

**Stanisław Stryczek*, Andrzej Gonet*,
Rafał Wiśniowski*, Tomasz Biskup***

WPLYW PYŁÓW CEMENTOWYCH Z CEMENTOWNI CHEŁM NA WŁAŚCIWOŚCI TECHNOLOGICZNE ZACZYNÓW USZCZELNIAJĄCYCH**

1. WSTĘP

Jednym z najbardziej istotnych czynników – oprócz wyboru optymalnej metody i technologii – wpływających na skuteczność uszczelniania i wzmacniania ośrodka gruntowego i masywu skalnego metodami geoinżynieryjnymi jest dobór rodzaju zaczynu uszczelniającego o odpowiednich parametrach technologicznych do istniejących warunków geologicznych, geotechnicznych i hydrogeologicznych. Różne właściwości chemiczne i fizyczne gruntów oraz skał mogą w rozmaity sposób oddziaływać na procesy wiązania i twardnienia zaczynu.

W miarę rozwoju technologii uszczelniania i wzmacniania gruntów oraz skał metodami iniekcji otworowej istnieje konieczność stosowania nowej generacji spoiw hydraulicznych, z których można otrzymywać zaczyny uszczelniające o wymaganych parametrach technologicznych.

Właściwy dobór spoiwa hydraulicznego ma zapewnić uzyskanie zaczynu, który powinien charakteryzować się między innymi [2, 3, 4, 6]:

- dobrą współpracą z uszczelnionym ośrodkiem o różnym wykształceniu litologicznym, w tym także z minerałami typu ilastego;
- minimalną ekspansją;
- wysoką odpornością na działanie silnie zmineralizowanych wód gruntowych i złożowych;
- małym odstojem oraz niską filtracją;
- względnie niskim kosztem w odniesieniu do celu zadania, jakie ma spełniać w uszczelnianym ośrodku.

* Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH, Kraków

** Praca została zrealizowana w ramach projektu badawczego własnego o nr N N524 369637, finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego

Celem zapewnienia wysokiej skuteczności wykonywanych prac należy stosować zaczyny uszczelniające, które muszą spełniać kilka kryteriów.

Pierwszym z nich jest warunek zgodności pod względem fizykochemicznym z górotworem.

Drugi warunek wynika z kryterium przetłaczania zaczynu. Realizuje się go przez odpowiedni dobór modelu reologicznego i parametrów reologicznych zaczynu uszczelniającego. Prawidłowo wyznaczone parametry reologiczne umożliwiają bowiem obliczenie oporów przepływu zaczynu w systemie cyrkulacyjnym od agregatów zatłaczających do miejsca jego lokowania.

Trzecim wymogiem jest potrzeba zapewnienia odpowiedniej wytrzymałości oraz trwałości stwardniałych zaczynów uszczelniających, powstałych na skutek procesów fizykochemicznych. Receptury zaczynów powinny być tak dobrane, by utworzone ciało stałe miało właściwości mechaniczne takie same lub porównywalne z właściwościami naturalnego górotworu. Zapewniając stabilność i konsolidację zarówno ośrodka gruntowego, jak i masywu skalnego, eliminuje się przyczyny występowania dodatkowych przemieszczeń i deformacji w górotworze.

Czwarty warunek powinien uwzględniać czynnik ekonomiczno-ekologiczny. Celem zminimalizowania kosztów związanych z ceną jednostkową zaczynów można stosować w odpowiednich warunkach zazwyczaj tanie, a niekiedy odpadowe dodatki.

Wykorzystanie tego typu dodatków do sporządzania zaczynów może wpłynąć na:

- polepszanie parametrów technologicznych świeżych i stwardniałych zaczynów;
- zmniejszanie kosztów zaczynu;
- utylizację składowanych materiałów, a w konsekwencji na zmniejszenie degradacji środowiska naturalnego.

Zaczyny uszczelniające sporządzone na osnowie cementu portlandzkiego mają wiele wad: długi czas wiązania, nieodpowiednie właściwości reologiczne oraz mała odporność na korozję chemiczną. Te niekorzystne właściwości zaczynów cementowych można w sposób istotny poprawić przez wprowadzenie do składu ich receptur odpowiednich dodatków. W związku z powyższym, w ostatnich latach prowadzone są intensywne badania nad dalszym rozwojem spoiw i zaczynów w celu uzyskania spoiw nowej generacji o zwiększonej trwałości [1, 2, 3, 4, 6, 7].

