

Nowa technologia wydzielania koncentratów węglowych z odcieków z wirówek odwadniających flotokoncentraty

Jan J. Hycnar¹⁾

¹⁾ dr inż. Ecocoal Consulting Center Katowice Poland; ecocoalcenter@gmail.com

DOI: 10.29227/LM-2017-02-28

Streszczenie

Odcieki z wirówek odwadniających koncentraty flotacyjne węgla koksowych, niejednokrotnie stanowią znaczący problem w gospodarce wodno-mułowej, ze względu na wydzielanie gęstej czarnej piany pływającej na powierzchni wody w kanałach spływowych i w zagęszczaczach promieniowych. Do oczyszczania odcieków z fazy stałej stosowane są wybrane flokulanty, umożliwiające ich zagęszczanie i następne wydzielanie w prasach filtracyjnych, uzyskując placki fazy stałej (Sedyment) i oczyszczoną wodę z odcieków. Znaczne ilości odcieków nie jest zagęszczana i filtrowana, a jedynie mieszana z odpadami poflotacyjnymi i zagospodarowywana w wyrobiskach górniczych oraz deponowana w osadnikach odpadów.

Przeprowadzone badania wykazują, że fazę stałą w odcieku stanowią hydrofobowe ziarna węgla i hydrofilne ziarna składników mineralnych i węgla. Poprzez zastosowanie selektywnej sedymentacji, umożliwiającej oddzielne wydzielanie ziaren hydrofilnych (warstwa dolna), uzyskuje się wysokiej jakości koncentrat węglowy (warstwa górna, ziarna hydrofobowe). Proces selektywnej sedymentacji można znacznie przyspieszyć i uefektywnić poprzez dodatek do odcieku hydrofobujących reagentów.

Na podstawie prowadzonych badań i prób opracowano pilotową instalację wytwarzania koncentratów węglowych z przemysłowych odcieków z wirówek odwadniających flotokoncentraty. Opracowana technologia pozwala otrzymywać koncentraty węglowe o małej zawartości popiołu i wody oraz o wysokich parametrach energetycznych.

Słowa kluczowe: odcieki z wirówek odwadniających, węgiel z odcieków, Sedyment

Wprowadzenie

Dużym osiągnięciem w technologii suszenia koncentratów flotacyjnych węgla koksowych jest zastosowanie wirówek odwadniających, co pozwoliło obniżyć koszty inwestycyjne, poprawę ekonomii procesu odwodnienia i znaczące zmniejszenie emisji zanieczyszczeń do środowiska, w porównaniu do rozwiązań stosujących suszarnie termiczne.

Do odwadniania koncentratów flotacyjnych stosowane są wirówki sedymentacyjno-sitowe (sedymentacyjno-filtracyjne) i sedymentacyjne produkowane między innymi przez firmy: Andritz/Bird, Decanter, Humboldt-Wedag, Bird/Wemco. Przekrój wirówki sedymentacyjno-filtracyjnej ilustruje rysunek 1.

Jednoczenie w literaturze można zauważyć, że „jedną z największych wad takiego rozwiązania jest powstawanie produktu ubocznego, tzw. „Sedymentu”, czyli odcieku ...” [2] i „że ze względu na duże strumienie zawiesiny odpadowej konieczne jest użycie w tym celu intensywnych metod, w tym filtracji ciśnieniowej i wirowej, zaś do zawiesiny należy dodać flokulant w odpowiedniej dawce, poprawiający warunki separacji fazowej” [3].

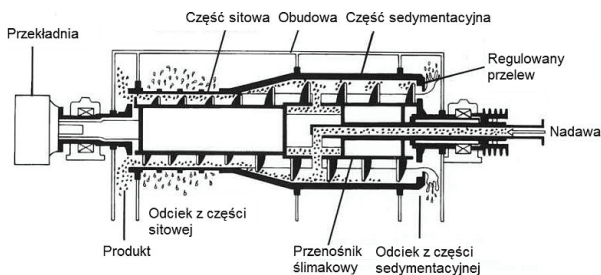
Odbierane odcieki z wirówek są niejednokrotnie kłopotliwym materiałem wydzielającym gęstą czarną pianę pływającą na powierzchni wody w kanałach spływowych i w zagęszczaczach promieniowych – rysunek 2. Wytworzony kożuch jest trudnym do zagęszczania w zagęszczaczach, zakłócając pracę obiegu wodno-

-mułowego w zakładzie wzbogacania węgla. Poprawę koagulacji Sedymentu uzyskuje się poprzez mieszanie ich z zawiesinami odpadów poflotacyjnych lub/i dodawanie flokulantów (np. Magnafloc) [2,3,4,13].

Zagęszczone odcieki, uważane za odpad, deponowane są w osadnikach mułowych (odpadów poflotacyjnych) lub wspólnie z odpadami poflotacyjnymi stosowane są do podsadzania wyrobiskach górniczych i doszczelnianie zrobów [4,12].

Do „pełnego” odwodnienia zagęszczonych odcieków w zagęszczalniku promieniowym stosowane są między innymi membranowe filtry komorowe, pozwalające na uzyskiwanie placków Sedymentu o zawartości wody poniżej 28 %, stanowiące paliwo samodzielne lub dodatek do wytwarzanych paliw energetycznych [2,4,9,10,12]. Stwierdzono również dobre efekty odwodnienia zagęszczonych odcieków za pomocą typowych pras komorowych poprzez dobranie płócien filtracyjnych [10]. Odwodnione placki Sedymentu stosowane są również do produkcji brykietów węglowych [5,6] i suspensji węglowo-wodnych [7,8,11]. Prowadzone są również badania laboratoryjne nad odzyskiem węgla z sedymentu w procesie flotacji pianowej [14].

Dokonany przegląd warunków powstawania i zagospodarowania odcieków i placków Sedymentu, dotyczy zawiesin odbieranych z wirówek bez dodatkowej ich obróbki (poza zagęszczaniem i dodawaniem flokulantów). Prezentowane wyniki badań przedstawiają nowe podejście do rozwiązywania problemów



Rys. 1. Przekrój wirówki sedymentacyjno-filtracyjnej [1]

Fig. 1. Section of the sedimentation and filtration centrifuge [1]

efektywnego zagospodarowania odcieków z wirówek odwadniających flotokoncentraty i otrzymywania koncentratów węglowych o najwyższych parametrach energetycznych.

Charakterystyka fizykochemiczna odcieków z wirówek odwadniających flotokoncentraty z węgla koksowych

Badania odcieków z wirówek wykazują, że zawierają głównie nie skoagulowane ziarna węgla wymywane ze złoża odwadnianych koncentratów flotacyjnych. Pod względem energetycznym Sedymenty charakteryzują się wysokimi parametrami kaloryczności. W porównaniu do innych drobnoziarnistych odcieków (mułów węglowych i odpadów poflotacyjnych) różnią się również składem ziarnowym, co ilustrują przykładowe dane w tabeli 1.

