

Tadeusz Hop, Karol Ostrowski
Katedra Budowli Komunalnych

WYTRZYMAŁOŚĆ NA ŚCISKANIE BETONU ŁUPKOPORYTOWEGO
PODDANEGO DZIAŁANIU UJEMNEJ TEMPERATURY
WE WCZESNYM OKRESIE DOJRZEWANIA

1. Wstęp

Badania betonu łupkoporytowego były prowadzone w Katedrze Budowli Komunalnych Politechniki Śląskiej nieprzerwanie od roku 1963. Celem tych badań było stworzenie dla tego atrakcyjnego materiału jak najszerszych możliwości zastosowań. Opierając się na zasadach technologii wytyczonych wcześniej przez inne placówki naukowo-badawcze śledzono najpierw odkształcalność betonu łupkoporytowego pod obciążeniem doraźnym i długotrwałym. Później wprowadzono w zakres problematyki badawczej drgania elementów z tego betonu (tłumienie, dynamiczny moduł sprężystości), jego wytrzymałość zmęczeniową i udarność. Dalszymi zagadnieniami, którym poświęcono sporo wysiłku były: modyfikacja betonu łupkoporytowego polimerami oraz jego przydatność do konstrukcji sprężonych i zespolonych. Dzięki solidnej bazie kruszywowej, jaką stanowią istniejące już zakłady przeróbki łupka przywęglowego, beton łupkoporytowy ma szansę stać się masowym materiałem budowlanym, przynajmniej w rejonach eksploatacji górniczej. Trzeba było więc rozeznac również przydatność betonu łupkoporytowego do robót zimowych. Temat ten podjęto w r. 1965. Wszedł on do planu nowej techniki, a jego opracowanie było ko-

ordynowane przez Instytut Techniki Budowlanej. Program badań obejmował:

- wytrzymałość betonu łupkoporytowego poddanego w różnych stadiach tężenia działaniu temperatury ujemnej,
- odkształcalność betonu łupkoporytowego stykającego się w różnych okresach tężenia ze środowiskiem o temperaturze ujemnej,
- zjawiska fizyczne (zmiany cieplne, zamarzanie wody i inne) w betonie łupkoporytowym narażonym na wpływ środowiska o temperaturze ujemnej,
- formy ciepłochronne.

Częściową realizację wymienionych zadań stanowiły prace [1] i [2]. Dużą pomoc w postaci materiałów, sprzętu i środków transportowych okazało w trakcie realizacji przytoczonego programu Przedsiębiorstwo Budowlane Przemysłu Węglowego w Katowicach.

W publikacji niniejszej dokonamy wstępnej oceny wpływu spadku temperatury do -15°C we wczesnym stadium tężenia betonu łupkoporytowego na jego wytrzymałość.

2. Szczegółowy program badań

2.1. Rodzaj i marka betonu

Postanowiono poddać badaniom beton łupkoporytowy o wyjściowej marce 200.

2.2. Składniki betonu

Do betonu doświadczalnego przewidziano:

- łupkoporyt z wytwórni w Knurowie zawierający ziarna o wymiarach do 10 mm,

- popioł lotny,
- cement portlandzki Grodziec 350,
- cement portlandzki szybkosprawy Chełm 400-S,
- chlorek wapnia.

2.3. Zakres badań

W zakres badań wchodziły określenia:

- podstawowych cech składników betonu,
- składu betonu,
- charakteru zmienności wytrzymałości betonu tężącego w warunkach normalnych,
- wpływu marki cementu (350 i 400) i dodatku $C_a Cl_2$ na wytrzymałość betonu w wieku: 1, 3, 7, 14, 21 i 28 dni,
- wpływu jednorazowego zamrożenia na wytrzymałość betonu; przewidziano tu użycie cementów: 350, 350 z $Ca Cl_2$ i 400-S, zamrażanie próbek w wieku: 1, 3 i 7 dni, okres zamrożenia: 3 - dniowy i 7 - dniowy, temperaturę zamrażania: $-15^{\circ}C$,
- wpływu cyklicznych zmian temperatury od $+18^{\circ}C$ do $-15^{\circ}C$ na wytrzymałość betonu; przewidziano rozpoczęcie cyklicznego zamrażania w wieku 3 i 7 dni oraz 10 cykli zmian temperatury.

