

ARTYKUŁ PROMOCYJNY

# ZASTOSOWANIE KRUSZYW WAPIENNYCH

W WYMAGAJĄCYCH  
KONSTRUKCJACH  
BETONOWYCH

■ DR HAB. INŻ. ARTUR ŁAGOSZ  
Stowarzyszenie Przemysłu Wapienniczego

## Z TEKSTU DOWIESZ SIĘ:

- ✓ jakie kruszywa wapienne zastosowano do wykonania betonów,
- ✓ na czym polegały badania mieszanki betonowej i stwardniałego betonu,
- ✓ jakie właściwości betonów konstrukcyjnych otrzymano.



W ramach projektu badawczego, prowadzonego przez SPW przy współpracy z Akademią Górniczo-Hutniczą w Krakowie, poza przywołanymi badaniami, wykonano również betony z udziałem badanych kruszyw, spełniające kryteria klasy wytrzymałości co najmniej C30/37 oraz klasy ekspozycji XF3 i XF4 wg EN 206, co jest charakterystyczne dla konstrukcji pracujących w warunkach typowych dla obiektów mostowych.

## ZAŁOŻENIA PROJEKTOWE DLA MIESZANKI BETONOWEJ I STWARDNIAŁEGO BETONU

Mając na uwadze również możliwy wpływ innych czynników niż właściwości kruszyw na cechy użytkowe betonów, z każdym z kruszyw wykonano po dwie serie betonów z użyciem cementu CEM I 42,5R oraz CEM III/A 42,5N-LH/HSR/NA. Wielkość efektywnego współczynnika w/c wszystkich betonów była stała i wynosiła 0,43 przy ilości cementu 400 kg/m<sup>3</sup> i zawartości powietrza w zakresie 5,5–7,0 % obj. Mieszanki kruszywowe komponowano z obu frakcji kruszyw wapiennych z danego źródła oraz piasku kwarcowego, uzyskując stały punkt piaskowy 37%. Oczekowaną konsystencję mieszanek betonowych, na granicy klas konsystencji S3 i S4 regulowano poziomem dozowania domieszki superplastyfikatora, a wielkość „napowietrzenia” ilością domieszki napowietrzającej.

Mieszanki betonowe poddano sprawdzającej ocenie konsystencji wg EN 12350-2, gęstości i zawartości powietrza wg EN 12350-7 po 10 minutach od chwili zakończenia mieszania składników. Z mieszanek betonowych formowano próbki, do badań wytrzymałości na ściskanie oznaczonej wg EN 12390-3 po 28 dniach dojrzewania, odporności na zamrażanie i rozmrażanie w obecności środków odladzających wg PKN-CEN/TS12390-9 (obecnie w PN-B-06265:2022) i mrozoodporności zwykłej w zakresie stopnia F150 lub F200 (dla betonów wykonanych w oparciu o cement CEM I) i F150 (dla betonów wykonanych w oparciu o cement CEM III/A), korzystając z procedury zaprezentowanej w PN-B/88-06250 (obecnie w PN-B-06265:2022). Badania mrozoodporności metodą zwykłą wykonano z wykorzystaniem kostek sześciennych wielkości 100 mm. Stwardniałe betony po 28 dniach dojrzewania poddano również ocenie

nasiąkliwości w oparciu o procedurę PN-B/88-06250. Próbki do badań właściwości stwardniałych betonów przygotowywano i przechowywano w wodzie zgodnie z normą EN 12390-1. Ze względów praktycznych badania trwałościowe rozpoczęto po dłuższym czasie twardnienia niż przewidują procedury normowe, tj.: badania mrozoodporności betonów metodą zwykłą wykonanych z użyciem cementu CEM I rozpoczęto po 56 dniach pielęgnacji w wodzie, podczas gdy betony wykonane z zastosowaniem cementu CEM III/A poddano ocenie mrozoodporności po 90 dniach dojrzewania. Badania odporności na zamrażanie i rozmrażanie w obecności 3% roztworu NaCl rozpoczęto po 28 dniach dojrzewania w wodzie dla betonów wykonanych z zastosowaniem cementu CEM I oraz po 56 dniach dojrzewania, w przypadku użycia cementu CEM III/A. Badaniem dodatkowym betonów wykonanych na bazie kruszyw wapiennych było oznaczenie modułu sprężystości, które wykonano dla próbek dojrzewających 6 miesięcy.