2. PYŁY CEMENTOWE

Pył cementowy jest to drobny materiał pozyskiwany jako odpad w produkcji cementu. Pył ten składa się z cząstek klinkieru, związków wapnia i innych alkalicznych związków chemicznych. Zawartość tych związków w znacznej mierze zależy od surowców użytych do produkcji cementu. Głównymi źródłami emisji pyłów są piece obrotowe, młyny surowca, chłodniki klinkieru oraz młyny cementu. Konstrukcja i niezawodność nowoczesnych elektrofiltrów i filtrów workowych zapewnia redukcję emisji pyłów do takiego poziomu, że przestają one być znaczące; w niektórych instalacjach uzyskano poziom emisji 10 mg/m^3 .

Wymogi ze strony Unii Europejskiej nakładają na cementownie obowiązek wykorzystywania odpadów komunalnych jako paliw alternatywnych. W niektórych cementowniach paliwa alternatywne stanowią nawet 50% energii dostarczanej do pieców obrotowych podczas produkcji klinkieru cementowego.

Składniki uboczne zawarte w surowcach rozpuszczają się w stopie w temperaturze klinkieryzacji i wpływają w znacznym stopniu na krystalizację alitu. Składniki uboczne są rozmieszczane w fazach klinkierowych w miarę ich krystalizacji ze stopu [5].

Podczas wypalania klinkieru w piecu panuje temperatura około 1450°C, natomiast temperatura gazów wylotowych sięga nawet 2000°C, co pozwala na prawie całkowitą syntezę wszystkich składników wprowadzonych do pieca. Wyjątkami są niektóre związki sodu, chloru oraz potasu, które nie wiążą się z innymi składnikami klinkieru tylko występują jako chmura pyłów w piecu. Zbyt duże nagromadzenie tych związków może prowadzić do tworzenia się napieków oraz narostów wewnątrz instalacji, co w niektórych sytuacjach może nawet spowodować konieczność ostudzenia pieca. W ekstremalnych sytuacjach ostudzenie pieca kończyło się w przeszłości nawet pęknięciem wymurówki. Szczególnie narażoną częścią pieca są obejścia (*by-passy*), gdzie najczęściej dochodzi do powstawania narostów.

Konieczność usuwania części popiołów z pieca powoduje powstawanie pyłów cementowych, będących mieszaniną wielu składników, które prawdopodobnie mogą być zastosowane jako dodatki do zaczynów cementowych, w celu modyfikacji ich parametrów technologicznych.

W artykule przedstawiono wyniki badań laboratoryjnych wpływu koncentracji pyłów cementowych z cementowni Chełm na kształtowanie się właściwości technologicznych zaczynów sporządzanych na osnowie cementu hutniczego.

3. BADANIA LABORATORYJNE

Celem badań laboratoryjnych było określenie wpływu koncentracji pyłów cementowych z cementowni Chełm na właściwości technologiczne świeżych i stwardniałych zaczynów uszczelniających sporządzonych na osnowie cementu hutniczego CEM III/A 32,5.

3.1. Metodyka badań laboratoryjnych

Badania laboratoryjne związane z pomiarem parametrów reologicznych świeżych zaczynów uszczelniających przeprowadzono według następujących norm:

1. *API Recommended Practice for Testing Oil-Well Cements and Cement Additives*. API RP 10 B. April 1997.
2. PN-EN 197-1: 2002, *Cement. Część 1. Skład, wymagania i kryteria zgodności dotyczące cementów powszechnego użytku*.
3. PN-EN ISO 10426-2, *Przemysł naftowy i gazowniczy. Cementy i materiały do cementowania otworów. Część 2. Badania cementów wiertniczych*, 2003.

Wykonane badania laboratoryjne zaczynów uszczelniających obejmowały pomiar między innymi następujących parametrów:

- właściwości reologicznych (lepkości plastycznej, lepkości pozornej, granicy płynięcia, współczynnika konsystencji, parametru wyznaczającego miarę odchylenia badanej cieczy od cieczy newtonowskiej) – za pomocą lepkościomierza obrotowego Chan 35 API Viscometer o dwunastu prędkościach obrotowych oraz płynnej regulacji obrotów [8, 9];
- rozlewności – za pomocą stożka ściętego (AzNII);
- lepkości umownej (względnej) – za pomocą kubka Forda Nr 4;
- wytrzymałości mechanicznej na ściskanie i zginanie.

