

Marian MADAJ, Wojciech KLIMAS
Politechnika Śląska, Gliwice

WPLYW TRANSPORTU HYDRAULICZNEGO NA ZMIANĘ WŁASNOŚCI GÓRNICZYCH SPOIW MINERALNYCH

Streszczenie. W artykule przedstawiono wyniki badań laboratoryjnych wpływu szkła wodnego sodowego na zmianę czasu wiązania i wytrzymałość na ściskanie zaczynów spoiwowych, wykonanych na bazie górniczych spoiw mineralnych UTEX-15 i UTEX-TZ. Badania laboratoryjne prowadzono w aspekcie wykorzystania mineralnych spoiw górniczych do transportu hydraulicznego (grawitacyjnego) z powierzchni kopalni do miejsca stosowania w podziemnych wyrobiskach górniczych.

INFLUENCE OF HYDRAULIC TRANSPORTATION ON PROPERTIES OF MINING MINERAL BINDERS

Summary. The hydraulic transportation of mineral mining binders depends on preparation on surface of mine binder paste about such density which make possible his dislocation by pipelines to place applying in underground mining excavations using to this aim hydrostatical pressure only. The growth of water paste ratio from which the consistency of binder paste depends on its influences on prolongation the setting time of binder paste and the lowering the compressive strength of binding agent. The results of laboratory testings defining the influence of sodium silicate on the setting time and compressive strength changes of UTEX-15 and UTEX-TZ binders were presented.

1. Wstęp

Własności fizyko mechaniczne spoiw mineralnych, stosowanych w budownictwie podziemnym zależą znacznie od systemu ich transportu z powierzchni kopalni lub z poziomu wydobywczego do miejsca stosowania. Spoiwa mineralne, używane w polskich kopalniach węgla kamiennego, podawane są najczęściej za pomocą urządzeń transportu pneumatycznego (podajniki komorowe ciśnieniowe) lub hydromechanicznego (pompy). Z doświadczeń kopalń

niemieckich wynika, że przy wysokim dobowym zużyciu spoiw mineralnych w podziemnych technologiach górniczych najbardziej efektywnym systemem ich przemieszczania z powierzchni do podziemnych wyrobisk górniczych jest transport hydrauliczny (grawitacyjny).

Idea transportu grawitacyjnego spoiw mineralnych polega na przygotowaniu na powierzchni kopalni mieszaniny spoiwa i wody o takiej konsystencji, która umożliwi ich transport - wykorzystując ciśnienie hydrostatyczne uzyskane w szybie - do miejsca stosowania. Poziome odległości transportowanego zaczynu spoiwowego zależą przede wszystkim od jego: gęstości, własności reologicznych i wielkości ciśnienia hydrostatycznego, wynikającego z głębokości szybu oraz wielkości strat ciśnienia na odcinku poziomym instalacji transportowej (konfiguracji trasy).

Stosowanie konsystencji płynnej zaczynu spoiwowego, wynikającej ze wzrostu wartości współczynnika wodno-spoiwowego (w/s), znacznie wpływa na przedłużenie czasu wiązania (początku i końca wiązania) i obniżenie końcowej wytrzymałości na ściskanie. Skrócenie czasu wiązania można uzyskać poprzez dodawanie szkła wodnego do zaczynu spoiwowego na końcu instalacji transportowej. Szkło wodne wpływa jednak na obniżenie wytrzymałości na ściskanie zaczynów cementowych [8,9,10,11]. W referacie przedstawiono wyniki badań laboratoryjnych, określające wpływ szkła wodnego sodowego na zmianę czasu wiązania i wytrzymałości na ściskanie zaczynów ze spoiw mineralnych UTEX-15 i UTEX-TZ.

2. Materiały do badań

Materiałami użytymi do badań laboratoryjnych były: górnicze spoiwo mineralne UTEX-15, górnicze spoiwo mineralne UTEX-TZ, szkło wodne sodowe o różnych modułach i gęstościach od $1,37 \text{ g/cm}^3$ do $1,53 \text{ g/cm}^3$ (20°C) oraz woda wodociągowa jako woda zarobowa. Do modyfikacji właściwości zaczynów spoiwowych użyto 6 rodzajów szkła wodnego sodowego z Zakładów Chemicznych Rudniki SA o zróżnicowanych modułach, oznaczonych odpowiednio A, B, C, D, E i F.