Wydzielona faza stała z przebadanych odcieków wykazuje wysokie ciepło spalania i wartość opałową przekraczające 23 MJ/kg, przy stosunkowo znacznych zawartościach składników mineralnych, oznaczanych jako popiół (dochodzących do 28 %). Wydzielone węgla zawierają wysokiej jakości macerał, charakterystyczny dla węgla koksowych. Przytoczone odpady poflotacyjne i muły węglowe, wykazują w porównaniu z Sedymentem największe różnice w zakresie kaloryczności, które w większości przypadków nie przekraczają 15 MJ/kg.

Budowa wirówek sedymentacyjno-filtracyjnych, oprócz składu ziarnowego odwadnianego koncentratu flotacyjnego, wpływa na uziarnienie i udział ziaren fazy stałej w odciekach z wirówek. W przypadku wirówki Bird'a (rys. 1 i tabela 1.), odciek z części sedymentacyjnej zawiera więcej wody a wydzielane ziarna zawierają więcej popiołu w porównaniu do odcieku z części sitowej.

Wspólną cechą tych odcieków jest zawartość ziaren fazy stałej o uziarnieniu poniżej 200 μm , przy zawartości powyżej 60% obj. ziaren poniżej 40 μm .



Rys. 2. Stan powierzchni wody z odcieku z wirówek w zagęszczaczu promieniowym [4]

Fig. 2. Water surface of effluent from centrifuges in radial thickeners [4]

Badania składu ziarnowego odcieków z różnych wirówek sedymentacyjno-sitowych pokazuje różnice w rozkładzie ziaren, ale wszystkie badane próbki wykazały, że większa ich ilość jest mniejsza od 63 μm .

Wydzielane odcieki z wirówek, jak już wcześniej podano, nie są zawiesinami trwałymi, ulegają koagulacji tworząc kożuch i osady (muł). Czasy pełnej koagulacji znacznie się różnią, w omawianych badaniach wahały się od 20 do 1.000 minut, ale w literaturze można odnotować czas krytyczny sedymentacji wynoszący 360 minut [15].

Prowadzone badania stabilności zawiesin w lejach Imhoffa o pojemności 1.000 ml wykazały, że odcieki o czarnej barwie ulegają samoczynnemu rozdziałowi, tworząc trzy warstwy:

- warstwę górną, „koncentrat węglowy”, zwaną także pianą, stanowiącą fazę stałą o silnie czarnej barwie, o właściwościach hydrofobowych;
- warstwę środkową, stanowi woda, w której obserwuje się ruch ziaren i aglomeratów węglowych zależnych od czasu postoju, stanowi przezroczystą lub zanieczyszczoną ciecz ziarnami fazy stałej;
- warstwę dolną, „muł”, stanowi zagęszczoną zawiesinę minerałów, o właściwościach hydrofilnych.

Wspólnie wydzielana faza stałych składników (warstwa górna i warstwa dolna) z odcieków, jak już wcześniej wspomniano, nazywana jest Sedymentem.

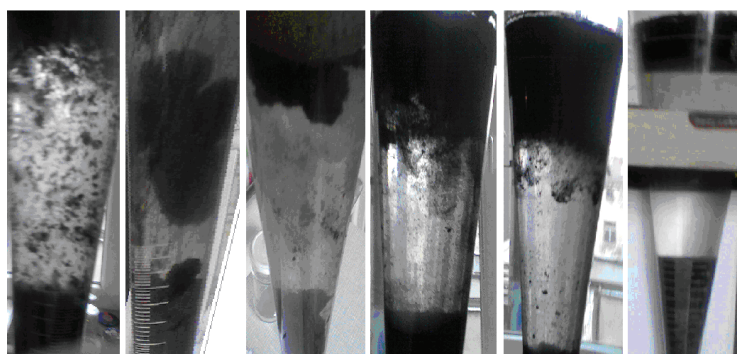
Udział ilościowy poszczególnych warstw jest zależny od składu zawiesiny wodno-węglowej i czasu swobodnego stania zawiesiny. Zachodzenie procesu koagulacji odcieku w lejach Imhoffa ilustruje rysunek 3.

Obserwując zachodzenie procesu aglomeracji zawieszonych ziaren węgla w duże zespoły, rejestrujemy ich wypływanie na powierzchnię wody nośnej. Jednocześnie, ciężkie ziarna zawarte w odcieku opadają na dół zawiesiny, tworząc warstwę ciężkich składników mineralnych. Warstwę środkową stanowi oczyszczana woda, wykazującą stosunkowo małą zmienność wysokości warstwy.

Tabela 1. Charakterystyka fizykochemiczna koncentratów węglowych wydzielonych z odcieków z wirówek odwadniających i drobnoziamistych odpadów węglowych

Table 1. Physicochemical characteristics of coal concentrates separated from leachate from centrifuges

L.p.	Oznaczenie	Sy- m- bol	Jed- nost- ka	SEDYMENT Z KWK						ODPAD		
				SZCZYGŁOW. Odciek z części		BORYNIA		JAS-MOS		ZO- FIÓW KA	PO FLO- TA- CYJ- NY	MUŁ WĘG- LO- WY
				si- to- wej	sed- ymen- tacyjnej	27	29	13	15			
1.	STAN ANALITYCZNY											
1.1.	Zawartość wilgoci	W ^a	%	-	-	0,88	0,87	0,9	0,96	0,66	-	0,72
1.2.	Zawartość popiołu	A ^a	%	14,4	24,5	17,88	11,64	17,0	10,6	5,56	45,73	51,05
1.3.	Ciepło spalania	Q _{sr} ^a	kJ/kg	-	-	28.551	30.642	29.994	31.771	33.099	-	15.745
1.4.	Wartość opałowa	Q _r ^a	kJ/kg	-	-	27.571	29.588	29.003	30.704	32.957	-	-
1.5.	Zawartość siarki	S _r ^a	%	-	-	0,67	0,70	0,39	0,40	-	-	0,9
1.6.	Węgiel pierwiastkowy	C _t ^a	%	-	-	-	-	73,8	-	-	-	-
2.	STAN ROBOCZY											
2.1.	Zawartość wilgoci	W _r ^r	%	-	-	31,6	29,6	17,9	10,5	-	26,5	31,22
2.2.	Zawartość popiołu	A ^r	%	-	-	12,34	8,26	14,1	9,58	-	34,05	35,37
2.3.	Wartość opałowa	Q _r ^r	kJ/kg	-	-	18.267	20.300	23.595	27.522	-	11.800	9.751
2.4.	Zawartość siarki	S _r ^r	%	-	-	0,46	0,50	0,32	0,36	-	0,88	0,62
2.5.	Węgiel pierwiastkowy	C _r ^r	%	-	-	-	-	61,1	-	-	-	-
3.	ANALIZA ZIARNIWA - SITOWA											
3.1.	Powyżej 0,120 mm	-	%	-	-	0,0	0,0	-	0,0	-	8,5	16,2
3.2.	Powyżej 0,063 mm	-	%	5,4	0	0,0	0,0	-	0,9	-	29,4	23,0
3.3.	Poniżej 0,063 mm	-	%	94,6	100,0	100,0	100,0	-	99,1	-	70,6	77,0
4.	ANALIZA ZIARNOWA - LASEROWA											
4.1.	Poniżej 4,8 8 μm	-	%	-	-	41,89	-	-	40,20	25,0	-	-
4.2.	Poniżej 10,48 μm	-	%	-	-	67,44	-	-	70,86	48,52	-	-
4.3.	Poniżej 41,43 μm	-	%	-	-	98,48	-	-	100,0	83,45	-	-
4.4.	Poniżej 76,32 μm	-	%	-	-	100,0	-	-	100,0	89,27	-	-
4.5.	Poniżej 222,3 μm	-	%	-	-	100,0	-	-	100,0	97,15	-	-
5.	ZAGĘSZCZENIE ODCIEKU											
5.1.	Zawartość części stałych		g/l	350	78	-	-	-	131	-	-	485



