



AGH

**AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE**

**AGH UNIVERSITY OF SCIENCE
AND TECHNOLOGY**

Właściwości kruszywa wapiennego jako surowca do produkcji betonów dla infrastruktury drogowej

Dominika Maruszewska

Artur Łagosz

Damian Chelmecki

Geneza

Często słyszana opinia w środowisku o ograniczonej przydatności kruszyw węglanowych jako surowca do betonów mostowych

Geneza

Często słyszana opinia w środowisku o ograniczonej przydatności kruszyw węglanowych jako surowca do betonów mostowych

Przykłady realizacji obiektów mostowych (wiaduktów) i/lub przepustów z zastosowaniem kruszyw węglanowych do betonów:

- droga S7: Skomielna – naprawa (w trakcie); Skarżysko – Szydłowiec; most im. Kardynała Franciszka Macharskiego
- mosty na obwodnicy Radomia
- most Tadeusza Mazowieckiego w Rzeszowie
- obiekty w południowej obwodnicy Warszawy
- przepusty na autostradzie A1

Przedmiot badań

- Kruszywo wapienne ze złoża dewońskiego w zakładzie Trzuskawica
- Betony wykonane w oparciu o kruszywo z wapienia dewońskiego, z zachowaniem wytycznych dla „betonów mostowych” wg OST
- Kruszywo bazaltowe i betony wykonane w oparciu o kruszywo bazaltowe, jako **materiały referencyjne** dla wyników badań z zastosowaniem kruszywa wapiennego

Zakres badań kruszyw

- Ocena cech wytrzymałościowych
- Ocena trwałości w warunkach cyklicznego zamrażania i rozmrażania
- Ocena trwałości w środowisku alkalicznym

Trwałość w warunkach cyklicznego zamrażania i rozmrażania

Badana cecha	Rodzaj kruszywa / wyniki badań			
	Kruszywo wapienne Trzuskawica			
	frakcja 2/8 mm	frakcja 8/16 mm		
Mrozoodporność w wodzie, ubytek masy, % [kategoria mrozoodporności]	0,1 [F ₁]	0,4 [F ₁]		
Mrozoodporność w 1% NaCl, ubytek masy, % [kategoria mrozoodporności]				
Mrozoodporność na podstawie krystalizacji soli, ubytek masy, % [kategoria mrozoodporności]				
Nasiąkliwość, WA ₂₄ [%]				
Odporność na rozdrabnianie → współczynnik Los Angeles LA				

Trwałość w warunkach cyklicznego zamrażania i rozmrażania

Badana cecha	Rodzaj kruszywa / wyniki badań			
	Kruszywo wapienne Trzuskawica			
	frakcja 2/8 mm	frakcja 8/16 mm		
Mrozoodporność w wodzie, ubytek masy, % [kategoria mrozoodporności]	0,1 [F ₁]	0,4 [F ₁]		
Mrozoodporność w 1% NaCl, ubytek masy, % [kategoria mrozoodporności]	1,6 [F _{EC2}]	2,6 [F _{EC4}]		
Mrozoodporność na podstawie krystalizacji soli, ubytek masy, % [kategoria mrozoodporności]				
Nasiąkliwość, WA ₂₄ [%]				
Odporność na rozdrabnianie → współczynnik Los Angeles LA				

Trwałość w warunkach cyklicznego zamrażania i rozmrażania

Badana cecha	Rodzaj kruszywa / wyniki badań			
	Kruszywo wapienne Trzuskawica			
	frakcja 2/8 mm	frakcja 8/16 mm		
Mrozoodporność w wodzie, ubytek masy, % [kategoria mrozoodporności]	0,1 [F ₁]	0,4 [F ₁]		
Mrozoodporność w 1% NaCl, ubytek masy, % [kategoria mrozoodporności]	1,6 [F _{EC2}]	2,6 [F _{EC4}]		
Mrozoodporność na podstawie krystalizacji soli, ubytek masy, % [kategoria mrozoodporności]	-	2,4 [MS ₁₈]		
Nasiąkliwość, WA ₂₄ [%]				
Odporność na rozdrabnianie → współczynnik Los Angeles LA				