UTEX-15 to konstrukcyjne spoiwo mineralne, popiołowo-cementowe. Przy współczynniku $w/s=0,35$ początek wiązania t_p wynosi około 6 godzin, a wytrzymałości na ściskanie $R_{c28}=20 \text{ MPa}$. Ze względu na wielkość uziarnienia należy do spoiw pylistych (wielkość ziarn poniżej 1mm). W budownictwie podziemnym stosowane najczęściej do wykonywania ochronnych pasów podporowych i torkretu [4,5,6,7].

UTEX-TZ to spoiwo mineralne popiołowo-cementowe. Zaliczane jest do spoiw ziarnistych (zawiera także ziarna kruszywa powyżej 1mm) [7]. Ze względu na wysoką dynamikę narastania wytrzymałości i wysoką końcową wytrzymałość na ściskanie, należy również do spoiw konstrukcyjnych. Przy współczynniku $w/s=0,25$ początek wiązania t_p wynosi około 2 godzin 55 minut, a wytrzymałości na ściskanie $R_{c28}>20$ MPa. Charakteryzuje się zdecydowanie niższą wodożądnością (o około 35%) od spoiw pylistych, co jest bardzo ważną własnością fizyczną, w przypadku stosowania ich za pomocą urządzeń transportu pneumatycznego. W budownictwie podziemnym stosowane jest najczęściej do wykonywania ochronnych pasów podporowych i torkretu [4,5,6,7].

3. Badania laboratoryjne

Badania laboratoryjne obejmowały określenie wpływu zmiany wartości współczynnika wodno-spoiwowego (w/s) oraz szkła wodnego sodowego na czas wiązania i wytrzymałość na ściskanie stwardniałych zaczynów spoiwowych.

3.1. Gęstość i rozlewność

Gęstość i rozlewność spoiw mineralnych ściśle zależą od współczynnika wodno-spoiwowego (w/s). Badania laboratoryjne rozlewności spoiw UTEX-15 oraz UTEX-TZ prowadzono zgodnie z normą PN-85/G-02320 „Wiertnictwo-Cementy i zaczyny cementowe do cementowania w otworach wiertniczych”. Wpływ współczynnika w/s na zmianę gęstości i rozlewności spoiwa mineralnego UTEX-15 i UTEX-TZ przedstawiono w tablicy 3.1.1 [1].

Tablica 3.1.1

Gęstość i rozlewność zaczynów na bazie spoiwa UTEX-15 i UTEX-TZ

Rodzaj spoiwa	Współczynnik w/s	Gęstość	Rozlewność
		[Mg/m^3]	[mm]
UTEX-15	0,5	1,565	145
	0,6	1,492	176
	0,7	1,436	229
	0,8	1,404	256
UTEX-TZ	0,4	1,760	100
	0,5	1,711	173
	0,6	1,626	223
	0,7	1,554	281

3.2. Wytrzymałość na ściskanie

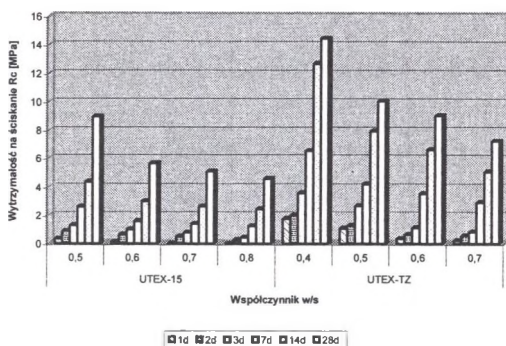
Oznaczanie wytrzymałości na ściskanie R_c wykonano zgodnie z PN-EN 196-1 „*Metody badania cementu. Oznaczanie wytrzymałości*”.

