

# Beton o podwyższonym punkcie piaskowym

## 1. Wprowadzenie

Beton jest od kilkudziesięciu lat głównym materiałem budowlanym i pozostanie nim ze względu na wszechstronność zastosowania, stosunkowo niski koszt i powszechność występowania jego podstawowych składników, a także prostą technologię wytwarzania w porównaniu z innymi materiałami konstrukcyjnymi. Nowożytny beton znany jest od chwili wyprodukowania w Anglii na przełomie lat 1824/1825 spoiwa hydraulicznego nazywanego cementem portlandzkim. W Niemczech i Francji rozpoczęto produkcję tego rodzaju cementu w 1850 roku, w Polsce w 1853 roku, a w USA dopiero w 1875 roku w Coplay w Pensylwanii [1]. Za początek badań betonu piaskowego uznaje się rok 1920. Przedmiotem systematycznych eksperymentów (między innymi Talbota i Grafa) był wtedy optymalny skład zaprawy, którą uważano za podstawowy składnik każdego betonu. Przez zaprawę rozumiano właściwie beton piaskowy, ponieważ badano stos okruszowy złożony z ziarn od 0 do 5 mm. Dopiero w 1931 roku Paszkowski stwierdził, że kruszywo większe od około 2,5 mm nie wiąże kapilarnie wody i wprowadził fizyczne rozróżnienie piasku od żwiru, na podstawie którego należy określać mieszankę zaczynu z kruszywem zawierającym ziarna o średnicy mniejszej od 2,5 mm jako

zaprawę, a o średnicy większej od 2,5 mm jako beton [2].

Możliwość wykorzystania samego piasku jako kruszywa umożliwiła ograniczenie potrzeb w zakresie środków inwestycyjnych dla rozbudowy zakładów do wytwarzania kruszywa łamanego oraz umożliwiła wykorzystanie materiału miejscowego, a także pozwala ograniczyć koszty budowy poprzez wyeliminowanie transportu.

Stosowanie piasku jako kruszywa do betonu niesie za sobą też negatywne zjawiska rzutujące na jakość gotowego betonu, w tym duże napowietrzenie mieszanki piaskobetonowej [3]. Fakt ten wpływa na późniejszą trwałość betonu; dużą nasiąkliwość, małą mrozoodporność oraz niską wodoszczelność. Inną wadą piaskobetonu jest fakt, że mechanizm niszczenia betonu w dużej mierze zależy od zastosowanego kruszywa. Energia potrzebna do zniszczenia betonu jest tym większa, im większa jest średnica ziaren zastosowanego kruszywa. Im mniejsze ziarna, tym większa koncentracja naprężeń następuje w zaczynie betonowym, a proces zniszczenia przebiega przez zaczyn, a nie przez ziarna kruszywa [4]. Materiał ten cechuje się też cementochłonnością, dużą nasiąkliwością, skurczem i pęczaniem.

Podstawę racjonalnego wykorzystania materiałów budowlanych stanowi zasada odpowiedności między wymaganiami w zakresie stosowania i użytkowania a właściwościami technologicznymi i użytkowymi tych materiałów. Zastosowanie materiału o właściwościach zaniżonych w stosunku do wymagań jest błędem technicznym, natomiast o właściwościach zawyżonych – błędem ekonomicznym. Realizacja zasady odpowiedności wymagań i właściwości w odniesieniu do wszystkich materiałów sprowadza się do trafnego wyboru materiału budowlanego i sformułowania zaleceń co do warunków jego użytkowania [5].

Biorąc powyższe pod uwagę, pomimo że piaskobeton nie poddany żadnym zabiegom technologicznym charakteryzuje się w porównaniu do betonu zwykłego wysoką jamistością i porowatością, małą odpornością na lokalne uszkodzenia mechaniczne i na ścieranie, na działanie wilgoci i agresji chemicznej, a także mniejszą mrozoodpornością i wodoszczelnością, a przy samej produkcji dużą cementochłonnością, podjęto próbę modyfikacji receptury betonu zwykłego celem zwiększenia punktu piaskowego w stosie okruszowym kruszywa w betonie.