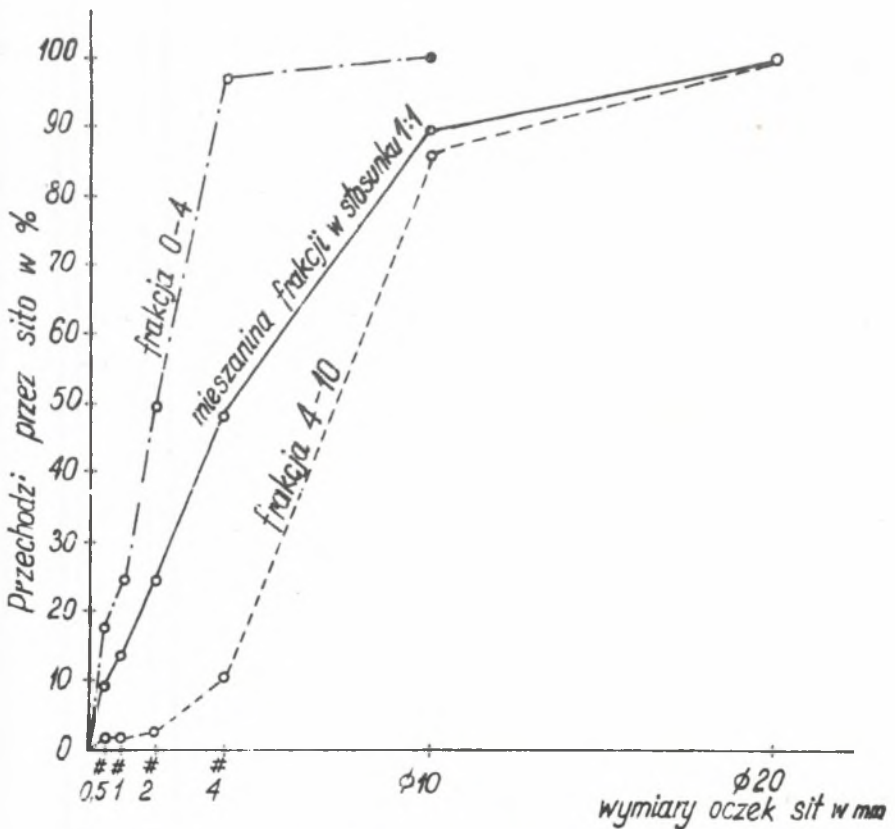
2.4. Rodzaj i liczba próbek

Przyjęto po 3 próbki do każdego określenia wytrzymałości. Do ustalenia marki betonu przewidziano próbki walcowe 16/16. Wytrzymałość w normalnych warunkach miała być ustalona przez zgniatanie próbek walcowych 16/16 i 8/8. Zamrażaniu cyklicznemu trzeba było poddawać próbki 8/8 ze względu na niewielką pojemność zamrażarki. Należało przygotować 360 próbek 16/16 i 504 próbki 8/8 zużywając około $1,65 m^3$ betonu.

3. Przygotowywanie próbek

3.1. Charakterystyka składników betonu

Jako kruszywo użyto łupkoporytu o frakcjach 0-4 i 4-10 z wytwórni w Knurowie. Uziarnienie tego kruszywa charakteryzują krzywe przesiewu pokazane na rysunku 1. Pozostałe jego cechy zestawiono w tabelicy 1. Kruszywo przechowywano w drewnianych skrzyniach. Jego wilgotność była praktycznie stała. Wytrzymałość kruszywa określono przez ściskanie jego próbki w stalowym cylindrze za pomocą odpowiedniego tłoka.



Rys. 1. Krzywe przesiewu łupkoporytu

Tablica 1

Cechy łupkoporytu użytego do betonu doświadczalnego

Frakcja	Ciężar nasyp. w stanie luźnym kg/m ³	Ciężar nasyp. w stanie zagęszcz. kg/m ³	Wytrzymałość kg/cm ²	Wilgotność %
0-4	730	900	17	6,0
4-10	660	790	35	5,2
Mieszanka frakcji w stos.1:1	690	820	-	-

Stosowane cementy: Grodziec 350 i Chełm 400-S otrzymano wprost z cementowni bezpośrednio przed rozpoczęciem produkcji próbek. Cementy były przechowywane w szczelnie zamykanych pojemnikach z blachy. Podstawowe własności cementów zawiera tablica 2.

