

Edward OLSZEWSKI

## BETONY Z KRUSZYW ŁUPKOWYCH

Streszczenie. W pracy podano charakterystykę kruszyw i betonów łupkowych, omówiono czynniki hamujące wykorzystywanie kruszyw łupkowych do produkcji betonów konstrukcyjnych oraz przedstawiono wyniki badań dotyczących trwałości betonów łupkowych i ich parametrów fizyko-mechanicznych.

### 1. Wstęp

Wykonawstwo budowlane odczuwa poważny deficyt kruszywa. Szczególnie duże niedobory kruszyw występują na terenie województwa katowickiego. Najbardziej realną drogą do złączenia rosnącego na terenie Śląska deficytu kruszywa naturalnych jest maksymalne wykorzystywanie odpadów przemysłowych do produkcji kruszyw spiekanych. Kruszywa spiekane nie mogą jednakże, przynajmniej w najbliższym okresie, wypełnić całego niedoboru kruszyw tradycyjnych, albowiem produkowane są w stosunkowo małych ilościach. W znikomym natomiast stopniu próbowano dotąd użytkowywać do produkcji kruszyw najbardziej masowy odpad na Śląsku, jakim są łupki przywęglowe samoczynnie przepalone na hałdach kopalnianych.

Na terenie woj. katowickiego znajduje się obecnie 88 hałd nadpoziomowych o łącznej kubaturze około 126 mln m<sup>3</sup> i zajmujących powierzchnię około 750 ha. Wśród nich 16 jest czynnych termicznie (palących się) o kubaturze około 40 mln m<sup>3</sup>, a 43 hałdy o kubaturze ponad 45 mln m<sup>3</sup> charakteryzują się zakończonymi procesami termicznymi. Szczególnie dobre jakościowo łupki przepalone zalegają hałdy kopalń węgla kamiennego: Rydułtowy (2,5 mln m<sup>3</sup>), Chwałowice (2,0 mln m<sup>3</sup>), Rymer (1,5 mln m<sup>3</sup>), Dębieńsko (2,0 mln m<sup>3</sup>), Silesia (1,0 mln m<sup>3</sup>), Bolesław Śmiały (0,8 mln m<sup>3</sup>), Boże Dary (2,7 mln m<sup>3</sup>), Lenin (2,5 mln m<sup>3</sup>), Zabrze (1,3 mln m<sup>3</sup>), Makoszowy (0,5 mln m<sup>3</sup>), Halemba (1,0 mln m<sup>3</sup>), Rozberk (1,2 mln m<sup>3</sup>), Bytom (2,5 mln m<sup>3</sup>).

Z tej okazałej bazy surowcowej produkuje się w skali rocznej niewiele ponad 0,6 mln ton kruszywa budowlanego.

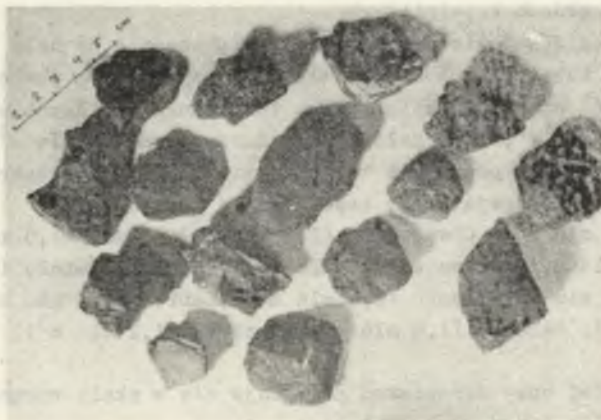
## 2. Charakterystyka kruszyw i betonów łupkowych

Łupek przywęglowy przepalony to materiał uzyskany w wyniku całkowitego zakończenia się procesów termicznych na hałdzie. Łupek taki posiada charakterystyczne zabarwienie od czerwonego poprzez ceglaste do ciemnożółtego. Struktura przepalonego łupka jest dość różnorodna w zależności od warunków, jakie istniały w okresie palenia się hałdy oraz składu chemicznego i własności fizycznych składowanego na hałdzie surowca.

Spotyka się łupki przepalone występujące w postaci dużych zwartych trył o dobrze wypalonym i zwartym czerepie, jak również takie, które mimo przepalania zachowały swą charakterystyczną strukturę warstwową przy równoczesnej dużej zawartości ziarn zwietrzałych.

Kruszywo łupkowe otrzymuje się w wyniku mechanicznego rozdrobnienia łupków przepalonych. Cechą charakterystyczną kruszywa łupkowego jest jego nietypowa barwa - od czerwonej do ciemnożółtej, nieregularny o ostrych krawędziach kształt ziaren oraz spotykana warstwowa struktura (rys. 1). Ciężar nasypowy kruszywa łupkowego jest stosunkowo wysoki i wynosi:

Dla frakcji	Bez zagęszczenia ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	Po zagęszczeniu ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )
0 - 5 mm	1100 - 1450	1350 - 1650
5 - 10 mm	1050 - 1350	1300 - 1550
10 - 20 mm	1050 - 1300	1200 - 1400



Rys. 1. Kruszywo łupkowe

Na podstawie ciężaru nasypowego kruszywo łupkowe należy zaliczyć raczej do kruszyw zwykłych. Tylko lżejsze odmiany łupka przepalonego, spotykane w praktyce bardzo rzadko, spełniają wymagania ciężarowe stawiane kruszywom lekkim. Do składników szkodliwych mogących występować w kruszywie łupkowym zaliczyć należy związki siarki oraz niespalony węgiel.