Rys. 3. Ilustracja procesu koagulacji fazy stałej z odcieków z wirówek odwadniających flotokonzentraty

Fig. 3. Illustration of solid phase coagulation process from effluents from centrifuges centrifuging flotoconcentrates

Kinetykę koagulacji przykładowego odcieku w lejach Imhoffa podano jako zmiany wysokości wydzielanych warstw, co ilustrują dane z tabeli 2 i na rysunku 4.

W przypadku warstwy górnej, kształtującej się średnio na wysokości ok. 20 mm oznacza to, że objętość aglomeratu węglowego wynosi około 140 cm³, czyli zawartość

koncentratu węglowego w odcieku z wirówki odwadniającej wynosi ok. 14% objętościowych. Przeliczenia wysokości warstw na objętość wynikają z uwzględnienia stożkowego kształtu stosowanych lejów koagulujących.

Przekroczenie czasu pełnego sklarowania zawiesiny (po upływie 4.000 min.) prowadzi do kurczenia się

Tabela 2. Przebieg procesu sedymentacji odcieku z wirówki odwadniającej flotokonzentrat

Table 2. The process of sedimentation of the effluent from the centrifuge

Czas sedymentacji, minuty	Wysokość warstwy, mm			Czas sedymentacji, minuty	Wysokość warstwy, mm		
	Próbka 1				Próbka 2		
	Górna czarna	Środkowa	Dolna		Górna czarna	Środkowa	Dolna
0	0	0	0	0	0	0	0
35	30	80	390	40	17	0	440
250	35	90	375	67	10	55	430
503	32	120	348	462	9	98	390
633	25	128	347	532	9	100	385
950	23	135	342	617	10	115	370
1064	23	126	349	1332	10	128	310
1500	20	140	340				
1800	22	130	348				
2460	23	134	343				
3780	25	105	370				
3990	20	100	380				
4320	18	110	372				
4330	18	110	372				
4620	14	120	366				
5640	19	120	361				
5760	20	120	360				
6120	18	120	362				
6720	20	127	353				

warstwy górnej (koncentratu węglowego) i opadanie zaglomerowanych ziaren węgla na dół leja i tworzenie warstwy węgla na dolnej warstwie mineralnej.

Opisane badania stabilności składu odcieku powtarzano na kilkunastu próbkach odcieków z różnych wirówek odwadniających koncentraty flotacyjne, uzyskując analogiczne wyniki niestabilności zawiesin.

Zachodząca koagulacja pozwala na selektywnie rozdzielanie warstwy węglowej od warstwy składników mineralnych (muł), co oznacza możliwość wytwarzania bogatych koncentratów węglowych, znacznie cenniejszych od dotychczas wydzielanych Sedymentów.

Czynniki wpływające na wydzielania koncentratów węglowych z odcieków z wirówek odwadniających flotokonzentraty

Ze względu, że zawiesina wodno-węglowa stanowi złożony układ zawierający ziarna o właściwościach hydrofobowych i hydrofilnych, do badań nad wydzielaniem koncentratów węglowych (górną warstwą) wybrano technologie oparte o stosowanie reagentów powierzchniowo-czynnych, a mianowicie:

1. zwiększających hydrofobowość i aglomerację ziaren węgla;
2. zmniejszających różnicę napięć powierzchniowych pomiędzy ziarnami węgla a wodą.

Dla ustalenia warunków efektywnego wydzielania koncentratu węglowego i ew. mułu (warstwa dolna) oraz oczyszczenia wody od zawiesin, przeprowadzono próby z kilkoma reagentami oraz przebadano wpływ

ich ilości, czasu kontaktowania i sedymentacji na wydajność procesów.

Badania nad aglomeracją ziaren węgla z zawiesiny wodno-węglowej

Do badań wytypowano cztery reagenty nierozpuszczalne w wodzie, powodujące aglomerację ziaren węgla, a mianowicie:

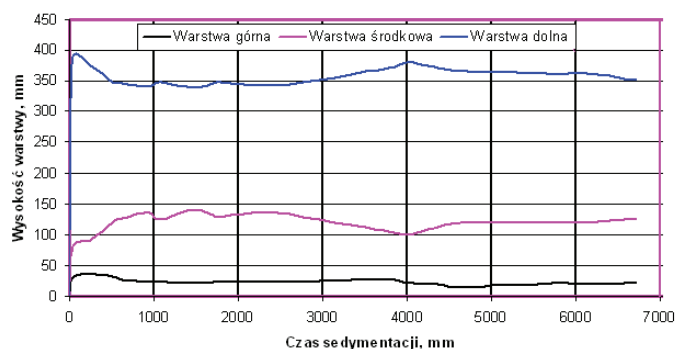
- reagent E, średnia masa cząsteczkowa 337: mieszanina węglowodorów alkanowych; niepolarny; niskolepkosciowy;
- reagent N, średnia masa cząsteczkowa 479: mieszanina węglowodorów alkanowo-naftenowo-aromatyczna; niepolarny; średniolepkosciowy;
- reagent O, średnia masa cząsteczkowa 546: mieszanina ciężkich węglowodorów i kwasów alkanowych; polarny; wysokolepkosciowy;
- reagent PP, średnia masa cząsteczkowa 428, mieszanina węglowodorów naftenowo-alkanowych; niepolarny; średniolepkosciowy.

Badania wpływu reagenta E.

Dla ustalenia porównywalnych warunków badań, próbki odcieków zadano 5 % reagenta E i poddano mieszanemu ręcznemu i w homogenizatorze, w czasach 3 i 6 minut i następnie przelewano do lejów Imhoffa.