Chlorek wapnia w postaci krystalicznej otrzymano z budowy, gdzie był stosowany jako dodatek do betonu zwykłego. Wpływ dodatku Ca Cl₂ na wiązanie cementu 350 ilustruje tablica 3.

Popiół lotny użyty jako mikrowypełniacz pochodził z elektrowni "Marcel". Jego ciężar nasypowy w stanie luźnym wynosił 830 kg/m³, a w stanie zagęszczonym 970 kg/m³. Pozostałość na sicie 80μ wynosiła 17%.

Do betonu doświadczalnego używano wody z miejskiej sieci wodociągowej.

Cechy cementów używanych do betonu doświadczalnego

Lp.	W ł a s n o ś ć		Jedn.	Rodzaj cementu	
				Grodziec 350	Chełm 400-S
1	Wielkość partii		kg	600	300
2	Stopień zmielenia	pozostałość na si- cie 80	%	5,0	3,5
		pozostałość na si- cie 200	%	27,5	18,0
3	Okres wią- zania	początek	min	140	130
		koniec	min	225	195
4	Właściwa ilość wody		%	26,3	28,3
5	Zmiany objętości		-	zgodne z normą	zgodne z normą
6	Wytrzymałość na ściskanie	po 7 dniach	kg/cm ²	225	306
		po 28 dniach	"	330	390
7	Wytrzymałość na zginanie	po 7 dniach	"	40	63
		po 28 dniach	"	55	76

Tablica 3

Wpływ dodatku Ca Cl_2 na wiązanie cementu portlandzkiego
Grodziec 350

Ilość dodatku Ca Cl_2 w stosunku do wagi cementu %	Początek wiązania min	Koniec wiązania min
0	140	225
1	100	160
2	65	95

Przyjęto 2-procentowy dodatek Ca Cl_2 .

3.2. Dobór składników

Drogą prób ustalono następujący skład betonu doświadczalnego marki 200 (ilości składników na 1 m^3):

łupkoporyt 0-4	485,5 kg
łupkoporyt 4-10	480 "
cement Grodziec 350	284 "
popiół lotny	192 "
woda	238,3 l.

W trakcie produkcji betonu uwzględniano wilgotność kruszywa. Ten sam skład miał również beton, w którym stosowano cement szybkosprawy 400-S. Marka tego betonu była oczywiście wyższa niż 200.

3.3. Produkcja i pielęgnacja próbek

Mieszanie składników betonu doświadczalnego odbywało się w betoniarce łopatkowej o pojemności 125 l. Stosowano następujący sposób dozowania i mieszania:

- łupkoporyt 0-4 i 4-10 plus $\frac{2}{3}$ wody zarobowej - mieszanie 2 minuty,
- dodatek popiołu - mieszanie 30 sek,
- dodanie cementu i reszty wody - mieszanie 3 minuty.

Beton, z którego wykonywano próbki, miał konsystencję gęstoplastyczną określoną za pomocą aparatu Ve-Be.

Zagęszczanie betonu w formach na stole wibracyjnym trwało 20-25 sek.

Po 24 godzinach od zabetonowania próbki rozformowywano, a następnie przechowywano je przez 7 dni pod wilgotnym płótnem. Później, aż do chwili badania próbki pozostawały w pomieszczeniu laboratoryjnym o wilgotności 60-75% i temperaturze 18-20°C.

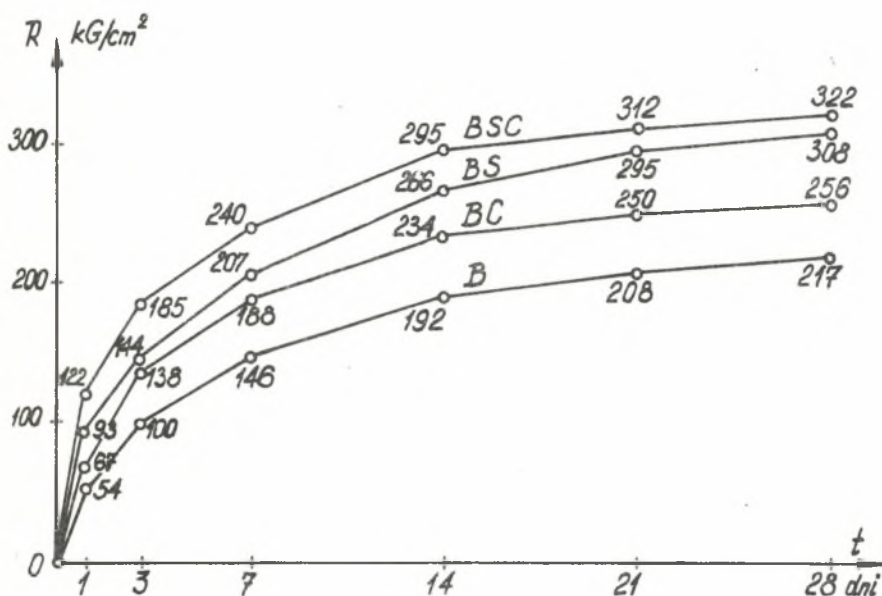
Przed zgniataniem podstawy próbek wyrównywano odpowiednio zaprawą gipsową. Zgniatanie próbek odbywało się w prasie 150-tonowej produkcji Spółdzielni Stal-Dźwig (Kraków).