Frakcja 0-5 mm kruszywa łupkowego charakteryzuje się z reguły najgorszą jakością, gdyż najczęściej zawiera szkodliwe zanieczyszczenia w postaci węgla i siarki oraz ziarna strukturalnie słabe.

Z uwagi na stosunkowo wysoki ciężar samego kruszywa z łupków przepalonych, betony z niego wykonane znajdują się na pograniczu betonów lekkich i zwykłych.

Ciężar objętościowy betonu łupkowego w zależności od struktury i ciężaru kruszywa łupkowego wynosić może:

Dla betonu o strukturze	kg/m <sup>3</sup>
jamistej	1400 - 1700
półzwartej (20-30% kruszywa frakcji 0-5 mm)	1700 - 2000
zwartej	1850 - 2150

Wytrzymałość na ściskanie betonu łupkowego na ogół nie przekracza 200 kg/cm<sup>2</sup>, a z dodatkiem piasku naturalnego 300 kg/cm<sup>2</sup>. W warunkach laboratoryjnych, przy zachowaniu starannych warunków wykonania, można uzyskać z samego łupka wytrzymałość betonu do 250 kg/cm<sup>2</sup>.

Ze względu jednak na trudną do wyeliminowania dużą zmienność cech kruszywa łupkowego, praktyczny zakres stosowania kruszywa łupkowego został ograniczony w myśl aktualnej normy BN-69/6722-01 [1] do betonów marki nie przekraczającej 170.

Beton łupkowy, jak dowiodła praktyka, jest gorzej urabialny i mniej szczelny od betonu zwykłego na kruszywie naturalnym. Dlatego punkt piaskowo-kruszywa łupkowego powinien być większy od 40%.

Przykładowe charakterystyki betonu łupkowego podane są w tabl. 1 i 2.

### 3. Czynniki hamujące wykorzystywanie kruszyw łupkowych do produkcji betonów

Główną przyczyną bardzo niskiego w stosunku do potencjalnej bazy surowcowej poziomu produkcji kruszywa budowlanego z przepalonych kopalnianych hałd jest niski popyt na kruszywo łupkowe, będący wyrazem braku zaufania do niego ze strony praktyków budowlanych. Kruszywo z łupków samoczynnie przepalonych jest tworzywem stosunkowo mało rozpoznany, a ponadto charakteryzuje się, w porównaniu z innymi kruszywami naturalnymi i sztucznymi, stosunkowo niską jednorodnością składu chemicznego. Straty praże-

Tablice 1

1. Przykładowe składniki betonu żupkowego dla różnych marek (konsystencja betonu gęstoplastyczna)

Ip.	Marka betonu	Uziarnienie		Skład 1 m <sup>3</sup> betonu kg/m <sup>3</sup>			Gęstość pozorna		
		Rodzaj frakcji	Rozdział frakcji (%)	Kruszywo żupkowe	Cement portlandzki "350"	Woda (około)	Piasek naturalny	W stanie świeżym (kg/m <sup>3</sup> )	W stanie suchym (kg/m <sup>3</sup> )
1	30 <sup>x</sup>	5 - 10 lub	100 lub	1200 - 1350	190 - 210 210 - 230	155 160	-	1600 - 1750 1680 - 1780	1530 - 1680 1600 - 1700
2	50 <sup>x</sup>	5 - 10	50,50		240 - 260	170	-	1700 - 1820	1630 - 1750
3	70 <sup>x</sup>	10 - 20 lub	100						
		10 - 20							
4	70	0 - 5	20 - 40		200 - 230	215	-	1800 - 1900	1740 - 1850
5	90	5 - 10	30 - 40	1300 - 1500	230 - 250	225	-	1800 - 1900	1740 - 1850
6	110	10 - 20	30 - 40		250 - 275	235	-	1850 - 1950	1770 - 1900
7	110				240 - 260	240	-	1950 - 2050	1880 - 1970
8	140	0 - 5	50 - 60	1450 - 1550	270 - 280	250	-	2000 - 2100	1940 - 2050
9	170	5 - 10		1450 - 1550	320 - 360	260	-	2000 - 2100	1950 - 2040
10	170		10 - 30	1280 - 1320	280 - 300	250	300 - 330	2050 - 2150	1980 - 2100
11	200			1500 - 1550	360 - 380	280	-	2000 - 2150	1960 - 2100
12	200	10 - 20	10 - 30	950 - 1050	330 - 360	270	600 - 650	2150 - 2200	2080 - 2140
13	250			900 - 1000	370 - 390	290	600 - 700	2150 - 2250	2100 - 2180

