

Rudolf Maciejńczyk

ODPORNOŚĆ BETONU ŁUPKOPORYTOWEGO NA DZIAŁANIE PODWYŻSZONYCH TEMPERATUR

Streszczenie. W artykule przedstawiono rezultaty badań wybranych betonów na kruszywie łupkoporytowym "Bytom". Badania wykazały, że kruszywo to może być stosowane w betonach żaroodpornych pracujących w temperaturach od 1000-1100°C.

1. Wstęp

Konstrukcje wykonane z betonu zwykłego mają ograniczony zakres stosowania do temperatury około 250°C. Wiąże się to z wieloma złożonymi procesami fizycznymi i chemicznymi zachodzącymi w przypadku wystąpienia podwyższonych temperatur.

Destrukcyjnemu działaniu tych czynników można zapobiec albo przez stosowanie specjalnych izolacji chroniących beton, albo - przez odpowiedni dobór składu betonu. Betony te w zależności od temperatury stosowania nazywano żaroodpornymi lub ogniotrwałymi. Betony żaroodporne wykonuje się z reguły na cementach portlandzkich i hutniczych; zdolne są one do pracy w temperaturze do 1100°C. Betony ogniotrwałe wykonuje się na cementach glinowych, posiadają zakres stosowania do 1600°C. Betony te w wielu krajach wykonuje się także z lekkich kruszyw porowatych, sztucznych i naturalnych.

2. Przedmiot i zakres badań

W Zespole Technologii Materiałów Budowlanych Instytutu Technologii i Organizacji Budownictwa przeprowadzono badania wpływu podwyższonych temperatur: 500, 800 i 1000°C na cechy fizyczne i mechaniczne wybra-

nych betonów różnych marek, wykonanych na kruszywie żupkoporytowym "Bytem" i cemencie portlandzkim "Grodziec" marki "350".

Sprawdzono następujące własności betonów:

- ogniotrwałość zwykłą, zaczynu, zaprawy, kruszywa i betonu, zgodnie z [3];
- ogniotrwałość pod obciążeniem zaczynu, zaprawy, spieku żupkoporytu i betonu, zgodnie z [4];
- wytrzymałość na ściskanie betonu poddanego pięciu cyklom nagrzewania do temperatury 500, 800 i 1000°C oraz poddanego nagłym zmianom nagrzewania do temperatury 850° i chłodzenia do temperatury pokojowej (tzw. "wstrząsy termiczne"), zgodnie z [2];
- wytrzymałość próbek kontrolnych;
- zmiany gęstości pozornej betonu po nagrzaniu;
- moduł sprężystości podłużnej (orientacyjnie);
- skurcz (orientacyjnie).

7. Skład i składniki betonu

Badania przeprowadzono na sześciu różnych betonach marki "110", "200", "300" i "350", których skład podano w tabelicy 1.

Betony wykonano na cemencie portlandzkim marki 350 "Grodziec". Wytrzymałość cementu po 28 dniach sprawdzona na beleczkach normowych wynosiła $R_{28} = 340 \text{ kg/cm}^2$. Inne własności - zgodne z wymaganiami normy.

Żupkoporyt pochodził z Zakładu Kruszyw Lekkich w Bytomiu. Gęstość nasypową żupkoporytu podano na tabelicy 2. Gęstość właściwa $2,63 \text{ G/cm}^3$, nasiąkliwość wagowa całkowita - 31%, wytrzymałość na ściskanie w cylindrze pomiarowym - $32,5 \text{ kg/cm}^2$, straty prażenia: 1,51% dla frakcji 0/4 mm, 1,94% dla frakcji 4/10 mm i 2,35% dla frakcji - 10/20 mm.

Gлина ogniotrwała, gat. G3 o uziarnieniu 0-0,2 mm, ogniotrwałość zwykła 169 s P, pozostałe właściwości zgodne z wymaganiami normy [5].

Popiół lotny z elektrowni "Zabrze": straty prażenia - 14,6%, gęstość nasypowa w stanie luźnym 921 kg/m^3 ; gęstość nasypowa w stanie zagęszczonym - 1140 kg/cm^3 , gęstość właściwa - $2,23 \text{ G/cm}^3$; zawartość frakcji większych od 1 mm - 7,3%.