Do jednorazowego zamrażania próbki umieszczano w odpowiedniej komorze chłodniczej Zakładów Mięśnych w Gliwicach. Cykliczne zamrażanie i odmrażanie było realizowane przy użyciu lodówki laboratoryjnej pochodzącej z NRD.

4. Początkowa zmienność wytrzymałości betonu łupkoporytowego w warunkach normalnych

Krzywe ilustrujące przyrost wytrzymałości czterech rodzajów betonu łupkoporytowego pokazano na rysunku 2, który został

sporządzony na podstawie tablicy 4. Procentowe stosunki wytrzymałości poszczególnych betonów podano w tablicach 5 i 6.



Rys. 2. Zmienność wytrzymałości betonu łupkoporytowego

B - beton z cementem 350, BC - beton z cementem 350+2% Ca Cl₂,
 BS - beton z cementem 400-S, BSC - beton z cementem 400-S +
 + 2% Ca Cl₂

Dodatek chlorku wapnia powoduje największy wzrost wytrzymałości betonu łupkoporytowego we wczesnym okresie jego tężenia (do 3 dni). Przy stosowaniu cementu 350 wzrost ten jest największy w wieku 3 dni i wynosi 38%. W przypadku stosowania cementu 400-S dodatek Ca Cl₂ daje największy efekt już po jednym dniu. Przyrost wytrzymałości wynosi wtedy 32%. Z czasem wpływ chlorku wapnia maleje. Po 28 dniach różnica wytrzymałości wynosi już tylko 18% (przy cemencie 350) i 5% (przy cemencie 400-S).

Tablica 4

Zmienność wytrzymałości betonu łupkoporytowego
w zależności od czasu, rodzaju cementu i dodatku CaCl_2

Symbol betonu	Rodzaj cementu	Wytrzymałości betonu w kg/cm^2 po 1, 3, 7, 14, 21 i 28 dniach					
		R_1	R_3	R_7	R_{14}	R_{21}	R_{28}
B	350	54	100	146	192	208	217
BC	350 +2% CaCl_2	67	138	188	234	250	256
BS	400-S	93	144	207	266	295	308
BSC	400-S +2% CaCl_2	122	185	240	295	312	322

Tablica 5

Tempo przyrostu wytrzymałości betonu łupkoporytowego

Symbol betonu	Rodzaj cementu	Wytrzymałość betonu po 1, 3, 7, 14 i 21 dniach w stosunku do wytrzymałości 28-dniowej (w %)					
		$r_1^x)$	r_3	r_7	r_{14}	r_{21}	r_{28}
B	350	24,9	45,8	67,3	88,0	96,0	100
BC	350 +2% CaCl_2	26,2	54,0	73,2	91,5	97,5	100
BS	400-S	30,2	46,7	68,5	86,5	96,5	100
BSC	400-S +2% CaCl_2	38,2	57,8	75,0	92,0	98,0	100

$$x) r_1 = \frac{R_1}{R_{28}} \cdot 100$$

Tablica 6

Procentowy przyrost wytrzymałości betonu łupkoporytowego
w stosunku do wytrzymałości tegoż betonu z cementem 350

Symbol betonu	Rodzaj cementu	Procentowe różnice wytrzymałości betonu po dniach					
		1	3	7	14	21	28
B	350	100	100	100	100	100	100
BC	350 +2% CaCl_2	124	138	129	122	120	118
BS	400-S	172	144	142	138	142	143
BSC	400-S +2% CaCl_2	227	185	165	154	150	148

5. Wpływ jednorazowego zamrożenia na wytrzymałość betonu łupkoporytowego

Badania przeprowadzono zgodnie z przytoczonym poprzednio programem. Wytrzymałość betonu w próbkach zamrażanych określano bezpośrednio przed zamrożeniem, w 4 godziny po wyjęciu próbek z komory chłodniczej, po 28 dniach od wykonania próbek i po 28 dniach od zakończenia zamrażania. Łącznie z próbkami zamrażanymi zgniatano próbki - świadki pielęgnowane w sposób opisany w ust. 3.3. Wyniki badań zestawiono w tablicach 7 i 8.