W celu weryfikacji uzyskanych wyników badań, podobnie jak w przypadku kruszyw wapiennych, cykl badań przeprowadzono dla betonów wykonanych na bazie kruszywa bazaltowego lub granitowego przy użyciu tej samej partii piasku w zakresie porównania wytrzymałości na ściskanie oraz modułu sprężystości (dla użycia jednostkowej objętości wykonywanych mieszanek betonowych i objętości kruszyw w ich składzie uwzględniono różnice w ich gęstościach).

## WŁAŚCIWOŚCI BETONÓW KONSTRUKCYJNYCH

Betony konstrukcyjne napowietrzone wykonane w oparciu o kruszywa wapienne (jako kruszywa grube) pozwalają na uzyskiwanie stosunkowo wysokich cech wytrzymałościowych, jak na betony o zawartości powietrza w mieszance betonowej na poziomie około 6% (tabela 1). Uzyskane betony charakteryzują się mrozoodpornością w zakresie przynajmniej stopnia F150 (na podstawie PN-B-06265) oraz wysoką odpornością na zamrażanie i rozmrażanie w obecności soli. Betony wykonane z użyciem cementu CEM I 42,5R spełniają kryteria najwyższej kategorii wg EN 13877-2 dla nawierzchni betonowych – FT2, choć z uwagi na właściwości kruszyw wapiennych nie prze-

Zapraszamy Państwa do zapoznania się z drugim z serii trzech artykułów poświęconych tematyce zastosowania kruszyw wapiennych w betonie konstrukcyjnym. W tej części zostaną przedstawione wyniki badań betonu wykonanego na bazie kruszyw wapiennych pochodzenia prekambryjskiego oraz dewońskiego ze złóż Miedzianka, Truskawica oraz Wojcieszów.

W pierwszej części przedstawione zostały właściwości wyżej wymienionych kruszyw, które spełniają kryteria GDDKiA dla kruszyw do betonu zgodnie z „WWIORB M-13.02.00 v2; (2019) Beton konstrukcyjny w drogowych obiektach inżynierskich”. Wyniki badań, jak również liczne obiekty referencyjne, wskazują na zasadność zastosowania kruszyw wapiennych do wykonywania konstrukcji betonowych, w tym mostów i wiaduktów.

Badana cecha		Wyniki badań betonów z uwzględnieniem rodzaju cementu					
		Kruszywo Miedzianka		Kruszywo Truskawica		Kruszywo Wojcieszów	
		CEM I	CEM III	CEM I	CEM III	CEM I	CEM III
<b>Wytrzymałość na ściskanie po 28 dniach, MPa</b>		<b>49,9 ± 3,9</b>	<b>53,4 ± 3,1</b>	<b>46,9 ± 2,6</b>	<b>55,4 ± 1,1</b>	<b>50,3 ± 4,3</b>	<b>55,4 ± 0,6</b>
Mrozoodporność	Nasiąkliwość po 28 dniach, %	6,0 ± 0,16	5,8 ± 0,4	5,9 ± 0,10	6,4 ± 0,11	6,0 ± 0,03	6,3 ± 0,11
	Wytrzymałość na ściskanie próbek świadków, MPa	60,2 ± 2,8	67,1 ± 2,3	58,4 ± 2,5	66,4 ± 5,0	58,6 ± 0,5	67,0 ± 1,8
	Spadek wytrzymałości na ściskanie, %	2,9	3,8	4,0	-0,6	6,0	5,4
	Ubytek masy próbek poddanych zamrażaniu, %	-0,12	0,01	0,14	0,07	-0,13	0,03
	Obecność pęknięć po 150 cyklach	brak	brak	brak	brak	brak	brak
	<b>Potwierdzony stopień mrozoodporności</b>	<b>F150</b>	<b>F150</b>	<b>F200</b>	<b>F150</b>	<b>F150</b>	<b>F150</b>
Odporność na zamrażanie i rozmrażanie w obecności 3% NaCl	Masa złuszczonego materiału po 56 cyklach, %	0,14±0,05	0,65±0,48	0,14±0,04	0,25±0,20	0,07±0,03	0,20±0,17
	Stopień ubytku, m56/m28	1,3 → ≤ 2	2,7 → > 2	1,6 → ≤ 2	1,8 → ≤ 2	1,2 → ≤ 2	2,0 → ≤ 2
	<b>Kategoria wg EN 13877-2</b>	<b>FT2</b>	<b>FT1</b>	<b>FT2</b>	<b>FT2</b>	<b>FT2</b>	<b>FT2</b>

TAB. 1. | Właściwości betonów wykonanych z udziałem kruszyw wapiennych

widuje się takiego obszaru zastosowania. Jak można zakładać, mniej korzystna struktura napowietrzenia w przypadku użycia cementu hutniczego (CEM III/A 42,5N-LH/HSR/NA) dla betonu z kruszywem Miedzianka, nie będąca w sposób oczywisty efektem właściwości tego kruszywa, skutkuje uzyskaniem niższej kategorii odporności na środki odladzające – FT1.