Trwałość w warunkach cyklicznego zamrażania i rozmrażania

Badana cecha	Rodzaj kruszywa / wyniki badań			
	Kruszywo wapienne Trzuskawica			
	frakcja 2/8 mm	frakcja 8/16 mm		
Mrozoodporność w wodzie, ubytek masy, % [kategoria mrozoodporności]	0,1 [F ₁]	0,4 [F ₁]		
Mrozoodporność w 1% NaCl, ubytek masy, % [kategoria mrozoodporności]	1,6 [F _{EC2}]	2,6 [F_{EC4}]		
Mrozoodporność na podstawie krystalizacji soli, ubytek masy, % [kategoria mrozoodporności]	-	2,4 [MS ₁₈]		
Nasiąkliwość, WA ₂₄ [%]	0,5	0,3		
Odporność na rozdrabnianie → współczynnik Los Angeles LA	-	21 → LA₂₅		

Trwałość w warunkach cyklicznego zamrażania i rozmrażania

Badana cecha	Rodzaj kruszywa / wyniki badań			
	Kruszywo wapienne Trzuskawica		Kruszywo bazaltowe	
	frakcja 2/8 mm	frakcja 8/16 mm	frakcja 2/8 mm	frakcja 8/16 mm
Mrozoodporność w wodzie, ubytek masy, % [kategoria mrozoodporności]	0,1 [F ₁]	0,4 [F ₁]	0,3 [F ₁]	0,1 [F ₁]
Mrozoodporność w 1% NaCl, ubytek masy, % [kategoria mrozoodporności]	1,6 [F _{EC2}]	2,6 [F _{EC4}]	1,4 [F _{EC2}]	0,9 [F _{EC2}]
Mrozoodporność na podstawie krystalizacji soli, ubytek masy, % [kategoria mrozoodporności]	-	2,4 [MS ₁₈]	-	-
Nasiąkliwość, WA ₂₄ [%]	0,5	0,3	1,3	1,4
Odporność na rozdrabnianie → współczynnik Los Angeles LA	-	21 → LA ₂₅	-	9 → LA ₁₅



wapień
organogeniczno-
mikrytowy czarny

wapień
mikrytowy
ciemnoszary



wapień
sparytowy,
szaro-fioletowy



wapień organogeniczno-
mikrytowy kremowy



wapień organogeniczno-
sparytowy, szaro-brązowy

Trwałość kruszywa wapiennego w środowisku alkalicznym

Składnik	Udział składnika dla różnych rodzajów skały wchodzącej w skład kruszywa węglanowego, %				
	„1”	„2”	„3”	„4”	„5”
Na ₂ O	0,14	0,11	0,12	0,06	0,09
MgO	1,09	0,89	4,29	0,55	1,43
Al ₂ O ₃	0,74	0,85	1,55	0,38	1,20
SiO₂	2,20	2,41	5,47	0,74	2,87
P ₂ O ₅	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01
SO ₃	0,21	0,17	0,17	0,07	0,10
K ₂ O	0,10	0,19	0,35	0,05	0,26
CaO	94,46	94,65	86,48	97,77	93,16
TiO ₂	0,31	0,15	0,18	0,08	0,11
MnO	0,04	0,02	0,17	0,02	0,11
Fe ₂ O ₃	0,49	0,38	0,96	0,14	0,45
ZnO	0,05	0,01	0,03	0,01	0,01
SrO	0,01	0,09	0,11	0,01	0,13
Cl	0,12	0,07	0,10	0,07	0,07

Wyniki analizy XRF (fluorescencja rentgenowska)