W okresie działania ujemnej temperatury następuje zwolnienie lub całkowite zahamowanie tężenia betonu łupkoporytowego. Beton z cementem 350 zamrażany w wieku 1, 3 i 7 dni wykazał po 3-dniowym pozostawianiu w komorze chłodniczej i 4-godzinnym rozmrażaniu przyrost wytrzymałości odpowiednio o 32%, 7% i 2%. Przy stosowaniu cementu 350 z dodatkiem chlorku wapnia przyrosty te wynosiły 16, 45 i 0%, a przy cemencie 400-S osiągnęły 33, 19 i 6%. Podczas 7-dniowego zamrażania betonu z cementem 350 nastąpił spadek wytrzymałości. Tak samo zachowywały się betony z cementem 350 i chlorkiem wapnia oraz z cementem 400-S zamrażane po 1 i 3 dniach przez tydzień. Te dwa betony zamrażane w wieku 7 dni przez okres tygodnia wykazywały po 4-godzinnym rozmrażaniu wytrzymałość odpowiednio o 12 i 5% większą od R_7 (określonej bezpośrednio przed zamrożeniem).

Strata wytrzymałości stwierdzona bezpośrednio po rozmrożeniu zależała od wieku betonu w chwili zamrożenia, czasu trwania zamrożenia i rodzaju cementu. Przy cemencie 350 i 3-dniowym zamrożeniu strata wytrzymałości betonu zamrażanego po 1, 3 i 7 dniach w odniesieniu do betonu tężącego normalnie wynosiła odpowiednio 56, 33 i 13%. W przypadku stosowania tegoż cementu w połączeniu z chlorkiem wapnia stwierdzono straty wytrzymało-

Wytrzymałość betonu łupkoporytowego w próbkach zamrażanych przez 3 dni i niezamrażanych

Rodzaj cementu i próbek		Jedn.	Zamrożenie po 1 dniu				Zamrożenie po 3 dniach				Zamrożenie po 7 dniach			
			R ₁	R ₄	R ₂₈	R ₃₂	R ₃	R ₆	R ₂₈	R ₃₄	R ₇	R ₁₀	R ₂₈	R ₃₈
Portl. 350	8/8	kG/cm ²	-	54	272	270	-	126	370	403	-	196	373	405
	zamraż.	%	-	44	77	74	-	66	75	99	-	87	100	100
	16/16	kG/cm ²	33	112	210	269	101	157	280	327	161	180	217	292
Portl. 350 +2% CaCl ₂	8/8	kG/cm ²	-	101	356	375	-	160	371	401	-	226	387	416
	zamraż.	%	-	68	99	100	-	78	92	97	-	86	94	99
	16/16	kG/cm ²	52	133	260	283	91	183	224	293	194	239	322	336
Szybko- sprawny 400-S	8/8	kG/cm ²	-	132	376	394	-	228	387	406	-	245	401	423
	zamraż.	%	-	65	95	98	-	85	90	100	-	95	96	102
	16/16	kG/cm ²	66	149	265	263	116	221	263	292	215	256	303	337

Wytrzymałość betonu łupkoporytowego w próbkach zamrażanych przez 7 dni i niezamrażanych