Prezentowane w tab. 2 wyniki badań statycznego modułu sprężystości uzyskane dla betonów po 6 miesiącach twardnienia przyjmują wielkości zbliżone do 35 GPa, co w przypadku betonów mrozoodpornych, które trwałość tę zawdzięczają efektowi napowietrzenia, jest wielkością stosunkowo wysoką. Wyższa wielkość modułu sprężystości betonów w prezentowanym zestawieniu na kruszywie Truskawica nie powinna być łą-

czona bezpośrednio z właściwościami tego kruszywa, lecz innym wykonaniem oznaczenia modułu – na walcach o większych wymiarach –  $\phi 150/h300$  ( $\phi 100/h200$  w pozostałych przypadkach). Należy podkreślić, że uzyskane wielkości statycznych modułów sprężystości betonów na kruszywach wapiennych są wyższe o ok. 20% od betonów wykonanych na kruszywie granitowym, wykonanych z zastosowaniem tego samego piasku, tych samych cementów, w tym ich ilości i wielkości w/c. Równocześnie moduły sprężystości betonów wykonanych z użyciem kruszyw wapiennych są niższe o mniej niż 10% od betonów o porównywalnym składzie wykonanych w oparciu o kruszywo bazaltowe. Wielkości statycznych modułów sprężystości betonów wykonanych z wykorzystaniem kruszyw wa-

piennych kształtują się korzystnie jak dla elementów w obiektach inżynierskich.

Podsumowując: wyniki badań betonów wykonanych z zastosowaniem kruszyw grubych wapiennych pozwalają stwierdzić, że możliwa jest ich eksploatacja w warunkach klas ekspozycji zarówno XF3, jak również XF4. Trwałość w warunkach oddziaływania środowiska charakteryzowanych przez wymienione klasy ekspozycji została potwierdzona i, co należy podkreślić, nie obserwowano uszkodzeń ziaren kruszyw, a zaprojektowany beton spełnia wymagania wspomnianych wyżej WWiORB M-13.02.00 v.2 (2019). Potwierdza to możliwość stosowania wapieni prekambrycznych i dewońskich w wymagających konstrukcjach betonowych, w tym w mostach i wiaduktach. |

Badana cecha	Wyniki badań betonów z uwzględnieniem rodzaju cementu									
	Kruszywo Miedzianka		Kruszywo Truskawica		Kruszywo Wojcieszów		Kruszywo bazaltowe		Kruszywo granitowe	
	CEM I	CEM III	CEM I	CEM III	CEM I	CEM III	CEM I	CEM III	CEM I	CEM III
Statyczny moduł sprężystości przy ściskaniu (po 6 miesiącach), GPa	35,2 ± 0,7	35,7 ± 0,6	38,7 ± 0,6*	39,8 ± 1,0*	33,8 ± 0,8	35,0 ± 1,0	41,2 ± 0,9*	43,0 ± 2,0*	28,2 ± 0,3	29,0 ± 0,9
Wytrzymałość na ściskanie próbek walcowych po 6 miesiącach twardnienia – z serii poddanej wyznaczaniu modułu sprężystości, MPa	57,5 ± 3,1	59,6 ± 2,1	64,5 ± 1,7*	74,4 ± 1,9*	59,2 ± 3,0	61,1 ± 2,2	65,7 ± 1,7*	71,8 ± 1,9*	61,7 ± 3,7	65,5 ± 3,0

TAB. 2. | Wyniki badań statycznego modułu sprężystości uzyskane dla betonów po 6 miesiącach twardnienia



**STOWARZYSZENIE  
PRZEMYSŁU  
WAPIENNICZEGO**

**STOWARZYSZENIE  
PRZEMYSŁU WAPIENNICZEGO**  
UL. OPOLSKA 110  
31-323 KRAKÓW

[info@wapno-info.pl](mailto:info@wapno-info.pl)

*Trwałe drogi na lata*

**WAPNO  
KRUSZYWA  
WYPEŁNIACZ**

[WWW.WAPNO-INFO.PL](http://WWW.WAPNO-INFO.PL)  
[WWW.STOWARZYSZENIEWAPIENNICZE.PL](http://WWW.STOWARZYSZENIEWAPIENNICZE.PL)