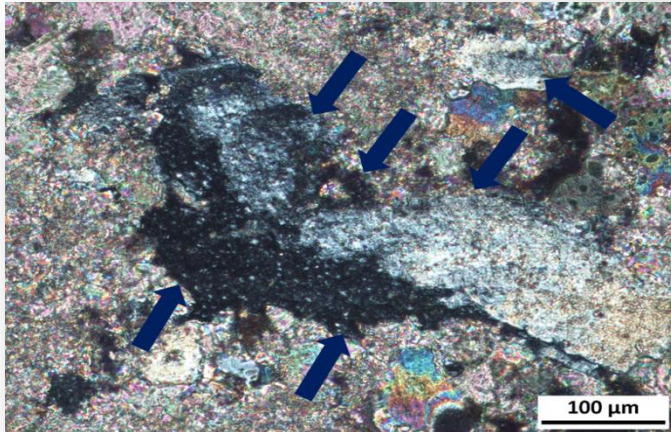
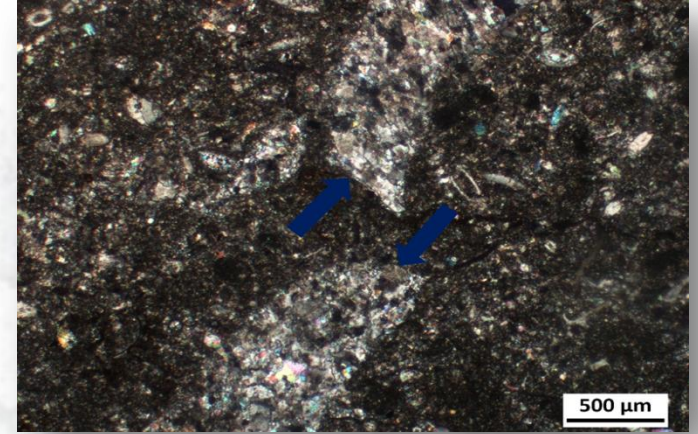
Trwałość kruszywa wapiennego w środowisku alkalicznym



wapień
organogeniczno-
mikrytowy czarny



wtórny dolomit



wapień
organogeniczno-
sparytowy,
szaro-brązowy



chalcedon



Trwałość kruszywa wapiennego w środowisku alkalicznym

Badana cecha	Wyniki badań				
	Kruszywo wapienne Truskawica				
	2/8 mm		8/16mm		
	2/4 mm	4/8 mm			
<u>Potencjalna reaktywność wg PN-B-06714-46; ubytek masy, % (stopień reaktywności, -)</u>	0,17 (0)	0,32 (0)	0,21 (0)		

< 0,5%

Trwałość kruszywa wapiennego w środowisku alkalicznym

Badana cecha	Wyniki badań					
	Kruszywo wapienne Truskawica					
	2/8 mm		8/16mm			
	2/4 mm	4/8 mm				
<u>Potencjalna reaktywność wg PN-B-06714-46; ubytek masy, % (stopień reaktywności, -)</u>	0,17 (0)	0,32 (0)	0,21 (0)			< 0,5%
<u>Potencjalna reaktywność wg ASTM-C 1260; zmiany liniowe, % (ocena reaktywności)</u>	0,04 (niereaktywne)		0,04 (nr)			< 0,1%

Trwałość kruszywa wapiennego w środowisku alkalicznym

Badana cecha	Wyniki badań					
	Kruszywo wapienne Truskawica					
	2/8 mm		8/16mm			
	2/4 mm	4/8 mm				
<u>Potencjalna reaktywność wg PN-B-06714-46; ubytek masy, % (stopień reaktywności, -)</u>	0,17 (0)	0,32 (0)	0,21 (0)			< 0,5%
<u>Potencjalna reaktywność wg ASTM-C 1260; zmiany liniowe, % (ocena reaktywności)</u>	0,04 (niereaktywne)		0,04 (nr)			< 0,1%
<u>Reaktywność alkaliczna wg PN-B-06714-34; zmiany liniowe po 180 dniach, % [wygląd] (ocena reaktywności)</u>	0,04 [bez zmian] (niereaktywne)		0,06 [bz] (nr)			< 0,1%