Rodzaj cementu i próbek		Jedn.	Zamrożenie po 1 dniu				Zamrożenie po 3 dniach				Zamrożenie po 7 dniach			
			R ₁	R ₈	R ₂₈	R ₃₆	R ₃	R ₁₀	R ₂₈	R ₃₈	R ₇	R ₁₄	R ₂₈	R ₄₂
Portl. 350	8/8 zamrażane	kG/cm ²	-	71	365	370	-	122	341	365	-	170	298	380
		%	-	39	99	98	-	66	93	96	-	79	85	99
	8/8	kG/cm ²	88	180	369	379	129	184	366	380	185	216	350	383
	16/16	kG/cm ²	97	173	231	274	163	226	246	317	146	167	208	259
Portl. 350 +2% CaCl ₂	8/8 zamrażane	kG/cm ²	-	88	344	356	-	162	354	385	-	200	380	406
		%	-	45	92	96	-	75	94	96	-	81	95	97
	8/8	kG/cm ²	97	198	374	372	168	215	378	400	178	248	400	420
	16/16	kG/cm ²	115	198	288	292	129	195	265	298	182	183	248	297
Szybko- spr. 400-S	8/8 zamrażane	kG/cm ²	-	160	380	400	-	215	383	415	-	265	374	405
		%	-	62	98	100	-	80	94	100	-	83	96	94
	8/8	kG/cm ²	176	258	389	400	230	279	407	413	252	320	390	433
	16/16	kG/cm ²	139	190	275	315	163	228	246	317	214	245	312	359

Wytrzymałość na ściskanie betonu

ści wynoszące 32, 22 i 14%, natomiast przy cemencie 400-S osiągnęły one 35, 15 i 5%. Po zamrożeniu 7-dniowym straty te wynosiły odpowiednio: 61, 33 i 21%, 55, 25 i 19% oraz 38, 20 i 17%.

Po znalezieniu się w warunkach normalnych beton uprzednio zamrażany zyskiwał na wytrzymałości w szybszym tempie niż beton niezamrażany. Po upływie 28 dni od chwili wyjęcia z komory chłodniczej beton zamrażany osiągał z reguły wytrzymałość bardzo bliską tej, jaką miał w analogicznym wieku beton niezamrażany. Jedynym wyjątkiem był beton z cementem 350 zamrażany po 1 dobie w okresie 3-dniowym. Nie wyrównany ubytek wytrzymałości po 28 dniach i 32 dniach wynosił w tym przypadku 13 i 14%.

6. Wpływ cyklicznych zmian temperatury na wytrzymałość betonu łupkoporytowego

Jeden cykl badawczy obejmował:

- mrożenie próbek przez 6 godzin w temperaturze -15°C ,
- odtajanie w wodzie o temperaturze pokojowej przez 4 godziny,
- przechowywanie próbek przez resztę doby w pomieszczeniu laboratoryjnym o temperaturze wynoszącej około 18°C i wilgotności względnej powietrza 70%.

Mrożenie próbek rozpoczynano po 3 i 7 dniach od chwili ich wykonania. Wytrzymałość betonu określano bezpośrednio przed pierwszym zamrożeniem, po zakończeniu 10 cykli zamrażania i rozmrażania, po 28 dniach od daty wykonania próbek oraz po 28 dniach od daty zakończenia ostatniego cyklu zamrażanie-rozmrażanie. Wyniki badań zawiera tablica 9.

Wytrzymałość betonu żupkoporytowego w próbkach zamrażanych cyklicznie przez 10 dni i niezamrażanych

Rodzaj cementu	Rodzaj próbek	Jednostka	Zamrażanie po 3 dniach				Zamrażanie po 7 dniach			
			R ₃	R ₁₃	R ₂₈	R ₄₁	R ₇	R ₁₇	R ₂₈	R ₄₅
Portl. 350	8/8 zamrażane	kG/cm ²	-	264	348	370	-	295	383	405
		%	-	85	100	100	-	88	99	101
	8/8	kG/cm ²	147	310	350	370	157	337	386	399
	16/16	kG/cm ²	88	174	203	297	128	207	274	301
Portl. 350 +2% CaCl ₂	8/8 zamrażane	kG/cm ²	-	266	372	379	-	312	378	413
		%	-	87	100	99	-	93	101	108
	8/8	kG/cm ²	138	298	372	383	178	335	375	383
	16/16	kG/cm ²	98	198	267	276	143	217	280	297
Szybko- sprawny 400-S	8/8 zamrażane	kG/cm ²	-	341	377	412	-	325	392	399
		%	-	93	97	99	-	90	94	94
	8/8	kG/cm ²	208	367	391	420	213	363	418	428
	16/16	kG/cm ²	152	260	313	339	170	283	356	397

Cykliczne, 10-krotne zamrażanie i rozmrażanie miało znikomy wpływ na późniejszą wytrzymałość betonu łupkoporytowego. Jedynie w przypadku betonu z cementem 400-S i zamrażania po 7 dniach wpływ ten był wyraźniejszy.