Oznaczanie wytrzymałości na ściskanie wykonano na próbkach przy zmiennych współczynnikach w/s, zależnych od wodożądności, badanych spoiw. UTEX-15 charakteryzuje się większą wodożądnością od spoiwa UTEX-TZ (tablica 3.1). Badania wytrzymałościowe zaczynów miały także na celu określenie wpływu ilości i modułu szkła wodnego na zmiany wytrzymałości R_c stwardniałych zaczynów spoiwowych. W celu określenia dynamiki zmian wytrzymałości na ściskanie w czasie zaczynów ze spoiwa UTEX-15 i UTEX-TZ, oznaczenia wykonano po 1, 2, 3, 7, 14, i 28 dniach przechowywania w warunkach powietrzno-wilgotnych. Wyniki badań wytrzymałościowych przedstawiono w tablicach 3.2.1 - 3.2.3 oraz na rysunkach 3.2.1 – 3.2.8.

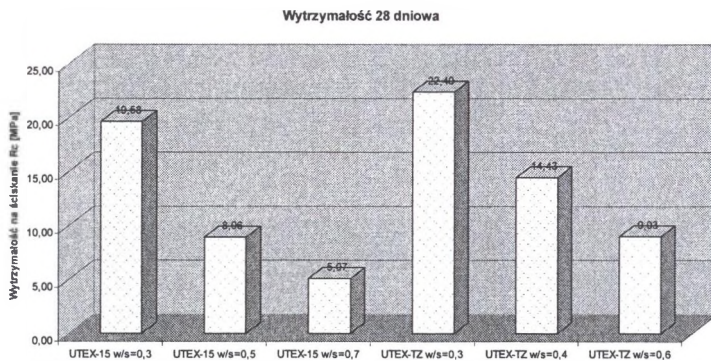
Tablica 3.2.1

Wytrzymałość R_c [MPa] w czasie t [dni] spoiw UTEX-15 i UTEX-TZ przy zmiennym w/s

Rodzaj spoiwa	w/s	Wytrzymałość na ściskanie R_c [MPa]					
		1d	2d	3d	7d	14d	28d
UTEX-15	0,5	0,33	0,88	1,29	2,60	4,35	8,96
	0,6	0,10	0,63	1,00	1,58	2,98	5,63
	0,7	0,00	0,48	0,77	1,39	2,62	5,07
	0,8	0,00	0,25	0,42	1,23	2,44	4,58
UTEX-TZ	0,4	1,76	1,98	3,57	6,51	12,69	14,43
	0,5	1,07	1,27	2,66	4,21	7,93	10,05
	0,6	0,35	0,63	1,10	3,53	6,60	9,03
	0,7	0,22	0,56	0,82	2,91	5,06	7,21



Rys. 3.2.1. Wpływ współczynnika w/s na wytrzymałość na ściskanie R_c spoiw UTEX-15 i UTEX-TZ
 Fig. 3.2.1. Influence of water binder ratio on UTEX-15 and UTEX-TZ binders compressive strength



Rys. 3.2.2. Wpływ współczynnika w/s na zmianę wytrzymałości R_{c28} spoiw UTEX-15 i UTEX-TZ
 Rys. 3.2.2. Influence of water binder ratio on UTEX-15 and UTEX-TZ binders compressive strength

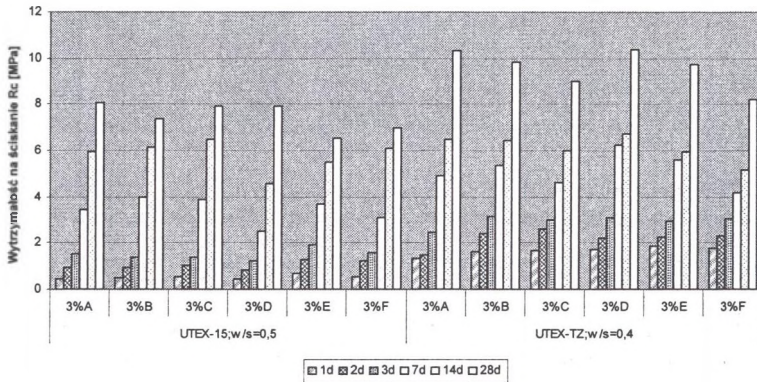
Tablica 3.2.2

Wytrzymałość R_c [MPa] w czasie t [dni] spoiw UTEX-15 i UTEX-TZ z 3% i 5% dodatkiem szkła wodnego sodowego przy w/s=0,4 i w/s=0,5

