

Skąły węglanowe jako cenne źródło kruszyw do betonu

Beton jest materiałem kompozytowym, którego podstawowymi składnikami są: kruszywo, cement i woda. Współcześnie beton otrzymywany jest z mieszanki podstawowych składników, jak również modyfikatorów wpływających na jego strukturę i mikrostrukturę. Dla modyfikacji jego właściwości stosowane są dodatki mineralne, domieszki chemiczne oraz włókna. Kruszywo jest jednym z podstawowych składników betonu. Już Witruwiusz w swoim dziele pt.: „O architekturze ksiąg dziesięć” pisał, że nie można otrzymać dobrego betonu bez odpowiedniej proporcji kruszywa do spoiwa. Wskazywał również, że w tym betonie kruszywo musi mieć odpowiednie uziarnienie i należy dobrać właściwy stosunek kruszywa grubego do drobnego (piasku). Obecnie wiemy, dlaczego kruszywo odgrywa tak ważną rolę w technologii betonu. Może ono wpływać na wiele bardzo korzystnych właściwości betonu, takich jak: wytrzymałość, skurcz, wodoszczelność i mrozoodporność, ale również wywoływać destrukcję betonu, np. związaną z korozją wewnętrzną kruszywa.

Kruszywo stanowi w betonie ok. 80% masy wszystkich składników. Rozwój produkcji cementu w danym kraju powoduje wielokrotnienie zużycia kruszywa w stosunku do produkowanej ilości cementu. Przyjmując, że produkcja cementu w kraju w ostatnim roku wynosiła blisko 17 mln ton, to zapotrzebowanie na kruszywo do betonu wyniosło ok. 80 mln ton. Tradycyjnie kruszywa dzielimy na naturalne i łamane. Te pierwsze to kruszywa krzemionkowe w postaci piasków i żwirów. Kruszywa łamane otrzymujemy poprzez rozdrobienie skał, głównie takich jak: granity, bazalty i skały węglanowe. Te ostatnie w latach siedemdziesiątych miały swój znaczny udział w produkcji kruszyw łamanych. Wynikało to głównie ze znacznego zapotrzebowania na kruszywa do prefabrykacji betonowej (m.in. Fabryki Domów).

Jak wiadomo, kruszywa granitowe i bazaltowe rozmieszczone są w Polsce nierównomiernie (głównie Dolny Śląsk i południowa Polska) [5]. Natomiast kruszywa węglanowe są rozmieszczone bardziej równomiernie w naszym kraju. Przedstawiono to na rysunku 1.

Najbardziej interesujące rejony występowania kruszyw węglanowych to rejon kielecki, krakowski, Dolny Śląsk, Piekary Śląskich, Częstochowy czy Bydgoszczy. [1, 5]

Skały węglanowe to przede wszystkim:

- wapień
- dolomity
- wapień zdolomityzowane.

Powstały one w różnych erach i okresach geologicznych. Biorąc pod uwagę to kryterium, należy stwierdzić, że najlepsze właściwości posiadają kruszywa z okresu triasu i jury. Do bardzo istotnych właściwości wpływających na trwałość betonu zaliczana jest odporność kruszyw na działanie alkaliów. Z tego zakresu w Polsce prowadzono bardzo wiele badań. Można tutaj przytoczyć badania pani prof. B. Penkali z Politechniki Warszawskiej oraz prof. J. Piasty z Politechniki Kieleckiej. Swoimi badaniami wykazali, kiedy takie zjawisko może wystąpić w przypadku kruszyw węglanowych [1-4]. Dzisiaj opracowane są normy pozwalające na bardzo precyzyjne określenie, czy dane kruszywo jest odporne na alkalia zawarte w cemencie CEM I. Ponadto nowa norma na cementy specjalne charakteryzuje rodzaje cementów nisko-alkalicznych, które mogą być wykorzystywane do produkcji betonów, w których może być stosowane kruszywo podatne na działanie alkaliów.

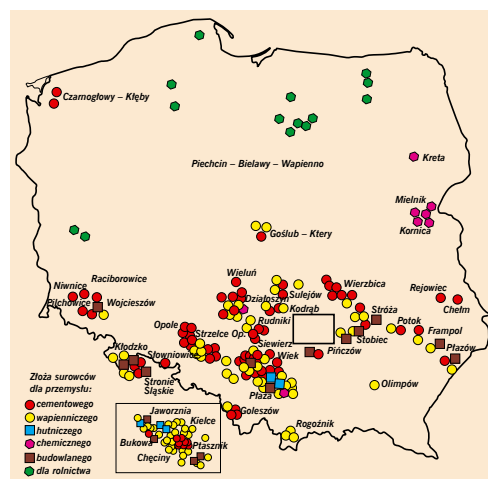
W związku z deficytem kruszyw w Polsce w chwili obecnej pilne staje się rozszerzenie w większym stopniu stosowania do betonu zwykłego kruszyw węglanowych. Wiadomym jest, że w związku z rozwojem budownictwa nastąpi w najbliższej przyszłości znaczący wzrost produkcji cementu do 20÷22 mln ton rocznie, zatem wzrośnie jeszcze bardziej zapotrzebowanie na kruszywa. Dlatego też pozyaskiwanie kruszyw z istniejących kopalni jak i nowo otwieranych staje się pilnym wyzwaniem dla producentów betonu. W niniejszym artykule postaramy się odpowiedzieć na niektóre pytania wzbudzające u projektantów konstrukcji betonowych wątpliwości co do stosowania kruszyw węglanowych do betonu. Zaprezentowane wyniki badań są efektem współpracy Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie i CEMEX Polska, w wyniku której zrealizowana została w 2007 roku praca magisterska [12].