x) betony jamiste

Tablica 2

Cechy fizyko-mechaniczne betonu łupkowego

Cechy fizyczne					
1	2	3	4	5	6
Gęstość pozorna (kg/m <sup>3</sup> )	Niesiakiowość wagowa (%)	Mrozoodporność po 25 cyklach w temp. -20°C	Skurcz liniowy o/oo	Współczynnik przewodności cieplnej (kcal/m.h.°C)	Ogniotrwałość zwykła oraz pod obciążeniem (SP)
dla betonu zwanego od 1700 - 2150	4 - 12	na ogół zadawana, zależąca zwłaszcza dla betonów $R_w > 140$	po 90 dniach 0,3 - 0,6 końcowy 0,5 - 0,9	dla betonu suchego 0,35 - 0,60, dla betonu o norm. wilg. $W = 5 - 6\%$ 0,40 - 0,75	zwykła 125/128 pod obciążeniem temp. mięk. 1140-1250°C temp. odpowiadająca zgnieceniu próbki 1160-1170°C
Cechy mechaniczne x)					
1	2	3	4	5	6
Wytrzymałość na ściskanie (kg/cm <sup>2</sup> )	Wytrzymałość na rozciąganie (kg/cm <sup>2</sup> )	Wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu (kg/cm <sup>2</sup> )	Współczynnik odkształcalności podłużnej przy ściskaniu (kg/cm <sup>2</sup> )	Przyczepność stali zbrojeniowej do betonu (kg/cm <sup>2</sup> )	Ścieralność na tarczy Bohmego
do około 200 z piaskiem do około 250	metodą brazylijską do 18	od 12 do 30	$E_{b1}$ od 110 do 185 $E_{b10}$ od 130 do 200	dla stali sztabkowej od 15 - 50	Wytrzymałość betonu nagrzanego do temperatury 500°C
					spadek R o ca. 25%

x) Dolne wartości podane w kolumnach 3, 4 i 5 odnoszą się do betonu marki  $R_w$  110 - 170, a górne wartości do betonu marki  $R_w$  170 - 250

nia w kruszywie łupkowym wynoszą 1-6% a sporadycznie dochodzą do 12%. Zawartość rozpuszczalnych w  $2nHCl$  siarczanów ( $SO_3$ ) wynosi 0,5 - 6% a sporadycznie zaś dochodzi nawet do 14%. Siarczki S występują w kruszywie łupkowym w mniejszych ilościach, bo od 0,1 do 1%.

O ile zanieczyszczenia kruszywa łupkowego niespalonym węglem można łatwo rozpoznać po ciemnym zabarwieniu i usunąć, to związki siarki rozpoznawalne są tylko laboratoryjnie. Stwarza to ryzyko przedostania się do produkcji kruszywa zanieczyszczonego mogącego destrukcyjnie oddziaływać na beton, a w konsekwencji wpływać ujemnie na trwałość konstrukcji budowlanej. Jest rzeczą charakterystyczną, że ani norma na kruszywo łupkowe ani żadna inna z norm czy instrukcji dotyczących kruszyw betoniarskich naturalnych lub sztucznych nie wiąże wymaganych ograniczeń odnośnie zawartości związków siarki z wilgotnością środowiska, w którym znajduje się beton. Takie traktowanie omawianego problemu w przepisach normowych jest z punktu widzenia naukowego i czysto praktycznego niewłaściwe.

Niebezpieczeństwo destrukcyjne wpływu związków siarki zawartych w kruszywie na trwałość betonu rośnie gwałtownie przy wzroście zawilgocenie środowiska. Tworzą się bowiem wówczas w dużych ilościach uwodnione siarczany i siarczanogliniany wapnia, które krystalizując powiększają znacznie swoją objętość, powodując częściowe lub całkowite zniszczenie struktury betonu.

#### 4. Badania kruszyw i betonów łupkowych

W celu przełamania tradycyjnego braku zaufania praktyków budowlanych do kruszywa łupkowego podjęto w Ośrodku Badawczo-Rozwojowym Budownictwa Węglowego kompleksowe badania dotyczące trwałości i parametrów fizyko-mechanicznych betonów łupkowych [2].

##### 4.1. C e l i z a k r e s b a d a ń

Zasadniczym celem podjętych badań było określenie przydatności kruszywa z łupków s<sub>8</sub>moczymiennie przepalonych do produkcji betonów konstrukcyjnych w aspekcie ich trwałości w różnych warunkach wilgotnościowych i przy różnych stopniach zanieczyszczenia kruszywa rozpuszczalnymi siarczanami.

Praca miała również na celu poszerzenie dotychczasowego bardzo skromnego dorobku badawczego w zakresie cech fizyko-mechanicznych betonów łupkowych, a zwłaszcza zmienności tych cech w czasie.

Zekres pracy w części doświadczalnej obejmował:

- badania strukturalne betonów łupkowych,
- badania wybranych cech fizyko-mechanicznych betonów łupkowych.