3.2. Charakterystyka surowców służących do sporządzania zaczynów uszczelniających

Do sporządzenia zaczynów uszczelniających użyto następujących materiałów:

- cement hutniczy CEM III/A 32,5;
- pył cementowy z cementowni Chełm;
- woda wodociągowa.

Pył cementowy użyty w badaniach pochodził z elektrofiltra cementowego oraz z instalacji *by-pass*. Skład chemiczny pyłu został przedstawiony w tabeli 1.

Tabela 1

Skład chemiczny pyłów z elektrofiltra cementowego i pyłów z *by-passa* [1]

Składnik	Pył z elektrofiltra	Pył z <i>by-passa</i>
	Zawartość składnika [% wag.]	
Str. pr. 875°	35,6	3,7
Str. pr. 1200°	–	35,0
SiO ₂	7,08	11,58
Al ₂ O ₃	2,24	3,65
CaO	53,05	39,8
MgO	0,37	0,50
SO ₃	0,25	3,52
Na ₂ O	0,008	0,40
K ₂ O	0,43	20,29
Cl ⁻	0,23	14,09
CaO _w	0,08	25,83

Skład fazowy pyłów z elektrofiltra i z instalacji *by-passa* badany za pomocą dyfrakto-metrii rentgenowskiej oraz analizy termogravimetrycznej przedstawia tabela 2.

Tabela 2Skład fazowy pyłów z elektrofiltra cementowego i pyłów z *by-passa* [1]

Faza	Pył z elektrofiltra	Pył z <i>by-passa</i>
	Zawartość fazy [% wag]	
Sylwin KCl	ślady	28,6
Halit NaCl	ślady	1,0
CaO _w	0,08	25,84
Anhydryt CaSO ₄	ślady	2,8
Kalcyt CaCO ₃	80,9	4,1
Kwarc SiO ₂	4,5	+
Belit	+	+
C ₁₂ A ₇	+	+
Portlandyt * Ca(OH)	+	6,8

+ – analiza jakościowa RTG

* – obecność portlandytu związana jest z hydratacją wolnego wapna w próbce

W tabelach 3, 4 i 5 przedstawiono wyniki z badań laboratoryjnych parametrów technologicznych świeżych zaczynów uszczelniających, natomiast w tabeli 6 parametry stwardniałych zaczynów o różnych współczynnikach wodno-mieszaninowych i różnych koncentracjach pyłów cementowych.

Tabela 3

Wyniki badań określające parametry technologiczne świeżych zaczynów uszczelniających

Lp.	Oznaczenie zaczynu uszczelniającego [-]	Współczynnik wodno-mieszaninowy [-]	Gęstość [kg/m ³]	Rozlewność wg stożka AzNII [mm]	Lepkość względna wg kubka Forda nr 4 [s]	Odstój [%]	Filtracja właściwa ΔP = 0,7 MPa [cm ³ /s]
1	CEM III + 0%	0,5	1820	150	n.m.	2,1	47/20 2,350
2	CEM III + 5%	0,5	1820	140	n.m.	2,0	47/20 2,350

Tabela 3 cd.

Lp.	Oznaczenie zaczynu uszczelniającego [-]	Współczynnik wodno-mieszaninowy [-]	Gęstość [kg/m ³]	Rozlewność wg stożka AzNII [mm]	Lepkość względna wg kubka Forda nr 4 [s]	Odstój [%]	Filtracja właściwa $\Delta P = 0,7 \text{ MPa}$ [cm ³ /s]
3	CEM III + 10%	0,5	1810	150	n.m.	1,6	54/11 4,091
4	CEM III + 15%	0,5	1820	125	n.m.	1,0	42/24 1,750
5	CEM III + 20%	0,5	1830	120	n.m.	0,4	40/18 2,222
6	CEM III + 0%	0,6	1720	150	n.m.	2,9	55/13 4,230
7	CEM III + 5%	0,6	1730	160	35	3,0	50/11 4,545
8	CEM III + 10%	0,6	1720	175	40	2,5	63/10 6,300
9	CEM III + 15%	0,6	1720	220	42	2,0	60/14 4,285
10	CEM III + 20%	0,6	1730	230	41	1,9	61/15 4,066
11	CEM III + 0%	0,7	1650	150	22	3,7	70/10 7,000
12	CEM III + 5%	0,7	1650	280	26	3,8	70/7 10,000
13	CEM III + 10%	0,7	1660	205	25	4,0	85/10 8,500
14	CEM III + 15%	0,7	1650	240	27	3,4	71/14 5,071
15	CEM III + 20%	0,7	1650	240	22	3,2	72/12 6,000

