1920 r. 7B  
02-366 Warszawa  
mobile +48 600 423 423  
Tel + 48 22 608 51 00  
e-mail: arbolcel@jrs.pl

wapiennym: 4,4; 4,4 i 4,2% (średnia 4,3%). Jak widać, nasiąkliwość betonu na kruszywie wapiennym jest o 2,3% większa niż na kruszywie granitowym.

**Mrozoodporność.** Badanie wykonano po 28 dniach dojrzewania betonów w warunkach laboratoryjnych wg zaleceń zawartych w normie [3, 10], na sześciu próbkach (kostki o boku 10 cm), po stu cyklach zamrażania (-20°C) i odmrażania. W przypadku wszystkich badanych próbek (zarówno betonów na kruszywie granitowym, jak i wapiennym) nie stwierdzono ubytku masy po badaniu. Wytrzymałość na ściskanie betonów z kruszywem granitowym wyniosła 36,5 MPa (wzrost po badaniu o 10,3%), a z kruszywem wapiennym 34,0 MPa (wzrost po badaniu o 6,9%). Wierzchnie warstwy wszystkich próbek nie zmieniły wyglądu po badaniu, nie było na nich rys, spękań i ubytków. Z wymagań zawartych w normie [10] wynika, że jeśli łączna masa ubytków jest mniejsza od 5% i spadek wytrzymałości na ściskanie mniejszy od 20%, to warunek mrozoodporności w przypadku badanych próbek został spełniony. Badane betony uzyskały stopień mrozoodporności F100. Wszystkie wyniki otrzymane z badań przedstawiono w tabeli 3.

**Tabela 3. Wyniki badań**

Table 3. Test results

Badanie	Wartość	
	beton na kruszywie granitowym	beton na kruszywie wapiennym
Odporność kruszywa na rozdrabnianie metodą Los Angeles	LA <sub>25</sub>	LA <sub>25</sub>
Wytrzymałość na ściskanie [MPa]	33,0	31,8
Głębokość penetracji wody pod ciśnieniem [cm]	10	11
Nasiąkliwość wagowa [%]	4,2	4,3
Mrozoodporność	ubytek masy [%]	0
	zmiana wytrzymałości na ściskanie [%]	+10,3

### Podsumowanie

W wyniku analizy przeprowadzonych badań laboratoryjnych wybranych cech technicznych kruszywa wapiennego i granitowego oraz betonów wykonanych z ich zastosowaniem stwierdzono, że:

- oba kruszywa charakteryzują się porównywalną odpornością na rozdrabnianie – LA<sub>25</sub>, a dosyć duża wartość LA granitu jest wynikiem bardzo dobrej łupliwości wchodzących w jego skład minerałów;
- średnia wytrzymałość na ściskanie betonu wykonanego na bazie kruszywa

wapiennego jest o 2% mniejsza niż betonu z kruszywem granitowym;

- w przypadku obu badanych betonów uzyskano stopień mrozoodporności F100;

- głębokość penetracji wody w betonie z kruszywem wapiennym jest o 1 cm większa od głębokości w przypadku betonu z kruszywem granitowym.

Dzięki modyfikacji warstwy kontaktowej zaczyn-kruszywo, stosując kruszywo wapienne można wykonać beton o klasie wytrzymałości nawet C50/60. Większa przyczepność zaczynu do kruszywa i wytrzymałość są skutkiem mniejszej porowatości oraz przepuszczalności betonu. Uzyskane wyniki badań potwierdziły, że właściwości betonu wykonanego na bazie kruszywa wapiennego pozyskanego ze złoża na Kujawach jedynie nieznacznie się różnią od betonu wykonanego na bazie kruszywa granitowego.

### Literatura

- [1] Wawrzeńczyk J. Zastosowanie kruszywa wapiennego do produkcji betonów konstrukcyjnych. Konferencja Dni Betonu; 2014 r.
- [2] Małolepszy J, Gajewski R. Skały węglanowe jako cenne źródło kruszyw do betonu. Budownictwo, Technologie, Architektura. 2008; 2.
- [3] PN-EN 206:2014 Beton. Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność.

- [4] PN-EN 12350-3:2011 Badania mieszanki betonowej. Część 3: Badanie konsystencji metodą Vebe.

- [5] PN-EN 1097-2:2000 Badania mechanicznych i fizycznych właściwości kruszyw. Część 2: Metody oznaczania odporności na rozdrabnianie.

- [6] PN-EN 12620+A1:2010 Kruszywa do betonu.

- [7] PN-EN 12390-2:2019 Badania betonu. Część 2: Wykonywanie i pielęgnacja próbek do badań wytrzymałościowych.

- [8] PN-EN 12390-3:2019 Badania betonu. Część 3: Wytrzymałość na ściskanie próbek do badań.

- [9] PN-EN 12390-8:2019 Badania betonu. Część 8: Głębokość penetracji wody pod ciśnieniem.

- [10] PN-88/B-06250:1988 Beton zwykły.

- [11] Rokita J, Sypek M. Reaktywność alkaliczna kruszyw. Budownictwo Technologie. 2016; 10 – 12.

Przyjęto do druku: 25.04.2022 r.