## 2. Skład i podstawowe właściwości betonów

W tabeli 1 podano składy badanych betonów. Betony o podwyższonym punkcie piaskowym wykonano modyfikując receptury dwóch betonów zwykłych, betonu o kodzie recepturowym ZWY/A-025-5-D-28-12-1-H-016 (beton C20/25 na kruszywie żwirowym oznaczony w dalszej części arty-

Tabela 1. Skład betonów

ID	kod betonu	piasek / kruszywo grube	CEM	Woda	Popiół	Domieszka	Piasek 0-2	Żwir 2-8	Grys 2-16	Żwir 8-16
1Z	ZWY/A-025-5-D-28-12-1-H-016	41/59	240	180	100	2,4	730	337		700
2Z	ZWY/A-025-5-I-28-12-1-H-016	44/56	245	180	100	2,45	790		992	
1P	piaskobeton żwirowy odpowiednik C20/25	65/35	265	200	100	2,65	1100	290		300
2P	piaskobeton dolomitowy odpowiednik C20/25	65/35	265	200	100	2,65	1100		605	
3P	piaskobeton żwirowy odpowiednik C16/20	65/35	240	205	100	2,4	1100	300		300
4P	piaskobeton dolomitowy odpowiednik C16/20	64/36	240	205	100	2,4	1100		615	
5P	piaskobeton żwirowy odpowiednik C12/15	74/26	215	220	125	2,15	1220	215		215
6P	piaskobeton dolomitowy odpowiednik C12/15	74/26	215	220	130	2,15	1220		435	
7P	piaskobeton żwirowy odpowiednik C8/10	74/26	190	220	110	1,9	1250	220		220
8P	piaskobeton dolomitowy odpowiednik C8/10	74/26	170	220	130	1,7	1250		445	

kułu 1Z) i ZWY/A-025-5-I-28-12-1-H-016 (beton C20/25 z zastosowaniem grysu dolomitowego, oznaczony w dalszej części artykułu 2Z). Z produkcji bieżącej na wytwórni dla betonu 1Z uzyskano średnią wytrzymałość po 7 dniach dojrzewania 19,1 MPa, a po 28 dniach dojrzewania 31,5 MPa (średnia z 51 wyników). Natomiast dla betonu 2Z uzyskano średnią wytrzymałość po 7 dniach dojrzewania 20,2 MPa, a po 28 dniach dojrzewania 32,6 MPa (średnia z 10 wyników). Udział piasku w mieszance kruszyw zwiększono do 65% i 74%. Wykonano 8 betonów o podwyższonym punkcie piaskowym i oznaczono je symbolami od P1 do P8. Wszystkie betony zawierały domieszkę uplastyczniającą w ilości 1,00% masy cementu. Stosowano kruszywa w stanie powietrzno-suchym, które przed rozpoczęciem badań nawilżano dodatkową wodą wynikającą z sorpcji kruszywa. Przyjęto sorpcję dolomitu 1,1%, a żwiru 0,9%. Wody tej nie wliczano do stosunku w/c.

Zastosowanie mieszanki kruszyw o wysokim punkcie piaskowym ma wpływ przede wszystkim na makrostrukturę mieszanki betonowej i betonu z niej uzyskanego. Więźliwość wody frakcji kruszywa o uziarnieniu powyżej 2 mm jest niska w porównaniu z frakcją o uziarnieniu do 2 mm. Rozbudowana powierzchnia właściwa sprawia, iż wskaźnik wodozadržności mieszanki drobnokruszywowej jest znaczny. Zachowując pożądany ze względów wytrzymałościowych stosunek wodno-cementowy, zastosowana ilość cementu powinna być znacznie większa niż w przypadku betonu zwykłego. Stąd do betonu o podwyższonym punkcie piaskowym 1P i 2P (odpowiednik C20/25) zastosowano zwiększoną ilość cementu, odpowiednio o 25 i 20 kg i zwiększono udział wody. Ponieważ porowatość związanych zaczynów cementowych jest wielokrotnie większa od porowatości własnej ziaren kruszywa, zatem wzrost udziału zaczynu w objętości betonu będzie powodował wzrost jego porowatości całkowitej, a więc makrostruktura betonu drobnokruszywowego będzie mniej korzystna niż w przypadku betonów zwykłych z punktu widzenia trwałości.

Dla porównania do betonu o podwyższonym punkcie piaskowym 3P i 4P (odpowiednik C16/20) zastosowano tę samą ilość cementu, natomiast zwiększono udział wody.

Betony o podwyższonym punkcie piaskowym 5P do 8P (odpowiedniki C12/15 i C8/10) charakteryzowały się mniejszym udziałem cementu w porównaniu do betonów zwykłych; 215 i 190 kg cemen-

Tabela 2. Parametry mieszanki betonowej i gęstość betonu

ID	piasek / kruszywo grube	W/C	W/C+P	W/(C+k*P)	Konsystencja-opad stożka		Mieszanka betonowa		Beton
					[mm]		[%]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kg/m <sup>3</sup> ]
					po 10 min	po 40 min	powietrze	gęstość	gęstość
1Z	41/59	0,75	0,53	0,64	150	100	3,2	2278	2284
2Z	44/56	0,73	0,52	0,63	160	120	2,9	2340	2334
1P	65/35	0,75	0,55	0,66	170	130	5,0	2202	2213
2P	65/35	0,75	0,55	0,66	145	100	5,1	2256	2225
3P	65/35	0,85	0,60	0,73	150	130	5,2	2196	2174
4P	64/36	0,85	0,60	0,73	140	80	5,5	2210	2255
5P	74/26	1,02	0,65	0,83	150	110	5,1	2146	2119
6P	74/26	1,02	0,64	0,82	150	110	5,0	2168	2168
7P	74/26	1,16	0,73	0,94	150	80	5,2	2155	2109
8P	74/26	1,29	0,73	0,99	140	90	5,2	2156	2149