Trwałość kruszywa wapiennego w środowisku alkalicznym

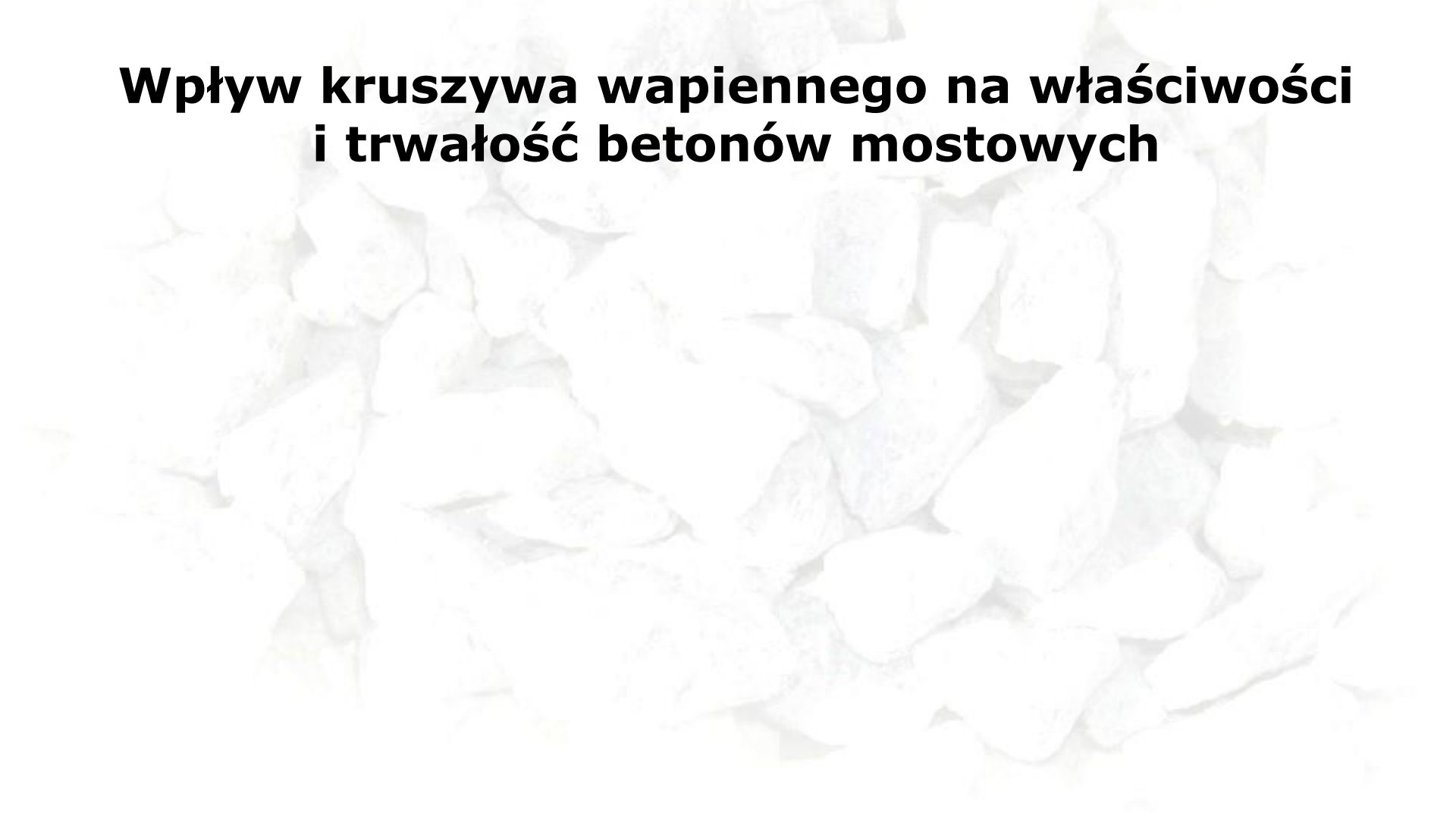
Badana cecha	Wyniki badań					
	Kruszywo wapienne Trzuskawica			Kruszywo bazaltowe		
	2/8 mm		8/16mm	2/8 mm		8/16mm
	2/4 mm	4/8 mm		2/4 mm	4/8 mm	
<u>Potencjalna reaktywność wg PN-B-06714-46; ubytek masy, % (stopień reaktywności, -)</u>	0,17 (0)	0,32 (0)	0,21 (0)	0,53 (1)	0,54 (1)	0,33 (0)
<u>Potencjalna reaktywność wg ASTM-C 1260; zmiany liniowe, % (ocena reaktywności)</u>	0,04 (niereaktywne)		0,04 (nr)	0,04 (niereaktywne)		0,04 (nr)
<u>Reaktywność alkaliczna wg PN-B-06714-34; zmiany liniowe po 180 dniach, % [wygląd] (ocena reaktywności)</u>	0,04 [bez zmian] (niereaktywne)		0,06 [bz] (nr)	0,04 [bz] (nr)		0,04 [bz] (nr)