Charakterystyka kruszyw

węglanowych stosowanych do produkcji betonu

Podstawowym składnikiem skał węglanowych wykorzystywanych do produkcji kruszyw do betonu jest kalcyt, czyli węglan wapnia ($MgCO_3$), lub

Rysunek 1. Występowanie skał węglanowych w Polsce [15]





węglan podwójny – dolomit $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$. Podstawowe właściwości niektórych skał węglanowych przedstawiono w tabeli 1.

Z przedstawionych danych wynika, że skały węglanowe występujące w Polsce, a nadające się do produkcji kruszyw, zawierają kalcyt i dolomit. W przypadku kruszyw, w których dominuje kalcyt, zawartość dolomitu wynosi kilka procent, a w przypadku skał dolomitowych zawartość dolomitu jest powyżej 75%. Analizując takie wielkości jak wytrzymałość skały, można stwierdzić, że jest ona różnicowana i wynosi od 40 MPa do 100 MPa, a w przypadku dolomitów znacznie więcej, bo nawet do 150 MPa. Nasiąkliwość i porowatość jest również zróżnicowana dla skał pochodzących z okresu dewońskiego, porowatość jak i nasiąkliwość zwykle nie przekraczają w nich 4%.

Porównanie wybranych właściwości kruszyw węglanowych: wapień Morawica; dolomit Jarosławiec oraz żwir Borzęcin, granit Graniczna, bazalt Gracze, zestawiono w tabeli 2. Prezentowane wyniki badań kruszyw węglanowych pochodzą z badań własnych producentów [18].

Jak pokazano w tabeli 2, niektóre z właściwości kruszyw węglanowych (w tym przypadku – dolomit z Jarosławca oraz wapień z Morawicy) nie od-

biegają od poziomu reprezentowanego przez inne skały osadowe (np. żwiry), a w niektórych przypadkach są porównywalne do kruszyw łamanych, otrzymywanych ze skał magmowych, które z powodzeniem stosowane są w budownictwie mostowym i komunikacyjnym (granit, bazalt). Biorąc pod uwagę chociażby mrozoodporność, odporność na rozdrobnienie, reaktywność alkaliczną, można z pewnością zakwalifikować niektóre kruszywa ze skał węglanowych do materiałów wysokiej jakości, które mogą być wykorzystywane do produkcji betonu. Pewne wątpliwości mniej doświadczony technolog może mieć, kiedy porównuje takie właściwości kruszyw węglanowych jak: nasiąkliwość,

Rysunek 2. Kamieniołom dolomitu w Jarosławcu koło Olkusza – CEMEX Polska

Tabela 2. Porównanie właściwości kruszyw węglanowych z innymi kruszywami

Właściwość	Grys dolomitowy Jarosławiec	Grys wapienny Morawica	Żwir naturalny Borzęcin	Grys granitowy Graniczna	Grys bazaltowy Gracze
Gęstość objętościowa [kg/dm ³]	2,48	2,52	2,59	2,67	3,04
Nasiąkliwość masowa [%]	3,9	3,7	2,4	1,7	1,1
Zawartość ziaren niekształtnych [%]	9	8	11	6	2,6
Zawartość pyłów mineralnych [%]	2,7	0,8	0,3	0,2	1,0
Mrozoodporność – ubytek masy [%]	0,5	0,7	0,9	0,7	1,5
Reaktywność alkaliczno-krzemionkowa (ubytek masy) [%]	0,1	0,8	0,1	0,1	0,1
Odporność na rozdrabnianie; LA [%]	33	38	36	31	6,5