Rodzaj spoiwa	Szkło wodne	w/s	Wytrzymałość na ściskanie R_c [MPa]						
			1d	2d	3d	7d	14d	28d	
UTEX-15	3%	0,5	3%A	0,46	0,94	1,52	3,45	5,94	8,07
			3%B	0,51	0,93	1,4	3,98	6,17	7,39
			3%C	0,55	1,02	1,38	3,9	6,5	7,92
			3%D	0,44	0,85	1,25	2,53	4,58	7,94
			3%E	0,71	1,3	1,91	3,67	5,52	6,56
			3%F	0,56	1,24	1,59	3,09	6,08	6,98
	5%	0,5	5%A	0,52	1,02	1,67	3,54	6,51	8,65
			5%B	0,6	1,17	1,55	5,22	6,96	7,24
			5%C	0,51	1,21	1,33	3,82	7,03	9,95
			5%D	0,40	1,28	1,61	4,14	7,36	8,07
			5%E	0,66	1,44	1,5	4,27	6,3	7,36
			5%F	0,47	1,38	1,49	3,94	7,71	6,89
UTEX-TZ	3%	0,4	3%A	1,33	1,47	2,45	4,94	6,51	10,34
			3%B	1,65	2,43	3,17	5,34	6,45	9,84
			3%C	1,66	2,59	3,00	4,63	6,00	8,99
			3%D	1,71	2,23	3,11	6,24	6,72	10,36
			3%E	1,85	2,27	2,97	5,63	5,94	9,74
			3%F	1,79	2,30	3,04	4,19	5,19	8,23
	5%	0,4	5%A	0,88	1,44	1,95	5,20	8,25	8,00
			5%B	1,09	1,77	2,04	4,91	7,73	10,83
			5%C	1,60	2,48	2,93	5,39	8,43	10,97

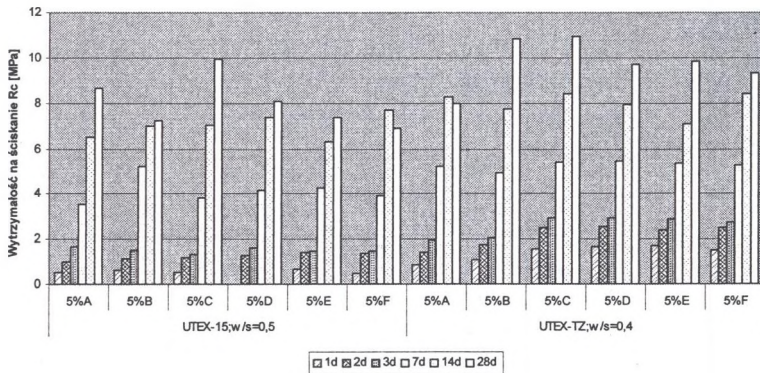
cd. tablicy 3.2.2

	5%D	1,68	2,51	2,92	5,44	7,92	9,69
	5%E	1,74	2,39	2,89	5,36	7,08	9,84
	5%F	1,54	2,48	2,74	5,25	8,44	9,32



Rys. 3.2.3. Wpływ modułu szkła wodnego na wytrzymałość na ściskanie spoiw UTEX-15 i UTEX-TZ. Ilość szkła wodnego sodowego – 3%, w/s=0,4 i 0,5

Fig. 3.2.3. Influence of sodium silicate modulus on compressive strength of UTEX-15 and UTEX-TZ mineral binders. Contents of sodium silicate -3%, water binder ratio=0,4 and 0,5



