

# Beton z dodatkiem odpadu serpentynitowego

## Concrete with addition of the serpentinite waste

### 1. Wprowadzenie

Odpady przemysłowe są powszechnie stosowane jako wtórne surowce lub dodatki mineralne w produkcji materiałów budowlanych. Jedną z możliwych metod wtórnego wykorzystania odpadów przemysłowych jest ich zastosowanie jako dodatku mineralnego do produkcji betonu, a w przypadku skutecznego superplastyfikatora i małego stosunku w/c także samozagęszczającego się betonu (SB) i BWW.

Celem prac doświadczalnych było zbadanie wpływu dodatku odpadu serpentynitowego z Dobsiny poddanego i nie poddanego obróbce, na właściwości betonu bez i z dodatkiem superplastyfikatora, a także na właściwości wibrowanego BWW i SB z domieszką opartą na polikarboksylanie.

### 2. Materiały

Kruszywo:

- naturalny piasek 0/2 mm,
- żwir 0/4 i 4/8 mm,
- kruszony kamień 8/16 mm.

Materiał wiążący:

- CEM I 52,5 N.

Domieszki:

- **Stachment 2050 (P1)** – superplastyfikator oparty na polikarboksylanach. Jest roztworem brązowego koloru, o gęstości  $1060 \pm 30 \text{ kg/m}^3$ , bez chlorków. Zalecany dodatek mieści się w przedziale od 0,15 do 1 kg na 100 kg cementu. Domieszkę dodaje się do wody zarobowej lub, z lepszym efektem, do mieszanki przy końcu mieszania (16).
- **Berament HP1 (P2)** – superplastyfikator oparty na zmodyfikowanym polikarboksylanie. Jest to roztwór brązowego koloru o gęstości  $1060 \pm 20 \text{ kg/m}^3$ , zawartość fazy stałej wynosi  $30 \pm 1,5\%$  i zawartość chloru maksymalnie 0,025%. Zalecany dodatek jest zawarty w przedziale 0,5–1,6 kg roztworu na 100

### 1. Introduction

The industrial wastes are commonly used as secondary raw materials or mineral additions in the productions of building materials. One of the possible ways for the re-utilization of industrial wastes is their application as mineral addition in concrete production, and in the case of effective superplasticizer and low water-cement ratio also SCC and HPC.

The goal of experimental works was to determine the influence of addition of untreated and treated serpentinite waste from Dobsina, on the properties of concrete without superplasticizer as well as on the properties of vibrated HPC and SCC with superplasticizer based on polycarboxylate.

### 2. Materials

Aggregate:

- natural silica sand 0/2 mm,
- gravel 0/4 and 4/8 mm,
- crushed stone 8/16 mm.

Binder:

- CEM I 52.5 N

Admixtures:

- **Stachment 2050 (P1)** – superplasticizer based on polycarboxylates. It is solution of brown colour, with density of  $1060 \pm 30 \text{ kg/m}^3$  and without chlorides. The recommended addition is 0.15 to 1.0 kg for 100 kg of cement. Admixture is added to the mixing water, or with the higher effect, into the wet mixture toward the end of mixing (16).
- **Berament HP1 (P2)** – superplasticizer based on the modified polycarboxylate. It is the solution of brown colour, with density of  $1060 \pm 20 \text{ kg/m}^3$ . Solid content is  $30.0 \pm 1.5\%$  and chloride content is max. 0.025 %. Recommended addition is 0.5–1.6 kg of solution for 100 kg of cement. Typical addition is 0.7% of cement mass. It can not be added to dry mixture (17).

kg cementu. Typowy dodatek wynosi 0,7 % masy cementu. Można go dodawać do suchej mieszanki (17).

Dodatki mineralne:

- **Odpad serpentynitowy** nie poddany obróbce (NOS) z Dobsiny jest krzemianem magnezu i zawiera minerały należące do grupy serpentynitu: lizardyt i chryzotyl. Zawartość tych dwóch minerałów wynosi około 80 do 95% mas. skały. Ogólnie skała serpentynowa składa się głównie z uwodnionego krzemianu magnezu  $3MgO \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ . Ten odpad był eksploatowany z hałdy i zawierał pozostałości rakotwórczego azbestu chryzotylowego. Analiza chemiczna wykazała, że odpad składa się głównie z  $SiO_2$  (około 42%) i  $MgO$  (około 38%), małej ilości  $Fe_2O_3$  (2-3%) strat prażenia około 12%, natomiast inne tlenki:  $Al_2O_3$ ,  $CaO$  i  $Cr_2O_3$  w małych ilościach (9).
- **Odpad serpentynitowy** poddany obróbce (POS) z Dobsiny traktowano kwasem solnym. Do roztworu przeszedł przede wszystkim magnez, a pozostałość stała zawierała głównie  $SiO_2$ , który oddzielono stosując perkolację. Roztwór składał się głównie z  $MgCl_2$ . Po perkolacji w 25% HCl (przez jedną godzinę) i po magnetycznej separacji, odpad serpentynitowy zawierał głównie  $SiO_2$  (93%). Zawierał on małe ilości  $MgO$  (~4,6%),  $Al_2O_3$  (~1%),  $Fe_2O_3$  (0,4%); straty prażenia 0,7% (9).

### 3. Doświadczenia

#### 3.1. Skład mieszanek

Składy mieszanek podano w tablicach 2, 3 i 4. Do niektórych betonów nie dodano superplastifikatora, do innych zastosowano domieszkę Stachement 2050 (P1), a do betonu z POS domieszkę Berament HPI (P2). Zawartość wody dobrano w taki sposób,

Tablica 1 / Table 1

BADANE WŁAŚCIWOŚCI BETONU

EXAMINED PROPERTIES OF CONCRETE

Wibrowany beton piaskowy Vibrated fine-grained concrete	Wibrowany beton Vibrated concrete	Betony samozagęszczalne Self compacting concretes
<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Konsystencja / Consistency</li> <li>◆ Gęstość nasypowa / Bulk density</li> <li>◆ Wytrzymałość na ściskanie po 28 dniach / Compressive strength after 28 days</li> <li>◆ Wytrzymałość na zginanie po 28 dniach / Flexural strength after 28 days</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Konsystencja / Consistency</li> <li>◆ Gęstość nasypowa / Bulk density</li> <li>◆ Wytrzymałość na ściskanie po 24 godzinach / Compressive strength after 24 hours</li> <li>◆ Wytrzymałość na ściskanie po 28 dniach / Compressive strength after 28 days</li> <li>◆ Wytrzymałość na zginanie po 28 dniach / Flexural strength after 28 days</li> <li>◆ Dynamiczny moduł sprężystości po 28 dniach / Dynamic modulus of elasticity after 28 days</li> <li>◆ Przepuszczalność / Permeability</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Konsystencja / Consistency</li> <li>◆ Gęstość nasypowa / Bulk density</li> <li>◆ Wytrzymałość na ściskanie po 24 godzinach / Compressive strength after 24 hours</li> <li>◆ Wytrzymałość na ściskanie po 28 dniach / Compressive strength after 28 days</li> <li>◆ Wytrzymałość na zginanie po 28 dniach / Flexural strength after 28 days</li> <li>◆ Dynamiczny moduł sprężystości po 28 dniach / Dynamic modulus of elasticity after 28 days</li> </ul>