Tabela 1. Właściwości skał węglanowych stosowanych do produkcji kruszyw

Miejsce występowania	Straty prażenia, [%]	Skład chemiczny, [%]					Porowatość [%]	Nasiąkliwość [%]	Ścieralność na tarczy Bohelgo [cm]	Wytrzymałość na ściskanie [MPa]	Uwagi
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Wapień zbite:											
Morawica k. Kielc	42,2		0,6	53,3	0,7	0,2	4,1	1,4	0,4	90	CaCO ₃ – 95%; CaMg(CO ₃) ₂ – 3%
Jazwica k. Kielc	43,3	1,0	0,5	54,4	0,5	ślady	1,8	0,89	0,59	97	CaCO ₃ – 97%; CaMg(CO ₃) ₂ – 5%
Dębska Wola k. Kielc	42,4			52,7	1,0	brak	3,3	0,12	0,60	78	CaMg(CO ₃) ₂ – 45%
Górno k. Kielc								0,71	0,39	105	
Kowala k. Kielc	41,8	4,4	1,3	51,4	2,1	0,1			0,6	75	
Bielawy (Piechcin) k. Bydgoszczy	18,0	7,0		41,0		0,5					
Czatkowice k. Krzeszowic		0,3	1,7				0,6	0,28	0,45	114	CaMg(CO ₃) ₂ – 8%
Strzelce Opolskie		0,6÷12,0	0,5÷5,5	44,0÷55,0	0,2÷6,2	ślady	15,74	3,07	2,20	36	
Tarnów Opolski		0,5÷6,2	0,4÷2,6	42,8÷53,9	0,5÷8,7	ślady	9,31	1,02	0,79	38	
Wapień, Raciszyn k. Działoszyna	42,9	1,5	0,7	54,3	0,4	0,5	3,7	0,65	0,39	58	
Dolomity:											
Korzecko k. Kielc	43,4	2,2	32,0	-	16,8	brak	2,9	0,7	0,63	69	CaMg(CO ₃) ₂ – 76,9%
Laskowa k. Kielc	46,0	2,1	0,7	32,6	19,1	brak	1,6	0,3	0,47	120	CaMg(CO ₃) ₂ – 87,5%
Nielepice k. Krakowa	42,7	1,8		54,0	0,5		5,2	1,12	0,44	102	
Piekary Śląskie							17,3	5,9	1,4	70	R ₂ O ₃ – 1,5%
Rędziny k. Wrocławia	45,6	2,5		30,4	19,0		0,35	0,2	1,0	153	
Podleśna k. Zawiercia		1,7	1,3	32,6	18,5	0,1	3,49	0,49	0,55	90	
Jarosławiec k. Olkusza	46,79	0,64	0,43	31,8	19,44	0,05	13,3	3,9		88	CaMg(CO ₃) ₂ – 86%; CaCO ₃ – 11%



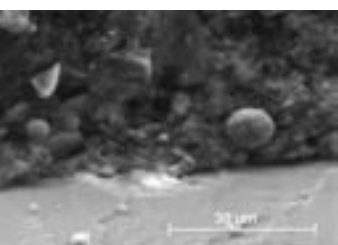
Rysunek 3. Prefabrykaty betonowe z kruszywem węglanowym – kanał La Manche

zawartość pyłów mineralnych i gęstość objętościową. Mimo pozornie niekorzystnych wartości tych parametrów, mogą one mieć jednak pozytywny wpływ na uzyskiwane właściwości betonu, w którym zastosowano kruszywo węglanowe. Kruszywa te mogą być stosowane nawet do produkcji betonów o wysokiej wytrzymałości. [9]

Właściwości betonów zawierających kruszywa węglanowe

Jak już wcześniej podano, kruszywa węglanowe mogą być w pełni wykorzystane do betonów zwykłych, zastępując tradycyjne kruszywa krzemionkowe, ale również kruszywa łamane ze skał magmowych. O przydatności kruszywa do produkcji betonu decyduje szereg jego właściwości, które opisane są w literaturze przedmiotu [1, 13, 14] oraz normach materiałowych [16, 17]. Jeżeli chodzi o kruszywa do betonu, to należy podkreślić, że w świetle polskich przepisów prawnych (Ustawa o wyrobach budowlanych z dnia 16 kwietnia 2004 roku) i normalizacyjnych (Norma: PN-EN 12620:2004 Kruszywa do betonu) są one traktowane jako wyrób budowlany i producent zobowiązany jest do wprowadzenia Zakładowej Kontroli Produkcji w systemie oceny zgodności 4 lub 2+. Tak więc na producenta kruszywa nałożony jest obowiązek przeprowadzenia tzw. badań wstępnych – badań typu oraz bieżącej kontroli jakości produkowanego kruszywa zgodnie z opracowanym systemem Zakładowej Kontroli Produkcji.

Przykładem powszechnego stosowania kruszyw węglanowych są USA i Kanada [6]. Spektakularnym przykładem zastosowania kruszywa węglanowego są prefabrykaty betonowe wykorzystane przy budowie tunelu pod kanałem La Manche (rysun-



Rysunek 4. Strefa kontaktowa, dobra przyczepność kruszywa dolomitowego do zaczynu

nek 3). Skład i właściwości zastosowanej mieszanki betonowej przedstawiono w tabeli 3. [10,11]