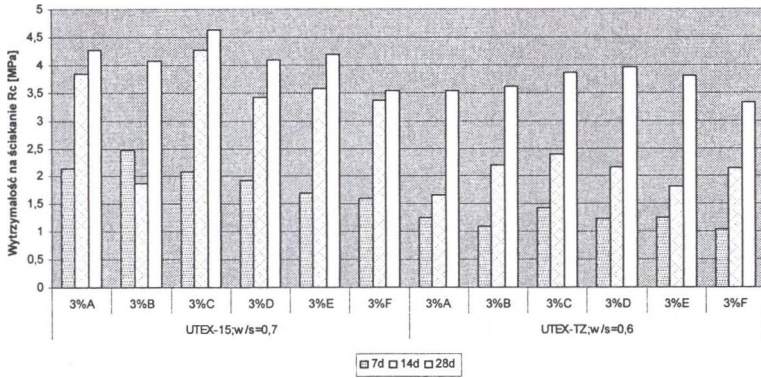
Rys. 3.2.4. Wpływ modułu szkła wodnego na wytrzymałość na ściskanie spoiw UTEX-15 i UTEX-TZ. Ilość szkła wodnego sodowego – 5%, w/s=0,4 i 0,5

Fig. 3.2.4. Influence of sodium silicate modulus on compressive strength of UTEX-15 and UTEX-TZ mineral binders. Contents of sodium silicate -5%, water binder ratio=0,4 and 0,5

Tablica 3.2.3

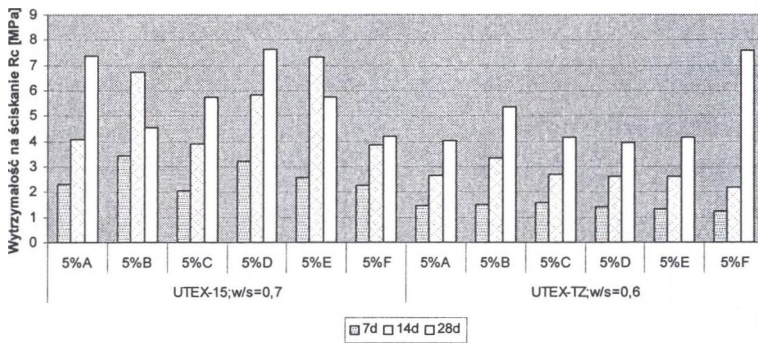
Wytrzymałość R_c [MPa] w czasie t [dni] spoiwa UTEX-15 i UTEX-TZ z 3% i 5% dodatkiem szkła wodnego sodowego przy $w/s=0,6$ i $w/s=0,7$

Rodzaj spoiwa	Szkło wodne	w/s	Wytrzymałość na ściskanie R_c [MPa]				
			7d	14d	28d		
UTEX-15	3%	0,7	3%A	2,15	3,85	4,26	
			3%B	2,48	1,87	4,08	
			3%C	2,08	4,27	4,63	
			3%D	1,93	3,42	4,1	
			3%E	1,7	3,58	4,19	
			3%F	1,6	3,35	3,54	
	5%	0,7	5%A	2,32	4,08	7,36	
			5%B	3,43	6,73	4,55	
			5%C	2,05	3,88	5,75	
			5%D	3,21	5,83	7,65	
			5%E	2,56	7,35	5,73	
			5%F	2,27	3,85	4,22	
	UTEX-TZ	3%	0,6	3%A	1,25	1,67	3,54
				3%B	1,09	2,21	3,60
3%C				1,43	2,40	3,85	
3%D				1,23	2,17	3,95	
3%E				1,25	1,81	3,81	
3%F				1,04	2,15	3,31	
5%		0,6	5%A	1,44	2,66	4,03	
			5%B	1,52	3,34	5,36	
			5%C	1,60	2,69	4,17	
			5%D	1,43	2,63	3,93	
			5%E	1,31	2,59	4,15	
			5%F	1,23	2,17	7,58	



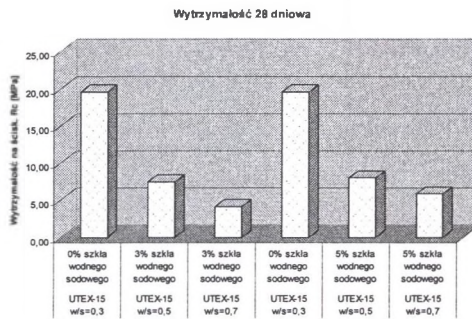
Rys. 3.2.5. Wpływ modułu szkła wodnego na wytrzymałość na ściskanie spoiw UTEX-15 i UTEX-TZ. Ilość szkła wodnego sodowego – 3%, w/s=0,6 i 0,7