Mineral additions:

- **Untreated serpentinite waste (USW)** – from Dobsina is a magnesium silicate with some minerals belonging to the group of serpentine - lizardite and chrysotile. Content of these two minerals amount to approximately 80 to 95 % of the rock mass. In general, the serpentinite rock is mainly composed of hydrated magnesium silicate  $3MgO \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ . This waste was exploited from a dump and contained the residue from cancerigenic chrysotilic asbestos. The chemical analysis has shown that the waste predominantly contains  $SiO_2$  (approximately 42 %), and  $MgO$  (approximately 38 %), small amount of  $Fe_2O_3$  (2 to 3 %), ignition losses of about 12 %, while some other oxides:  $Al_2O_3$ ,  $CaO$  and  $Cr_2O_3$  in small quantities (9).
- **Treated serpentinite waste (TSW)** – from Dobsina was treated by hydrochlorid acid. The soluble portion contained mostly magnesium and the solid phase –  $SiO_2$ , which was separated by percolation. The solution was composed mainly of  $MgCl_2$ . After percolation in 25% HCl (1 hour) and after magnetic separation, the serpentinite waste consists mainly of  $SiO_2$  (93%). It contains in minor quantities:  $MgO$  (~4.6%),  $Al_2O_3$  (~1%),  $Fe_2O_3$  (0.4%), loss of ignition 0.7% (9).

### 3. Experiments

#### 3.1. Mixtures composition

The composition of mixtures is given in tables 2, 3 and 4. Some concretes were without superplasticizer and other with superplasticizer Stachement 2050 (P1), and to concretes with TSW, superplasticizer Berament HP1 (P2), was added. The amount of water was adjusted in order to get the comparable consistency of the mixture with and without superplasticizer. The USW addition

Tablica 2 / Table 2

## SKŁAD MIESZANEK WIBROWANEGO BETONU PIASKOWEGO

## MIXTURES COMPOSITION OF FINE-GRAINED VIBRATED CONCRETE

Symbol Label	Dodatek Addition		Zawartość składników, g w 1 zarobie Content of componenets, g for 1 batch						
	Rodzaj Kind	Ilość Amount	0/2	CEM	NOS USW	woda water	P1	w/c	w/(c+dod.) w/(c+add.)
0.M		0%	1350	450	-	216	-	0,48	0,48
1.M		0%	1350	450	-	171	4,5	0,38	0,38
2.M	NOS USW	10%	1350	405	45	216	-	0,53	0,48
3.M		10%	1350	405	45	171	4,5	0,42	0,38
4.M		20%	1350	360	90	216	-	0,60	0,48
5.M		20%	1350	360	90	171	4,5	0,48	0,38

Tablica 3 / Table 3

## SKŁAD MIESZANEK WIBROWANEGO BETONU

## MIXTURES COMPOSITION OF VIBRATED CONCRETE

Symbol Label	Dodatek Addition		Zawartość składników, kg w 1 m <sup>3</sup> betonu Content of components, kg for 1 m <sup>3</sup> of ready concrete										
	Rodzaj Kind	Ilość Amount	Kruszywo Aggregate			CEM	NOS USW	POS TSW	Woda Water	P1	P2	w/c	w (c+dod.)
			0/4	4/8	8/16								w (c+ad.)
0		0%	900	330	540	450	-	-	-	-	-	0,44	0,44
1		0%	900	330	540	450	-	-	-	4,5	-	0,30	0,30
2		0%	900	330	540	450	-	-	-	-	4,5	0,30	0,30
3	NOS USW	10%	900	330	540	405	45	-	198	-	-	0,49	0,44
4		10%	900	330	540	405	45	-	135	4,5	-	0,33	0,30
5		20%	900	330	540	360	90	-	198	-	-	0,55	0,44
6		20%	900	330	540	360	90	-	135	4,5	-	0,38	0,30
7	POS TSW	10%	900	330	540	405	-	45	198	-	-	0,44	0,44
8		10%	900	330	540	405	-	45	135	4,5	-	0,33	0,30
9		10%	900	330	540	405	-	45	135	-	4,5	0,33	0,30

Tablica 4 / Table 4

## SKŁAD MIESZANEK SAMOZAGĘSZCZAJĄCEGO SIĘ BETONU

## MIXTURES COMPOSITION OF SELF COMPACTING CONCRETE

Symbol Label	Dodatek Addition		Zawartość składników, kg w 1 m <sup>3</sup> betonu Content of components, kg for 1 m <sup>3</sup> of ready concrete									
	Rodzaj Kind	Ilość Amount	Kruszywo / Aggregate				CEM I 52,5N	NOS USW	P1	Woda Water	w/c	w (c+dod.)
			0/2	0/4	4/8	8/16						w (c+ad.)
1.S	NOS USW	20%	200	750	270	480	450	90	4,5	184	0,41	0,34
2.S		30%	200	750	270	480	450	135	4,5	199	0,44	0,34
3.S		40%	200	750	270	480	450	180	4,5	202	0,45	0,32

aby uzyskać porównywalną konsystencję mieszank bez i z dodatkiem superplastyfikatora. Dodatek NOS zastępował 10 i 20% cementu w betonach drobno ziarnistym i wibrowanym, a 20%, 30% i 40% cementu w przypadku SB. POS zastępował 10% cementu w wibrowanym betonie.

replaced 10 and 20% of cement in the case of fine – grained and vibrated concretes, and 20%, 30% and 40% of cement in the case of SCC. The TSW replaced 10% of cement in vibrated concrete.

Tablica 5 / Table 5

WŁAŚCIWOŚCI MIESZANEK I WIBROWANEGO BETONU PIASKOWEGO PO 28 DNIACH TWARDNIENIA

PROPERTIES OF MIXTURES AND VIBRATED FINE-GRAINED CONCRETE AFTER 28 DAYS OF HARDENING

Symbol Label	Dodatek Addition	Domieszka Plasticizer	Mieszanka Mixture	Po 28 dniach twardnienia After 28 days of hardening		
			Rozpływ według Flow according to STN EN 1015-3	Gęstość nasypowa Bulk density	Wytrzymałość na ściskanie Compressive strength	Wytrzymałość na zginanie Flexural strength
			mm	kg/m <sup>3</sup>	MPa	MPa
0.D	–	–	124,5	2123	39,5	6,69
1.D	–	1% P1	126,5	2256	56,4	7,26
2.D	10% NOS/USW	–	121,0	2069	31,9	5,73
3.D	10% NOS/USW	1% P1	117,5	2119	44,7	6,86
4.D	20% NOS/USW	–	111,0	2005	24,9	4,59
5.D	20% NOS/USW	1% P1	113,0	2003	33,2	5,86

Wykaz właściwości dotyczących mieszanek i stwardniałych betonów podano w tablicy 1. Oznaczono przepuszczalność próbek bez dodatków i tylko próbek z POS. Przepuszczalność zbadano metodą RILEM-Cembureau (14, 15). Właściwości mieszanki SB dobierano tak, aby uzyskać dobry wynik płynności (tak zwany odwrócony stożek Abramsa), badany metodą pierścienia J. Inne badania przeprowadzono zgodnie z normą Słowacką.