W Polsce od kilkadziesiąt lat z powodzeniem kruszywo węglanowe do produkcji betonów klas od C 20/25 do 35/45 stosuje Przedsiębiorstwo Elementów Budowlanych „BABERT” SA z Kielc, produkując między innymi elementy stropowe typu „filigran”, płyty dachowe, biegi schodowe czy też słupy betonowe. Innym przykładem są wyniki badań W. Piasty dotyczące możliwości otrzymania betonów o wytrzymałościach powyżej 80 MPa [7,8]. Autor podaje, że na kruszywie dolomitowym właściwości wytrzymałościowe są porównywalne do wytrzymałości betonów wykonywanych na kruszywie granitowym i bazaltowym. Betony wykonane na kruszywie węglanowym charakteryzują się dodatkowo zwiększoną odpornością na korozję siarczanową. Wynika to przede wszystkim z modyfikacji warstwy kontaktowej zaczyn-kruszywo oraz [9] powstającego karbogliniaru wapniowego. [9] Natomiast niewielka ilość frakcji pyłastej zawierającej węglany wapnia dodatkowo uszczelnia beton.

Warstwa kontaktowa zaczyn-kruszywo w betonach z kruszywem węglanowym

Wiele spośród właściwości betonu, zarówno mechanicznych jak i trwałościowych, determinowanych jest właściwościami zastosowanych składników, jak również połączeniami pomiędzy poszczególnymi składnikami kompozytu betonowego. Warstwa kontaktowa pomiędzy kruszywem i zaczynem cementowym jest jednym z najbardziej newralgicznych obszarów w betonie. Najczęściej niszczenie betonu rozpoczyna się właśnie od warstwy kontaktowej. Model warstwy kontaktowej zaczyn-kruszywo zaprezentowany został między innymi przez Zimbelmana [19]. Według opisanego modelu, warstwa kontaktowa charakteryzuje się największą porowatością w całej objętości zaczynu cementowego, czego oczywistym efektem jest niższa wytrzymałość w stosunku do matrycy. Występujące w warstwie kontaktowej pory kapilarne wpływają na większą przepuszczalność betonu w tej strefie.

W przypadku stosowania do betonu kruszyw węglanowych tworzy się w warstwie kontaktowej nowa faza monowęglanoglinianu wapniowego ($C_3A \cdot CaCO_3 \cdot 11H_2O$). [] Ilość karbogliniaru wapniowego powstającego w warstwie kontaktowej zaczyn-kruszywo maleje wraz z oddalaniem się od powierzchni ziarna kruszywa. W rezultacie tej reakcji powstaje w betonie warstwa kontaktowa (zaczyn-kruszywo) o bardziej zwartej mikrostrukturze, mniejszej porowatości i przepuszczalności, powoduje to większą wytrzymałość i przyczepność do kruszywa węglanowego oraz zwiększoną odporność na korozję siarczanową. Warstwę kontaktową zaczyn-kruszywo w betonie z kruszywem dolomitowym z kamieniołomu Jaroszewiec pokazano na rysunku 4 [12].

Wpływ pyłów węglanowych z kruszywa na właściwości betonów

Pyły mineralne pochodzące z kruszyw węglanowych to materiały o uziarnieniu do 0,063 mm o takim samym składzie mineralnym jak kruszywa. Z kruszyw węglanowych produkowane są tzw. mączki kamien-

Tabela 3. Skład mieszanki betonowej – prefabrykaty w kanale La Manche

Rodzaj składnika	Ilość składnika [kg/m ³]
Cement CEM I - HSR	400
Piasek rzeczny 0 – 1 mm	325
Rozdrobniony wapień 0 ÷ 1 mm	340
Rozdrobniony wapień 3 ÷ 8 mm	250
Rozdrobniony wapień 5 ÷ 12,5 mm	1060
Superplastyfikator	5 ÷ 7
W/C	0,35 ÷ 0,32
Wytrzymałość projektowana (28 dni)	C 45/55
Wytrzymałość uzyskana (28 dni)	63 MPa

ne (mączki wapienne) stosowane między innymi do produkcji cementów (CEM II/A-L; CEM II/A-LL; CEM II/B-L; CEM II/B-LL). Pyły mineralne w kruszywach węglanowych odgrywają taką samą rolę w betonie, jak mączka wapienna stosowana do produkcji cementu. Powodują one przede wszystkim poprawę urabialności mieszanki betonowej oraz wzrost szczelności betonu na skutek zmniejszenia ilości porów kapilarnych w zaczynie. Efektem tego jest zwiększenie szczelności betonu i jednocześnie ograniczenie tendencji do powstawania mikrospękań, np. na skutek skurczu. Dane literaturowe potwierdzają, że wprowadzenie do betonu pyłów wapiennych w ilości do 10% masy kruszywa grubego powoduje korzystny efekt wzrostu wytrzymałości na ściskanie betonu. Obserwowany jest również wzrost współczynnika sprężystości betonów z kruszywem wapiennym, zawierającym do 5% pyłów wapiennych. [14]

Powszechnie przyjęło się traktować pyły wapienne jako obojętne względem zaczynu cementowego. Nie jest to prawdą. Podobne mechanizmy i reakcje jak opisane wyżej, zachodzące w warstwie kontaktowej zaczyn-kruszywo, przebiegają również pomiędzy pyłem wapiennym z kruszyw (zawierającym kalcyt) a fazami glinianowymi w zaczynie. Efektem jest powstanie fazy monowęglanoglinianu wapniowego, odpornego na korozję siarczanową, który powstając konsumuje podatne na korozję siarczanową fazy glinianowe.

