

dr hab. inż. Halina Garbalińska, prof. ZUT*
mgr inż. Jarosław Strzałkowski*

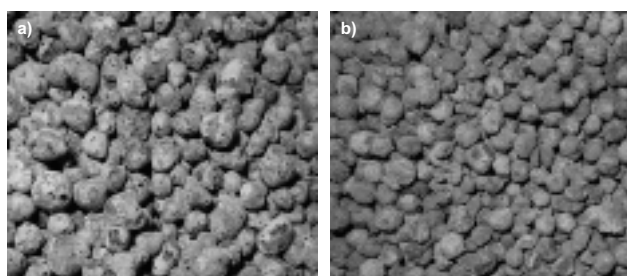
Zawilgocenie kruszywa lekkiego a parametry cieplne i wytrzymałościowe wybranych kompozytów betonowych

Moisture content of artificial lightweight aggregates versus thermal and strength parameters of concrete composites

Zastąpienie naturalnych kruszyw w mieszance betonowej kruszywami sztucznymi może korzystnie wpłynąć na parametry otrzymanego kompozytu. Wykorzystanie kruszyw sztucznych umożliwia ograniczenie zużycia materiałów skalnych, uzyskiwanie coraz lżejszych konstrukcji oraz zagospodarowanie odpadów przemysłowych [1]. Technologia wytwarzania kruszyw sztucznych jest stosunkowo prosta, a surowce potrzebne w procesie wytwarzania, takie jak popioły, łupki czy gliny, są w Polsce ogólnodostępne. Najbardziej popularne kruszywa sztuczne na polskim rynku to: keramzyt; łupkoporyt; glinoporyt; popiółoporyt; żużel granulowany; żużel paleniskowy.

Duża porowatość determinuje pozostałe cechy fizyczne tych kruszyw. W efekcie dość dużej nasiąkliwości, projektowanie betonów na ich bazie wymaga znacznie większej wiedzy i doświadczenia niż projektowanie betonów zwykłych, a także wymaga dokładnego poznania wpływu parametrów kruszywa na końcowe właściwości otrzymanego betonu. Jednym z czynników, które mogą wywierać duży wpływ na właściwości kompozytów wykonanych na bazie kruszyw lekkich, jest poziom wstępnego nasycenia porów kruszywa wodą, który może istotnie zmienić wstępnie przyjęty wskaźnik wodno-cementowy, skutkując nieoczekiwaną zmianą parametrów technicznych otrzymanego betonu, w tym parametrów cieplnych i wytrzymałościowych. W związku z tym w ramach pracy [2] podjęto się przeprowadzenia badań porównawczych, dotyczących betonów wykonanych na bazie różnych kruszyw, wykazujących różną wilgotność wyjściową. Badania zaprezentowane w artykule dotyczą współczynników przewodzenia objętościowego ciepła właściwego i wytrzymałości na ściskanie wybranych dziesięciu kompozytów, które różniły się rodzajem zastosowanego kruszywa. Cztery mieszanki wykonano na bazie keramzytu, cztery na bazie Pollytagu, natomiast dwie dodatkowe mieszanki wykonano na kruszywie kamiennym. Obydwa kruszywa lekkie, pokazane na fotografii, dozwolano w dwóch skrajnych stanach, jeżeli chodzi o ich zawilgocenie, tj. w postaci kruszywa wysuszonego do stałej masy oraz kruszywa w pełni nasyconego wodą.

Dodatkowo w przypadku połowy mieszanek zdecydowano się na rozpułchnienie struktury matrycy cementowej przez wpro-



Kruszywa lekkie: a) keramzyt; b) Pollytag

wadzenie domieszki napowietrzającej. Dotyczyło to również mieszanek na kruszywie kamiennym, które z założenia miały stanowić materiał referencyjny.