Badano, po rocznym okresie przechowywania w różnych warunkach wilgotnościowych, strukturę, skład fazowy oraz wybrane cechy fizyko-mechaniczne betonów konstrukcyjnych marki  $R_w = 200$ , sporządzonych przy użyciu kruszyw

łupkowych o możliwie zbliżonych cechach fizyko-mechanicznych, lecz o zróżnicowanej zawartości rozpuszczalnych siarczanów (poniżej 1% - beton I, ok. 2% - beton II i ok. 3% - beton III).

#### 4.2. Program badań

Badania strukturalne obejmowały: kruszywa łupkowe wyjściowe i wyodrębnione z betonów, betony łupkowe, spoiwa wyodrębnione z betonów oraz materiał z warstwy kontaktowej spoiwo-kruszywo betonu łupkowego. Badania te zrealizowano metodami analizy: makroskopowej, mikroskopowej, rentgenometrycznej, spektrofotometrycznej w podczerwieni i derywatograficznej. W zakresie badań cech fizyko-mechanicznych (tabl. 3) określono: gęstość pozorną, wytrzymałość na ściskanie i na rozciąganie przy zginaniu, odkształcalność pod obciążeniem doraźnym, zmiany objętościowe, nasiąkliwość i mrozoodporność oraz przyczepność do stali zbrojeniowej. Ciała próbne przed badaniami przechowywano w trzech różnych środowiskach, a mianowicie: w pomieszczeniu laboratoryjnym w stanie powietrzno-suchym (P), w wodzie wodociągowej (W) oraz na otwartym poligonie w zmiennych warunkach ciepłno-wilgotnościowych (Z).

Próbki do badań zmian objętościowych przechowywano w specjalnych komorach ("suchej" i "mokrej") zapewniających stałe parametry ciepłno-wilgotnościowe.

Do sporządzania próbných ciał betonowych stosowano kruszywa łupkowe z hałd kopalni "Gliwice" i "Lenin" oraz cement portlandzki "Grodziec" marki 350.

#### 4.3. Wyniki badań

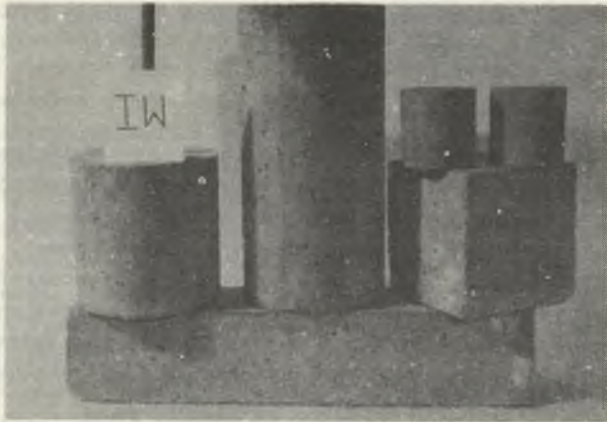
Betony sporządzone z kruszyw łupkowych zawierających poniżej 1,0%  $\text{SO}_3$  i ok. 2,0%  $\text{SO}_3$  niezależnie od stopnia wilgotności środowiska, w którym były przez okres jednego roku przechowywane, wykazały zwartą i mocną strukturę oraz cechy fizyczne i mechaniczne podobne do cech betonu zwykłego (rys. 2). Natomiast beton sporządzony z kruszywa łupkowego o zawartości ok. 3,0%  $\text{SO}_3$  już po ok. 5-6 tygodniach przechowywania w środowisku powietrznym o wilgotności względnej powyżej 90%, a zwłaszcza w wodzie ulegał wewnętrznej korozji, która przejawiała się początkowo naruszeniem (rys. 3) a następnie niszczeniem jego struktury i stopniowym pogarszaniem wszystkich cech fizyko-mechanicznych.

Wybrane wyniki badań cech fizyko-mechanicznych betonów łupkowych przedstawiono w tablicy 4.

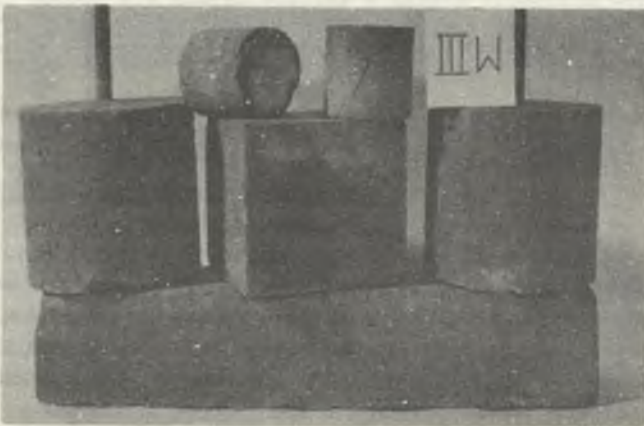
Obserwowane niszczenie struktury betonu łupkowego spowodowane było, jak dowiodły badania strukturalne, krystalizacją w porach betonu i na styku wypełniacz - spoiwo trudno rozpuszczalnych soli:

etryngitu  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot (30-32 \text{H}_2\text{O})$

oraz gipsu dwuwodnego  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ .