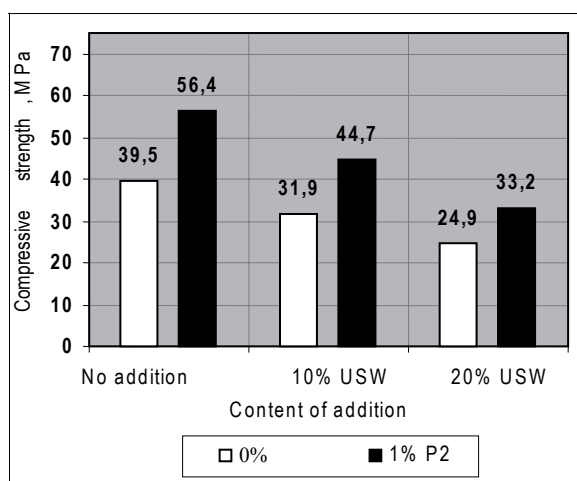
3.2. Wyniki

Zbadane właściwości mieszanek i betonów podano w tablicach 5–7 i pokazano na rysunkach 1–4 jako średnie arytmetyczne wyników pomiarów trzech próbek dla każdej mieszanki. Pomiar przepuszczalności podano jako średnią arytmetyczną wyników uzyskanych dla dwóch próbek (sześć pomiarów) z każdej mieszanki.

The list of properties concerned mixes and hardened concretes is given in Table 1. The permeability was determined for samples without additions and for samples with TSW only. The permeability was tested by RILEM – Cembureau method (14, 15). The properties of SCC mixture were matched by adjusted flow test (so called inverted Abrams Cone) and by J-Ring method. Other experiments were done according to Slovak Technical Standards.

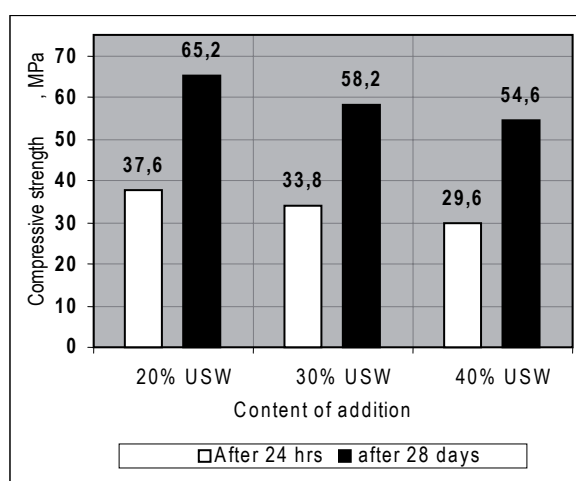
3.2. Results

Determined properties of mixtures and concretes are given in Tables 5 - 7 and shown in Figures 1 - 4 as arithmetical average of measured results of three samples for each mixture composition. Permeability determinations are given as arithmetical average for 2 samples (6 measurements) for each mixture.



Rys. 1. Wytrzymałość na ściskanie wibrowanego betonu piaskowego po 28 dniach twardnienia

Fig. 1. Compressive strength of vibrated fine-grained concrete after 28 days of hardening



Rys. 2. Wytrzymałość na ściskanie samozagęszczającego się betonu po 24 h i 28 dniach

Fig. 2. Compressive strength of self compacting concrete after 24 hours and 28 days

Tablica 6 / Table 6

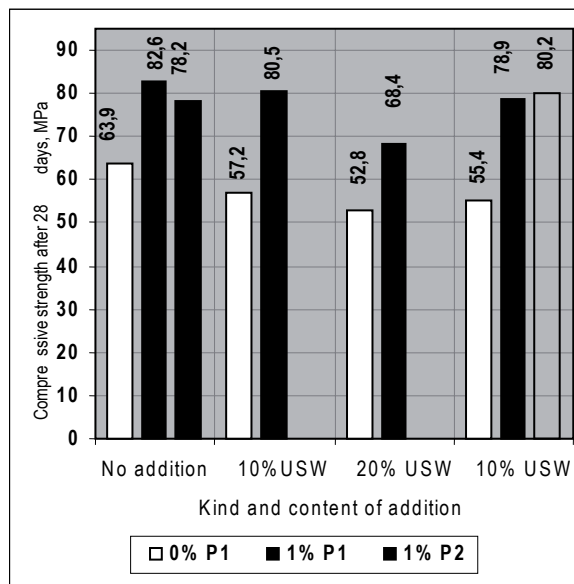
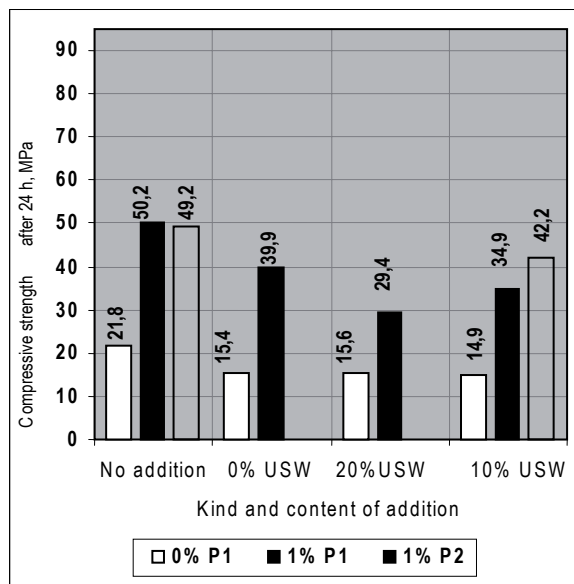
WŁAŚCIWOŚCI MIESZANKI I WIBROWANEGO BETONU PO 24 GODZINACH I 28 DNIACH TWARDNIENIA  
 PROPERTIES OF MIXTURE AND VIBRATED CONCRETE AFTER 24 HOURS AND 28 DAYS OF HARDENING