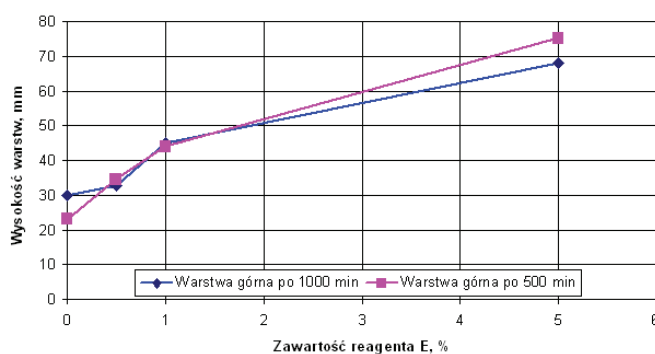
Z analizy wyników wpływu czasu ręcznego mieszania wynika, że:

- zawiesiny wodno-węglowe ulegają rozdzieleniu już po 10 minutach postoju w lejach;



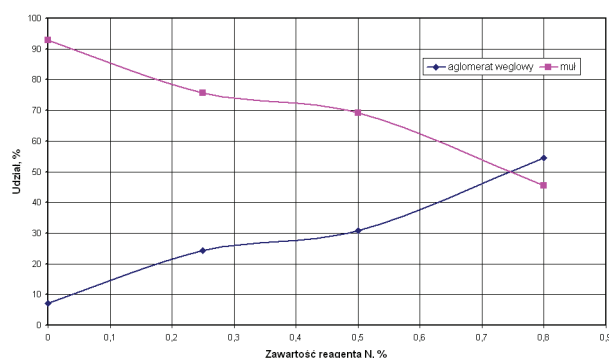
Rys. 4. Przebieg samoczynnego procesu koagulacji przykładowego odcieku z wirówki odwadniającej flotokonzentrat

Fig. 4. The course of process of coagulation of floto-concentrate



Rys. 5. Wpływ dodatku 0,5, 1 i 5 % reagenta E na wysokość warstwy górnej po upływie czasu 500 i 1000 min sedymentacji zawiesiny wodno-węglowej

Fig. 5. Effect of addition of 0.5, 1 and 5% of reagent E after 500 and 1000 min of sedimentation of the water-coal slurry



Rys. 6. Wpływ ilości dodawanego reagenta N na ilość wydzielanego aglomeratu i mulu

Fig. 6. The effect of the amount of N reagent on the agglomeration

– warstwy górne, aglomeratu węglowego, po upływie 1000 minut zmniejszają się;

– warstwy dolne, stanowiące ziarna minerałów, po upływie 1000 minut wzrastają w proporcji do zmian warstwy górnej;

– na sedymentację omawianych próbek nie miało istotnego znaczenia wydłużenia czasu mieszania próbek z 3 do 6 minut.

Zastosowanie bardzo intensywnego mieszania w homogenizatorze, w ciągu 3 i 6 minut wykazuje, że próbki wlewane do lejów sedymentacyjnych ulegają natychmiast rozdzieleniu na warstwy. Obserwowano

powstawanie dużych skupisk aglomeratów węglowych (koncentratów węglowych) i wydzielanie się warstwy mineralnej (dolnej), przy dużej czystości wody nośnej

– rys. 3. Nie stwierdzano różnic w jakości i szybkości aglomerowania węgla z odcieków, homogenizowanych 3 i 6 minut. Oznacza to, że dla skutecznego aglomerowania koncentratów węgla czas mieszania nadawcy można znacznie skrócić. W następnych badaniach przyjęto 3 minutowe mieszanie próbek w homogenizatorze.

Dla zoptymalizowania ilości dodawanego reagenta E przeprowadzono próby sedymentacji z dawką 5, 1 i 0,5 % reagenta E, wyniki przedstawia rysunek 5 i tabela 3.

Tabela 3. Wpływ wielkości dawki reagenta E na przebieg koagulacji oddęków z wirówek odwadniającego flotokonzentraty

Table 3. Influence of reagent E on the coagulation of fenculates from centrifuges

Czas sedymentacji, minuty	Wysokość warstwy, mm			Czas sedymentacji, minuty	Wysokość warstwy, mm			Czas sedymentacji, minuty	Wysokość warstwy, mm			Czas sedymentacji, minuty	Wysokość warstwy, mm			
	Górna czarna	Środkowa	Dolna czarna		Górna czarna	Środkowa	Dolna czarna		Górna czarna	Środkowa	Dolna czarna		Górna czarna	Środkowa	Dolna czarna	Górna czarna
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
35	30	80	390	10	0	0	0	10	67	80	0	0	15	100	0	0
250	35	90	375	15	0	0	0	15	54	143	0	0	44	83	90	0
503	32	120	348	20	0	0	0	20	56	140	0	0	58	74	230	25
633	25	128	347	25	0	0	0	25	54	165	0	0	90	68	245	23
950	23	135	342	30	0	0	0	30	48	178	0	0	180	68	245	20
1064	23	126	349	45	44	100	0	120	47	242	cm ³	cm ³	240	68	260	20
1500	20	140	340	55	48	143	0	180	46	224	74	74	540	69	254	20
1800	22	130	348	60	38	130	0	240	46	232	65	65	1230	68	258	20
2460	23	134	343	95	36	148	0	265	45	232	60	60	1620	79	250	27
3780	25	105	370	120	39	150	0	295	45	233	56	56	2040	58	240	48
3990	20	100	380	180	32	170	0	350	45	235	55	55	2400	48	-	80
4320	18	110	372	350	32	192	0	420	45	238	52	52	2640	45	-	90
4330	18	110	372	420	34	197	cm ³	450	44	240	51	51		43	-	100
4620	14	120	366	450	31	198	>100	505	44	243	50	50				
5640	19	120	361	505	33	201	>100	690	45	246	48	48				
5760	20	120	360	690	33	207	>100	805	44	245	46	46				
6120	18	120	362	805	34	208	>100	1175	44	250	44	44				
6720	20	127	353	1175	35	211	>100	1250	44	249	44	44				
				1438	33	212	101	1383	44	248	44	44				
				1513	31	215	100	1438	44	248	43	43				
				1553	32	215	100	1513	45	248	43	43				
				Ilość osadu wydzielnego, g	37,26		25,27	Ilość osadu wydzielnego, g	52,31	-	6,24					

Tabela 5. Przebieg procesu sedymentacji zawiesiny wodno-węglowej z dodatkiem 1,0 % reagenta PP i z 1,0 % reagenta N [1 przy przelewaniu widać było aglomerat]

Table 5. Sedimentation of the water-coal slurry with an addition of 1.0% of PP reagent and with 1.0% of N-reagent