< 0,5%

< 0,1%

< 0,1%

Wpływ kruszywa wapiennego na właściwości i trwałość betonów mostowych



Składniki betonów	Udział składnika, kg/m ³			
	Oznaczenie serii betonów	KW + CEM I	KW + CEM III	KB + CEM I
CEM I 42,5R	403	-	397	-
CEM III/A 42,5N	-	403	-	391
Woda	173	173	171	168
Superplastyfikator	0,6	1,6	1,0	2,5
Dom. napowietrzająca	0,4	0,8	0,8	0,8
Kruszywo 0/2 mm	633	633	566	557
Grys wapienny 2/8 mm	602	602	-	-
Grys wapienny 8/16 mm	474	474	-	-
Grys bazaltowy 2/8 mm	-	-	751	740
Grys bazaltowy 8/16 mm	-	-	553	545
Zawartość powietrza, %	6,0	5,6	6,5	7,0
W/C	0,43	0,43	0,43	0,43

Wytrzymałość na ściskanie

Badana cecha	Wyniki badań			
Oznaczenie serii betonów	KW + CEM I	KW + CEM III	KB + CEM I	KB + CEM III
Wytrzymałość na ściskanie (28 dni), MPa	46,9 ± 2,6	55,4 ± 1,1	43,9 ± 2,9	56,1 ± 3,2
Nasiąkliwość (28 dni), %	5,85 ± 0,10	6,36 ± 0,11	5,86 ± 0,03	6,78 ± 0,16

Nasiąkliwość

Badana cecha	Wyniki badań			
Oznaczenie serii betonów	KW + CEM I	KW + CEM III	KB + CEM I	KB + CEM III
Wytrzymałość na ściskanie (28 dni), MPa	46,9 ± 2,6	55,4 ± 1,1	43,9 ± 2,9	56,1 ± 3,2
Nasiąkliwość (28 dni), %	5,85 ± 0,10	6,36 ± 0,11	5,86 ± 0,03	6,78 ± 0,16

Moduł sprężystości

Badana cecha	Wyniki badań			
	KW + CEM I	KW + CEM III	KB + CEM I	KB + CEM III
Oznaczenie serii betonów				
Wytrzymałość na ściskanie (28 dni), MPa	46,9 ± 2,6	55,4 ± 1,1	43,9 ± 2,9	56,1 ± 3,2
Nasiąkliwość (28 dni), %	5,85 ± 0,10	6,36 ± 0,11	5,86 ± 0,03	6,78 ± 0,16

Wytrzymałość na ściskanie (6 miesięcy), MPa	64,5 ± 1,7	74,4 ± 1,9	65,7 ± 1,7	71,8 ± 1,9
---	------------	------------	------------	------------

Statyczny moduł sprężystości przy ściskaniu, GPa	58,0 ± 1,2 (- 6%)	59,7 ± 1,4 (- 8%)	61,9 ± 0,9	64,6 ± 2,2
--	----------------------	----------------------	------------	------------

Ustalenie stopnia mrozoodporności betonów

Mrozoodporność betonu wg PN-B-06250		Wyniki badań			
		KW + CEM I	KW + CEM III		
Ilość cykli zamrażania i rozmrażania		200 po 56d twardnienia	150 po 90d twardnienia		
Średni spadek wytrzymałości próbek, %	ΔR	4,0	-0,6		
Zmiana masy próbek poddanych cyklicznemu zamrażaniu i rozmrażaniu, %	ΔG	-0,14	-0,07		
Wygląd próbek – obecność pęknięć		brak	-		
		-	brak		
Potwierdzony stopień mrozoodporności:		F200	F150		