Rys. 2. Beton łupkowy I



Rys. 3. Beton łupkowy III



Tablica 3

Plan badań cech fizyko-mechanicznych

Ip.	Badana cecha	Rodzaj betonu		Wiek betonu w chwili badania T (dni)	Warunki przechowania ciał próbnych	Rodzaj próbek	Ilość próbek	
		marka betonu					na jedno oznaczenie	ogółem
1	Gęstość pozorna, wytrzymałość na ściskanie	I, II, III	200	28, 90, 180, 360	Stan pow. - suchy (P) otwarty poligon (Z) woda wodociągowa (W)	kostka o boku 15 cm	6	216
2	Wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu	I, III	200	28, 90, 360	" - "	belka 10x10x50 cm	3	54
3	Okształcalność pod obciążeniem dynamicznym (Eb <sub>1</sub> , Eb <sub>10</sub> )	I, III	200	28, 90, 360	" - "	walec $\phi$ 16 cm h = 32 cm	3	54
4	Zmiany objętościowe (skurcz - pęcznienie)	I, II, III	200	2, 7, 9, 12, 14, 18, 21, 24, 28, 35, 42, 55, 60, 67, 75, 81, 90, 120, 150, 180, 210, 240, 270, 300, 330, 360	komora "sucha" (temp. 18 + 2°C i wilg. = 65 ± 4%) komora "mokra" (temp. 18 + 2°C i wilg. 90%)	belka 10x10x50 cm	6	36
5	Nasiąkliwość wagowa, odporność na dział. mrozu	I, II, III	200	28, 90, 360	jak w poz. 1	walec $\phi$ 8 cm	12	216
6	Przyczepność do stali zbrojeniowej	I, III	200	28, 90, 360	jak w poz. 1	walec $\phi$ 16 cm	4	72

Tabela 4

Wybrane wyniki badań cech fizyko-mechanicznych betonów żupkowych

Badana cecha	Mieszanka betonowa I (na kruzywie o zawartości poniżej 1% SO <sub>3</sub> )				Mieszanka betonowa III (na kruzywie o zawartości około 3% SO <sub>3</sub> )			
	stan powietrzno- suchy (P)		woda wodociągowa (W)		stan powietrzno- suchy (P)		woda wodociągowa (W)	
	wiek cięż próbnych (dni)	28	90	360	wiek cięż próbnych (dni)	28	90	360
Wytrzymałość na ściskanie R <sub>k</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	250	271	316	313	246	251	281	187
	23	25	27	29	12	13	15	8
Wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu (kg/cm <sup>2</sup> )								
Odształcalność pod obciążeniem doraź- nym (kg/cm <sup>2</sup> )	181000	186300	192500	193500	174000	179000	182000	naruszenie
	192500	194500	199500	200500	181500	185500	186500	struktury bet. "-"
Przyczepność do stali zbrojeniowej (kg/cm <sup>2</sup> )	47	57	64	65	18	21	22	4
	9,1	-	8,4	8,3	9,6	-	9,0	15,0
Mrozoodporność spadek Rc (%)	b.z.	-	b.z.	b.z.	-	-	-	spękan- do 1,5 mm
	4,6	-	2,2	10,7	26,8	-	22,0	całkow- ta utre- ta Rc

F<sub>b1</sub> - współczynnik odształcalności podłużnej przy pierwszym obciążeniu ścisującymF<sub>b10</sub> - współczynnik odształcalności podłużnej przy dziesiątym obciążeniu ścisującym

W pierwszym etapie procesów fizyko-chemicznych w betonie pod wpływem przenikających z kruszywa do zaczynu dużych ilości jonów siarczanowych powstawał etryngit, początkowo w fazie ciekłej zaczynu, a następnie topochemicznie, to jest w fazie stałej już po ukształtowaniu się trwałej struktury betonu.

W etapie następnym, wskutek wyczerpywania się krystalicznej postaci  $C_3A$  w wyniku reakcji hydrolizy, nastąpił proces przekształcenia się fazy etryngitowej w wodorotlenek glinowy i gips dwuwodny.

Ciśnienia krystalizacyjne związane z powstawaniem kryształków gipsu były powodem wtórnego naruszania struktury betonu.

Powstawanie etryngitu uważać można za stadium ważne, aczkolwiek przejściowe, w procesie naruszania struktury betonu łupkowego. Decydujące znaczenie miało osadzenie się w porach betonu oraz na styku zaczynu-kruszywo dużych, bo dochodzących do 0,3 mm, monokryształów gipsu.

Destrukcyjne procesy fizyko-chemiczne w betonie łupkowym rozpoczęły się bardzo wcześnie, bo już po 5-6 dniach przechowywania w wilgotnym środowisku. Świadczą o tym zmiany objętości betonu zarejestrowane aparatem Amslera.