Tablica 1

Składniki 1 m³ badanych betonów w kg

Marka i symbol betonu	Jedn.	"110"-GL	"200"-GL	"200"-PL	"300"-GL.S	"350"-GL.S	"350"-PLP
Składniki							
Piasek rzeczny z Koźła	kg	-	-	-	-	-	477
Piasek szamotowy	kg	-	-	-	576	477	-
Żupkoporyt	0-2 mm	395	339	339	-	118	118
	2-4 mm	152	113	113	113	176	176
	4-10 mm	252	226	226	226	176	176
	10-20 mm	152	226	226	226	200	200
Kirowypeżniacz o uziarn. 0-0,2 mm	kg	glina ogn. gat. G3 168	glina ogn. gat. G3 97	popiół lot. z elektr. "Zabrze" 97	glina ogn. gat. G3 129	glina ogn. gat. G3 132	popiół lot. z elektr. "Zabrze" 132
Cement portlandzki "350", "Zrodzolec"	kg	160	290	290	290	400	400
Woda	l	227	270	270	270	216	216
Wytrzymałość na ściskanie po 28 dniach R ₂₈	kg/cm ²	140	215	220	295	369	360
Wytrzymałość po 7 dniach: przec. w kom. klim. i 32 g suszenia w 105°C R _{7,105}	kg/cm ²	125	198	215	270	306	321

Tablica 2

Frakcja mm	Gęstość nasypowa w stanie luźnym w kg/m^3	Gęstość nasypowa w stanie zagęszczonym w kg/m^3
C/4	890	1035
4/10	702	828
10/20	664	791

Piasek naturalny pochodzenia rzecznoego z Koźła nie posiadał domieszek obcych. Gęstość nasypowa w stanie luźnym - 1642 kg/m^3 , gęstość nasypowa w stanie zagęszczonym 1825 kg/m^3 , zawartość frakcji większych od 2 mm - 6,9%, krzywa uziarnienia piasku mieści się pomiędzy normowymi krzywymi granicznymi.

4. Krótki opis metod badań

Ogniotrwałość zwykłą sprawdzono w elektrycznym piecu kryptolowym, na stożkach pirometrycznych wykonanych z rozdrobnionego betonu i jego składników, zgodnie z [3].

Ogniotrwałość pod obciążeniem betonu i jego składników sprawdzono na normowych walcach $\phi = h = 50 \text{ mm}$, także w elektrycznym piecu kryptolowym. Oznaczono temperaturę mięknięcia (t_{06}) i tzw. zgniotu t_4 - badanych materiałów.

Wytrzymałość na ściskanie i gęstość pozorną sprawdzono dla każdej marki betonu na sześciu próbkach $\phi = h = 80 \text{ mm}$, przechowywanych po uformowaniu przez 7 dni w komorze klimatyzacyjnej, a następnie suszonych przez 32 godziny w suszarce w temp. 105°C . Próbkę tę nagrzewano w piecu mufowym przez pięć kolejnych dni do temperatury 500, 800 i 1000°C , przetrzymywano w tych temperaturach przez 4 godziny, następnie studzono (wraz z piecem) do temperatury pokojowej. Po pięciokrotnym nagrzewaniu i studzeniu ważono je i ścismano w prasie hydraulicznej. Wyniki podano w przeliczeniu na R_{w16} .

Odporność na nagłe zmiany temperatury ("wstrząsy termiczne"). Odporność na "wstrząsy termiczne" sprawdzono na sześciu próbkach (dla każdej serii betonu) poddanych 25-krotnemu nagrzeniu do temperatury 850°C , a następnie studzonych sprężonym powietrzem o nadciśnieniu 1 atm. Po całkowitym ostudzeniu próbki zgniatano w prasie hydraulicznej.

Skurcz sprawdzono orientacyjnie na walcach $\phi = h = 80 \text{ mm}$ przez pomiar wysokości walców suwniarką w oznaczonych miejscach.