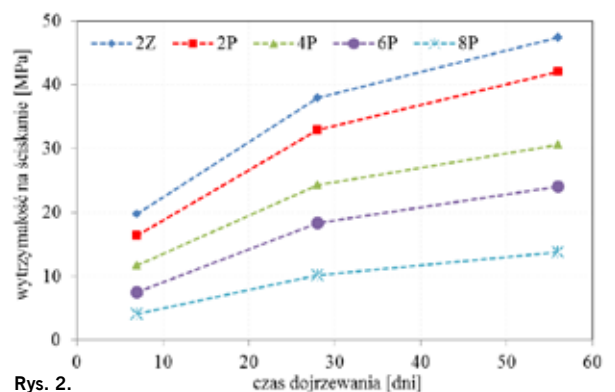
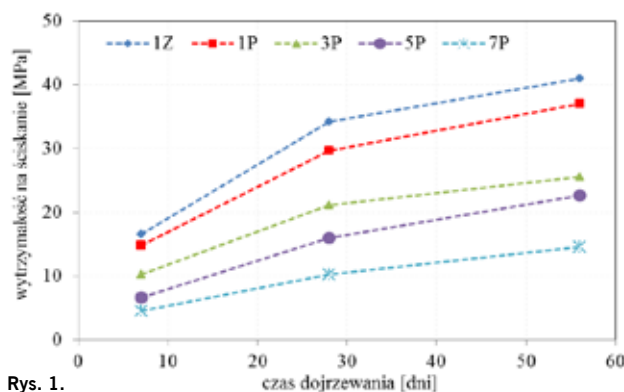
Tabela 3. Wytrzymałość na ściskanie betonu

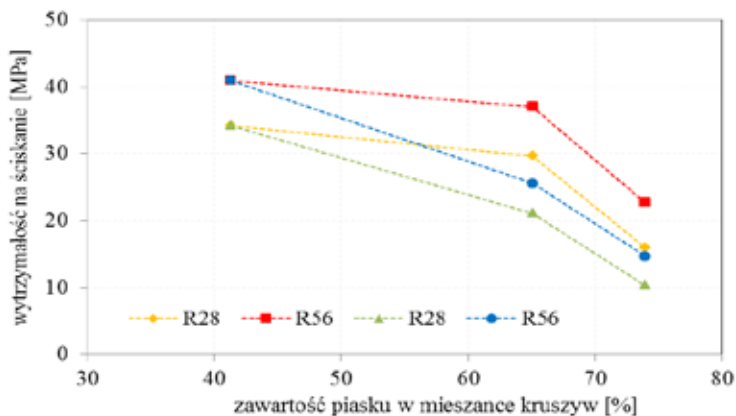
ID	kod betonu	piasek / kruszywo grube	R7	R28	R56
			MPa		
1Z	ZWY/A-025-5-D-28-12-1-H-016	41/59	16,6	34,2	41,0
2Z	ZWY/A-025-5-I-28-12-1-H-016	44/56	19,8	38,0	47,4
1P	piaskobeton żwirowy odpowiednik C20/25	65/35	14,9	29,7	37,0
2P	piaskobeton dolomitowy odpowiednik C20/25	65/35	16,4	32,9	42,1
3P	piaskobeton żwirowy odpowiednik C16/20	65/35	10,3	21,1	25,6
4P	piaskobeton dolomitowy odpowiednik C16/20	64/36	11,7	24,2	30,5
5P	piaskobeton żwirowy odpowiednik C12/15	74/26	6,7	15,9	22,7
6P	piaskobeton dolomitowy odpowiednik C12/15	74/26	7,5	18,3	24,1
7P	piaskobeton żwirowy odpowiednik C8/10	74/26	4,6	10,3	14,6
8P	piaskobeton dolomitowy odpowiednik C8/10	74/26	4,1	10,1	13,7

tu i wysokim stosunkiem wodno-cementowym. Więźliwość wody przez piasek jest wynikiem zjawisk zachodzących na granicy faz woda-powietrze i woda-ziarna. Układ wodny w kapilarach stwarza możliwość utrzymania powietrza, jak też powstawania wody kapilarnej, zawieszonej. Zamknięte w piasku przez wodę powietrze jest trudne do usunięcia. Stąd zawartość powietrza w mieszankach betonowych o podwyższonym punkcie piaskowym była większa o około 2% w porównaniu do betonu zwykłego i wynosiła od 5,0 do 5,5%, a gęstość mieszanki i betonu niższa.