Fig. 3.2.3. Influence of sodium silicate modulus on compressive strength of UTEX-15 and UTEX-TZ mineral binders. Contents of sodium silicate -3%, water binder ratio=0,6 and 0,7



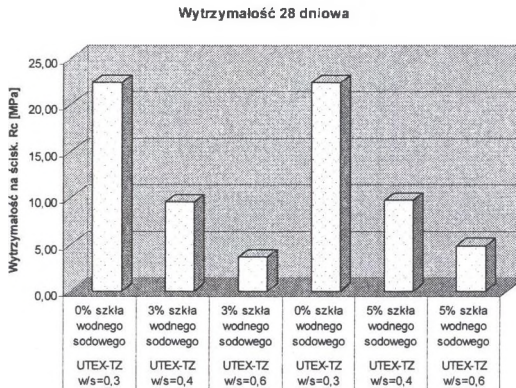
Rys. 3.2.6. Wpływ modułu szkła wodnego na wytrzymałość na ściskanie spoiw UTEX-15 i UTEX-TZ. Ilość szkła wodnego sodowego – 5%, w/s=0,6 i 0,7

Fig. 3.2.6. Influence of sodium silicate modulus on compressive strength of UTEX-15 and UTEX-TZ mineral binders. Contents of sodium silicate -5%, water binder ratio=0,6 and 0,7



Rys. 3.2.7. Wytrzymałość na ściskanie spoiwa UTEX-15 z 3% i 5% zawartością szkła wodnego sodowego przy różnych w/s

Fig. 3.2.7. Compressive strength of UTEX-15 mineral binder Contents 3% and 5% of sodium silicate by different water binder ratio



Rys.3.2.8. Wytrzymałość na ściskanie spoiwa UTEX-TZ z 3% i 5% zawartością szkła wodnego sodowego przy różnych w/s

Fig. 3.2.8. Compressive strength of UTEX-TZ mineral binder Contents 3% and 5% of sodium silicate by different water binder ratio

Badania laboratoryjne wykazały decydujący wpływ współczynnika wodno-spoiwowego na obniżenie końcowej wytrzymałości na ściskanie badanych, stwardniałych zaczynów spoiwowych. Ze wzrostem wartości w/s maleje końcowa wytrzymałość na ściskanie.

Na rysunkach 3.2.1 i 3.2.2 przedstawiono wpływ wzrostu współczynnika w/s na wytrzymałość na ściskanie badanych zaczynów spoiwowych. Dla spoiwa UTEX-15 zmiana współczynnika w/s z 0,3 na 0,5 powoduje spadek wytrzymałości o ok. 54%, dalszy wzrost współczynnika w/s do 0,7 zmniejsza wytrzymałość aż o ok. 74%. Mniejszy, choć również zauważalny, jest spadek wytrzymałości na ściskanie po 28 dniach o ok. 36% spoiwa UTEX-TZ, przy wzroście współczynnika w/s z 0,3 na 0,4, by osiągnąć spadek o 60% przy dalszym wzroście w/s do wartości 0,6.

Wyniki badań laboratoryjnych potwierdziły także wpływ ilości i modułu szkła wodnego sodowego, dodawanego w ilości 3% i 5% na wytrzymałość R_c zaczynów ze spoiw UTEX-15 i UTEX-TZ (tablice 3.2.2 i 3.2.3 oraz rysunki 3.2.3 - 3.2.8).

Analizując wyniki badań laboratoryjnych określające wpływ zawartości szkła wodnego sodowego w ilości 3% i 5% na wytrzymałość na ściskanie spoiwa UTEX-TZ można zauważyć, że wpływ ten jest bardziej widoczny przy wyższym współczynniku w/s. Interesujący jest również niewielki, choć dobrze widoczny wzrost wytrzymałości na ściskanie spoiwa UTEX-TZ, przy wzroście zawartości szkła wodnego sodowego z 3% na 5% i to zarówno przy współczynniku w/s=0,4, jak i w/s=0,6 (rys. 3.2.3 – 3.2.8).