Symbol/Label	Dodatek Addition	Domieszka Plasticizer	Mieszanka Mixture	po 24 godzinach after 24 hours			po 28 dniach/after 28 days				
			Rozpływ flow	Gęstość nasypowa Bulk density	Wytrzymałość na ściskanie Compres. strength	Gęstość nasypowa Bulk density	Wytrzymałość na ściskanie Compres. strength	Wytrzymałość na zginanie Flexural strength	Dynamiczny moduł sprężystości Dynamic modulus of elasticity	Przepuszczalność Permeability „k”	
			mm	kg/m <sup>3</sup>	MPa	kg/m <sup>3</sup>	MPa	MPa	GPa	–	
0	–	–	380	2347	21,8	2379	63,9	5,46	44,3	4,608.10 <sup>-16</sup>	
1	–	1% P1	420	2440	50,2	2444	82,6	7,25	46,0	2,614.10 <sup>-16</sup>	
2	–	1% P2	430	2423	49,2	2446	78,2	6,63	45,1	2,245.10 <sup>-16</sup>	
3	10% NOS USW	–	380	2341	15,4	2368	57,2	5,12	41,7	–	
4	10% NOS USW	1% P1	400	2433	39,9	2442	80,5	7,30	46,0	–	
5	20% NOS USW	–	360	2341	15,6	2344	52,8	4,29	40,2	–	
6	20% NOS USW	1% P1	400	2425	29,4	2422	68,4	6,66	44,7	–	
7	10% POS TSW	–	360	2314	14,9	2341	55,4	4,72	38,7	8,073.10 <sup>-16</sup>	
8	10% POS TSW	1% P1	360	2381	34,9	2412	78,9	5,99	46,6	1,887.10 <sup>-16</sup>	
9	10% POS TSW	1% P2	370	2427	42,2	2428	80,2	6,55	45,4	1,773.10 <sup>-16</sup>	

Tablica 7 / Table 7

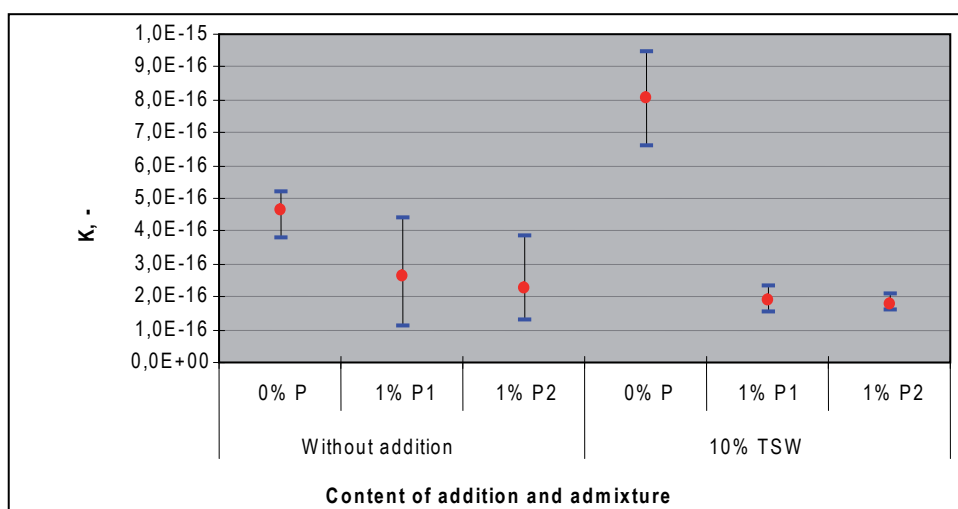
WŁAŚCIWOŚCI MIESZANKI I SAMOZAGĘSZCZALNEGO BETONU PO 24 H I 28 DNIACH TWARDNIENIA  
 PROPERTIES OF MIXTURE AND SELF COMPACTING CONCRETE AFTER 24 HOURS AND 28 DAYS OF HARDENING

Symbol/Label	Dodatek Addition	Domieszka Plasticizer	Mieszanka / Mixture			po 24 h / after 24 hours		po 28 dniach / after 28 days				
			Rozpływ Slump-Flow		Pierścień J J-Ring	Gęstość nasypowa Bulk density	Wytrzymałość na ściskanie Compres. strength	Gęstość nasypowa Bulk density	Wytrzymałość na ściskanie Compres. strength	Wytrzymałość na zginanie Flexural strength	Dynamiczny moduł sprężystości Dynamic modulus of elasticity	
			D <sub>max</sub>	T <sub>50</sub>	D <sub>max</sub>							
			mm	s	mm	kg/m <sup>3</sup>	MPa	kg/m <sup>3</sup>	MPa	MPa	GPa	
1.S	20% NOS/ USW	1% P1	630	3,5	590	2397	37,6	2380	65,2	5,46	41,9	
2.S	30% NOS/ USW	1% P1	605	2,9	575	2372	33,8	2356	58,2	5,29	39,6	
3.S	40% NOS/ USW	1% P1	620	4,8	510	2345	29,6	2334	54,6	4,89	38,4	



Rys. 3. Wytrzymałość na ściskanie wibrowanego betonu po 24 h i 28 dniach twardnienia

Fig. 3. Compressive strength of vibrated concrete after 24 hours and 28 days of hardening



Rys. 4. Współczynnik przepuszczalności „k” wibrowanego betonu

Fig. 4. Permeability coefficient „k”, - of vibrated concrete

## 4. Dyskusja

### 4.1. Wibrowany beton piaskowy

Większy dodatek NOS spowodował zmniejszenie wytrzymałości na ściskanie i zginanie próbek z dodatkiem domieszki i bez niej. Jak u licznych autorów te badania wykazały korzystny wpływ superplastyfikatorów na konsystencję mieszanki i na wytrzymałość na ściskanie i zginanie stwardniałego betonu piaskowego z powodu małego stosunku w/c.

### 4.2. Beton wibrowany

W przypadku betonu bez superplastyfikatora oba dodatki zastosowane w miejsce cementu nieznacznie pogorszyły badane właściwości próbek w porównaniu do próbek bez dodatku, a z pełną zawartością cementu. Wzrastający dodatek NOS pogorszył badane właściwości betonu. Wytrzymałość wibrowanego betonu bez

## 4. Discussion

### 4.1. Vibrated fine-grained concrete

The increased addition of USW caused the decrease of compressive and flexural strengths of the samples without and with the superplasticizer. As numerous authors, the positive influence of superplasticizer on the mixture consistency and on the compressive and flexural strength of hardened fine-grained concrete, was found, because of low w/c ratio.

### 4.2. Vibrated concrete

In the case of concrete without superplasticizer both additions used as partial replacement of cement slightly decrease the examined properties in comparison with sample without addition, but with full content of cement. The increased USW addition, deteriorates the examined properties of concrete. The strengths of vibrated concrete without superplasticizer after 28 days of hardening corresponds to the class C 40/50 (sample with 20% of USW) and C 45/55 (samples with 10% of USW and 10% of TSW).