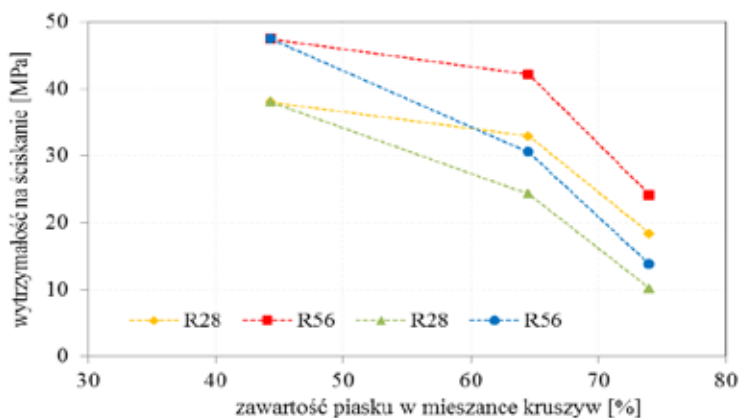
Wyniki badań wytrzymałości na ściskanie przedstawiono w tabeli 3 i na rysunkach od 1 do 4. Badania przeprowadzono na próbkach sześciennych o wymiarach 15x15x15 cm.

Rys. 1. Wytrzymałość na ściskanie betonów na kruszywie żwirowym  
Rys. 2. Wytrzymałość na ściskanie betonów na grysie dolomitowym





Rys. 3. Wpływ zawartości piasku w stosie okrucowym na wytrzymałość na ściskanie betonów na kruszywie żwirowym



Rys. 4. Wpływ zawartości piasku w stosie okrucowym na wytrzymałość na ściskanie betonów na grysie dolomitowym

### 3. Podsumowanie

Rosnące koszty transportu oraz zapotrzebowanie na betony konstrukcyjne i specjalne wymuszają wykorzystanie do produkcji betonu piasków. Badania betonu o podwyższonym punkcie piaskowym wykazały, że uziarnienie mieszanki kruszyw ma istotny wpływ na parametry betonu, co związane jest ze zmianą makrostruktury betonu, która kształtowana jest zarówno przez stos okrucowy, jak i stwardniały zaczyn cementowy.

Uziarnienie mieszanki kruszyw ma wpływ na gęstość betonu, stopień napowietrzenia oraz wytrzymałość na ściskanie. Badania wykazały, że można uzyskać beton o zawartości piasku w mieszance kruszyw 65% o nieznacznie niższej wytrzymałości na ściskanie w porównaniu z betonem zwykłym. W obu przypadkach uzyskano klasę wytrzymałości C20/25. Warunkiem jest zachowanie stosunku wodno-cementowego, co wymusza zwiększony udział cementu w 1 m<sup>3</sup> betonu.

Betony o punkcie piaskowym 74% mają niższe wytrzymałości, co kwalifikuje je do klasy wytrzymałości na ściskanie odpowiednio C12/15 i C8/10 według kryteriów normy PN-EN 206-1.

Stosowanie betonów o podwyższonym punkcie piaskowym, których makrostruktura jest inna niż w betonach zwykłych powinno być poprzedzone badaniami trwałościowymi dla przewidywanych klas ekspozycji betonu.

**dr inż. Grażyna Bundyra-Oracz**  
**Instytut Materiałów Budowlanych**  
**i Technologii Betonu Sp. z o.o.**  
**dr inż. Zbigniew Kołacz**  
**Cemex Polska Sp. z o.o.**

### Literatura

- 1 J. Katzer, *Piaskobetony specjalne na bazie piasku odpadowego modyfikowane mikrokrzemionką i zbrojeniem rozproszonym, Zastosowania metod statystycznych w badaniach naukowych II, Statsoft, 185–193, Kraków 2003*
- 2 Z. Wiśniewski, *Stan i perspektywy zastosowania piasków naturalnych do betonów zwykłych, Konferencja Naukowo-Techniczna SIT Przemysłu Materiałów Budowlanych, Szczecin 1972*
- 3 S. Marcinkowski, *Dondelewski H., Betony piaskowe z kruszyw Pomorza Środkowego, Materiały Budowlane, 24–25, 02, 1984*
- 4 A. Brandt, R. Babut, J. Kasperkiewicz, M. Marks, *Wybrane zagadnienia z mechaniki kompozytów, Wydawnictwo Politechniki Białostockiej, 1983*
- 5 L. Czarnecki, T. Broniewski, O. Hennig, *Chemia w budownictwie, Warszawa, Arkady 1995*