n.m. – niemierzalne

Tabela 4

Czasy wiązania zaczynów uszczelniających

Lp.	Oznaczenie zaczynu uszczelniającego [-]	Składniki zaczynu uszczelniającego przypadające na 100 dm ³ cieczy zarobowej			Czas wiązania [godz.]		
		Ciecz zarobowa [dm ³]	CEM III/A 32,5 [kg]	Pył cementowy [kg]	Początek wiązania	Koniec wiązania	Czas wiązania
1	0,5/0	100	200	–	6 h 20 min	9 h 30 min	3 h 10 min
2	0,5/5	100	190	10	5 h 40 min	8 h 0 min	2 h 20 min
3	0,5/10	100	180	20	9 h 30 min	12 h 0 min	2 h 30 min
4	0,5/15	100	170	30	6 h 0 min	8 h 30 min	2 h 30 min
5	0,5/20	100	160	40	4 h 40 min	6 h 50 min	2 h 20 min
6	0,6/0	100	166,6	–	7 h 10 min	12 h 10 min	5 h 0 min
7	0,6/5	100	158,3	8,3	7 h 30 min	12 h 0 min	4 h 30 min
8	0,6/10	100	150	16,6	6 h 40 min	12 h 30 min	5 h 50 min
9	0,6/15	100	141,66	25	8 h 0 min	12 h 0 min	4 h 0 min
10	0,6/20	100	133,3	33,3	5 h 10 min	8 h 20 min	3 h 10 min
11	0,7/0	100	142,9	–	8 h 20 min	12 h 40 min	4 h 20 min
12	0,7/5	100	135,2	7,7	8 h 40 min	13 h 40 min	5 h 0 min
13	0,7/10	100	128,6	14,3	13 h 30 min	17 h 30 min	4 h 0 min
14	0,7/15	100	121,5	21,4	7 h 50 min	15 h 20 min	7 h 30 min
15	0,7/20	100	114,32	28,6	12 h 30 min	18 h 10 min	5 h 40 min

Tabela 5

Parametry reologiczne określone w przypadku różnych modeli reologicznych płynów w temperaturze 20°C

Parametry reologiczne		Koncentracja pyłów [%]					
		0	5	10	15	20	
w/m = 0,5	Model Newtona	Lepkość dynamiczna Newtona [Pa·s]	0,1328	0,2658	0,1637	0,2841	0,4285
		Współczynnik korelacji [-]	0,9045	0,9480	0,9230	0,9315	0,9509
	Model Bingham'a	Lepkość plastyczna [Pa·s]	0,1115	0,2294	0,1393	0,2402	0,3669
		Granica płynięcia [Pa]	13,7957	12,2729	15,7265	14,8187	13,3698
		Współczynnik korelacji [-]	0,9672	0,9856	0,9752	0,9816	0,9931
	Model Ostwalda-de Waele'a	Współczynnik konsystencji [Pa·s ⁿ]	2,9491	3,3643	3,2791	4,0654	5,0857
		Wykładnik potęgowy [-]	0,5265	0,5623	0,5413	0,5452	0,5288
		Współczynnik korelacji [-]	0,9982	0,9956	0,9989	0,9975	0,9810
	Model Cassona	Lepkość Cassona [Pa·s]	0,0831	0,1702	0,1049	0,1735	2,2561
		Granica płynięcia [Pa]	5,3823	4,5304	5,9561	5,8145	5,5118
		Współczynnik korelacji [-]	0,9820	0,9940	0,9876	0,9919	0,9992
	Model Herschela-Bulkleya	Granica płynięcia [Pa]	0,4769	1,9945	1,6735	1,8850	6,4472
		Współczynnik konsystencji [Pa·s ⁿ]	2,6228	2,1973	2,4980	2,9878	1,5810
		Wykładnik potęgowy [-]	0,5468	0,6407	0,5846	0,6002	0,7512
		Współczynnik korelacji [-]	0,9986	0,9994	0,9998	0,9991	0,9999
		Lepkość pozorna przy 1022,04 [s ⁻¹] [Pa·s]	0,1125	n.m.	0,1425	n.m.	n.m.
w/m = 0,6	Model Newtona	Lepkość dynamiczna Newtona [Pa·s]	0,0919	0,1125	0,0932	0,0881	0,1343
		Współczynnik korelacji [-]	0,9371	0,9073	0,9299	0,9242	0,8629
	Model Bingham'a	Lepkość plastyczna [Pa·s]	0,0793	0,0950	0,0794	0,0749	0,1103
		Granica płynięcia [Pa]	8,1254	11,2986	8,9175	8,4856	15,5023
		Współczynnik korelacji [-]	0,9802	0,9650	0,9819	0,9774	0,9424
	Model Ostwalda-de Waele'a	Współczynnik konsystencji [Pa·s ⁿ]	1,8148	2,1921	2,1242	1,9902	3,2796
		Wykładnik potęgowy [-]	0,5376	0,5494	0,5161	0,5171	0,5134
		Współczynnik korelacji [-]	0,9948	0,9993	0,9940	0,9948	0,9933
	Model Cassona	Lepkość Cassona [Pa·s]	0,0595	0,0731	0,0573	0,0549	0,0836
		Granica płynięcia [Pa]	3,0824	4,1054	3,6814	3,3997	5,9420
		Współczynnik korelacji [-]	0,9912	0,9791	0,9932	0,9900	0,9620
	Model Herschela-Bulkleya	Granica płynięcia [Pa]	1,5465	0,0000	2,5875	1,6133	0,0000
		Współczynnik konsystencji [Pa·s ⁿ]	1,0422	2,4584	0,9858	1,1525	4,7108
		Wykładnik potęgowy [-]	0,6284	0,5336	0,6363	0,6062	0,4659
		Współczynnik korelacji [-]	0,9996	0,9993	0,9994	0,9995	0,9943
		Lepkość pozorna przy 1022,04 [s ⁻¹] [Pa·s]	0,0815	0,095	0,0825	0,0765	0,1785