Założenia badawcze

Przy projektowaniu poszczególnych mieszanek przyjęto następujące (jednakowe w przypadku każdej receptury) założenia wyjściowe, które ustalono, kierując się wstępnie danymi zawartymi w pracy [3]:

- stały wskaźnik wodno-cementowy równy 0,55;
- stały stosunek piasku (0 ÷ 2 mm) do cementu równy 1,2;
- ten sam rodzaj cementu CEM I 42,5R;
- kruszywa tej samej frakcji z przedziału 4 ÷ 8 mm.

Receptury do badań podzielono na trzy kategorie K0, K1 oraz K2. Kategoria K1 obejmowała cztery receptury betonów lekkich wykonywanych na bazie kruszywa keramzytowego. Ze względu na problem dużej nasiąkliwości kruszyw lekkich [4] i ich wpływ na urabialność oraz końcowe parametry otrzymanego betonu zastosowano zabieg wstępnego moczenia kruszywa przed wykonywaniem mieszanki. Aby dokładnie zdiagnozować to zjawisko, wykonano receptury z kruszywem lekkim wysuszonym do stałej masy oraz całkowicie nasyconym wodą. Dodatkowo wykonano dwie kolejne receptury o identycznym składzie, ale z dodatkiem domieszki napowietrzającej w ilości 1,1% masy cementu. Celem zastosowania domieszki było zwiększenie urabialności mieszanek oraz rozrzedzenie struktury matrycy cementowej przez wprowadzenie dodatkowych pęcherzyków powietrza do zaczynu. W kategorii K2 zastosowano receptury analogiczne jak w K1, z zastąpieniem kruszywa keramzytowego Pollytagiem. W ramach kategorii K0 testowano dwie receptury (z domieszką napowietrzającą oraz bez) wykonane na bazie wyłącznie kruszyw kamiennych, ale o takiej samej frakcji jak w przypadku K1 oraz K2.

* Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Wydział Budownictwa i Architektury

Tabela 1. Receptury mieszanek betonowych przyjętych do badań (na 1 m³ mieszanki)

Typ próbek	K0: próbki wykonane na bazie kruszywa kamiennego							
	wilgotność wagowa w _K [%]	K [kg/m ³]	P [kg/m ³]	C [kg/m ³]	W [kg/m ³]	D [kg/m ³]	objętość kruszywa K [%/m ³]	objętość zaprawy [%/m ³]
1	2	3	4	5	6	7	8	9
K0/2a	0,00	1290,73	464,57	387,14	212,93	0,000	49	51
K0/2b	0,00	1002,56	360,85	300,71	165,39	3,308	38	40
K1: próbki wykonane na bazie lekkiego kruszywa keramzytowego								
K1/1a	0,000	257,84	602,89	502,41	276,32	0,000	52	67
K1/2a	0,286	340,36	462,15	385,12	211,82	0,000	49	51
K1/1b	0,000	209,74	490,42	408,68	224,77	4,495	42	54
K1/2b	0,286	233,43	316,95	264,12	145,27	2,905	33	35
K2: próbki wykonane na bazie lekkiego kruszywa Pollytag								
K2/1a	0,000	570,00	619,64	516,36	284,00	0,000	42	68
K2/2a	0,193	756,00	497,45	414,55	228,00	0,000	45	55
K2/1b	0,000	451,92	491,27	409,39	225,17	4,503	33	54
K2/2b	0,193	535,14	352,12	293,44	161,39	3,228	32	39

W tabeli 1 podano wagowe proporcje poszczególnych składników omawianych w artykule betonów. Kruszywo główne K (4 ÷ 8 mm) wykazywało zerową wilgotność lub zawierało wodę zgodnie z danymi zamieszczonymi w kolumnie 2. Natomiast ilość piasku P podana została w stanie całkowitego wysuszenia. Zawartość wody W, to ilość dodana w czasie wykonywania mieszanki (bez wody zawartej w kruszywie lekkim). W kolumnach 8 i 9 podano objętość kruszywa K oraz objętość zaprawy (P + C + W). W przypadku nienapowietrzonych betonów lekkich, wykonywanych na suchym kruszywie, suma tych objętości daje wartości powyżej 100% z uwagi na odciąganie wody przez kruszywo w czasie wykonywania mieszanek.