Współczynnik sprężystości podłużnej sprawdzono orientacyjnie na próbkach walcowych $\phi = 80 \text{ mm}$, $h = 240 \text{ mm}$ przy pomocy modułomierza, baza pomiarowa wynosiła 200 mm. Próbki te poddano nagrzeniu - jak przy badaniach wytrzymałościowych.

5. Wyniki badań

Wyniki badań podano w tablicy 3 i na rysunkach 1 i 2. Skurcz dla betonów marek: 110-350 kg/cm^2 wyniósł:

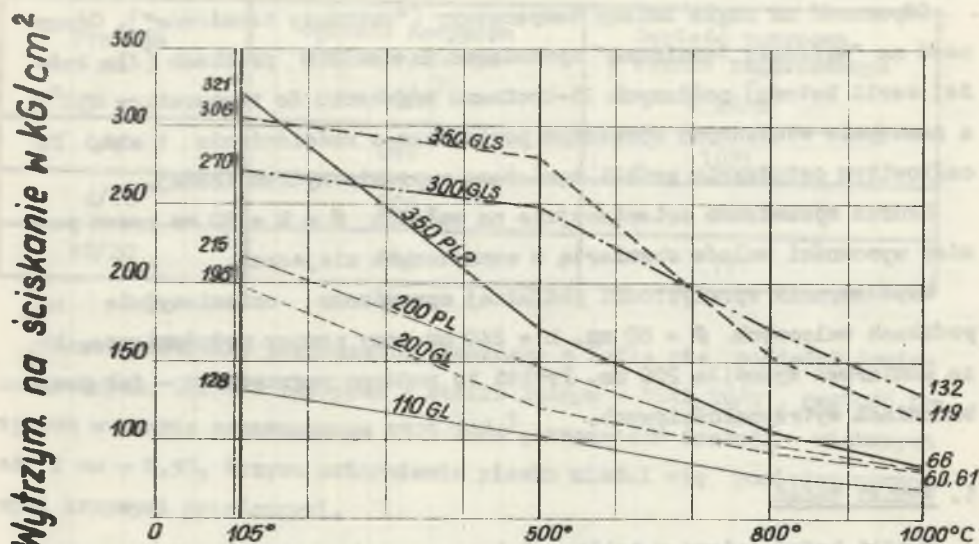
- po nagrzeniu do temperatury 500° - ok. $0,08 \pm 0,12\%$
- po nagrzeniu do temperatury 800° - ok. $0,20 \pm 0,31\%$
- po nagrzeniu do temperatury 1000° - ok. $0,25 \pm 0,32\%$

Współczynnik sprężystości podłużnej betonów marek "110-350": mierzony dla 10 obciążenia przy $0,5 R_w$ wyniósł dla:

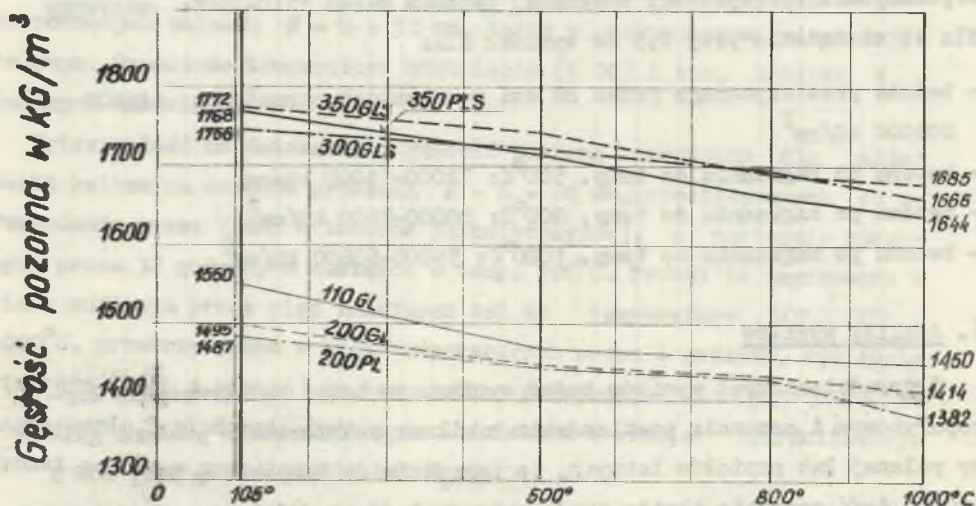
- betonu przetrzymanego przez 28 dni w warunkach normalnych 145000 - 205000 kg/cm^2
- betonu po nagrzeniu do temp. 500°C : 72000-11000 kg/cm^2
- betonu po nagrzeniu do temp. 800°C : 58000-7000 kg/cm^2
- betonu po nagrzeniu do temp. 1000°C : 51000-60600 kg/cm^2 .