Potencjalna reaktywność alkaliczna kruszyw węglanowych

Jednym z czynników decydujących o trwałości betonu jest podatność kruszywa zastosowanego do betonu na reakcję z alkaliom pochodzącymi z cementu. Większość skał węglanowych (80-90%) jest niereaktywna i nie powoduje ekspansji pod wpływem działania alkaliów. Zdarzają się jednak złoża skał węglanowych, w których występują skały reaktywne. Większość negatywnych opinii na temat reaktywności alkalicznej kruszyw węglanowych powstała na skutek problemów, jakie wystąpiły w Stanach Zjednoczonych, w latach 50. i 60. na skutek stosowania do betonu węglanowych kruszyw reaktywnych alkalicznie. [12; 14]

Kruszywa węglanowe opisywane w niniejszym artykule: dolomit z kamieniołomu Jaroszowiec oraz wapień z kamieniołomu Morawica – to kruszywa wykazujące zerowy stopień reaktywności alkalicznej, co zostało potwierdzone badaniami własnymi producenta oraz badaniami w pracy. [12; 18]

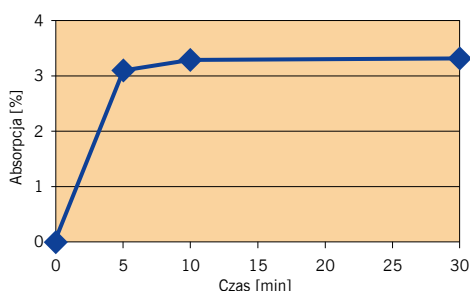
Wodożądność kruszyw węglanowych

Kruszywa węglanowe charakteryzują się stosunkowo wysoką porowatością i wynikającą z niej nasiąkliwością. W efekcie tego absorpcyjność wody przez kruszywa węglanowe jest prawie zawsze wyższa od absorpcyjności innych kruszyw stosowanych do produkcji betonu. Opisywane w artykule grysy dolomitowe z Jaroszowca oraz grys wapienny z Morawicy (wysuszone do stałej masy) w czasie 5-10 minut osiągnają stan pełnego nasycenia wodą, po eksponowaniu ich w środowisku wilgotnym. [12] Rysunek 5 przedstawia absorpcję wody przez grys dolomitowy 8/16 mm, wysuszony wcześniej do stałej masy w temperaturze 105°C. Proces desorpcji wody jest wolniejszy. Opisywany

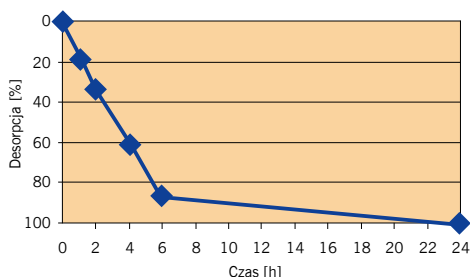
grys dolomitowy frakcji 8/16 mm w ciągu 6 godzin traci około 85% wody, jaka może zdesorbować w ciągu 24 godzin w warunkach powietrzno-suchych. Grys wapienny z Morawicy frakcji 8/16 mm w tym samym czasie traci 60% wody. Na rysunku 6 przedstawiono desorpcję wody z grysu dolomitowego 8/16 mm, nasyconego wcześniej wodą do stałej masy.

Opisane zjawisko absorpcji i desorpcji wody przez kruszywa węglanowe determinuje sposób podejścia do technologii produkcji betonów wykonywanych na tych kruszywach. Najlepsze efekty uzyskuje się przy stosowaniu do produkcji kruszyw węglanowych wcześniej nasączonych wodą. Dzięki temu unika się niekontrolowanego spadku konsystencji mieszanek z kruszywami węglanowymi. Ilość wody wprowadzanej do mieszanki betonowej powinna uwzględniać absorpcyjność kruszywa. Norma PN-EN 206-1:2004 „Beton. Część 1: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność” uwzględnia fakt absorpcyjności kruszyw w swoich wytycznych. Rozgranicza i jednoznacznie definiuje: całkowitą zawartość wody wprowadzoną do mieszanki betonowej oraz efektywną zawartość wody w mieszance betonowej. Całkowita zawartość wody wprowadzona do mieszanki uwzględnia: wodę zaabsorbowaną przez kruszywo, wodę znajdującą się na jego powierzchni oraz inne rodzaje wody wprowadzone do mieszanki, np. w formie domieszek chemicznych lub zawiesin. Zdecydowanie ważniejsza z punktu widzenia technologii betonu jest efektywna zawartość wody, którą uwzględnia się przy wyliczaniu stosunku W/C. Efektywna zawartość wody w mieszance betonowej nie obejmuje wody zaabsorbowanej przez kruszywo, w związku z powyższym woda zaabsorbowana przez kruszywo nie powinna być wliczana do określania wskaźnika W/C. Prezentowane w dalszej części artykułu wyniki badań uwzględniają takie podejście do projektowania składu betonu.