Próbki poszczególnych betonów przechowywano w formach przez 24 h na ruszcie nad wodą. Po rozformowaniu znajdowały się one przez pierwsze 7 dni w szczelnych foliowych workach, a następnie w laboratorium w temperaturze 20 °C ± 2 oraz wilgotności ok. 50%, aż do określonego czasu badania ich właściwości cieplnych oraz wytrzymałościowych.

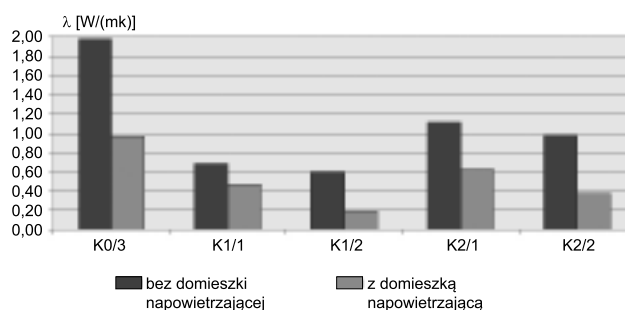
Pomiary cieplne

Pomiary współczynnika przewodzenia ciepła λ próbek betonowych wykonano za pomocą aparatu Isomet 2104, który działa wg metody nieustalonego przepływu ciepła, współpracując z przylgowymi czujnikami o różnych zakresach pomiarowych. Wyznaczone po 28 dniach średnie wyniki współczynnika przewodzenia ciepła λ, objętościowego ciepła właściwego c_p oraz gęstości ρ badanych próbek przedstawiono w tabeli 2. Dotyczy ona dziesięciu kompozytów prezentowanych w artykule. Natomiast analogiczne dane dotyczące wszystkich testowanych w ramach pracy [2] kompozytów zamieszczono w [5]. Na rysunku 1 przedstawiono współczynniki przewodzenia ciepła, a na rysunku 2 ciepła właściwego badanych kompozytów betonowych.

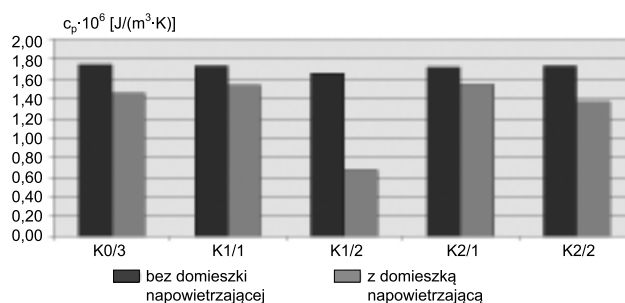
Najniższym współczynnikiem przewodzenia ciepła cechują się betony na bazie keramzytu, ale betony na kruszywie Pollytag mają również znacznie mniejsze współczynniki przewodzenia ciepła w porównaniu z betonem na bazie kruszywa kamiennego. Ze względu na zastosowanie dużej ilości domieszki napowietrzającej, betony z domieszką mają o 30 – 60% mniejsze współczynniki przewodzenia ciepła niż bez domie-

Tabela 2. Podstawowe parametry cieplne i gęstości kompozytów betonowych po 28 dniach dojrzewania

Parametry	Typ próbek									
	K0/3a	K0/3b	K1/1a	K1/1b	K1/2a	K1/2b	K2/1a	K2/1b	K2/2a	K2/2b
λ W/(m·K)	1,98	0,97	0,68	0,46	0,59	0,20	1,12	0,63	0,98	0,38
$10^6 \cdot c_p$ J/(m ³ ·K)	1,75	1,46	1,74	1,54	1,66	0,67	1,72	1,55	1,74	1,37
ρ kg/dm ³	2,35	1,76	1,42	1,12	1,30	0,85	1,87	1,46	1,81	1,22



Rys. 1. Współczynniki przewodzenia ciepła λ testowanych kompozytów betonowych



Rys. 2. Objętościowe ciepło właściwe c_p otrzymanych kompozytów betonowych