Betony z kruszyw o zasiarczeniu ok. 3%  $SO_3$  już po 7 dniach przechowywania w komorze "mokrej" (temp.  $18^{\circ}C$  i wilgot.  $> 90\%$ ) wykazały pęcznienie rzędu 0,82 - 0,84 ‰, znacznie większe aniżeli betony z kruszyw o niższym poziomie zasiarczenia, tj. ok. 2%  $SO_3$  i poniżej 1,0%  $SO_3$  (rys. 4).

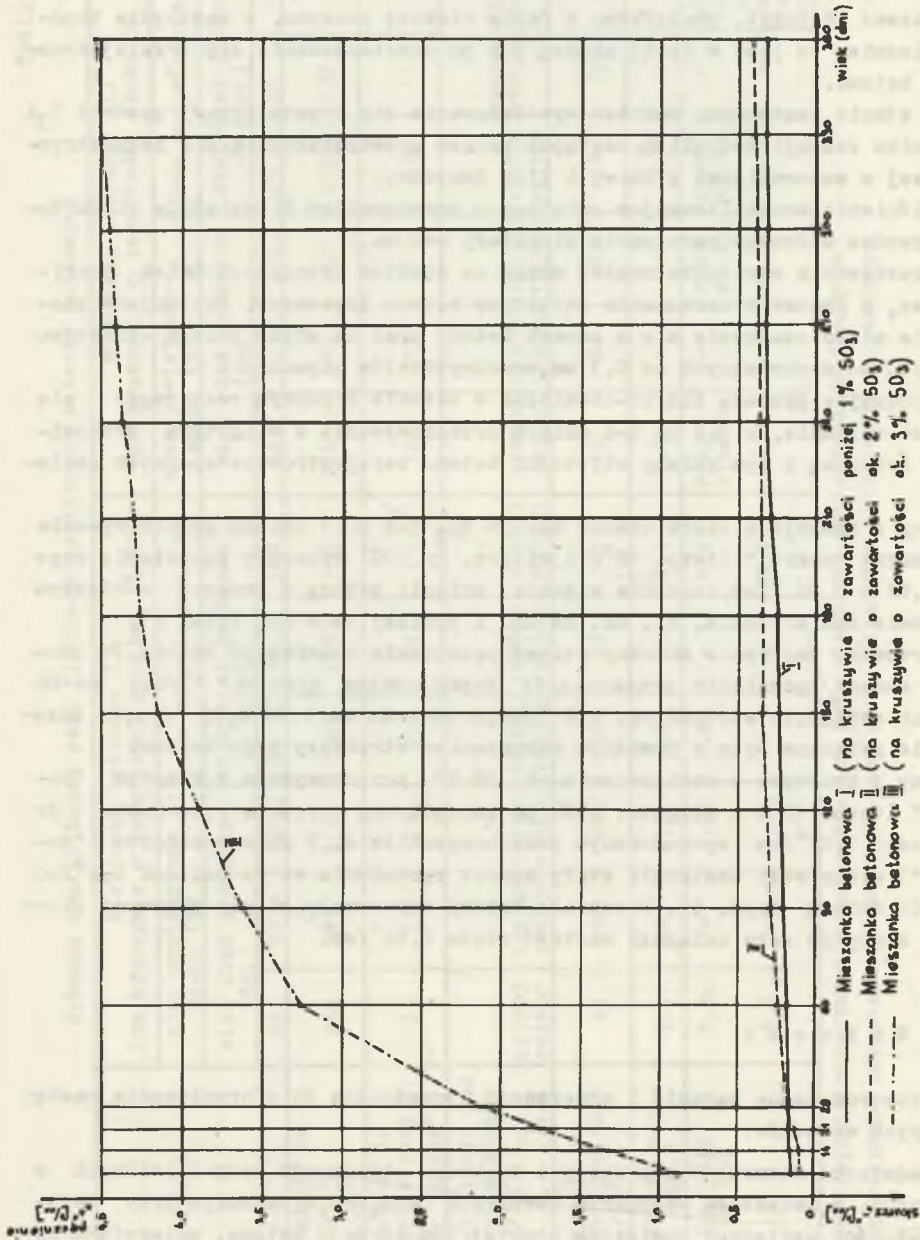
Obserwowano następnie znaczny wzrost pęcznienia omawianego betonu. Po około 9 dniach pęcznienie przekroczyło dopuszczalną granicę 1 ‰, po 28 dniach osiągnęło wartość ok. 2,2 ‰, a po roku wartość 4,53 ‰, co oczywiście związane było z poważnym naruszeniem struktury tego betonu.

Betony z kruszywa o zasiarczeniu ok. 3%  $SO_3$  przechowywane w komorze "suchej" (temp.  $18^{\circ}C$  i wilgotn. 65%) po początkowym wzroście pęcznienia do wartości 1,07 ‰ (spowodowanym przechowywaniem do 7 dnia w komorze "mokrej") wykazywały następnie stały spadek pęcznienia aż do poziomu 0,2 ‰ po 360 dniach (rys. 5). Pozostałe betony wykazywały ciągły przyrost skurczu, który po roku osiągnął wartość rzędu 0,84 ‰.