7. Wnioski

7.1. Zbadany beton łupkoporytowy nadaje się do robót zimowych.

7.2. Przy stosowaniu cementu 350 bez dodatku chlorku wapnia beton łupkoporytowy powinien być zabezpieczony przed działaniem temperatury ujemnej przynajmniej w ciągu pierwszych 24 godzin po wykonaniu.

7.3. Z uwagi na możliwość szybkiego osiągnięcia wysokiej stosunkowo wytrzymałości i odporność na działanie ujemnej temperatury we wczesnym stadium tężenia, korzystne jest stosowanie 2-procentowego dodatku chlorku wapnia do cementu 350 i używanie cementu szybkosprawnego 400-S.

LITERATURA

- [1] MICIŃSKI E., WĘGRZYN S.: Wpływ niskich temperatur na wiązanie i twardnienie betonów lekkich. Praca dyplomowa wykonana pod kier. doc. T. Hopa. Gliwice, 1967.
- [2] KUBICA P., PODGÓRSKI J.: Wpływ niskich temperatur na wiązanie, twardnienie i niektóre własności fizyko-mechaniczne betonów lekkich. Praca dyplomowa wykonana pod kier. doc. T. Hopa. Gliwice 1968.

S t r e s z c z e n i e

Sprawdzono z pozytywnym wynikiem przydatność betonu łupko-porytowego do robót zimowych. Skład betonu doświadczalnego można scharakteryzować następującymi wskaźnikami:

$$C : K : PL : W = 1 : 3,4 : 0,68 : 0,84,$$

$$K_{0-4} : K_{4-10} = 1 : 1,$$

$$PL : K = 1 : 5 ,$$

$$C : (K + PL) = 1 : 4,$$

$$C : W = 0,84.$$

Przez PL oznaczono wagową zawartość popiołu lotnego w metrze sześciennym betonu, a symbole K_{0-4} i K_{4-10} oznaczają odpowiednio podobne zawartości kruszywa frakcji 0-4 mm i 4-10 mm. Okazało się, że przy umiarkowanym dozowaniu cementu szybkosprawnego 400-S (284 kg/m^3) beton o podanym składzie osiąga markę 300.

Dysponując dużą stosunkowo ilością wartości R_{w28} ustalonych przez zgniatanie próbek walcowych 8/8 i 16/16 można było z dobrym przybliżeniem określić dla badanych betonów stosunek $R_{\phi 8} : R_{\phi 16}$. Korzystając z tablic 7, 8 i 9 obliczono:

$$\begin{aligned} \text{dla betonu z cementem 350} \quad R_{\phi 8} &= (1,40 \div 1,70) R_{\phi 16} \\ \text{średnio } R_{\phi 8} &= 1,59 R_{\phi 16} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{dla betonu z cementem 350} \\ \text{i dodatkiem 2\% Ca Cl}_2 \quad R_{\phi 8} &= (1,27 \div 1,80) R_{\phi 16} \\ \text{średnio } R_{\phi 8} &= 1,44 R_{\phi 16} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{dla betonu z cementem 400-S} \quad R_{\phi 8} &= (1,17 \div 1,65) R_{\phi 16} \\ \text{średnio } R_{\phi 8} &= 1,40 R_{\phi 16} . \end{aligned}$$

Średnio dla wszystkich trzech betonów doświadczalnych

$$R_{\phi 8} = 1,5 R_{\phi 16}.$$

Jako szczególnie przydatny do robót zimowych można zalecić beton łupkoporytowy z cementem portlandzkim 350 i 2-procentowym dodatkiem Ca Cl_2 oraz beton łupkoporytowy z cementem szybkosprawnym 400-S.

ПРОЧНОСТЬ СЛАНЦЕВОГО АГЛОПОРИТОБЕТОНА ПРИ СЖАТИИ
ПОДВЕРГНУТОГО ДЕЙСТВИЮ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУР
В РАННИМ ВОЗРАСТЕ

Резюме

Проверено с позитивным результатом пригодность сланцевого аглопоритобетона к зимним работам. Состав опытного бетона характеризуется следующими параметрами:

$$\text{Ц} : \text{К} : \text{ЛЗ} : \text{В} = 1 : 3,4 : 0,68 : 0,84$$

$$K_{0-4} : K_{4-10} = 1 : 1$$

$$\text{ЛЗ} : \text{К} = 1 : 5$$

$$\text{Ц} : (\text{К} + \text{ЛЗ}) = 1 : 4$$

$$\text{Ц} : \text{В} = 0,84.$$

Знаком ЛЗ определено весовое содержание летучей золы в кубическом метре бетона. Весовое содержание крупного заполнителя (вспученный сланец) крупности 0-4 мм и 4-10 мм определено знаками K_{0-4} и K_{4-10} . Подтверждено, что при умеренном расходе быстротвердеющего цемента 400-S (284 кг/м^3) сланцевый аглопоритобетон достигает марку 300.