Zwiększona absorpcja wody przez kruszywa węglanowe z jednej strony może stanowić problem dla producenta betonu, nieprzyzwyczajonego do takich właściwości kruszyw (niekontrolowane spadki konsystencji, przy stosowaniu do produkcji suchych kruszyw węglanowych, szczególnie



Rysunek 5. Absorpcja wody przez grys dolomitowy 8/16 mm



Rysunek 6. Desorpcja wody z grysu dolomitowego 8/16 mm

Składnik/Parametr	Recepta 1	Recepta 2	Recepta 3
	Ilość [kg/m ³]	Ilość [kg/m ³]	Ilość [kg/m ³]
Cement ¹⁾	270	270	270
Popiół lotny	90	90	90
Piasek 0-2 mm	700	780	800
Grys wapienny Morawica 4-16 mm	1050	-	-
Grys dolomitowy Jaroszewiec 4-10 mm	-	485	-
Grys dolomitowy Jaroszewiec 10-16 mm	-	485	-
Żwir Borzęcin 2-8 mm	-	-	485
Żwir Borzęcin 8-16 mm	-	-	485
Plastyfikator	2,43	2,43	2,43
Efektywna zawartość wody:	175	175	175
Całkowita zawartość wody:	209	206	187
W/C	0,66	0,66	0,66
W/S	0,49	0,49	0,49
W/(C + k*P) ²⁾	0,58	0,58	0,58

1) Do badań stosowano 4 rodzaje cementów: CEM I 42,5R; CEM II/A-S 42,5R; CEM II/B-S 32,5R; CEM III/A 32,5N
2) Dla wszystkich cementów, do wyliczenia W/C, przyjęto współczynnik k = 0,4

Tabela 4. Składy mieszanek betonowych użytych do badań porównawczych

w okresie letnim), z drugiej zaś strony jest to duża zaleta z punktu widzenia uzyskiwanych właściwości betonu. Zaabsorbowana woda w kruszywie węglanowym stanowi swego rodzaju bufor, który może wspomagać pielęgnację „wewnętrzzną” betonu. Fakt ten jest o tyle korzystny, że przebiega on w całej objętości betonu (objętość kruszywa w betonie to około 70%). Migracja wody z kruszywa węglanowego do zaczynu wspomaga proces hydratacji na powierzchni ziaren kruszywa i wewnątrz betonu, dzięki temu uzyskuje się większy stopień hydratyzowania ziaren cementu wewnątrz betonu oraz lepsze właściwości strefy kontaktowej zaczyn-kruszywo.

Porównanie właściwości betonów z kruszyw węglanowych i żwirowych

W celu porównania wybranych właściwości betonów wykonanych z kruszyw węglanowych i kruszywa żwirowego sporządzono recepty mieszanek betonowych przedstawione w tabeli 4. Badania porównawcze wykonywano na mieszankach przygotowanych z czterech różnych cementów i trzech rodzajów kruszyw. Do każdej z mieszanek wprowadzono dodatek mineralny w postaci popiołu

Tabela 5. Wyniki badań wytrzymałości na ściskanie betonów

		Wytrzymałość na ściskanie betonów [MPa]		
		Grys dolomitowy Jaroszewiec	Grys wapienny Morawica	Żwir naturalny Borzęcin
CEM I 42,5R	po 2 dniach	20,0	22,0	15,0
	po 7 dniach	31,5	35,0	27,5
	po 28 dniach	42,5	45,0	37,5
	po 56 dniach	50,0	50,0	43,5
CEM II/A-S 42,5R	po 2 dniach	15,5	15,0	12,5
	po 7 dniach	28,5	28,5	23,5
	po 28 dniach	44,0	41,5	37,0
	po 56 dniach	49,5	47,5	43,0
CEM II/B-S 32,5R	po 2 dniach	6,5	9,5	8,0
	po 7 dniach	16,5	18,5	16,0
	po 28 dniach	31,0	33,0	30,5
	po 56 dniach	37,5	39,5	35,5
CEM III/A 32,5NA	po 2 dniach	4,5	5,0	5,0
	po 7 dniach	13,0	13,0	13,5
	po 28 dniach	30,0	30,5	29,5
	po 56 dniach	35,5	34,5	35,0

lotnego oraz domieszkę upłynniającą. Porównywalno konsystencję mieszanki betonowej i jej utratę w czasie, wytrzymałość na ściskanie betonu, wodoszczelność betonów, mrozoodporność zwykłą oraz nasiąkliwość. Założono klasę wytrzymałości na ściskanie na poziomie minimum C25/30 oraz założoną klasę konsystencji S3 zgodnie z PN-EN 206-1.