Ustalenie stopnia mrozoodporności betonów

Mrozoodporność betonu wg PN-B-06250		Wyniki badań			
		KW + CEM I	KW + CEM III	KB + CEM I	KB + CEM III
Ilość cykli zamrażania i rozmrażania		200 po 56d twardnienia	150 po 90d twardnienia	200 po 56d twardnienia	150 po 90d twardnienia
Średni spadek wytrzymałości próbek, %	ΔR	4,0	-0,6	4,8	0,0
Zmiana masy próbek poddanych cyklicznemu zamrażaniu i rozmrażaniu, %	ΔG	-0,14	-0,07	-0,09	-0,07
Wygląd próbek – obecność pęknięć		brak	-	brak	-
		-	brak	-	brak
Potwierdzony stopień mrozoodporności:		F200	F150	F200	F150

Odporność na zamrażanie i rozmrażanie w obecności środka odladzającego (wg PKN-CEN/TS 12390-9)

Odporność na zamrażanie i rozmrażanie w obecności 3% roztworu NaCl		Wyniki badań			
		KW + CEM I	KW + CEM III		
Masa złuszczonego materiału, kg/m ²	7 cykli	0,006	0,024		
	14 cykli	0,007	0,065		
	28 cykli	0,009	0,134		
	42 cykle	0,013	0,197		
	56 cykli	0,014	0,246		
Stopień ubytku	m_{56}/m_{28}	1,6 → < 2	1,8 → < 2		
Klasyfikacja	kategoria wg EN 13877-2	FT2	FT2		

Odporność na zamrażanie i rozmrażanie w obecności środka odładzającego (wg PKN-CEN/TS 12390-9)

Odporność na zamrażanie i rozmrażanie w obecności 3% roztworu NaCl		Wyniki badań			
		KW + CEM I	KW + CEM III	KB + CEM I	KB + CEM III
Masa złuszczonego materiału, kg/m ²	7 cykli	0,006	0,024	0,007	0,035
	14 cykli	0,007	0,065	0,009	0,054
	28 cykli	0,009	0,134	0,011	0,090
	42 cykle	0,013	0,197	0,018	0,137
	56 cykli	0,014	0,246	0,021	0,193
Stopień ubytku	m_{56}/m_{28}	1,6 → < 2	1,8 → < 2	1,9 → < 2	2,1
Klasyfikacja	kategoria wg EN 13877-2	FT2	FT2	FT2	FT1

Wnioski:

1. Mrozoodporność i odporność na środki odladzające kruszywa wapiennego oraz wskaźnik LA spełniają kryteria OST GDDKiA dla kruszyw do betonów przewidzianych do budowy mostów i wiaduktów.

Wnioski:

1. Mrozoodporność i odporność na środki odladzające kruszywa wapiennego oraz wskaźnik LA spełniają kryteria OST GDDKiA dla kruszyw do betonów przewidzianych do budowy mostów i wiaduktów.

2. Zanieczyszczenia skały wapiennej nie wpływają negatywnie na jej trwałość w środowisku alkalicznym → brak zagrożenia wystąpieniem korozji ACR/ASR.

Wnioski:

1. Mrozoodporność i odporność na środki odladzające kruszywa wapiennego oraz wskaźnik LA spełniają kryteria OST GDDKiA dla kruszyw do betonów przewidzianych do budowy mostów i wiaduktów.

2. Zanieczyszczenia skały wapiennej nie wpływają negatywnie na jej trwałość w środowisku alkalicznym → brak zagrożenia wystąpieniem korozji ACR/ASR.

3. Betony na kruszywie wapiennym nie wykazały mniej korzystnych właściwości (jeśli pominąć moduł sprężystości) niż betony referencyjne, wykonane na kruszywie bazaltowym.

Kontynuacja badań w oparciu kruszywa ze złóż dewońskich:

- Miedzianka (Nordkalk)
- Wojcieszów (Lhoist)



AGH

**AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE**

**AGH UNIVERSITY OF SCIENCE
AND TECHNOLOGY**

***Dziękuję za
uwagę***

KTMB, AGH

dr hab. inż. Artur Łagosz

mgr inż. Dominika Maruszewska

alagosz@agh.edu.pl

dominika.maruszewska@agh.edu.pl