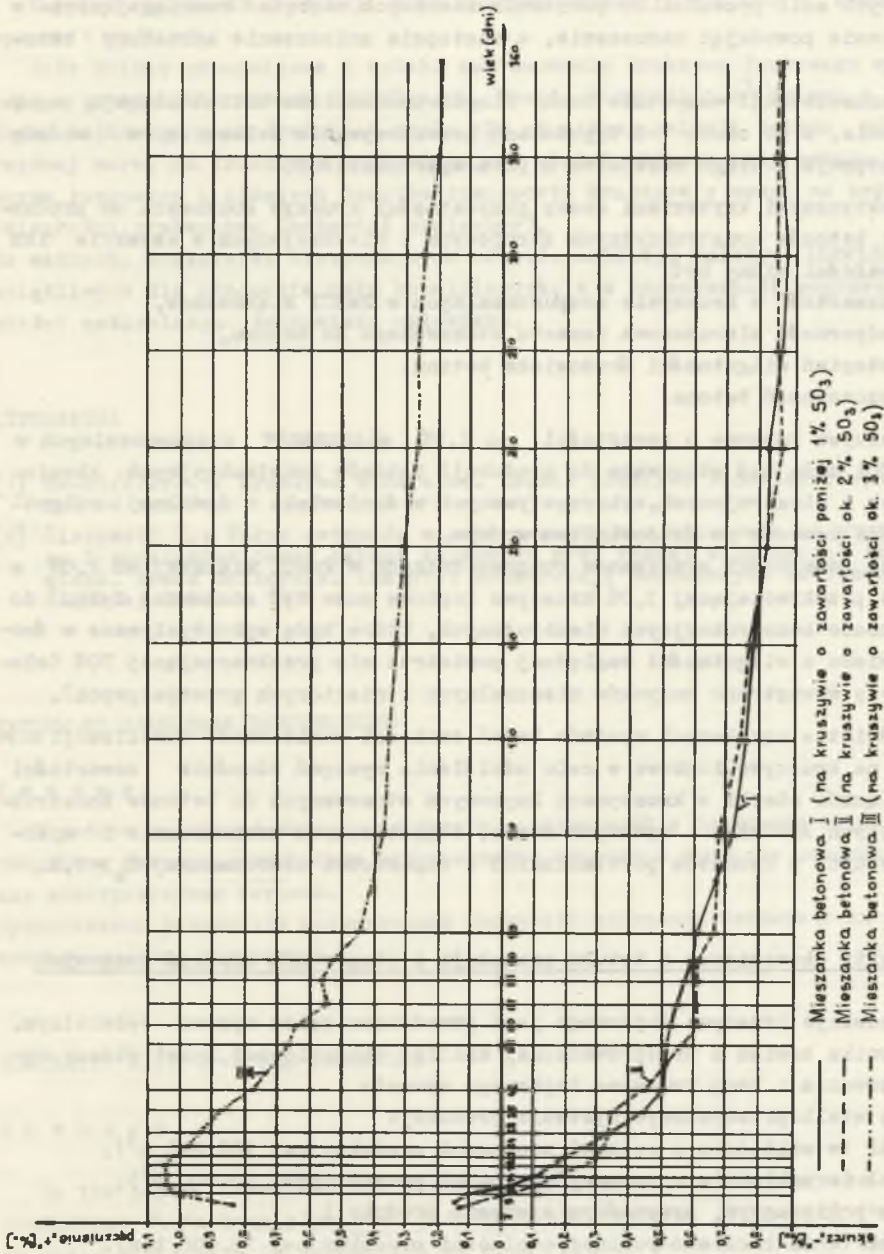
#### 4.4. W n i o s k i

Przeprowadzone badania i obserwacje upoważniają do sformułowania następujących wniosków:

- 1) nadmierne zawartość w kruszywie łupkowym siarczanów rozpuszczalnych w  $2nHCl$ , a zwłaszcza nadmierna zawartość  $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ , powoduje przy wilgotności względnej powietrza powyżej 90% korozję betonu, polegającą na wytwarzaniu się w porach betonu oraz na styku gruby wypełniacz-spoivo trudno rozpuszczalnych soli o zwiększonej objętości: etryngitu, wtórnego gipsu dwuwodnego.



Rys. 4. Zmiany objętości betonu żupkowego w temp. 18° ± 2°C i wilgotności względnej powietrza powyżej 90%



Rys. 5. Zmiany objętości betonu łupkowego w temp.  $18^{\circ} \pm 2^{\circ}C$  i wilgotności względnej powietrza  $65 \pm 4\%$