6. Analiza wyników

Z przedstawionych wyników badań wynika, że beton na kruszywie żupkoporytowym i cemencie portlandzkim z mikrowypełniaczem w postaci gliny palonej lub popiołów lotnych, po nagrzeniu do temperatur 500, 800 i 1000°C dość znacznie obniża swoją wytrzymałość na ściskanie. Spadek wynosi $9 \pm 47\%$ po nagrzeniu do temp. 500°C , $37 \pm 66\%$, po nagrzeniu do temperatury 800°C i od $51 \pm 81\%$ - po nagrzeniu do temp. 1000°C . Największe



Rys. 1. Zależność wytrzymałości betonów od temperatury nagrzania



Rys. 2. Zależność gęstości betonów od temperatury nagrzewania

Tablica 3

Zestawienie wyników badań betonu żupkoporytowego

Badane cechy		Jedn.	Beton "110" GL	Beton "200" GL	Beton "200" FL	Beton "300" GLS	Beton "350" GLS	Beton "350" PLP
Ogólna trwałość pod ob- ciążeniem	Żupkoporytu frakcji 0-4 mm	°C	1410	1410	1410	1410	1410	1410
	Żupkopor. frakcji 4-20 mm	°C	1430	1430	1430	1430	1430	1430
	zaczynu cementowego	°C	1350	1350	1350	1350	1350	1350
	zaprawy	°C	1250	1250	1230	1250	1230	1160
	betonu	°C	1250-1280	1180	1150	1210	1250	1060
	zaczynu cementowego $t_4/t_{0,6}$	°C	1055/1230	1055/1230	1055/1230	1030/1250	1055/1210	1075/1230
	zaprawy $t_4/t_{0,6}$	°C	910/1105	1045/1195	1045/1185	1250/1295	1255/1290	1105/1305
	betonu $t_4/t_{0,6}$	°C	920/1080	950/1110	950/1110	1180/1270	1175/1230	1065/1245
	spieku żupkoporytu $t_4/t_{0,6}$	°C	1020/1050	1020/1050	1020/1050	1020/1050	1020/1050	1020/1050
	po 7 dn. d. wys. w temp. 105° kg/cm ²		128	198	215	270	306	321
Wytrzyma- łość betonu na ścis- nienie	po 5-krot. nagr. do t. 500°C	"	102(20)	123(38)	145(38)	245(9)	262(14)	170(47)
	" " " t. 800°C	"	54(58)	84(58)	98(55)	170(37)	154(49)	108(66)
	" " " t. 1000°C	"	41(58)	66(67)	60(72)	132(51)	119(61)	61(81)
	po nagr. ter. (t. nagr. 650°C	"	55(56)	48(76)	65(70)	124(54)	150(51)	78(76)
	po zrzech. -20 d. w umr. norm. kg/m^3	"	1610	1605	1650	1896	1887	1863
	do wznies. w t. 105°C	"	1550	1495	1487	1756	1772	1766
Gęstość pozorna	po 5-krot. nagr. do t. 500°C	"	1475(4)	1446(3)	1441(3)	1721(2)	1741(2)	1773(3)
	" " " t. 800°C	"	1470(5)	1433(4)	1428(4)	1697(3)	1692(4)	1560(6)
	" " " t. 1000°C	"	1450(6)	1414(6)	1382(7)	1666(5)	1695(5)	1544(7)
	po wstrząsach term.	"	1450(6)	1422(5)	1357(9)	1689(4)	1629(8)	1549(7)

x) W nawiasach podano procentowy spadek wytrzyma. w stos. do wytrzyma. po 7 dn. i suszenia w t. 105°C

xx) W nawiasach podano procentowy spadek gęstości pozorn. po nagr. w stos. do gęst. poz. po 7 dniach i suszenia w t. 105°C.