Analizując wyniki badań laboratoryjnych określające wpływ zawartości szkła wodnego sodowego w ilości 3% i 5% na wytrzymałość na ściskanie spoiwa UTEX-15 można zauważyć niewielki, choć dobrze widoczny wzrost wytrzymałości na ściskanie spoiwa UTEX-15 przy

wzroście zawartości szkła wodnego sodowego z 3% na 5% i to przy współczynniku $w/s=0,5$, jak i $w/s=0,7$.

3.3. Czasy wiązania

Jedną z podstawowych własności praktycznych, oznaczanych dla mineralnych spoiw górniczych, jest czas wiązania, określony przez początek i koniec wiązania. Oznaczenie czasów wiązania wykonano zgodnie z PN-EN 196-3 „*Metody badania cementu. Oznaczenie czasów wiązania*”. Czasy wiązania spoiwa górniczego typu UTEX-15 i UTEX-TZ ze szkłem wodnym sodowym przedstawiono w tabelicy 3.3.1.

Tablica 3.3.1
Czasy wiązania spoiw UTEX-15 i UTEX TZ ze szkłem wodnym sodowym

Rodzaj spoiwa	w/s	Szkło wodne sodowe	Zawart.szkła wodnego [%]	Tp [godz.:min.]	tk [godz.:min.]
UTEX-15w	0,5	A	3	2:10	4:50
			5	1:47	4:12
		B	3	2:47	9:42
			5	10:50	14:40
		C	3	7:41	12:36
			5	10:32	14:58
		D	3	2:52	8:39
			5	4:38	9:55
		E	3	2:53	8:46
			5	3:15	8:45
		F	3	6:35	10:50
			5	10:43	13:47
	0,7	A	3	2:05	6:20
			5	1:35	3:50
		B	3	2:40	9:10
			5	4:20	8:55
		C	3	5:20	10:20
			5	5:45	9:30
		D	3	1:55	5:10
			5	3:35	9:15
		E	3	2:25	6:25
			5	2:45	8:30
		F	3	5:30	11:55
			5	6:10	10:30

cd. tablicy 3.3.1

UTEX-TZ			0,4		0,6		
	A	3	0:37	4:36			
		5	0:03	0:58			
	B	3	1:28	4:54			
		5	0:10	1:57			
	C	3	3:32	5:32			
		5	1:35	2:25			
	D	3	1:41	4:52			
		5	0:19	1:52			
	E	3	0:13	2:32			
		5	0:02	0:38			
	F	3	4:17	6:32			
		5	1:24	3:27			
		A	3	3:48	8:34		
			5	0:46	3:45		
B		3	5:24	8:54			
		5	0:25	1:50			
C		3	9:31	11:16			
		5	7:29	12:43			
D		3	2:47	7:30			
		5	0:35	1:48			
E		3	4:10	9:10			
		5	0:24	1:03			
F		3	3:12	8:08			
		5	2:19	6:04			

Badania laboratoryjne wykazały bardzo zróżnicowany wpływ wartości współczynnika w/s oraz ilości i modułu szkła wodnego sodowego na czas początku i końca wiązania. Czasy początku wiązania wahały się od ok. 1,5 godziny do ok. 11 godzin, czasy końca wiązania od ok. 4 godzin do ok. 15 godzin.

Spoivo UTEX-15

Przy $w/s=0,5$ najkrótszy czas początku (t_p) i końca (t_k) wiązania uzyskano dla 5% ilości szkła wodnego sodowego, oznaczonego symbolem „A”, czas początku wiązania wynosi $t_p = 1$ godzina 47 minut, a czas końca wiązania $t_k = 4$ godziny 12 minut. Najkrótsze czasy wiązania przy $w/s=0,7$ uzyskano dla 5% ilości szkła wodnego sodowego, oznaczonego symbolem „F”. Czas początku wiązania wynosi $t_p = 1$ godzina 18 minut a $t_k = 3$ godziny 39 minut.