Similarly as in the case of fine-grained concrete, also the results for vibrated concrete confirm a very positive impact of lower w/c with superplasticizer on all examined properties of concrete. The samples with superplasticizer and additions, had considerably lower compressive strengths after 24 hours, whereas after the 28 days the strength of samples with 10% addition is almost equal to the strength of samples with superplasticizer P1, but without addition. The strength of vibrated concrete with superplasticizer



superplastyfikatora po 28 dniach twardnienia odpowiada klasie C 40/50 (próbka zawierająca 20% NOS) i C 45/55 (próbki z 10% dodatkiem NOS i 10% POS).

Podobnie jak w przypadku betonu piaskowego, także wyniki wibrowanego betonu potwierdzają bardzo korzystny wpływ niższego w/c z plastyfikatorem na wszystkie badane właściwości betonu. Próbki z superplastyfikatorem i dodatkami wykazały znacznie mniejszą wytrzymałość na ściskanie po 24 h, podczas gdy po 28 dniach wytrzymałości próbek z 10% dodatkiem jest prawie taka sama jak wytrzymałość próbek z superplastyfikatorem P1 lecz bez dodatku. Wytrzymałość wibrowanego betonu z superplastyfikatorem po 28 dniach dojrzewania odpowiadała klasie C55/67 (próbka z 20% NOS) i C 60/75 (próbki z 10% NOS i 10% POS). Stwierdzono korzystny wpływ małego w/c z plastyfikatorem; współczynnik „k” uległ zmniejszeniu. Dodatek NOS wykazał niekorzystny wpływ na przepuszczalność próbki bez superplastyfikatora, natomiast w przypadku próbek z superplastyfikatorami P1 i P2 (niższy w/c) przepuszczalność była niższa w porównaniu z próbkami bez dodatku.

### 4.3. Samozagęszczalny beton

W przypadku dodatku NOS do produkcji SB i w przypadku dobrze dobranego rozplywu uzyskano odpowiedź czas rozplywu ( $T_{so} = 2,9 - 4,85$ ), a także średnie  $D_{max}$  620. Odpowiada to kryteriom wymaganym dla mieszanki SB, to jest  $T_{so} = 3 - 6$  s,  $D_{max} = 600 - 750$  mm (10). W próbie z pierścieniem J występowało blokowane przez grube kruszywo pierścienia w przypadku mieszaniny zawierającej 4% NOS.

W celu uzyskania wymaganej urabialności SB z większym dodatkiem zawartości wody powinna być równocześnie zwiększona. Z tego względu wytrzymałość wykazuje tendencję spadkową gdy zawartość dodatku ulega zwiększeniu. Te wyniki znajdują potwierdzenie w zmierzonym module sprężystości, który koreluje z wytrzymałością badanego betonu. Po 28 dniach dojrzewania wytrzymałość SB z dodatkiem NOS odpowiadała klasie C 40/50 – C 50/60.

## 5. Wnioski

W przypadku obu stosowanych domieszek uzyskano znaczne zmniejszenie wody zarobowej (stosunek w/c był mniejszy o ponad 30% w betonie wibrowanym i około 20% w betonie piaskowym) przy tej samej urabialności lub nawet jej poprawie co zapewniało dobre właściwości betonu.

Zwiększenie dodatku w mieszance daje zmniejszenie wytrzymałości betonu piaskowego. Zastosowany dodatek zmniejsza wytrzymałości betonu piaskowego, lecz otrzymane wyniki pokazują, że ten beton może znaleźć szereg zastosowań w praktyce budowlanej.

Dodatek opierający się na odpadzie serpentynitowym poddanym i nie poddanym obróbce pogarsza badane właściwości wibrowane-

after 28 days of curing was equal to the class C 55/67 (sample with 20% of USW) and C 60/75 (samples with 10% of USW and 10% of TSW). The positive impact of low w/c with superplasticizer on permeability was found; “k” coefficient declined. The USW addition had negative influence on the permeability of sample without superplasticizer, though in case of samples with superplasticizers P1 and P2 (lower w/c) the permeability was lower in comparison with the samples without addition.

### 4.3. Self compacting concrete

In the case of the application of USW addition to SCC production and with well adjusted flow behaviour the suitable flow time was achieved ( $T_{50} = 2.9 - 4.8$  s), as well as average  $D_{max}$  equal 620 mm. It fulfills the criteria required for SCC mix, i.e.  $T_{50} = 3-6$  s and  $D_{max} = 600 - 750$  mm (10). In J-Ring the lockout of coarse aggregate within the ring occurred in case of mixture with 40% of USW addition.

In order to achieve the required workability of SCC, with higher addition, the water content should be increased in the same time. That is why the strength have decreasing tendency, when the addition content was increased. These results are confirmed by the measured modulus of elasticity, which correlate with strength of examined concrete. After 28 days of curing the strength of SCC with USW addition was equal to class C 40/50 – C 50/60.

## 5. Conclusions

For both used admixtures considerably reduction of mixing water was obtained (w/c ratio was lower more then 30% in vibrated concrete and approximately 20% in case of fine-grained concrete) for equal workability or even its improvement which assures good properties of concrete.

The increase of addition in the mix gives the decrease of strength of fine-grained concrete. The applied addition reduces strength of fine-grained concrete, but obtained results show that this concrete is suitable for many applications in construction practice.

The addition based on both untreated and treated serpentinite waste decreases the examined properties of vibrated concrete. However, the strength of concrete without superplasticizer (class C 40/50) fulfills demands of many applications in construction practice. Employed addition based on serpentinite waste, with simultaneous application of superplasticizer, make possible the production of high strength concrete (C 55/67 – C 60/75).

The utilization of untreated serpentinite waste and superplasticizer gives possibility of concrete production, which fulfills the requirements of self compacting mix and, at the same time, gives relatively high strength (up to C 50/60).

## Acknowledgements

The experiments presented in this paper was carried out as a part of the SGA (VEGA) project No. 1/1126/04: Composite materials with increased durability based on unconventional admixtures.

go betonu. Jednak, wytrzymałość betonu bez superplastyfikatora (klasy C 40/50) spełnia wymagania wielu zastosowań w praktyce budowlanej. Zastosowane dodatki oparte na odpadzie serpentynitowym, z równoczesnym zastosowaniem superplastyfikatora, pozwala na produkcję betonu o dużej wytrzymałości (C 55/67 – C 60/75).

Zastosowanie odpadu serpentynitowego nie poddanego obróbce wraz z superplastyfikatorem daje możliwość wytwarzania betonu, który spełnia wymagania mieszanki samozagęszczalnej, równocześnie o dużej wytrzymałości (aż do C 50/50).

## Podziękowanie

Doświadczenia przedstawione w tym artykule zostały wykonane jako część projektu SGA (VEGA) nr 1/1126/04: Kompozyty o zwiększonej trwałości oparte na niekonwencjonalnych dodatkach.