Tabela 5 cd.

w/m = 0,7	Model Newtona	Lepkość dynamiczna Newtona [Pa·s]	0,0485	0,0696	0,0495	0,0586	0,0584
		Współczynnik korelacji [-]	0,8671	0,9101	0,9105	0,9154	0,9388
	Model Bingham'a	Lepkość plastyczna [Pa·s]	0,0397	0,0583	0,0416	0,0494	0,0500
		Granica płynięcia [Pa]	5,6888	7,3301	5,1178	5,9551	5,4572
		Współczynnik korelacji [-]	0,9506	0,9754	0,9727	0,9754	0,9883
	Model Ostwalda-de Waele'a	Współczynnik konsystencji [Pa·s ⁿ]	1,1966	1,8331	1,1732	1,4488	1,6375
		Wykładnik potęgowy [-]	0,5152	0,4941	0,5138	0,5034	0,4712
		Współczynnik korelacji [-]	0,9960	0,9943	0,9976	0,9949	0,9751
	Model Cassona	Lepkość Cassona [Pa·s]	0,0294	0,0412	0,0303	0,0355	0,0342
		Granica płynięcia [Pa]	2,2793	3,1554	2,0884	2,4784	2,4881
		Współczynnik korelacji [-]	0,9696	0,9897	0,9870	0,9893	0,9977
	Model Herschela-Bulkleya	Granica płynięcia [Pa]	0,0000	1,6737	0,7142	1,1400	2,5742
		Współczynnik konsystencji [Pa·s ⁿ]	1,5000	0,9810	0,8038	0,9367	0,3866
		Wykładnik potęgowy [-]	0,4821	0,5935	0,5743	0,5925	0,7037
		Współczynnik korelacji [-]	0,9963	0,9991	0,9995	0,9996	0,9993
Lepkość pozorna przy 1022,04 [s ⁻¹] [Pa·s]		0,0395	0,0600	0,0425	0,0505	0,0525	

Tabela 6

Wytrzymałość na zginanie oraz ściskanie kamienia uszczelniającego po 2, 7 oraz 28 dniach w przypadku różnych współczynników w/m