Spoiwo UTEX-TZ

Przy $w/s=0,4$ najkrótszy czas początku (t_p) i końca (t_k) wiązania uzyskano dla 5% ilości szkła wodnego sodowego, oznaczonego symbolem „E”, czas początku wiązania wynosi $t_p = 2$ minuty a czas końca wiązania $t_k = 38$ minut. Najkrótsze czasy wiązania przy $w/s=0,6$ uzyskano dla 5% ilości szkła wodnego sodowego, oznaczonego symbolem „E”. Czas początku wiązania wynosi $t_p = 24$ minuty, a czas końca wiązania $t_k = 1$ godzina 3 minuty.

4. Podsumowanie i wnioski końcowe

1. Hydrauliczny system transportu górnictw spoiw mineralnych z powierzchni kopalni wymaga dokładnego określenia: właściwości reologicznych zaczynu spoiwowego, sposobu modyfikacji konsystencji w miejscu stosowania oraz wpływu stosowanych modyfikatorów na zmianę właściwości fizykomechanicznych zaczynu spoiwowego i „stwardniałego zaczynu spoiwowego”, posiadającego w pełni uformowaną strukturę i właściwości.
2. Zmiana współczynnika wodno-spoiwowego oraz dodatek szkła wodnego sodowego wpływają na zmianę właściwości fizykomechanicznych spoiw mineralnych UTEX-15 i UTEX-TZ.
3. Badania laboratoryjne wykazały, że decydujący wpływ na obniżenie wytrzymałości na ściskanie badanych zaczynów spoiwowych ma wartość współczynnika wodno-spoiwowego (w/s).
4. Dodatek szkła wodnego sodowego przy wysokich wartościach współczynnika w/s zasadniczo nie wpływa na obniżenie wytrzymałość na ściskanie stwardniałych zaczynów ze spoiw mineralnych UTEX-15 i UTEX-TZ. Wielkość zmian wytrzymałości R_c zależy od modułu szkła wodnego i jego ilości w stosunku do masy spoiwa.
5. Szkło wodne sodowe różnicuje czasy wiązania zaczynów ze spoiw UTEX-15 i UTEX-TZ. Zakres regulacji zależy od wartości współczynnika wodno-spoiwowego, modułu szkła wodnego i jego ilości w stosunku do masy spoiwa.
6. Badania laboratoryjne wykazały, że spoiwa mineralne UTEX-15 i UTEX-TZ mogą być transportowane hydraulicznie w postaci zaczynu z powierzchni kopalni i stosowane w podziemnych wyrobiskach górnictw, pod warunkiem określenia wpływu współczynnika w/s i dodatku szkła wodnego na obniżenie wytrzymałości na ściskanie stosowanych spoiw.

LITERATURA

1. Madaj M., Klimas W.: Wpływ współczynnika w/s na wybrane własności spoiw popiołowo-cementowych. Międzynarodowa konferencja VII Szkoła Geomechaniki, Gliwice-Ustroń 2005.
2. Jahn Ch., Madaj M.: Transport hydrauliczny górnich spoiw mineralnych z powierzchni kopalni. Międzynarodowa konferencja VII Szkoła Geomechaniki, Gliwice-Ustroń 2005.
3. Madaj M.: Transport grawitacyjny spoiw mineralnych. III Warsztaty górnice. Popioły lotne i spoiwa mineralne w technologiach górnich. Wiśła, 2006.
4. Madaj M.: Górnice spoiwo mineralne UTEX-TZ. Międzynarodowa konferencja VII Szkoła Geomechaniki, Gliwice-Ustroń 2005.
5. Madaj M.: Spoiwa mineralne na bazie popiołów lotnych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej z. 246, Gliwice 2000.
6. Madaj M., Klimas W.: Spoiwa mineralne w budownictwie podziemnym. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej z. 246, Gliwice 2000.
7. Schroer D., Bolesta M.: Der Verarbeitungseinfluss auf die Festigkeit und das Gefuge von Baustoffen. Gluckauf 132, 1996.
8. Skalmowski W.: Chemia materiałów budowlanych. Warszawa 1971.
9. Neville A.M.: Właściwości betonu Polski Cement, Kraków 2000.
10. Skalmowski W.: Technologia materiałów budowlanych, tom 2, Warszawa 1972.
11. Praca zbiorowa Budownictwo betonowe.: Technologia betonu, tom 1 cz. 2, Arkady 1972.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Maciej Mazurkiewicz