Czas sedymentacji, minuty	Wysokość warstwy, mm			Czas sedymentacji, minuty	Wysokość warstwy, mm		
	Próbka 102 (1,0 % PP) ¹				Próbka 104 (1,0 % N) ¹		
	Górna czarna	Środkowa	Dolna czarna		Górna czarna	Środkowa	Dolna czarna
5	58	120	280	3	0	0	0
15	47	195	228	12	48	140	296
25	42	204	222	28	43	148	270
40	40	216	210	52	35	170	257
55	40	220	202/cm ³	98	36	187	244/cm ³
78	40	226	200/70	128	35	193	238/120
125	39	235	193/62	158	35	198	232/115
155	38	236	192/59	258	35	205	225/101
185	37	239	188/57	298	35	206	225/98
285	36	245	183/52	412	34	210	220/92
325	36	247	183/52	452	35	214	218/91
445	37	252	179/48	527	33	214	219/90
485	34	250	178/48				
560	35	252	179/47				
Ilość osadu powietrzno-suchego, g	49,04	-	5,44	Ilość osadu powietrzno-suchego, g	36,32	-	21,42

Analizując uzyskane wyniki wpływu wielkości dodatku reagenta E na rozdział zawiesiny wodno-węglowej, nasuwają się następujące wnioski:

- dodatek reagenta E skraca czas koagulacji odcieku;
- ze wzrostem zawartości reagenta wzrasta ilość wydzielanej frakcji zaglomerowanej (warstwa górna) i ilość oczyszczonej wody (warstwa środkowa);
- największe przyrosty sedymentacji obserwuje się w zakresie dawki reagenta od 0 do 1%;
- zwiększenie dawki reagenta w obszarze 1 do 5 % powoduje wzrost warstwy górnej i asymptotyczny przyrost wysokości warstwy środkowej;
- zwiększenie czasu sedymentacji z 500 do 1000 minut wykazuje utrzymywanie się wytworzonych warstw na stałym poziomie; natomiast powyżej 1500 minut obserwuje się zmniejszanie warstwy górnej i opadanie większych zespołów ziaren do warstwy dolnej.

Badania wpływu reagenta N.

Bazując na wcześniejszych doświadczeniach, badania reagenta N ograniczono do mniejszych dawek. Podstawową próbę zrobiono z dawką 0,8 % obj. reagenta N, a uzyskane wyniki przedstawiono w tabeli 4 i rysunek 6.

Z analizy przebiegu sedymentacji wynika, że proces rozdziału zawiesiny nastąpił już po 17 minutach, natomiast stabilizacja warstwy aglomeratu następowała w ciągu 30 do 200 minut. Proces stabilizacji osiadanania mułu (warstwa dolna) nastąpił natomiast po ok. 1500 minutach. Stabilizacja warstwy środkowej (sklarowanej wody) nastąpiła po 700 minutach.

Dla ustalenia optymalnej dawki reagenta N, do zawiesiny wodno-węglowej dodawano reagent N w ilości 1,0; 0,8; 0,5 i 0,25 %. Po trzech minutowym wymieszaniu w homogenizatorze, nadawę poddawano sedymentacji w lejach Imhoffa. Wpływ ilości dodawanego reagenta N na proces sedymentacji, określano zmianami wysokości warstwy aglomeratu i mułu oraz ilością wydzielonego (powietrzno-suchego) koncentratu węglowego, co ilościowo przedstawia tabela 4 i rysunek 6.

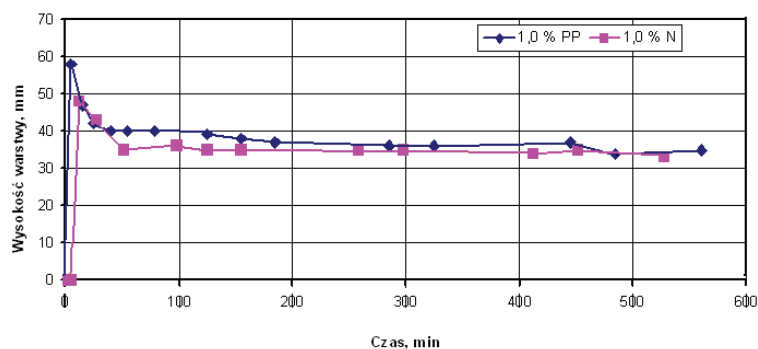
Z przebiegu krzywych sedymentacji zawiesin wodno-węglowych wynika liniowa zależność wzrostu ilości aglomeratu węglowego w zależności od wzrostu ilości dodawanego reagenta N. Podwyższenie dawki reagenta z 0,25 do 1,0% zwiększyło 2,78 razy ilość odzysku koncentratu węglowego.

Badania wpływu reagenta O

Badanie wpływu 5% polarnego dodatku hydrofobowego O na proces aglomeracji węgla prowadzono w analogicznych warunkach, uzyskując podobne rezultaty jak przy zastosowaniu reagentów E i N. Z tą jednak różnicą, że wydzielony aglomerat posiadał konsystencję pastowata.

Badania wpływu reagenta PP

Jako alternatywę dla reagenta N przygotowano reagent PP, o momencie dipolowym analogicznym do reagenta E. Oddziaływanie sedymentacyjne reagenta PP (1,0 %) na zawiesinę wodno-węglową przeprowadzono w porównaniu do dodatku 1,0 % reagenta N.



Rys. 7. Wpływ czasu i dodatku 1% reagenta PP i N na wydzielanie aglomeratu z odcieków
 Fig. 7. Influence of time and addition of 1% of PP reagent and N reagent on the sedimentation

Uzyskane wyniki przedstawiono w tabeli 5 i na rysunku 7.

W ramach tej serii prób wykonano dodatkowo homogenizację zawiesiny wodno-węglowej z dodatkami 1,0 % reagenta PP i N. Po trzech minutach homogenizacji, mieszanki przelewano na warstwę bibuły filtracyjnej i wydzielano koncentrat węglowy. Wyptywająca z sita woda była całkowicie klarowna, natomiast sam proces filtracji przebiegał szybko i bez problemu. Dodatek 1 % reagenta PP do odcieku pozwoliło uzyskać największą ilość koncentratu węglowego i najmniejszą ilość mułu węglowego (dolna warstwa).

Badania nad deaktywacją zawiesiny wodno-węglowej

Do badań nad ujednorodnieniem zawiesiny wodno-węglowej i stworzenia typowej zawiesiny wodno-mułowej wytypowano jeden środek powierzchniowo-czynny, reagent XL.

Próby z dodatkiem XL wykazały, że dodatek 0,5 do 1% powoduje zniknięcie warstwy górnej (aglomeratu węglowego) i powstanie jednorodnej czarnej zawiesiny trudno sedymentującej. Z upływem czasu, około 700 minut, w górnej części leja Imhoffa zaczęła się pojawiać warstwa sklarowanej wody i druga warstwa o barwie czarnej ulegająca zagęszczeniu ziaren węgla i minerałów (Sedyment + muł węglowy), co ilustrują dane w tabeli 6.

Poprzez dodanie środka powierzchniowo-czynnego XL nastąpiło zmniejszenie różnic w napięciach powierzchniowych pomiędzy wodą a zhydrofobizowanymi ziarnami węgla i zniknięcie warstwy aglomeratu węglowego. Aglomerat węglowy z hydrofobowego stał się hydrofilnym i przeszedł do mułu wydzielanego w lejach pomiarowych jako warstwa dolna (czarna).