spadki wytrzymałości na ściskanie wykazał beton marki "350", w którym 80% piasku żupkoporytowego zastąpiono piaskiem naturalnym i użyto jako mikrowypełniacza popiołu lotnego z elektrowni "Zabrze". Jest to związane z bardzo dużymi stratami prażenia popiołu (14,6%) oraz z właściwościami fizycznymi piasku naturalnego.

Najmniej po nagrzewaniu obniżył swoją wytrzymałość beton z dodatkiem piasku szamotowego i gliny ogniotrwałej. Z zestawienia widać także, że procentowy spadek wytrzymałości na ściskanie jest podobny w betonach z różnymi ilościami cementu, czyli, że większa ilość cementu zasadniczo nie zwiększa wytrzymałości betonu po jego nagrzaniu i ostudzeniu, nie zmniejsza też jego strat ciężaru.

Dla porównania przytacza się rezultaty uzyskane w Instytucie Materiałów Ogniotrwałych w Gliwicach - w wyniku przeprowadzonych szerszych badań nad przydatnością kruszyw lekkich do betonów żaroodpornych (234).

Skład i własności [1] betonu wykonanego przy użyciu cementu glinowego "Istra Brand" i żupkoporytu "Knurów":

- 80% objętościowo żupkoporytu "Knurów"
- 20% objętościowo cementu glinowego (Istra Brand)
- ogniotrwałość zwykła - 1300°C
- ogniotrwałość pod obciążeniem, $t = 1150^{\circ}\text{C}$, $t = 1080^{\circ}\text{C}$
- temperatura stosowania - 1100°C
- gęstość pozorna po wysuszeniu 1380 kg/m³
- gęstość pozorna po wypaleniu 1260 kg/m³
- wytrzymałość na ściskanie po wysuszeniu - 140 kg/cm²
- wytrzymałość na ściskanie po wypaleniu - 85 kg/cm²
- skurczliwość liniowa po wypaleniu - 0,2%
- współczynnik przewodności cieplnej w temp. 1000°C - 0,52 kcal/mh°C.

Ze względu na zastosowania w IMO odmiennych metod przygotowania i badania próbek betonu, przedstawione wyniki nie dają się dokładnie porównać z wynikami uzyskanymi przez autora opracowania.

7. Wnioski

- 7.1. Przeprowadzone badania wykazały, że kruszywo żupkoporytowe nadaje się do stosowania w betonach żaroodpornych wykonanych na cementach portlandzkich - pracujących w temp. 1000-1100°C.
- 7.2. W betonach tych, dla zwiększenia wytrzymałości początkowej nie należy stosować piasku naturalnego i wykazujących wysokie straty prażenia popiołów lotnych.
- 7.3. W celu obniżenia gęstości pozornej a tym samym poprawienia własności izolacyjnych i wytrzymałościowych żupkoporytowych betonów żaroodpornych, wskazane jest prowadzenie dalszych badań.

LITERATURA

1. Materiały ogniotrwałe nr 1, 2, 3 i 4 z 1971 r. wyd. SITHP Katowice.
2. PN-62/B-06257.
3. PN-H-04175.
4. PN-H-04178
5. PN-67/6761-05.

ЖАРОСТОЙКОСТЬ АЛГОПОРИТОБЕТОНА В ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Резюме

В статье описаны результаты испытаний жаростойкости бетона с альпоритом "Вутом" как заполнитель.

Доказано возможность применения этого заполнителя в жаростойких бетонах работающих в пределах температур 1000-1100°C.

STRENGTH OF AGLITE CONCRETE IN HIGH TEMPERATURES

Summary

The results of experiments on concretes made with "Bytom" aglite aggregate are presented.

It has been proved that this aggregate may be used for heat - resistant concretes working at temperatures from 1000°C to 1100°C .