## Literatura / References

1. P. C. Aitcin: High Performance Concrete, Ed. FN SPON, London, 1998, p. 591.
2. P. Brauner: *Samozhutnitel'ne betóny na báze netradičnyh příměsí*, Stavebné hmoty 3/2006. V.O.Č. Slovakia, p. 10-13.
3. K. Byffors, G. Klingstedt, V. Lehtonen, H. Pyy, and L. Romben, Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete, 3<sup>rd</sup> International Conference, Vol. 2, ACI SP 114, p. 1420, Trondheim, Norway 1989.
4. T. Ďurica, P. Brauner, M. Špak: *Vplyv příměsí na vlastnosti drobnozrnných betónov*, IX. Konferencie: Ekologie a nové stavební hmoty a výrobky, Telč, Česká republika, 2005, p. 88.

5. T. Ďurica, P. Brauner, M. Špak: *Vplyv přísad a příměsí na vlastnosti betónov*, Betón 2005 – Štrbské Pleso, 2005, P. 81.
6. R. Hela, L. Bodnárová: Využití elektrérenských popílků v transportbetonech. BETÓN 2001 – Celoštátní konference s mezinárodní účastí, Štrbské Pleso, 2001, P. 64.
7. M. A. Mearing: Utilization of class C fly ash in concrete. 6<sup>th</sup> International Ash Utilization Symposium, Reno 1982.
8. A. M. Neville: Properties of Concrete. Longman, Harlow 1997.
9. A. Pietriková, M. Búgel, M. Golja: *Preparation of SiO<sub>2</sub> powder through leaching of serpentinite*. Metalurgija/Metallurgy, 4/43, Zagreb 2004, p. 299.
10. P. Pytlík: *Technologie betonu*. Nakladatelství VUTIUM, Brno 2000.
11. A. A. Silveira, and col.: Compressive strength of concretes containing mineral admixtures. Infrastructure Regeneration and Rehabilitation Improving the Quality of Life through Better Construction. Sheffield 1999.
12. J. Šliviński: Beton zwykły - projektowanie i podstawowe właściwości. Polski Cement Sp. z o.o., Kraków 1999 (in Polish).
13. T. Tracz, J. Šliviński: Influence of Type Cement on Porosity and Permeability of High Performance Concrete. Seventh CANMET/ACI International Conference on Durability of Concrete. Supplementary Papers, Montreal 2006, p. 601.
14. T. Tracz: Sprawozdanie z badań przepuszczalności betonu metodą RILEM-Cembureau. Katedra Materiałów Budowlanych i Ochrony Budowli. Instytut Materiałów i Konstrukcji Budowlanych. Politechnika Krakowska. Kraków 2006 (in Polish).
15. RILEM Technical Recommendation: Tests for gas permeability for concrete. TC 116-PCD: Permeability of concrete as criterion of its durability. Materials and Structures, Vol. 32, April 1999, p. 174.
16. <http://www.stachema.sk>
17. <http://www.betonracio.sk>

## Przemysł cementowy w krajach Azji Środkowej

### Turkmenistan

Region Środkowej Azji tworzy pięć państw: Kazachstan, Kirgistan, Tadżykistan, Turkmenistan i Uzbekistan. Przemysł cementowy w pierwszym z tych państw, które jest największym po Rosji krajem byłego Związku Radzieckiego, zasługuje na oddzielne omówienie. Pozostałe cztery kraje z różnym stopniem powodzenia weszły z początkiem lat dziewięćdziesiątych na drogę samodzielnego rozwoju. We wszystkich pracują cementownie, realizowane są plany rozwoju, prywatyzacji, a w niektórych także projektowana jest budowa nowych zakładów.

Gospodarka Turkmenistanu zdominowana jest przez przemysł wydobywczy gazu i ropy naftowej, a eksport tych kopalin stanowi odpowiednio 57% i 26% całego eksportu, pozwalając krajowi uzyskać nadwyżkę w bilansie handlu zagranicznego. W 2004 roku wzrost wyniósł 14%, ale należy tu wziąć pod uwagę wzrost cen energii, jaki wystąpił w tym okresie. Przygotowywana jest realizacja szeregu dużych prac budowlanych, z których najważniejsza jest planowana budowa na pustyni Kara-kum jeziora o powierzchni 3,46 km<sup>2</sup>, które pozwoli na nawadnianie dużych obszarów ziemi

uprawnej, po zakończeniu prac w roku 2010. Jest także cały szereg innych ważnych projektów rozbudowy infrastruktury, jak linia kolejowa z Aszchabadu do Taszauzu na północy, która ma być ukończona w tym roku i nowe autostrady łączące stolicę z Morzem Kaspijskim, Taszauzem i miastem Mary. Wspomniane prace budowlane to hotele, meczety i parki tematyczne. Większość prac budowlanych prowadzi przedsiębiorstwa tureckie, ale w kraju działają także duże koncerny międzynarodowe, takie jak Bouygues.

Zużycie cementu w Turkmenistanie wykazuje tendencję wzrostową i rząd opóźnia niektóre prace, do czasu gdy dostępne będą większe ilości cementu krajowego.

Jedyna cementownia w kraju, która została przeniesiona kilka lat temu do Doliny Keliatyńskiej, wciąż ma problemy z wydajnością. W 1998 roku, ostatnim pełnym roku produkcji przed przeniesieniem, zakład posiadający cztery piece wytworzył 0,75 mln ton cementu, znacznie poniżej teoretycznej zdolności produkcyjnej, 1,2 mln ton rocznie. W roku 2003 produkcja nie przekroczyła 0,5 mln ton, a na połowę tej ilości oceniono wydajność zakładu w roku 2004. Państwowy Fundusz Rozwoju Przemysłu Naftowego i Ga-



zowniczego zlecił budowę drugiej w kraju cementowni, o zdolności produkcyjnej 1,0 mln ton rocznie. Budowana jest ona przez turecki koncern Calik przy współudziale japońskich przedsiębiorstw Kawasaki i Mitsubishi, które odpowiadają za stronę technologiczną. Miejsce budowy, która jest na ukończeniu, wybrane zostało 75 km na wschód od Aszchabadu.

Tradycyjnie większa część cementu zużywanego w północnej części kraju importowana jest z Uzbekistanu. Obecny niedobór cementu wytwarzanego w kraju doprowadził też do znacznego wzrostu importu cementu do południowej części kraju. Import ten pochodził głównie z Iranu, ale uważa się, że uzbecki cement znajdzie sobie i tutaj drogę, a stały wzrost cen cementu uzasadni większy koszt transportu. Należy sądzić, że wraz ze zbudowaniem i uruchomieniem nowej cementowni i spadkiem cen import szybko zmaleje.

## Uzbekistan

Produkt Krajowy Brutto w Uzbekistanie wzrósł w 2003 roku o 0,3%, wobec wzrostu o 3,2% w roku 2002. Zarówno na rok 2004 jak i 2005 prognozowany był wzrost o około 3%. Udział budownictwa w PKB wyniósł 11%, mimo że inwestycje budowlane nie były w wydatkach rządowych traktowane priorytetowo. Jest jednak kilka dużych projektów, takich jak budowa przez tereny góryste nowej linii kolejowej łączącej Uzbekistan z sąsiednim Turkmenistanem. Uzbekistan jest samowystarczalny jeżeli chodzi o gaz, a nawet eksportuje pewne jego ilości, ma także inne bogactwa naturalne, wśród nich złoto.