Zastosowanie reagenta XL do deaktywacji zawiesiny wodno-węglowej w pierwszym okresie sedymentacji powoduje pojawienie się piany, typowej dla środków powierzchniowo-czynnych, łatwej do gaszenia podmuchem powietrza lub skrapianie rozpyloną wodą, albo dodatkiem środka antypiennego.

Właściwości wydzielanych koncentratów węglowych

Z przeprowadzonych badań odcieków z wirówek odwadniających flotokoncentraty z węgla koksowych wynika, że niezależnie od miejsca ich powstawania i poboru (kopalnia, instalacja flotacji), stanowią niestabilną zawiesinę węglowo-wodną ulegającą selektywnej sedymentacji ziarnowej.

Wydzielana w procesie sedymentacji warstwa górna stanowi zbiorowisko ziaren węgla (koncentrat węglowy), a warstwę dolną stanowi mieszanina ziaren zanieczyszczeń mineralnych i węgla (muł).

Warstwa górna składa się z hydrofobowych ziaren węgla, w postaci aglomeratu. Wielkość warstwy aglomeratu zależy od zawartości hydrofobowych ziaren węgla w odcieku i czasu sedymentacji oraz rodzaju i ilości dodawanych środków hydrofobowych (reagentów E, N i O). Ze względu, że aglomeracji podlegają tylko ziarna węgla, proces ten jest jednocześnie wzbogacaniem w węgiel górnej warstwy. Potwierdzeniem zachodzenia procesu wzbogacania i aglomeracji olejowej są wyniki badań uzyskiwanych koncentratów węglowych, co dokumentuje tabela 7.

W przypadku wymienionych reagentów (hydrofobizujących), w zależności od reagenta i jego ilości, w czasie sedymentacji do 1553 minut ilość wydzielonych koncentratów węgla przekracza od 1,5 do 9,1 raza ilość wydzielonych mułów i wahała się od 36 do 53 g/1000 ml. Natomiast, wydłużenie wymienionego czasu sedymentacji prowadzi do zmniejszania się warstwy koncentratów węglowych i wzrostu warstw mułów, by w czasie 2900 minut osiągnąć stosunek koncentratu węgla do mułu w zakresie od 1,2 do 0,3 raza. Wraz z wydłużeniem czasu sedymentacji odcieków rejestrujemy tendencję ubytku ilości koncentratu węgla, przy równoczesnym wzroście ilości mułu, co ilustruje rysunek 8.

Wydzielane koncentraty węglowe (aglomeraty), w porównaniu do mułów, charakteryzują się niższą zawartością wody obciekowej i zawartości popiołu oraz wyższą wartością opałową.

Tabela 6. Przebieg procesu sedymentacji zawiesiny wodno-węglowej z dodatkiem 0,5% reagenta XL [1 brak rozdziału zawiesiny lub brak ukształtowania się warstwy]

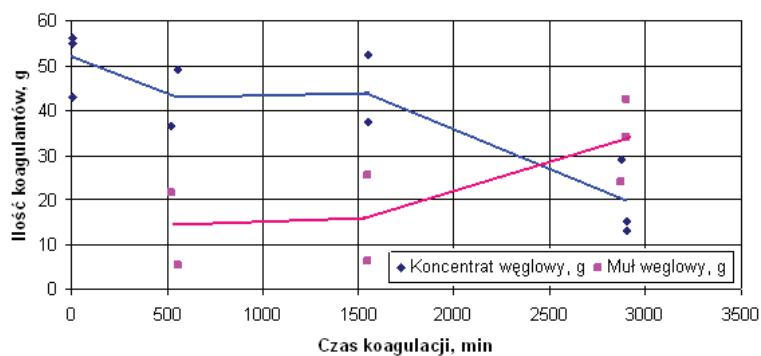
Table 6. Sedimentation process of the water-coal slurry with the addition of 0.5% of the XL reagent

Czas sedymentacji, minuty	Wysokość warstwy, mm			Czas sedymentacji, minuty	Wysokość warstwy, mm		
	Próbka x				Próbka x		
	Górna ciecz	Środkowa	Dolna czarna		Górna ciecz	Środkowa	Dolna czarna
0	0 ¹	0 ¹	0 ¹	1244	0 ¹	260	200
0	0 ¹	0 ¹	0 ¹	1374	0 ¹	260	200
10	0 ¹	0 ¹	0 ¹	1439	0 ¹	263	202
17	0 ¹	0 ¹	49	1544	0 ¹	255	205
30	0 ¹	0 ¹	37	1714	0 ¹	252	208
50	0 ¹	0 ¹	33	2334	0 ¹	247	208
176	0 ¹	0 ¹	32	2494	0 ¹	246	250
192	0 ¹	0 ¹	30	2574	0 ¹	245	260
346	0 ¹	0 ¹	130	2644	0 ¹	243	260
684	0 ¹	272	181	2789	0 ¹	244	260
734	0 ¹	274	186	2874	0 ¹	243	260
854	0 ¹	268	188				
994	0 ¹	265	195	Ilość osadu powietrznego, g	-	-	52,89

Tabela 7. Właściwości koncentratów węglowych wydzielanych w procesach sedymentacji

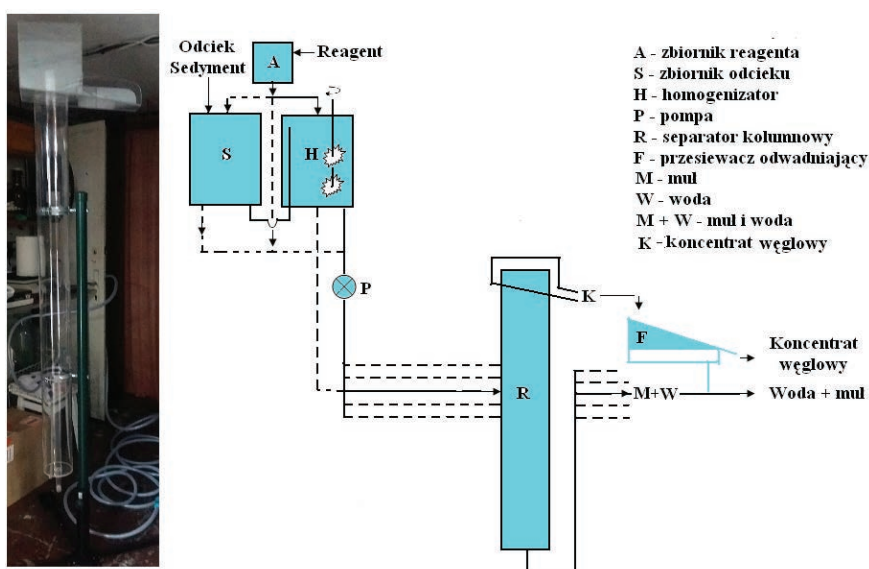
Table 7. Properties of coal concentrates released in sedimentation processes