Konsystencja mieszanki betonowej

Biorąc pod uwagę uzyskane wyniki badań, należy zauważyć, że nie stwierdzono znaczących różnic wynikających z zastosowania różnych rodzajów kruszyw w mieszankach betonowych. Powodem takiej sytuacji jest zastosowanie kruszyw węglanowych nasyconych wcześniej wodą. Masa wody, którą nasycone zostały kruszywa, wynika z przeprowadzonych wcześniej badań absorpcji i desorpcji wody przez kruszywa węglanowe.

Wytrzymałość na ściskanie betonów

Uzyskane wyniki wytrzymałości na ściskanie betonów wykonanych na różnych kruszywach przedstawiono w tabeli 5 oraz na rysunku 7. Uzyskane wyniki wskazują, że wytrzymałość na ściskanie betonów zawierających kruszywa węglanowe jest z reguły wyższa niż wytrzymałość betonów wykonanych na kruszywach żwirowych, przy zachowaniu wskaźnika W/C na tym samym poziomie. Betony wykonane na cementach CEM I 42,5R i kruszywach węglanowych charakteryzują się wyższą wytrzymałością na ściskanie (po 28 i 56 dniach) o około 15-20% w stosunku do betonów wykonanych na tym samym cementach, ale na kruszywie żwirowym. We wczesnym okresie twardnienia (do 7 dni) betony wykonane na kruszywach węglanowych uzyskują wytrzymałość na ściskanie wyższą w stosunku do betonów na żwirach, dochodzącą nawet do 30-40%. Przy zastosowaniu cementu CEM II/A-S 42,5R i kruszyw węglanowych uzyskane wytrzymałości na ściskanie (po 28 i 56 dniach) są wyższe, podobnie jak dla CEM I 42,5R, o około 15-20% w porównaniu do betonów na kruszywach żwirowych.

W miarę zwiększania ilości wprowadzonego dodatku mineralnego do cementu, uzyskiwane wytrzymałości na ściskanie dla betonów z kruszywami węglanowymi są nadal większe od porównywalnych wytrzymałości betonów na kruszywie żwirowym, z tym że różnica ta jest niższa. Pokazano to obrazowo na rysunku 7. Betony na cementach CEM II/B-S 32,5R i kruszywie węglanowym mają wyższe wytrzymałości na ściskanie (po 28 i 56 dniach) o około 5-10% w porównaniu do betonów na kruszywie żwirowym. W przypadku cementu CEM III/A 32,5N uzyskane różnice wytrzymałości na ściskanie są nieistotne i pomijalnie małe. Można to tłumaczyć zmniejszeniem ilości faz glinianowych w cementach zawierających dodatki mineralne i tym samym ograniczeniem powstawania fazy monowęglanoglinianu wapniowego na warstwie kontaktowej zaczyn-kruszywo oraz w objętości betonu.

Wytrzymałości na ściskanie betonów zawierających kruszywa węglanowe w stosunku do betonów z kruszywem żwirowym potwierdzają pozytywny wpływ tych kruszyw na kształtowanie się warstwy kontaktowej zaczyn-kruszywo, czego efektem są uzyskane wy-

trzymałości na ściskanie. Na uwagę zasługuje fakt, że całkowita zawartość wody wprowadzona do mieszanki betonowej w przypadku kruszyw węglanowych była o około 20 litrów większa niż to miało miejsce w przypadku mieszanki z kruszywem żwirowym. Ponieważ ta dodatkowa woda to woda zaabsorbowana przez kruszywo, a nie efektywna woda wykorzystywana przy szacowaniu W/C, nie miała ona negatywnego wpływu na uzyskane wytrzymałości na ściskanie.