Krajowe zużycie cementu wzrastało ostatnio w przyspieszającym tempie: w 2003 roku zwiększyło się o 9%, a na rok 2004 spodziewany był wzrost o 15%. Uzbekistan jest w pierwszym rzędzie rynkiem cementu luzem i krajowi producenci około 90% swej produkcji dostarczają do swych punktów sprzedaży luzem, głównie koleją. Przy małym zużyciu cementu na mieszkańca w kraju o dużych zasobach energetycznych perspektywy dalszego wzrostu zużycia cementu są pomyślne.

Ceny cementu dostarczanego na rynek pozostają niskie, około 35 \$ za tonę, co stanowi jeden z powodów zachęcających uzbeckich producentów do poszukiwania bardziej dochodowych rynków poza granicami kraju.

W roku 2003 produkcja cementu wzrosła o około 9%, do 4,15 mln ton i miała wzrosnąć w roku 2004 o dalszych 12%. Proces prywatyzacji przebiega stosunkowo powoli, przy czym rząd nie bardzo ma ochotę pozwolić na przejęcie kontroli nad przemysłem cementowym przez nie podlegające mu przedsiębiorstwa. Należące do państwa holdingowe przedsiębiorstwo materiałów budowlanych UzStroiMaterialy jest głównym inwestorem w przemyśle cementowym i wciąż jest głównym udziałowcem w spółce Kyzyl-KumCement, które reprezentuje ponad połowę zdolności produkcyjnych przemysłu cementowego i daje 41% jego obecnej produkcji. Jak dotychczas tylko jedna cementownia przeszła w ręce przedsiębiorstwa pozostającego poza spółką Kyzyl-KumCement, ale mówi się, że przedsiębiorstwo to jest kontrolowane przez liczącą 31 lat córkę prezydenta Uzbekistanu, który zbudował potężne, jak na standardy miejscowe, imperium gospodarcze. Opracowano plany modernizacji niektórych istniejących cementowni, jak również budowy kilku nowych mniejszych zakładów o zdolnościach

produkcyjnych 0,3 do 0,4 mln ton rocznie, by uwzględnić geografie kraju i ewentualnie zastąpić dwie bardzo małe cementownie przedsiębiorstwa UzStroiMaterialy o rocznej zdolności produkcyjnej zaledwie 25.000 do 30.000 ton.

Kyzyl-KumCement dysponuje największą i najnowocześniejszą w Uzbekistanie cementownią. Zakład ten, położony w Nawoi, około 400 km na północny zachód od Taszkientu, posiada trzy piece na metodę suchą z wymiennikami ciepła, jeden ze wstępnym dekarbonizatorem. Piece te mają łączną zdolność produkcyjną 2,8 mln ton rocznie, a zdolność przemiałowa zakładu wynosi 3,08 mln ton rocznie. Wapień jest dostarczany przenośnikiem taśmowym z kamieniołomu odległego o 5,5 km. Są średnioterminowe plany budowy czwartej linii piecowej. Przedsiębiorstwo wytwarza rocznie 1,5 mln ton cementu, co stanowi nieco ponad 40% produkcji krajowej. Państwowe przedsiębiorstwo UzStroiMaterialy jest właścicielem 64% udziałów, przy czym pracownicy kontrolują dalsze 32%.

Przedsiębiorstwo AchananraTsement posiada większą z dwu cementowni w obwodzie taszkienckim. Po około jednej czwartej udziałów w tym przedsiębiorstwie mają Holcim, grupa inwestycyjna Betonit, pracownicy i rząd, przy czym Holcim jest największym akcjonariuszem, z udziałem 25,6%. Jeden z pieców został zatrzymany i w zakładzie pozostało ich trzy, wszystkie na metodę mokrą, a ponadto jest sześć młynów, co zapewnia zdolność produkcyjną 1,5 mln ton cementu rocznie. Wykorzystanie zdolności produkcyjnej jest stosunkowo duże i dochodzi do 1,2 mln ton rocznie. Około 80% produkcji znajduje zbyt na miejscu w obwodzie taszkienckim, a część jest eksportowana, głównie do Turkmenistanu, a także do sąsiedniego Kazachstanu.

Przedsiębiorstwo Kuwasatcement ma cementownię w Kuwasaju, w okręgu fergańskim, najbardziej na wschód wysuniętej części Uzbekistanu. Zakład ten również zmniejszył liczbę pieców na metodę mokrą z czterech do trzech i jego efektywna zdolność produkcyjna wynosi obecnie około 0,8 mln ton cementu rocznie. Większościowym udziałowcem z udziałem 67% jest działające w oparciu o prawo szariatu (prawa islamskiego) przedsiębiorstwo United International Group, kontrolowane przez córkę prezydenta, Karimową. Udziałowcami mniejszościowymi są pracownicy (23%) i UzStroiMaterialy (10%). Kawasatcement wyprodukował w 2003 roku ilość cementu niemal równą swej zdolności produkcyjnej i część produkcji wyeksportował do Kazachstanu i Tadżykistanu.

Przedsiębiorstwo Bekabadcement zarządza cementownią w okręgu taszkienckim, z jednym piecem na metodę mokrą, o zdolności produkcyjnej 0,67 mln ton klinkieru rocznie i zdolności przemiałowej 0,71 mln ton cementu rocznie. Około 48% akcji jest kontrolowanych przez załogę, dalszych 25% przez kierownictwo i również 25% przez UzStroiMaterialy. Przedsiębiorstwo, które wytwarza również wyroby azbestocementowe i wapno, ma plany przebudowy cementowni na metodę suchą i zwiększenia zdolności produkcyjnej o około 30%.

Niektóre sąsiadujące z Uzbekistanem kraje wykazują niedobór zdolności produkcyjnej cementu. Główne rynki eksportowe to głównie Turkmenistan, Tadżykistan, Afganistan i Kazachstan, mniejsze ilości cementu wysyłane są do Kirgistanu. Podczas gdy północny Turkmenistan jest wciąż największym i najważniejszym rynkiem eksportowym, w ostatnich kilkunastu miesiącach największy wzrost eksportu zanotowano do Afganistanu i Kazachstanu.

## Kirgistan

Kirgistan został po raz pierwszy zaanektowany przez Rosję w roku 1864, a odzyskał ostatecznie niepodległość w roku 1991. Jest to biedny, górzysty kraj, w którym przeważa gospodarka rolnicza. Głównymi produktami są bawełna, tytoń, wełna i mięso, choć tylko tytoń i bawełna są w pewnych ilościach eksportowane.