Nr	Określenie	Masa wydzielonego osadu, g	Stosunek masy aglomer. do mułu/ minuty	Konsystencja	Zawartość, %		Wartość opałowa, kJ/kg
					wody	popiołu	
1.	Aglomerat 1,0 % E	52,31	8,4/1553	Sucha	2,8	4,9	32.407
2.	Muł 1,0 %	6,24	8,4//1553	wilgotna	46,9	7,26	16.275
3.	Aglomerat 0,5 % E	37,26	1,5/1553	Sucha	27,7	5,38	-
4.	Muł 0,5 % E	25,27	1,5/1553	Wilgotna	41,4	7,26	-
5.	Aglomerat E	-	-	Wilgotna	32,8	5,55	21.701
6.	Aglomerat O	-	-	Pastowata	-	-	-
7.	Muł O	-	-	Wilgotna	33,7	7,39	-
8.	Agl. + muł 1,0 % E	43,0	-	sucha	12,2	-	-
9.	Agl. + muł 1,0 % N	59,0	-	sucha	8,5	-	-
10.	Agl. + muł 2,0 % N	55,0	-	sucha	5,7	-	-
11.	agl	0	/2874	wilgotny	-	-	-
	Muł 0,5 % XL	52,89	/2874				
12.	Aglomerat 1,0 % PP	49,04	9,1/560	suchy	3,9	-	-
13.	Muł 1,0 % PP	5,44	9,1/560	suchy	2,31	-	-
14.	Aglomerat 1,0 % N	36,32	1,7/527	Suchy	2,63	-	-
15.	Muł 1,0 % N	21,42	1,7/527	suchy	0,68	-	-
16.	Agl. + muł 1,0 % PP	54,94	-	suchy suchy	-	-	-
17.	Agl. + muł 1,0 % N	50,22	-	suchy	-	-	-
18.	Agl. + muł 1,0 % E	46,87	-		-	-	-
19.	0,8 % N	28,92	/2874				
20.		24,02	/2874				
21.	0,5 % N	15,20	/2900				
22.	0,5	34,15	/2900				
23.	0,25	13,05	/2900				
24.	0,25	42,40	/2900				



Rys. 8. Wpływ czasu koagulacji odcieku na wypad koagulantów

Fig. 8. Influence of the coagulation time of the leachate



Rys. 9. Schemat instalacji pilotowej wydzielania koncentratów węglowych z odcieków z wirówek odwadniających flotokoncentraty

Fig. 9. Diagram of the pilot plant for extracting coal concentrates from the effluents of centrifuges

Nie zhydrofobizowane ziarna węgla i skały płonnej (piasku itp.) opadają z zawiesiny wodno-mułowej i tworzą warstwę dolną (muł węglowy). Tym też należy tłumaczyć ich wyższą zawartość popiołu i wody oraz stosunkowo niskie wartości opałowe.

Założenia do procesu technologicznego

Włączenie odcieku z wirówek odwadniających flotokoncentrat do tradycyjnej gospodarki wodno-mułowej powoduje znaczne zaburzenia w procesie klarowania wody (kożuch „piana”), utratę węgla zawartego w odcieku i zwiększanie ilości mułów.

Dla wyeliminowania tych problemów zastosowano selektywną sedimentację prowadzącą do aglomeracji hydrofobowych ziaren węgla i wydzielanie ich w postaci aglomeratu pływającego na powierzchni wody oraz do osadzania hydrofilnych ziaren zanieczyszczeń mineralnych i węgla na dnie odcieku.

Proces jest prostym w realizacji, sprowadza się do intensywnego zmieszania (homogenizacji) odcieku z

reagentem hydrofobizującym i następnym sedymentacyjnym rozdziałem i indywidualnym odprowadzeniem zawieszin faz stałych. W wyniku zachodzącej separacji grawitacyjnej zaglomerowanej nadawy, u góry tworzy się warstwa aglomeratu o niskiej zawartości wody oraz warstwa dolna frakcji mułowej.

Schemat instalacji pilotowej wydzielania koncentratów węglowych z odcieków z wirówek odwadniających flotokoncentraty, przedstawia rysunek 9.

Na efekt i skuteczność separacji grawitacyjnej wydzielania koncentratów węglowych, oprócz wcześniej omówionych czynników (odcieku, reagenta, mieszania itp.), duży wpływ wywiera czas sedimentacji w kolumnie separującej, regulowany wielkością nadawy i odbioru aglomeratu i mułu. Poprzez regulację przepływów, u góry kolumny separującej można odbierać sam koncentrat węglowy (aglomerat) o zawartości wody ok. 6% mas. Pozytywny wpływ na proces wydzielania koncentratu węglowego ma styczne doprowadzenie nadawy do ściany kolumny rozdziału, powodując jej

Tabela 8. Porównanie efektów odzysku koncentratów węglowych w technologii dynamicznej w kolumnie separującej i w statecznej w lejach Imhoffa z odcieków zawierających reagenty hydrofobizujące

Table 8. Comparison of the effects of recovery of carbon concentrates in dynamic technology in the separating column and in the stable Imhoff funnels from leachates

Odciek z reagentem w technologii	Zawartość w odcieku Sedymentu, %	Ilość wydzielonego koncentratu węglowego (aglomeratu), %					
		Zawartość reagenta w odcieku, %					
		0,25	0,5	0,8	1,0	2,0	5,0
+ N, kolumna	5,94	2,35	3,08	5,47	6,29	5,50	-
+ N, lej Imhoffa	-	1,30	1,52	2,89	3,62-5,90	-	-
+ E, kolumna	5,94	-	6,24	-	5,85	-	3,94
+ E, lej Imhoffa	-	-	2,53-3,73	-	4,30-6,24	-	-
+ PP, kolumna	5,94	-	-	-	4,90	-	-
+ PP. Lej Imhoffa	-	-	-	-	5,49	-	-

wirowanie i przyspieszenie rozdziału składników.

W przypadku zwiększania wydajności procesu separacji odcieku, wydzielane koncentraty węgla mogą być znacznie zawodnione. Zawodnione koncentraty węglowe łatwo oddają wodę na sitach odwadniających. Natomiast z dołu kolumny odbierany jest muł z wodą nośna, który szybko sedymentuje i łatwo jest wydzielany z obiegu przeróbki, bez jakichkolwiek komplikacji. Wydzielany aglomerat nadaje się do bezpośredniego zmieszania z najlepszymi flotokonzentratami.

Badania weryfikujące przeprowadzono z odciekami zawierającymi 5,94% fazy stałej (Sedymentu). W zależności od rodzaju dodawanego reagenta ilość wydzielonego koncentratu węglowego różni się, co ilustrują dane w tabeli 8.

Na ilość wydzielanych koncentratów węglowych w kolumnie separującej duży wpływ ma rodzaj i ilość dodawanego reagenta, najbardziej aktywnym okazał się reagent N.