- 2) Krystalizacja w porach betonu i na styku wypełniacz - spoiwo pęczniejących soli prowadzi do powstania znacznych naprężeń rozciągających w betonie powodując naruszenie, a następnie zniszczenie struktury betonu.  
W konsekwencji wszystkie cechy fizyko-mechaniczne betonu ulegają pogorszeniu, a po około 7-8 tygodniach przechowywania zwłaszcza w wodzie następuje u niego całkowita utrata wytrzymałości.
- 3) Praktycznymi kryteriami oceny przydatności kruszyw łupkowych do produkcji betonów konstrukcyjnych zbrojonych i niezbrojonych w aspekcie ich trwałości winny być:
- zawartość w kruszywie rozpuszczalnych w  $2\text{NHCl}$  siarczanów,
  - odporność siarczanowa cementu stosowanego do betonu,
  - stopień wilgotności środowiska betonu,
  - szczelność betonu.
- 4) Kruszywo łupkowe o zawartości do 2,0% siarczanów rozpuszczalnych w  $2\text{NHCl}$  może być stosowane do produkcji betonów konstrukcyjnych zbrojonych i niezbrojonych, wykorzystywanych w środowisku o dowolnej wilgotności łącznie ze środowiskiem wodnym.  
Przy zawartości siarczanów rozpuszczalnych w  $2\text{NHCl}$  większej od 2,0% a nie przekraczającej 3,0% kruszywo łupkowe może być stosowane tylko do betonów konstrukcyjnych niezbrojonych, które będą wykorzystywane w środowisku o wilgotności względnej powietrza nie przekraczającej 70% (elementy wewnętrzne budynków mieszkalnych i niektórych przemysłowych).
- 5) W świetle uzyskanych wyników badań zachodzi konieczność nowelizacji normy na kruszywo łupkowe w celu uściślenia wymagań odnośnie zawartości związków siarki w kruszywach łupkowych stosowanych do betonów konstrukcyjnych średnich i wyższych marek, zagęszczanych mechanicznie i wykonywanych z cementów portlandzkich o odporności siarczanowej  $O_g > 0,8$ .

#### 5. Efekty ekonomiczne z tytułu produkcji i stosowania kruszyw łupkowych

Produkcja kruszywa łupkowego jest przedsięwzięciem wysoce opłacalnym. Jak wynika bowiem z przeprowadzonej analizy ekonomicznej, koszt własny wyprodukowania 1 tony kruszywa łupkowego wynosi:

- przy wielkoprzemysłowym systemie produkcji
  - 28 zł (w zakładzie o rocznej zdolności produkcyjnej  $100.000 \text{ m}^3$ ),
  - 28 zł (w zakładzie o rocznej zdolności produkcyjnej  $50.000 \text{ m}^3$ ),
- przy poligonowym, przenośnym systemie produkcji
  - 36 zł (w zakładzie o rocznej zdolności produkcyjnej 15.000 ton).

Zatwierdzona w obowiązującym cenniku cena sprzedaży 1 tony kruszywa łupkowego wynosi w zależności od frakcji 48 do 50 zł. Nakłady inwestycyjne na budowę stacjonarnego zakładu o rocznej zdolności produkcyjnej  $100.000 \text{ m}^3$  kruszywa łupkowego nie przekraczają 10 mln zł.

Są to nakłady szybko rentujące się: przy produkcji 100.000 m<sup>3</sup>/rok - w ciągu 1,5 roku, przy produkcji 50.000 m<sup>3</sup>/rok - w ciągu 3 lat.

Kapitałochłonność produkcji przy rocznej produkcji 100.000 m<sup>3</sup> kruszywa wynosi 1 zł/1 zł.

Duże efekty ekonomiczne z tytułu zastosowania kruszywa łupkowego występują w przedsiębiorstwach budowlanych. Koszt produkcji 1 m<sup>3</sup> betonu z kruszywa łupkowego jest średnio o około 122 zł niższy aniżeli betonu równorzędnej marki na kruszywie naturalnym, na skutek niższej ceny zakupu kruszywa łupkowego i niższych kosztów transportu kruszywa z uwagi na krótsze odległości przewozowe (materiał miejscowy).

Do ważnych, aczkolwiek niewymiernych efektów, zaliczyć należy likwidację uciążliwych dla otoczenia hałd kopalnianych, a w konsekwencji poprawę czystości naturalnego środowiska człowieka.

#### LITERATURA

- [1] BN-69/6722-01: Kruszywo mineralne. Lekkie kruszywo budowlane. Łupkoporyt ze zwałów.
- [2] Olszewski E.: Wpływ związków siarki zawartych w kruszywie na strukturę i podstawowe cechy betonu łupkowego przy różnej wilgotności środowiska. Praca doktorska. Instytut Konstrukcji Budowlanych Politechniki Śląskiej Gliwice 1974 r.

#### БЕТОНЫ ИЗ СЛАНЦЕВЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ

#### Р е з ю м е

В работе представлены характеристики заполнителей и сланцевых бетонов. Обсуждены факторы, тормозящие использование сланцев в качестве заполнителей для конструктивных бетонов.

Представлены результаты исследований прочности сланцевых бетонов и их механико-физических параметров.

#### CONCRETES MADE OF SHALE AGGREGATE

#### S u m m a r y

In the paper there has been given a characteristic of aggregates and concretes. There have also been discussed the factors, hampering the use of shale aggregates in production of construction concretes. The article shows the testing procedure and its results concerning durability of shale concretes and their physico-mechanical parameters.