Lp.	Oznaczenie zaczynu uszczelniającego [-]	Współczynnik wodno-mieszaninowy [-]	Wytrzymałość na zginanie [MPa]			Wytrzymałość na ściskanie [MPa]		
			po czasie utwardzania [doba]			po czasie utwardzania [doba]		
			2	7	28	2	7	28
1	CEM III + 0%	0,5	2,505	5,425	9,616	5,625	13,542	29,166
2	CEM III + 5%	0,5	1,976	4,596	8,903	5,000	11,250	29,588
3	CEM III + 10%	0,5	1,624	4,024	7,572	4,375	8,958	23,333
4	CEM III + 15%	0,5	2,753	4,437	8,776	5,208	11,458	37,291
5	CEM III + 20%	0,5	1,803	4,135	6,853	5,416	11,041	28,333
6	CEM III + 0%	0,6	2,087	3,864	7,029	3,125	8,792	16,666
7	CEM III + 5%	0,6	1,689	3,035	6,261	2,708	7,083	16,666
8	CEM III + 10%	0,6	1,163	3,420	6,157	2,083	6,458	19,166
9	CEM III + 15%	0,6	1,361	3,037	5,176	1,875	5,833	14,583
10	CEM III + 20%	0,6	1,664	3,391	5,543	2,708	6,041	19,583
11	CEM III + 0%	0,7	1,078	2,935	6,805	1,875	5,208	13,541
12	CEM III + 5%	0,7	0,889	2,728	3,678	1,458	4,375	11,666
13	CEM III + 10%	0,7	0,814	2,448	3,918	1,458	3,541	11,875
14	CEM III + 15%	0,7	0,751	1,980	3,560	0,625	3,125	10,833
15	CEM III + 20%	0,7	0,669	1,907	3,933	0,625	3,333	10,000

4. WNIOSKI

1. Wzrost koncentracji pyłów cementowych z cementowni Chełm w zaczynach cementowych sporządzanych na osnowie cementu hutniczego CEM III/A 32,5 wpływa na parametry świeżych zaczynów i powoduje:
 - wzrost lepkości plastycznej;
 - wzrost lepkości pozornej;
 - wzrost lepkości względnej;
 - zwiększenie rozlewności (dla zaczynów o $w/m = 0,6$ i $w/m = 0,7$).
2. Dodatek pyłów cementowych nie wpływa w sposób istotny na zmianę gęstości zaczynów dla ustalonych współczynników wodno-mieszaninowych.
3. Na podstawie analizy otrzymanych wyników można stwierdzić, że dla wszystkich badanych koncentracji pyłów cementowych oraz współczynników wodno-mieszaninowych modelem najdokładniej opisującym parametry reologiczne zaczynów cementowych jest model Herschela–Bulkeleya.
4. Badane pyły cementowe w zakresie koncentracji do 20% (wagowo w stosunku do masy suchego cementu) nie wpływają w sposób istotny na pogorszenie się parametrów wytrzymałościowych stwardniałych zaczynów uszczelniających, zwłaszcza po dłuższym okresie utwardzania.
5. Biorąc pod uwagę uzyskane parametry technologiczne badanych zaczynów, można stwierdzić, że mogą być one zastosowane do wzmacniania i uszczelniania ośrodka gruntowego oraz masywu skalnego metodami iniekcji otworowej.

LITERATURA

- [1] Biskup T.: *Wpływ koncentracji pyłów cementowych z cementowni Chełm na właściwości technologiczne zaczynów uszczelniających sporządzonych na osnowie cementu hutniczego CEM III/A 32,5*, WwNiG AGH, Kraków 2008 (praca niepublikowana).
- [2] Brylicki W., Małolepszy J.: *Własności cementów zawierających odpady z fluidalnego spalania paliw w paleniskach cyrkulacyjnych – atmosferycznych*, Biuletyn Wydziału Inżynierii Materiałowej i Ceramiki nr 66/2001.
- [3] Giergiczny Z., Małolepszy J., Szwabowski J., Śliwiński J.: *Cementy z dodatkami mineralnymi w technologii betonów nowej generacji*, Góraźdże Cement, Opole 2002.
- [4] Kurdowski W.: *Chemia materiałów budowlanych*, Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków 2003.
- [5] Nakano T., Yokoyama S., Maki I.: *Badania podstawowe związane z produkcją cementu z popiołu ze spalania miejskich odpadów stałych*, „Cement, Wapno, Beton” 2007.
- [6] Neville A.M.: *Właściwości betonu*, Polski Cement, Kraków 2000.

- [7] Stryczek S., Gonet A.: *Wymagania odnośnie zaczynów uszczelniających stosowanych w technologiach wiertniczych*, Sympozjum Naukowo-Techniczne, *Cementy w budownictwie, robotach wiertniczych i inżynierskich oraz hydrotechnice*, Piła – Płotki 2001.
- [8] Wiśniowski R.: *Metodyka określania modelu reologicznego cieczy wiertniczej*, „Wiertnictwo, Nafta, Gaz” (rocznik AGH) 2001, r. 18/1.
- [9] Wiśniowski R., Skrzypaszek K.: *Komputerowe wspomaganie wyznaczania modelu reologicznego cieczy – program Flow Fluid Coef*, „Nowoczesne Techniki i Technologie Bezwykopowe” 2001, nr 2–3.