Analiza uzyskanych wyników wykazuje, że odzysk koncentratów węglowych z odcieków jest najczęściej wyższy w technologii dynamicznej z kolumnami segregacyjnymi niż separacji statycznej w lejach Imhoffa.

Podsumowanie

6.1. Ocieki z wirówek odwadniających flotokonzentraty stanowią niestabilne zawiesiny cząstek hydrofobowych węgla i hydrofilnych składników mineralnych i węgla.

6.2. Włączenie odcieków z wirówek odwadniających flotokonzentraty do obiegów tradycyjnych gospodarek wodno-mułowej powoduje zaburzenia w klarowaniu wody oraz znaczne straty węgla wysokiej jakości.

6.3. Poprzez dodawanie flokulantów i środków powierzchniowo-czynnych, zachodzą warunki do wydzielania mieszaniny fazy stałej (węgla i mułu) z odcieków, przy jednoczesnym sklarowaniu wody.

6.4. Dodawanie do odcieków reagentów hydrofobowych powoduje natomiast selektywną koagulację fazy stałej, w wyniku której tworzy się pływająca na powierzchni odcieku warstwa zaglomerowanego węgla (koncentrat węglowy) oraz na dnie odcieku warstwa mułu.

6.5. Zaproponowane technologie są bardzo proste do realizacji i nie zmieniają dotychczas stosowanych maszyn i urządzeń, a jedynie wymagają przeorganizowanie obiegów wodno-węglowych.

Szanownej Pani Profesor Barbarze Tora składam serdeczne podziękowania za cenne uwagi przy prowadzeniu badań i prób.

Literatura – References

1. Myszkowski P.: Najnowsze rozwiązania stosowane w konstrukcji wirówek odwadniających flotokonzentrat i ich wpływ na osiągnięte parametry technologiczne. XVIII konferencji SITG – 40 lat ZPMW KWK „Jas-Mos”. Wisła maj 2010
2. Piechaczek B., Gruszka G., Pyc A., Iero E.: Odwadnianie drobnych frakcji koncentratów mineralnych za pomocą pras filtracyjnych na przykładzie prasy GHT 1500 zabudowanej w ZPMW KWK Jas-Mos. Politechnika Wrocławska Nr 136, Studia i Materiały Nr 43. 2013
3. Palica M., Spyrka W.: Dobór dawki flokulantu Magnaflog-336 do kopalnianej zawiesiny zrzutowej po wirówkach Bird'a. Karbo 2008, nr 3
4. Kot J.: Doświadczenia z użytkowania instalacji odzysku części stałych z zawiesiny wodno-mułowej zawierającej ziarna o wymiarach wyłącznie $<25\mu\text{m}$ w KWK Jas-Mos. Materiały Konferencji Szkoły Eksploatacji Podziemnej Kraków 2012
5. Giemza H., Gruszka G., Hycnar J.J., Józefiak T., Kiermaszek K. 2007. Optymalizacja zagospodarowania sedymentu węglowego – technologia brykietowania sedymentu. Polityka Energetyczna, 2007. Nr 10
6. Giemza H., Gruszka G., Hycnar J.J., Józefiak T., Kiermaszek K. 2009. Technologie odzysku drobnoziarnistych materiałów i odpadów węglowych na potrzeby produkcji paliw i energetyki. XXIII Konferencja z cyklu: Zagadnienia Surowców Energetycznych i Energii w Gospodarce Krajowej, Zakopane 11–14 październik 2009.
7. Hycnar J.J.: Methods of increasing the calorific value of fine coal waste. Inżynieria Mineralna, 2015 January – June
8. Hycnar J.J., Borowski G.: Metody podwyższenia kaloryczności drobnoziarnistych odpadów węglowych. Monografia. Politechnika Lubelska. Lublin 2016
9. Piechaczek B., Kiermaszek K., Pyc A., Iero E.: Odwadnianie sedymentu węglowego z użyciem pras filtracyjnych na przykładzie prasy GHT 1500 zabudowanej w ZPMW KWK Jas-Mos
10. Stelmaszek R.: Sposób na zarabianie. Jastrzębski Węgiel 2009, nr 2(42)
11. Hycnar J.J., Szymanek A., Michalik A., Kula H., Trąbka S., Fraś A., Sikora L., Foltyn R.: Zakres i warunki stosowania suspensji węglowo-wodnych. Piece Przemysłowe i Kotły 2014, nr XI-XII
12. Kurbiel A., Targański A., Świech L.: Ekonomiczne i ekologiczne aspekty wyeliminowania produkcji mułu surowego oraz jego zagospodarowanie w mieszankach energetycznych w warunkach kopalni „Szczygłowice”. Materiały Konferencji Szkoły Eksploatacji Podziemnej. Szczyrk 2006
13. Palica M., Ryz M., Niemiec M.: Filtracja wirowa flotokonzentratu węgla kamiennego. Karbo 2006, nr 2
14. Thomas M., Veal C., Smitham J.: Novel basket design for fine coal centrifuges. The Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy. 2001, January/February
15. Kowol D., Jagódka M., Matusiak P., Gawliński A.: Zastosowanie procesu flotacji pianowej do wzbogacania sedymentu – badania laboratoryjne. KOMIEKO 15. Monografia 69/ 215
16. Hycnar J.J. (2015) Methods of increasing the calorific value of fine coal waste. Article · Inżynieria Mineralna, nr 1(35) Wyd. Polskiego Towarzystwa Przeróbki Kopalni, Kraków, s. 33-55.
17. P. PASIOWIEC, J. J. HYCNAR, B. TORA, 2016 – Wykorzystanie drobnouziarnionych odpadów węglowych, Inżynieria Mineralna z. 1(37), Wyd. Polskiego Towarzystwa Przeróbki Kopalni, Kraków, s. 213–222.

The New Technology of Separation of Coal Concentrates from Centrifugal Filtrate

The effluents from centrifuges for dewatering flotation concentrates of coking coals give often a significant problem in the silt-water circuit, due to the release of dense black floating foam on the surface of the water in Dorr thickeners.

For the purification of the centrifuge effluents, selected flocculants were used.

Significant amounts of leachate is not dewatered but only mixed with flotation waste and deposited in waste settling tanks. Carried out studies show that the solid phase in the effluent consists of hydrophobic coal grains and hydrophilic grains of minerals. Through the use of selective sedimentation, allowing separate hydrophilic grains (bottom layer), a high quality carbon concentrate (upper layer, hydrophobic grains) is obtained. The process of selective sedimentation can be significantly accelerated and enhanced by the addition of hydrophobic reactants to the effluent. On the basis of conducted tests and trials, a pilot installation for the production of coal concentrates from industrial effluents from centrifuges was developed.

The developed technology allows to obtain coal concentrates with low ash and water content as well as high energy parameters.

Keywords: effluent form dewatering centrifuge, coal from effluent, sediment