Kraj dysponuje bogatymi zasobami energii wodnej, znacznymi złożami złota i metali ziem rzadkich, a lokalnie eksploatowane są złoża węgla, ropy naftowej i gazu ziemnego. Kirgistan był pierwszym krajem Wspólnoty Niepodległych Państw przyjętym do Światowej Organizacji Handlu. Około 50% ludności pozostaje wciąż poniżej progu ubóstwa.

Do roku 1995 kraj borykał się z poważnymi problemami gospodarczymi, ale od połowy tegoż roku produkcja zaczęła się zwiększać, wzrastać także zaczął eksport. Kirgistan wyróżnia się wprowadzeniem stosunkowo liberalnej polityki gospodarczej. Rząd czyni zdecydowane kroki zmierzające do ograniczenia poważnego deficytu skarbowego i w roku 2004 miał on zostać zmniejszony do 4,4% Produktu Krajowego Brutto.

Kluczem do przyszłego wzrostu gospodarki jest restrukturyzacja krajowego przemysłu i przyciągnięcie zagranicznych inwestorów.

Przed odzyskaniem niepodległości w Kirgistanie działały dwie cementownie. Najważniejszą była i jest nadal cementownia Kant, zbudowana w latach sześćdziesiątych ubiegłego wieku, wyposażona w trzy piece na metodę mokrą, o teoretycznej zdolności produkcyjnej 1,2 mln ton cementu rocznie. Wytwarza ona głównie cement szary, choć również pewne ilości azbestocementu i ma zakład produkcji płyt eternitowych. Prawa własności mają państwo, kierownictwo i pracownicy, przy czym państwo miało się pozbyć swych udziałów w ubiegłym roku.

Znacznie mniejszą cementownią, położoną niedaleko poprzedniej, był zakład Kurmentyński, posiadający dwa małe piece na metodę mokrą o łącznej zdolności produkcyjnej około 85.000 ton rocznie. Cementownia ta koncentrowała się głównie na produkcji specjalnych cementów wysokiej jakości, ale jej kiepski stan ogólny i brak środków finansowych na inwestycje doprowadził kilka lat temu do jej zamknięcia.

Być może obecnie zakład ten poddany zostanie renowacji, jeżeli dojdzie do skutku przejęcie go przez nowych właścicieli.

Jeżeli chodzi o obecną wielkość produkcji to cementownia Kant pracuje przy wykorzystaniu w 80% swej zdolności produkcyjnej i w roku 2004 wyprodukowała nieco poniżej 1 mln ton cementu, wobec około 600.000 ton w roku 2003.

Z tej ilości rynek krajowy otrzymał około 500.000 ton, podczas gdy 450.000 ton przypadło na eksport. Eksport ten obejmował nader ważny rynek Kazachstanu, a ponadto rynki Uzbekistanu, Tadżykistanu, Kazachstanu, Afganistanu; trafiał nawet na rynek chiński.

Ożywienie rynku w tym regionie i ulegający poprawie scenariusz rozwoju sytuacji w kraju przemawiają za ponownym uruchomieniem cementowni Kurmentyńskiej. Mogą one doprowadzić również w niedługim czasie do zwiększenia zdolności produkcyjnej cementowni Kant.

## Tadżykistan

Często wymieniany jako najuboższy kraj w Azji Środkowej i całkowicie zdany na własne zasoby po rozpadnięciu się Związku Radzieckiego w roku 1991, Tadżykistan bardzo powoli osiąga pewną poprawę ekonomiczną, choć warunki, w jakich żyje większość ludności pozostają ciężkie, po długim okresie pozbawienia praw, sięgającym lat dziewięćdziesiątych.

Jako placówka strategiczna dawnego Związku Radzieckiego Tadżykistan korzystał poprzednio z dobrodziejstw edukacji i pomocy socjalnej i obecnie znaczna część ludności ma wyższe wykształcenie, choć znajduje się w trudnej sytuacji socjalnej ze względu na utrzymujący się w całym kraju wysoki poziom bezrobocia.

Kraj ma potencjalnie poważne zasoby energii wodnej, trochę ropy naftowej, uranu, węgla brunatnego, ołowiu, srebra, złota i innych strategicznych minerałów. Powierzchni uprawnej jest niewiele, około 6,6%.

Inwestycje budowlane, choć rosną, są na niskim poziomie i obejmują zarówno roboty publiczne, w tym budowę nowych szkół i znakomitych szpitali, jak i prace mające na celu poprawę i rozbudowę sieci transportowej. Większość tych prac jest podejmowana przez jednostki finansowane przez państwo, podczas gdy na nowe budownictwo, rozwijający się sektor, dostarcza środków również państwo, ale w wielu przypadkach realizowane jest ono z własnych środków ludności. Szybko postępuje prywatyzacja własności państwowej i mieszkań, przy czym sprzedaż domów mieszkalnych wykazuje tendencję rosnącą.

Wojska rosyjskie i amerykańskie posiadają bazy w południowym Tadżykistanie w pobliżu granicy z Afganistanem, która rozciąga się na długości około 1200 km; bazy rosyjskie są tu od wielu lat, natomiast amerykańskie oddziały przybyły tu po 11 września.

Produkcja cementu w Tadżykistanie tradycyjnie ograniczała się do jednej cementowni, Tadžik-Duszanbe. Została ona zbudowana przez Rosjan jako zakład o czterech liniach piecowych pracujących metodą mokrą, o zdolności produkcyjnej 1,2 mln ton rocznie, który z końcem lat osiemdziesiątych wytwarzał nieco poniżej 1 mln ton rocznie. Ostatnio zakład ten został formalnie zamknięty z powodu braku środków, ale są oznaki, że rząd tadżycki ma zamiar wznowić jego działalność, czego wyrazem byłby podpisany z czeskim przedsiębiorstwem Inekon Trading odpowiedni kontrakt na budowę przez firmę CZMT nowego działu mielenia. Tymczasem produkcja w zakładzie ma miejsce sporadycznie i oceniana jest na 100.000 ton rocznie.

Przy liczbie ludności 6,8 mln ogólne zużycie cementu jest małe, zaledwie 375.000 ton rocznie. Dostawy na rynek cementu z cementowni Duszanbe są uzupełniane importem. To uzależnienie Tadżykistanu od importu będzie trwało aż do wzmocnienia własnej bazy produkcji cementu. Większość dostaw pochodzi z sąsiedniego Uzbekistanu i Kirgistanu, choć pewne małe ilości cementu w workach trafiają do najbardziej wysuniętych prowincji Tadżykistanu z Chin. Lokalne ceny cementu wynoszą od 30 do 40 \$ za tonę. W stosunku do roku 2003 ceny te wzrosły w 2004 o ponad 12%.

Oczywiście nie ma eksportu cementu, ale władze sądzą, że po rekonstrukcji cementowni Duszanbe Tadżykistan będzie mógł dostarczać cement i inne materiały budowlane do sąsiedniego Afganistanu.