Распорядив великим числом данных R_{28} определённых раздавливанием цилиндрических образцов 8/8 ($d = h = 8 \text{ см}$) и 16/16 ($d = h = 16 \text{ см}$) возможно было с хорошим приближением вычислить для испытуемого бетона пропорции $R_{\phi 8} : R_{\phi 16}$. При помощи таблиц 7, 8, 9 вычислено:

для бетона с использованием
цемента 350

$$R_{\phi 8} = (1,40 \div 1,70) R_{\phi 16}$$

в среднем $R_{\phi 8} = 1,59 R_{\phi 16}$

для бетона с использованием
цемента 350 и с добавкой 2%
 CaCl_2

$$R_{\phi 8} = (1,27 \div 1,80) R_{\phi 16}$$

в среднем $R_{\phi 8} = 1,44 R_{\phi 16}$

для бетона с использованием
цемента 400-S

$$R_{\phi 8} = (1,17 \div 1,65) R_{\phi 16}$$

в среднем $R_{\phi 8} = 1,40 R_{\phi 16}$.

В среднем для этих трёх испытанных бетонов

$$R_{\phi 8} = 1,5 R_{\phi 16}$$

Как особенно пригодный к зимним работам возможно рекомендо-
вать сланцевый аглопоритобетон с использованием цемента 350 и
с добавкой 2% CaCl_2 а также сланцевый аглопоритобетон с исполь-
зованием быстротвердеющего цемента 400-S.

COMPRESSIVE STRENGTH OF EXPANDED SHALE CONCRETE INFLUENCED BY NEGATIVE TEMPERATURE IN THE EARLY TIME OF CURING

S u m m a r y

Usefulness of expanded shale concrete for work in winter was
succesfully tested. The mix proportions were as follows:

$$C : K : PL : W = 1 : 3,4 : 0,68 : 0,84,$$

$$K_{0-4} : K_{4-10} = 1 : 1,$$

$$PL : K = 1 : 5,$$

$$C : (K + PL) = 1 : 4,$$

$$C : W = 0,84.$$

Weight of fly ash in a cubic meter of concrete was signed by PL. By K_{0-4} and K_{4-10} were signed the adequate contents of fine (0-4 mm) and coarse (4-10 mm) lightweight aggregate. It was found that when the moderate batching (284 kg/m^3) of high-early-strength cement 400-S is placed the quality of expanded shale concrete about 300 kg/cm^2 can be obtain.

Having the large number of strength data of concrete determined in this work by crushing the cylindrical specimens 8/8 ($d = h = 8 \text{ cm}$) and 16/16 ($d = h = 16 \text{ cm}$) it was able to obtain with a good approximation the proportions of $R_{\phi 8} : R_{\phi 16}$. With the aid of the tables number 7, 8 and 9 was calculated:

for concrete on portland
cement 350

$$R_{\phi 8} = (1,40 \div 1,70) R_{\phi 16}$$

$$\text{average } R_{\phi 8} = 1,59 R_{\phi 16}$$

for concrete on portland
cement 350

with admixture 2% CaCl_2

$$R_{\phi 8} = (1,27 \div 1,80) R_{\phi 16}$$

$$\text{average } R_{\phi 8} = 1,44 R_{\phi 16}$$

for concrete on high-early-
strength cement 400-S

$$R_{\phi 8} = (1,17 \div 1,65) R_{\phi 16}$$

$$\text{average } R_{\phi 8} = 1,40 R_{\phi 16}.$$

For all three concretes which were tested in this work

$$R_{\phi 8} = 1,5 R_{\phi 16}.$$

As a specially usefulness for work in winter can be recommended expanded shale concrete on portland cement 350 with 2% admixture of CaCl_2 and expanded shale concrete on high-early-strength cement 400-S.