Podsumowanie

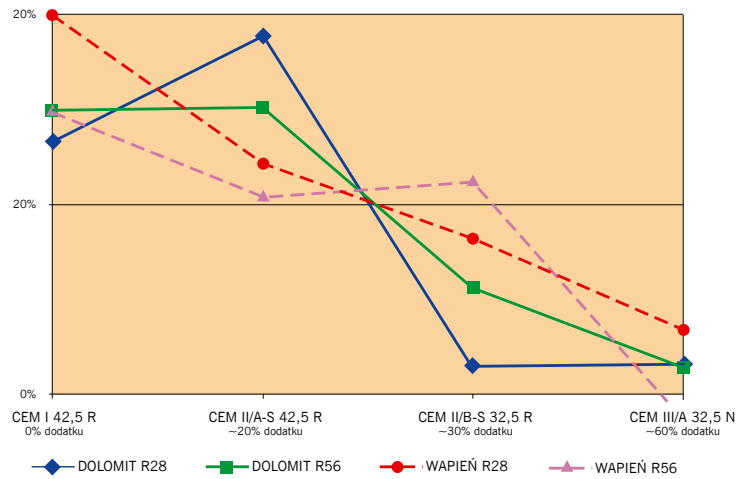
Kruszywa węglanowe są materiałem doskonale nadającym się do produkcji betonów, często jednak materiałem niedocenianym w branży. Być może zrealizowane z powodzeniem projekty budowlane spowodują, że kruszywa te będą traktowane przez uczestników procesu budowlanego jako cenny materiał do produkcji betonu, a ich specyficzne właściwości będą należycie wykorzystane. CEMEX Polska w trakcie wielu realizacji na terenie Polski wykorzystywał do produkcji betonu kruszywa ze skał węglanowych: dolomit z kamieniołomu Jaroszewiec (należący do grupy CEMEX) oraz wapień z kamieniołomu Morawica. Spośród zrealizowanych z sukcesem inwestycji należy wymienić chociażby budowę nowej fabryki DELL w Łodzi, na budowę której dostarczono ponad 15 tysięcy metrów sześciennych betonów. Z powodzeniem kruszywa węglanowe stosowane były do produkcji betonów w budownictwie mieszkaniowym i budynkach użyteczności publicznej: nowy budynek Wydziału Prawa Uniwersytetu Łódzkiego, osiedla mieszkaniowe „Ketlinga” oraz „U Scheiblera” w Łodzi – około 30 tysięcy metrów sześciennych betonu do klasy C30/37. Na rysunku 8 pokazano betonowanie płyty fundamentowej o grubości 1,2 metra na kruszywie wapiennym.

Z wytwórni betonu CEMEX w Krakowie realizowano takie inwestycje jak: osiedle Europejskie; Serwerownia ONET przy ul. Borzyńskiego; osiedle Pod Fortem; posadzka hali Mix-Electronics w Skawinie; płyta fundamentowa pod komin w EC Skawina; fundament młyna kulowego o grubości 4 metrów w Kopalni Wapienia w Czatkowicach. W sumie około 27 tysięcy metrów sześciennych betonu w klasach wytrzymałości na ściskanie C8/10 do C35/45.

prof. dr hab. inż. Jan Małolepszy
Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie
Wydział Inżynierii Materiałowej i Ceramiki
Katedra Technologii Materiałów Budowlanych
mgr inż. Rafał Gajewski
CEMEX Polska Sp. z o.o.

Literatura

- 1 J. Piasta, *Kruszywa łamane do betonów zwykłych*, Arkady, Warszawa 1974
- 2 B. Penkala, J. Piasta, „Cement, Wapno, Gips”, 1, 2, 4/1970
- 3 J. Piasta, *Praca doktorska*, Politechnika Warszawska, 1971
- 4 J. Piasta, „Cement, Wapno, Gips”, 1972
- 5 A. Bolewski, W. Parachoniak, *Petrografia*, Wydawnictwo Geologiczne, 1974
- 6 P.K. Mehta, *Concrete – Structure, Properties and Materials*, Prentice Hall, New Jersey 1983
- 7 W. Piasta, J. Góra, „Cement, Wapno, Beton”, 3/2006



- 8 Z. Owsiak, J. Piasta, Z. Rusin, R. Krzywobłocka-Lauron, „Cement, Wapno, Gips”, 1/1980
- 9 J. Góra, W. Piasta, *Wpływ kruszyw łamanych na właściwości wytrzymałościowe betonów wysokiej jakości*, – Konferencja „Dni Betonu”, Szczyrk 2004
- 10 M. Moranville-Regourd, P.K. Mehta, *Symposium on Durability of Concrete*, Nicea 1994 Ed. Kamol, K. Khayt, P.C. Aitcin
- 11 C.J. Kirkland, „Cement and Concrete Research”, 17/2002
- 12 Ł. Bogdanowski, *Badania właściwości betonów na kruszywie węglanowym*, praca magisterska, Akademia Górniczo-Hutnicza 2007
- 13 A.M. Neville, *Właściwości betonu*, „Polski Cement”, Kraków 2000
- 14 J. Piasta, W. Piasta, *Rola i znaczenie kruszywa w betonie*, XVII Ogólnopolska Konferencja „Warsztat pracy projektanta konstrukcji”
- 15 L. Westfal, *Skały węglanowe Polski*, „Renowacje i Zabytki”, 3/2007
- 16 PN-EN 12620:2004 *Kruszywa do betonu*
- 17 PN-EN 206-1:2003 *Beton. Część 1: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność*
- 18 *Badania kruszyw: dolomit Jaroszewiec; wapień Morawica; żwir Borzęcin; bazalt Gracze; granit Graniczna – dane producentów*
- 19 R. Zimbelmann, *A contribution of the problem of cement-aggregate bond*, *Cement and Concrete Research*, Vol. 15, 1985

Rysunek 7. Zapas wytrzymałości na ściskanie betonów na kruszywach węglanowych w stosunku do betonów na kruszywie żwirowym w zależności od rodzaju cementu

Rysunek 8. Betonowanie płyty fundamentowej

